© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zahnbein, Schmelz und Cement

eine vergleichend histologische Studie

von

Dr. J. Kollmann
a. o. Prof. a. d. Univ. München.

Mit Tafel XIX—XXI.

Die Structur der Zähne bietet noch manches schwierige Räthsel. Dahin gehört z. B. Wesen und Ursprung jener sog. »Contourlinien«, die man auf Quer- und Längsschnitten des Zahnbeins längst gesehen, von deren genauer Kenntniss wir aber bis zur Stunde noch so weit entfernt sind, dass jede neue Abhandlung nur die Schwierigkeit des Verständnisses vermehrt. Mich hat das Studium der Entwicklungsgeschichte der Zähne zu einer wiederholten Beobachtung dieser seltsamen Linien gedrängt. Ich theile die Resultate mit, in der Ueberzeugung, dadurch wenigstens eine Sichtung der vorhandenen, wohlerkannten Thatsachen zu erreichen. Man wird verzeihen, wenn ich dabei die Literatur und die Bemerkungen der neuesten Handbücher, soweit sie nicht Thatsächliches enthalten, ignorire. Das Capitel der »Contourlinien« ist durchaus nicht dazu angethan, rasch eine Verständigung zu ermöglichen, so lange man auf dem Boden der früheren Meinungen stehen bleiben will. Es unterliegt ja keinem Zweifel, die eine oder andere Sorte dieser Linien ist richtig beschrieben worden, ein willkommener Schatz von Thatsachen ist bereits zu Tage gefördert, aber hier wurde willkürlich getrennt, dort zusammengeworfen oder dieselben Eigenthümlichkeiten mit verschiedenen Namen belegt, so dass völlige Verwirrung herrscht. Es rührt dies zum Theil davon her, dass die Zahl der untersuchten Species zu gering war, und der Nachdruck auf Nebensächliches fiel, statt das Typische der Erscheinung zu verfolgen. Ich habe nun Repräsentanten aus den meisten Ordnungen des zahntragenden Wirbelthierreiches unter-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sucht, und die gemeinsamen Merkmale im Verlauf jener viel studierten Zahnröhrchen in's Auge gefasst. Meine Absicht ging dahin, die gleichmässig wiederkehrenden Eigenthümlichkeiten nachzuweisen und die Bedingungen zu erfahren, unter denen sie sich entwickeln. Bei der Schwierigkeit, die Wachsthumsvorgänge zu verfolgen, die Entstehung dieser Linien unter den Augen zu beobachten, sieht man sich gezwungen, mit Wahrscheinlichkeiten zu rechnen und zur Hypothese zu greifen. So enthalten auch die folgenden Blätter genug des Hypothetischen, mit andern Worten genug des Lückenhaften, und ich fühle wohl dass ich weit hinter dem gesteckten Ziele zurückgeblieben bin. Ja noch mehr, ich muss meine eigenen früheren Angaben über die »Contourlinien« vom Jahr 1869 (diese Ztschft. Bd. XX) kritisiren und verbessern. Es war eine irrige Anschauung, wenn ich glaubte »die zweite Sorte von Contourlinien die man neben den durch Interglobularräumen bedingten findet, rühre von schief getroffenen Zahnröhrenreihen her«. Das Aussehen der Linien beim Flusspferd und Hirscheber hatte mich getäuscht. Ich glaubte an bestimmten Stellen Röhren zu sehen, welche, durch den Schnitt getroffen, eine Ablenkung des Lichtes bedingen, glaubte abgekuppte Wellen der Zahnröhren vor mir zu haben. Eine fortgesetzte Untersuchung hat nun gezeigt, dass Linien hervorgerufen durch Schnittführung sehr selten sind, und dass jene, die ich früher dafür gehalten, wirklichen Biegungen der Röhren entsprechen, wie sie in Fig. 3 und 4 Taf. XX abgebildet sind. Ich hatte mich damals gesträubt, solch' welligen Verlauf in der harten Masse der Dentine anzunehmen und bin dadurch zu einer falschen Deutung gekommen. Die Erklärung und Aufstellung der »zweiten Sorte von Contourlinien« von damals muss somit abgeändert werden, wie gleich nachher geschehen soll.

Zunächst will ich hier hervorheben, dass ich den Namen »Contourlinie« theilweise aufgeben werde. Die Zusammenfügung zweier Worte, die in diesem Falle völlig gleichbedeutend sind für eine und dieselbe Sache, scheint mir eine ungerechtfertigte Verschwendung. Der Ausdruck »Linie« genügt für sich allein schon, und entspricht auch am besten den Streifen, die man im Zahnbein gefunden hat.

Noch habe ich, ehe das Capitel der Mittheilungen beginnt, dankend der Unterstützung mit Material zu gedenken durch die HH. v. Bischoff, v. Siebold, E. Voit von hier und Dr. Stein aus Frankfurt. Auch denen bin ich verpflichtet, die ihre freundliche Zusage im gegebenen Augenblick zurückgenommen haben, wurde ich doch dadurch zu einem schnelleren Abschluss dieser Arbeit gedrängt, welche bei dem Reichthum der Formen sich in's Endlose auszudehnen drohte.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Zähne aller Thiere, von denen hier die Rede ist, haben die Zahnröhren senkrecht zur Grundfläche, von der aus sie sich entwickelt haben. Man hat diese Thatsache auch so ausgedrückt, dass sie senkrecht stehen auf der Innenwand der Pulpahöhle.

Doch soweit meine Untersuchungen über den Verlauf dieser Röhren bei Fischen, Amphibien und Säugethieren reichen, niemals beschreiben sie eine gerade Linie.

Die Ablenkung kann einfacher Art sein: sämmtliche Röhren beschreiben grosse Biegungen oder Curven, die entweder in der sagittalen oder transversalen Ebene liegen. In der schematischen Fig. 2 Taf. XIX sind solche Curven aus der Backzahnkrone, der -wurzel des Menschen, aus dem Schneidezahn des zweijährigen Kindes, aus dem Stosszahn des wilden Ebers gezogen. Diese einfache Art des Verlaufes kommt zumeist vor beim Menschen, den Affen, in einigen Zähnen von Hund und Katze, bei Mäusen und Ratten, bei Castor und bei vielen Fischen.

In zahlreichen Fällen wird jedoch dieser einfache Verlauf dadurch complicirt, dass alle Zahnröhren oder nur eine bestimmte Region an derselben Stelle Knickungen erfahren, welche von oben gesehen Wellen gleichen (Fig. 3 und 4 Taf. XX).

Diese Knickungen können klein oder gross sein, ja es kommen selbst beide Formen nebeneinander in ein und demselben Zahn vor. Die schematische Abbildung des Verlaufes einer Zahnröhre im idealen Durchschnitt (Fig. 2 Taf. XIX) verzeichnet mehrere solcher Fälle. Bei Sus scrofa finden sich neben den Curven auch kleine Knickungen der Röhre; beim Flusspferd kleinere am Rand des Zahnes, grosse in der Mitte (Vergl. auch Fig. 3 Taf. XX); beim Rhinoceros nur grosse (Vergl. auch Fig. 4 Taf. XX); der Backzahn des Elephanten (Fig. 5 Taf. XX) und des Pferdes (Fig. 6 Taf. XXI) enthalten im Gegensatz zum Zahn des Flusspferdes kleine Knickungen in reicher Zahl, grosse sind spärlich. Doch stets ist dabei noch die Curve nachzuweisen. Am complicirtesten ist der Verlauf der Zahnröhre im Stosszahn des Elephanten, dessen schematische Darstellung der Vollständigkeit halber hier nicht fehlen durfte: die grossen Knickungen sind noch complicirt durch die kleineren.

Man sieht, der Verlauf der Zahnröhren ist sehr verschieden, zeigt mannigfache Störungen.

Der geringste Grad ist erkennbar an der Existenz einer oder mehrerer Curven.

Ein höherer Grad liegt vor, wenn den Curven noch kleine

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Knickungen zugesellt sind, welche äusserst feine zarte Linien bedingen (bei 30mal. Vergrösserung) Fig. 7 *k* Taf. XXI[1]).

Die Complication des Verlaufes steigert sich, wenn zu den Curven grosse Knickungen kommen, deren Lichtreflex schon mit freiem Auge oder einer schwachen Loupe sichtbar ist.

Ein vierter Grad, wenn ausser den Curven gleichzeitig grosse und kleine Knickungen zu finden sind. Hippopotamus (Fig. 3 Taf. XX); Elephas (Backzahn) (Fig. 5 Taf. XX); Pferd (Fig. 6 Taf. XXI).

Von der leichten Curve bis zu den auffallenden Knickungen, wie sie die schematische Darstellung Taf. XIX Fig. 2, Taf. XX Fig. 3 und 4 versinnlichen, giebt es alle möglichen Uebergänge.

Man kann demnach auf einem Zahnschliff folgenden Aenderungen des Röhrenverlaufes begegnen.

1. Curven allein.

2. Curven und kleinen Knickungen (man constatirt sie am besten bei auffallendem Licht).

3. Curven und starken Knickungen.

4. Curven, starken und schwachen Knickungen.

5. Streifen, welche durch die Schnittführung hervorgerufen sind (sehr selten).

6. Linien, hervorgebracht durch Interglobularräume (Taf. XIX Fig. 1 *i*, Taf. XX Fig. 3, 4 *i*); ihre specielle Beschreibung geschah schon früher a. a. O. Ausserdem sind

7. hier noch zu erwähnen die kleinen Krümmungen der Röhren, von denen Welker nachgewiesen hat, dass sie mit Schraubenwindungen zusammenhängen. Diese heissen bei Owen: Undulationen.

Es ist eine regelmässige Erscheinung, dass bei complicirtem Verlauf die kleinen Knickungen den Rändern der Dentine zunächst liegen, während die starken dem Centrum nahegerückt sind (Vergl. Fig. 1, *k* und die schematische Darstellung vom Verlauf einer Zahnröhre bei Hippopot. Fig. 2 Taf. XIX).

Die Curven und Knickungen der Zahnröhren zeigen den Weg an, den die Pulpa und die auf ihr festsitzenden Odontoblasten neh-

1) Curven oder grosse Biegungen liegen vor, wenn zwischen den beiden Endpuncten der Curve wenigstens eine Abscisse von 1—2 Mm. Länge liegt. Grosse Knickungen sind für mich Curven, deren Abscisse $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ Mm. beträgt. Kleine Knickungen haben eine Abscisse oft nur von $^1/_{75}$ Mm.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

men mussten bei ihrem Rückzug von den äussersten Zahnbeinschichten [1]).

Die Art des Rückzuges ist also einfach oder erleidet Störungen, wie sich aus den Curven und Knickungen der Röhren entnehmen lässt. Sie ist verschieden bei verschiedenen Thieren. Selbst bei einem und demselben Individuum kommen Unterschiede in Grösse und Menge der Curven und Knickungen vor. Leicht sind Unterschiede an den Zähnen ein und desselben Kiefers bei dem Menschen, Hund und unsern grossen Hausthieren zu constatiren.

Man hat geglaubt aus der Existenz dieser Linien, die man freilich nur sehr oberflächlich kannte, auf einen periodischen Stillstand im Wachsthum des Zahnes schliessen zu dürfen; nahm an, dass die Bildung des Zahnes absatzweise vor sich gehe, so dass bei jeder Bildungsperiode die Röhre eine gewisse Biegung anfange oder beendige. Es liegt aber keine Beobachtung vor, welche einer solchen Annahme günstig wäre. Die Zähne wachsen continuirlich bis zu ihrer Vollendung. Ueberdies vermag periodischer Stillstand keine Curven und Knickungen zu erzeugen.

Die Vorgänge während des Wachsthumes zeigen vielmehr, dass die Curven und Knickungen als Druckerscheinungen aufgefasst werden müssen.

Stetig anhaltender Druck vermag jedoch ebenso wenig, als periodischer Stillstand solche Ablenkung von der geraden Linie zu erzeugen.

Diese entsteht nur durch Druckschwankungen. Nur wechselnder Druck wird hier Curven und Knickungen hervorbringen.

Form und Grösse der Knickungen giebt die relative Grösse der Druckschwankungen an. Die Spitze der Welle entspricht dem Zeitpunct des stärksten, der gerade Verlauf der Röhre zwischen zwei Wellen dem des geringsten Druckes.

Wellenberge und Wellenthäler (Vergl. die schemat. Fig. 2 Taf. XIX) lassen erkennen, wie oft der gesteigerte Druck sich wiederholte, ob dies regelmässig geschah und mit gleicher Intensität oder verschiedener. Die durch Knickung der Röhren entstandenen Linien sind Zeichen, mit denen die Pulpa die Ereignisse während des Wachsthumes in die harte Zahnmasse eingeschrieben hat.

Für »schwache und starke Knickungen« kann man auch die Bezeichnung: »schwache und starke Drucklinien« einführen.

1) Eine solche Auffassung ist gerechtfertigt, wenn man, abgesehen von anderen Erscheinungen während des Wachsthumes, nur auf die Entstehung der Zahnröhren Rücksicht nimmt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Verschiedenheit der Curven, der schwachen und starken Drucklinien, erklärt sich aus dem verschiedenen Grad der Widerstände. Der eine Zahn begegnet grösseren und häufigeren als der andere.

Die Widerstände liegen in der Zähigkeit des Alveolendaches, in der Härte der den Zahn umschliessenden Knochenwände, durch welche der Zahn sich hindurch drängen muss. Dies gilt namentlich von den continuirlich wachsenden Zähnen. Ihre Wachsthumsvorgänge zeigen deutlich, dass die Pulpa nicht allein das producirende Organ ist, sondern auch die den Zahn forttreibende Kraft.

Die Drucklinien zeigen auf dem Querschnitt der Zähne bald vollständig geschlossene Ringe (Sus babirussa — Sus scrofa — Hund (Eckzahn), — Pferd — Rind — Kaninchen — Elephant (Stosszahn) bald nur Abschnitte eines solchen, Segmente eines Kreises. Aus der Vollständigkeit oder Unvollständigkeit dieser Ringe lässt sich ersehen ob der Zahn gleichmässig, in seinem ganzen Umfang, emporgehoben wurde, oder ob ruckweise bald die eine, bald die andere Seite herausgetrieben ward. Ein ausgezeichnetes Beispiel der zweiten Art ist der Zahn von Hippopotamus, bei dem die starken Linien (* Fig. 1 Taf. XIX) weder vollständige Ringe bilden noch streng symmetrisch angeordnet sind.

Ich habe meine Erfahrungen über Verlauf der Zahnröhren und die Entstehung der Drucklinien der Detailschilderung vorausgeschickt. Später soll noch von den Linien im Schmelz, von denen im Cement und von den Schraubenwindungen die Rede sein.

I.

Die Curven der Zahnkanälchen,

welche hauptsächlich den Perlmutterglanz des Zahnbeins bedingen.

In jedem Zahn verlaufen die Röhrchen von der Pulpahöhle zur Peripherie mehr oder weniger Sförmig gekrümmt, niemals ganz gerade. Sie beschreiben alle, namentlich auf Längsschliffen leicht zu sehen, eine schöne Wellenlinie. Diesen geschwungenen Verlauf übersieht man am besten mit der Loupe oder mit ganz schwachen Vergrösserungen (10—15 mal); denn die grossen und kleinen Knickungen treten bei solch schwacher Vergrösserung zurück und nur der grosse Zug dieser dichtgedrängten Röhrchen fällt ins Auge.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bei den Zähnen des Menschen lassen sich an diesem geschwungenen Verlauf meist zwei Wellenberge erkennen, welche an den Grenzen des Zahnbeines: in der Nähe der Pulpahöhle und an der äusseren Fläche am stärksten sind, dazwischen ist das langgezogene Wellenthal. Von diesen grossen Biegungen der Zahnkanälchen hängt der Atlasglanz ab, welcher namentlich bei trockenen Zähnen so auffallend ist. Je nach dem Winkel, in welchem diese Krümmungen zu dem Lichte sich befinden, erscheinen abwechselnd die Convexitäten und Concavitäten irisirend. Nachdem gerade dieses Verhalten der Zahnkanälchen in den neueren Schriften gar nicht mehr erwähnt wird, will ich an die schon oft erwähnte Arbeit von Retzius erinnern, der beim Menschen ganz besonders darauf aufmerksam machte: — »Nur an wenigen Stellen eines ausgebildeten Zahnes und nicht immer beständig an diesen, gehen die Röhren gerade von der Cavitas pulpae zur äusseren Fläche des Zahnes«. Als solche Stellen bezeichnet er die Spitze oder die Spitzen der Krone, ferner den Anfang des unteren Drittels der Wurzel. »An den übrigen Stellen scheinen die meisten, wenngleich mehr oder minder, die Form einer krummen Linie mit drei Biegungen anzunehmen, welche an mehreren Stellen dem griechischen (ς) gleichen. Die mittelste Biegung kehrt die Hörner nach unten oder innen, die äusseren Enden der Röhren wenden sich nach innen zur Achse des Zahnes oder auch zu dessen Kaufläche. Da wo die Röhren am kürzesten sind, nahe bei dem Wurzelende, sieht man nur die mittlere, nach der Kaufläche convexe Biegung. Bisweilen kommt auch eine vierte Biegung vor, welche natürlich dieselbe Richtung wie die zweite hat. Diese Biegung sah er nur an den inneren Enden der Röhren vorkommen, wo die letzte Schichte des Zahnbeins allmälig die Cavitas pulpae umschloss. In einigen Fällen findet man nach der Wurzel zu zwei Biegungen, dann wendet sich die äusserste Biegung nach der Wurzel zu. Am regelmässigsten findet man diese Curven in Scheibchen von Vorderzähnen, welche in der Richtung von vorn nach hinten (sagittal) geschnitten wurden. Minder regelmässig sind sie in den mehrspitzigen Backzähnen und vorzüglich in dem Theile, welcher die gegen die Zahnhöhle gerichtete Wand der Cavitas pulpae am Kronentheile des Zahnes bildet, an der Seite und an den Enden der Wurzeln. Bei Frontaldurchschnitten von Vorderzähnen nähern sich die meisten Röhren in der Krone mehr der lothrechten Stellung«.

Ich habe diese werthvollen, nahezu vergessenen Angaben des schwedischen Forschers hierhergesetzt, vor Allem weil sie bei dem überzeugenden Eindruck gewissenhaftester und treuester Schilderung meine Angabe nicht allein bestätigen, sondern bei dem Reichthum des beobachteten Materials auch erweitern. Namentlich gilt dieses in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bezug auf die Stärke und Zahl der grossen Biegungen, welche, wie aus diesen Angaben hervorgeht, zahlreichen Schwankungen unterliegen.

Diesen geschwungenen Verlauf, der sich durch die ganze Dicke des Zahnbeines erstreckt, finde ich, ausnahmslos bei allen gezahnten Thierclassen, von denen ich Präparate oder gelungene Zeichnungen vor mir habe, wie bei Affen, Nagern, Wiederkäuern, Pachydermen, Cetaceen und verschiedenen Fischen, nur ist der Grad der Krümmung nicht bei allen gleich. In den Backzähnen vom Pferd, Schwein, in dem Schneidezahn des Esels sind sie stärker, als in der Backzahnkrone des Menschen. Wem eine grössere Sammlung von Zahnpräparaten zur Verfügung steht, der wird noch mehr Varietäten finden, für uns genügt die Thatsache, dass diese Sförmige Biegung, diese Schlangenlinie, welche die Zahnröhre von der Pulpahöhle bis zur Grenze des Zahnbeines beschreibt, überall zu finden ist, möge die Schicht der Elfenbeinsubstanz verhältnissmässig dick sein, 3—4 Mm., wie in der Backzahnkrone des Menschen, oder kaum die Hälfte ausmessen, wie in der des Rindes oder anderer Thiere, und dass dieselbe bezüglich der Stärke, ihrer Krümmung, bei verschiedenen Thieren schwankt. Siehe Fig. 2 Taf. XIX.

Durchblättert man das ausgezeichnete Werk von Owen und lenkt die Aufmerksamkeit auf den Grad jener grossen Curven, so wird sich ein bedeutender Wechsel zeigen. Pl. 32 ist bei schwacher und starker Vergrösserung der Zahnschliff eines Sphaerodus abgebildet, bei dem die Zahnkanälchen nahezu gerade verlaufend dargestellt sind, dasselbe ist der Fall an der Abbildung eines Pharyngeal-Zahnes von Labrus (starke Vergrösserung), also zwei Beispiele, welche nur Spuren jener grossen Curven erkennen lassen, während sie auf dem Querschnitt des Zahnes von Halicore cetacea (Dygong) bei Sciurus, Castor, Mus, Pteromys, Arvicula, beim Pteropus, beim Menschen u. a. sofort in die Augen fallen.

Die Richtung der Curven ist nicht immer dieselbe. Bei vielen Thieren liegen sie in der sagittalen Ebene des Zahnes, z. B. beim Flusspferd, dem Stosszahne des Wildschweines, beim Menschen u. A. Sie verschwinden deshalb zum grössten Theil auf Querschnitten — und werden nur auf Längsschnitten des Zahnes zum Vorschein kommen. Siehe die schematische Figur 8[a] Taf. XIX. Bei anderen liegen diese Curven in der horizontalen Ebene, und diese sind nur auf den Querschnitten zu sehen — Figur 8[b]. Nashorn, Pferd (Backzahn), Rind (Backzahn), Myopotamus und Ratte.

Eine weitere bemerkenswerthe Thatsache liegt darin, dass, soweit ich beobachten konnte, bei allen Milchzähnen die Curven weit

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schwächer sind, während Ersatzzähne dieselben sehr ausgeprägt besitzen.

Noch auffallender ist der Umstand, dass die Curven nicht gleich sind in der Krone und in der Wurzel desselben Zahnes. Trotz des verhältnissmässig kürzeren Verlaufes der Röhren zeigen die Ersatzzähne viel stärkere Curven in der Wurzel als in der Krone. Gegen die Zahnhöhle zu wird nicht selten der ganze Verlauf unregelmässig. An den Wurzeln der Milchzähne sind dagegen nur schwache Biegungen nachzuweisen.

Dieser Unterschied ist vielleicht von Retzius zuerst beobachtet worden, der ihn sowohl bei dem Menschen als dem Pferde constatirte.

Owen nennt diese Curven der Zahnröhren »primary curvatures« im Gegensatz zu jenen kleinen Wellenlinien, Undulationen, welche ganz enorm an Zahl (200 auf $^1/_{10}$" nach Retzius) an jedem Schliff zu beobachten sind, und die er »secondary curvatures or gyrations« nennt.

Wir wissen jetzt, dass diese zahllosen »secondary gyrations« von ebenso vielen Schraubenwindungen herrühren, welche jedes Zahnröhrchen gleichzeitig mit den grossen Curven von der Zahnhöhle bis zur Peripherie des Zahnes beschreibt.

Die sogenannten Schreger'schen Linien fallen mit diesen grossen Biegungen der Röhren gröstentheils zusammen. Ich sage grösstentheils, denn spätere Autoren haben die Entdeckung anderer Linien, die durch Knickungen entstanden, ebenfalls Schreger zugeschrieben. Jedoch mit Unrecht. Im Schmelz hat er allerdings die Linien gesehen, welche so sehr auffallen und man könnte also diese nach seinem Namen nennen, aber für das Zahnbein ist es aus Zweckmässigkeitsgründen gerathen den Namen dieses Anatomen aus dem Spiel zu lassen.

Es steht nach dem Vorausgegangenen fest, dass die Zahnröhren aller Thiere einen geschwungenen Verlauf besitzen, d. h. Curven beschreiben. Aehnlich wie der in Fig. 2 Taf. XIX vom Erwachsenen und vom Kind abgebildete Verlauf der Zahnröhren verhält es sich mit den Zähnen einiger Affen [1]), mit Schneidezähnen von Mäusen, Ratten und Hunden. Stärkere Curven findet man nur ausnahmsweise bei den aufgeführten Zähnen.

Was den Menschen betrifft, so hat Retzius Streifen gesehen, welche fast parallel mit der innern Oberfläche des Zahnes liefen. Er hat nicht den geringsten Zweifel, dass sie durch »Parallel-Krümmungen« der Zahnröhren hervorgerufen werden. Auch ich fand in den Kronen

1) Wegen mangelhafter Bezeichnung der vorliegenden Präparate bin ich nicht im Stande, genauere Angaben zu machen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

menschlicher Zähne concentrische Streifen, die abgesehen von den durch Interglobularräume bedingten sog. Knickungen zugeschrieben werden müssen. Aber ich muss hinzusetzen, dass sie doch in der Krone sehr selten sind. Häufiger findet man sie in der Gegend des Halses oder an der Wurzel.

II.

Knickungen der Zahnröhren

wodurch Linien von verschiedener Stärke und Ausdehnung im Zahnbein entstehen.

Dass auf Querschnitten der Zähne concentrische Streifen oder Linien vorkommen, welche durch Knickung der Zahnröhren bedingt sind, ist längst constatirt. Aber ich muss ausdrücklich hervorheben, dass niemals eine scharfe Trennung gemacht wurde zwischen Curven, Knickungen und jenen feinen Undulationen, welche mit Schraubenwindungen zusammenhängen. Diese drei verschiedenen Dinge wurden oft zusammengeworfen und ein klares Verständniss bei sonst ausgezeichneten Leistungen in dieser Hinsicht nie erreicht[1]). In den folgenden Blättern sollen zunächst die Zähne einiger Thiere genau beschrieben werden, welche neben den Curven auch noch Knickungen an den Zahnröhren besitzen, bei denen also der Verlauf der Kanälchen complicirter ist, als bei der vorhergehenden Gruppe.

Am leichtesten orientirt man sich über diese Einzelheiten nach meiner Erfahrung an einem Querschnitt der Vorderzähne vom:

Hippopotamus.

Dort ziehen die Linien concentrisch um den Mittelpunct des Zahnes in immer weiteren Bogen (Fig. 1 Taf. XIX). Schon mit freiem Auge bemerkt man bei auffallendem und durchfallendem Lichte eine Menge dichtgedrängter Bogenstreifen, die aber nicht vollkommen geschlossen sind, keine vollständigen Ringe, wie beim Baumstamm darstellen. Bei

1) So hat z. B. Retzius nicht den geringsten Zweifel, dass die Knickungen oder Parallelbiegungen, wie er sie nennt, die oft schon mit freiem Auge wahrnehmbaren Linien bedingen durch Brechung der Lichtstrahlen; und Owen sagt, diese Linien seien hervorgebracht durch »strong and almost angular gyrations«; aber beide Bezeichnungen werden auch für jene kleinen Krümmungen angewendet, welche mit den Schraubengängen zusammenfallen. In dieser Hinsicht sind nur die getreuen Abbildungen dieser beiden Forscher zu verwerthen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Thieren, deren Zähne mehr plattgedrückte Cylinder darstellen, wie in diesem Falle, sind auch die Linien entsprechend geformt. Ihr Aussehen ist weiss bei auffallendem Licht, bei Sonnenlicht schimmert die in den Röhren eingeschlossene Luft silbern hervor. Schon bei 3maliger Vergrösserung lässt sich constatiren, wie aus der Schattirung des Grundes eine solche Linie erst als schmaler Streifen auftaucht. Allmälig an Dicke zunehmend umkreist sie in engerem oder weiterem Bogen das Centrum, um dann eben so allmälig sich wieder in der Grundsubstanz zu verlieren. Die Breite, bis zu welcher diese Linien anschwellen, ist ausserordentlich wechselnd; manche werden oft $^1/_4$ Mm. breit, andre überschreiten niemals $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ Mm. (siehe Fig. 1 Taf. XIX). Dabei folgen schmale Linien oft unmittelbar breiten, nicht selten reihen sich mehrere schmale aneinander, oder auf lange Strecken findet man nur breite. Eine bestimmte Regel in der Reihenfolge ist nicht zu entdecken an diesem Object. Auch der Abstand der Linien ist nicht gleich gross. In der inneren Hälfte des Zahnbeins, also in der zuletzt gebildeten Masse sind sie ausnahmslos zahlreicher und meist auch breiter, als an dem Rande, wo überdies die Continuität gestört ist (siehe Fig. 1* Taf. XIX).

Nimmt man stärkere Vergrösserungen ($^{30}/_1$—$^{40}/_1$), so wird deutlich, dass diese Linien durch starke Knickungen der Zahnröhren bedingt sind (Fig. 3 *K* Taf. XX). Sie gleichen Wellen, welche gegen das Ufer treiben. In ihrer Form zeigt sich grosser Wechsel. Aus der Ebene der Grundfläche erheben sie sich bald sanft ansteigend, bald steil. Die Welle ist bald nach dem Zahnrande hingeneigt, bald nach dem Centrum. Der Gipfel der Welle ist nicht immer gratförmig. Oft ist er abgeflacht, breit. Bei anderen ist der Gipfel eingesunken (Fig. 3* Taf. XX). Der complicirte Verlauf einer einzelnen Röhre wurde im idealen Durchschnitt (Fig. 2 Taf. XIX) schematisch dargestellt. Es geht daraus hervor:

1) Die Existenz zweier grosser Biegungen oder Curven.

2) Die Existenz zahlreicher starker Knickungen, die in den innersten Schichten vorkommen, starke Drucklinien *K* (Fig. 3 Taf. XX).

3) Die Existenz von Knickungen der feinsten Art, wie sie in der Nähe des Dentine-Randes angetroffen werden, feine Drucklinien *k* (Fig. 3 Taf. XX).

4) Linien, bedingt durch regelmässige Anordnung der Interglobularräume (Fig. 1 und Fig. 3 *i* Taf. XX).

Bei der Darstellung des schematischen Verlaufes blieb die Thatsache, dass die Röhren sich während ihres Verlaufes überdies korkzieherartig drehen, völlig unberücksichtigt.

Es ist wichtig die Thatsache wohl zu berücksichten, dass die Wel-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lenlinien bei Hippopotamus nicht geschlossene Kreise darstellen, sondern Segmente derselben; dass sie im Centrum des Zahnes häufiger sind als an der Peripherie, und dass die starken Knickungen bisweilen nur im Bereiche einzelner Radien vorkommen (Fig. 1* Taf. XIX). Es geht daraus hervor, dass die Bedingung, welche die Knickungen veranlasst, nicht gleichzeitig in dem ganzen Zahnumfang wirksam ist, sondern nur an einzelnen Stellen, in den äussern, älteren Schichten seltener zur Geltung kommt als in den inneren, jüngsten. Am Rande bieten sich ihr nur einzelne Angriffspuncte, im Centrum mehrere. Wie man sich an Fig. 1 überzeugen kann, ist der Contour des Zahnes von einer vielfach gebrochenen Fläche begrenzt, und deshalb der Querschnitt ein Polygon mit einwärts gekrümmten Linien. Wir sehen daraus: der erste dünne Mantel von Zahnbein, der auf der Pulpa entstand, hat schon die characteristische Gestalt der Zahnkrone. Die Gestalt der Pulpa ist demnach ein in Bindegewebe geformtes Modell des Zahnes.

Diese polygonale Form wiederholen in den äussersten Schichten sowohl die durch Interglobularräume entstandenen Linien als die feinen Knickungen der Zahnröhren (Fig. 1 *ik* Taf. XIX). In den tieferen Schichten des Zahnbeins verschwindet die Form des Polygons, und die starken Knickungen zeigen Segmente von Ellipsen. Wenn nun beim Flusspferd die Pulpa anfangs durch Flächen begrenzt ist, im Centrum des Zahnes aber die Winkel verschwinden, so musste später während des Wachsthumes der Dentine ein Zeitpunct kommen, in welchem die Gestalt der Pulpa einem von den Seiten zusammengedrückten Cylinder oder Kegel gleicht. Kommen nun während dieser zweiten Wachsthumsperiode die Widerstände und erzeugen Knickungen, so werden diese auf dem Querschnitt Kreise oder Kreisbogen beschreiben. In diesem Falle entsprechen sich jedoch die beiden Bogenhälften nicht, sei es, dass man den Zahn frontal oder sagittal theile. Die vordere Hälfte enthält zahlreichere Linien als die hintere.

Aus der Thatsache, dass die Linien im Innern des Zahnes zahlreicher sind, und, dass sie sich in beiden Hälften nicht völlig gleichen, ergeben sich folgende Schlüsse. Zunächst: dass sich die Widerstände steigern, welche der Zahn beim Hervordringen aus dem Knochenkanal zu überwinden hat, und dann, dass dieser Zahn später nicht ganz gleichmässig in die Höhe wächst wie in den ersten Perioden, wo die schwachen Knickungen die äussere Form getreu wiedergeben. Die Anordnung der starken Knickungen deutet darauf hin, dass der Zahn bald vorne, bald hinten, bald an irgend einer der beiden Seiten ruckweise aus dem Kieferkanal herausgedrängt wird. Die vordere Zahnhälfte wird mehr und stärkere Knickungen zeigen müssen als die hintere, weil die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

convexe Seite des Zahnes einen längeren Weg zurückzulegen hat, als die concave.

Backzahn vom Nashorn.

Der Verlauf der Zahnröhren zeigt viel Aehnlichkeit mit demjenigen im Schneidezahn vom Hippopotamus. Die starken Knickungen (Fig. 4 *K* Taf. XX) sind zahlreich und folgen sich in Abständen von $^1/_6$ Mm., doch sanfter an- und absteigend als beim Flusspferd und überdies breiter in denjenigen Schichten, welche genau untersucht werden konnten [1]). Retzius hat die Wurzel eines Backzahnes untersucht, und es lässt sich also kein ganz strenger Vergleich zwischen unsern Angaben machen, selbst dann nicht, wenn die Aufmerksamkeit auf dieselben Dinge gerichtet gewesen wäre. Retzius giebt nun an, die Röhren hätten zwar hier und dort eine äusserst schwache Biegung gezeigt, könnten jedoch nicht als undulirt betrachtet werden. Diese Bemerkung bezieht sich nicht auf die von mir beschriebenen Knickungen, sondern auf die kleinen Krümmungen welche mit den Schraubengängen zusammenfallen, die ich übrigens nicht geringer finden konnte als bei anderen Thieren. Wenn Retzius die leicht sichtbaren Knickungen nicht bemerkte, so rührt dies vielleicht daher, dass er mit zu starken Vergrösserungen untersuchte. Owen untersuchte ebenfalls die Krone eines Backzahnes auf sagittalen und horizontalen Schnitten. Er constatirt, dass die Zahnröhren »undulativ« seien und sogar stärker als beim Menschen und meint damit die Biegungen durch die Schraubentouren veranlasst. Ferner wird hervorgehoben, dass auch Curven zu finden seien, indem die Röhren zuerst mehr aufwärts und an den Rändern wieder abwärts streben. Die Curven (Fig. 2 Taf. XIX und Fig. 4 Taf. XX) sind in der That sehr ausgeprägt und stärker als beim Hippopotamus.

Was beide Autoren übereinstimmend hervorheben, und ich bestätigen kann, ist das Vorkommen von Interglobularräumen jeder Grösse. Namentlich betont Retzius eine dichte Schichte in der Wurzel,

1) Es war nicht möglich, von diesem Zahn einen Schnitt anzufertigen, der von der Pulpahöhle aus den Verlauf der Röhren enthalten hätte, nachdem nur die Krone in ihrem unteren Theil zur Verfügung stand. Es lässt sich also nicht angeben, ob die Wellen gegen die Mitte des Zahnes steiler werden und sich noch mehr häufen.

An dieser Stelle möchte ich daran erinnern, wie nothwendig es ist, bei der Herstellung und Beschreibung nicht allein die Species genau anzugeben, sondern auch möglichst genau zu bestimmen, welcher Zahnform das Präparat entnommen sei, ferner ob dem Unter- oder Oberkiefer, ob der rechten oder linken Kieferhälfte. Ich bedauere dass in dieser Hinsicht selbst meine eigenen Angaben lückenhaft bleiben mussten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Owen eine solche an der Krone. Siehe meine Fig. 4 Taf. XX. Eine Bemerkung Owen's ist schwer zu deuten. Er beschreibt ein System von Linien, die $^1/_3$ Mm. von einander entfernt doch weder von Krümmungen bedingt seien noch durch Interglobularräume, sondern durch ein Dunklerwerden des Zahnbeins, das ihm zu schiefen Rissen diesen Linien entlang zu gehören schien. Ich kann ausser den durch Knickungen der Zahnröhren bedingten Linien nur noch solche finden durch regelmässig angeordnete Interglobularräume hervorgebracht. Dieser Widerspruch liesse sich nur dadurch erklären, dass man annähme, Owen habe die bisweilen äusserst kleinen Interglobularräume für Verdunkelungen angesehen und nicht für das was wir heute unter ihnen verstehen. Dass er diese Verdunkelungen mit feinen Rissen vergleicht, kann meine Vermuthung nur bestätigen. In der That sind die Interglobularräume mitunter von einer Kleinheit, die mir sonst nirgends begegnete, freilich in demselben Object in der Nähe des Schmelzes auch wieder von einer besondern Grösse und Länge. Vielleicht hat gerade dieser Gegensatz in der Grösse dazu beigetragen, die feinsten Spalten einfach für Verdunkelungen zu halten. In der erwähnten Abbildung Owen's sind die Linien durch feine Puncte hergestellt.

Im Backzahn vom Rhinoceros findet man also zunächst:

Curven, die in der horizontalen Ebene liegen (beim Flusspferd liegen sie in der sagittalen)

Linien, durch starke Knickungen hervorgebracht (Fig. 4 *K* Taf. XX) und

Linien, bedingt durch regelmässig angeordnete Interglobularräume (Fig. 4 *i* Taf. XX).

Die Linien liegen trotz des verschiedenen Ursprunges zwischeneinander. Am Rande sind die letzteren bei diesem Thier sehr stark, aber sie finden sich auch in der Tiefe, und zwar bisweilen so, dass die Interglobularräume in die Kanälchen, welche die Kuppe einer Knickung überschreiten, eingestreut sind.

Elephas.

a) Stosszahn.

Ein Querschnitt vom Stosszahn des Elephanten zeigt folgende für uns wichtige Eigenthümlichkeiten:

1 Cm. breite concentrische Streifen, fünf bis sechs an der Zahl (mit freiem Auge sichtbar).

Feine concentrische Linien, durch schwache Knickungen bedingt, $^1/_{10}$ Mm. Abstand; am besten bei 6—10maliger Vergrösserung sichtbar.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die bekannten sich kreuzenden Linien, welche das guilochirte Aussehen bedingen.

Curven, wegen der grossen Ausdehnung des Zahnes sehr schwer nachzuweisen.

Der Querschnitt stellt bei genauerer Betrachtung nicht ein einfaches Oval dar, sondern ein Polygon.

Neben diesen deutlich vorspringenden und für das blosse Auge leicht erkennbaren Winkeln findet man bei 15—20maliger Vergrösserung die Oberfläche der substantia eburnea nicht glatt, sondern durch sanfte warzenförmige Hügel begrenzt.

Diese Eigenschaften des Elephanten-Stosszahnes wurden von mir schon in einer früheren Mittheilung (Stzgsbchte. der Münchener Academie Math. phys. Cl. November 1871 S. 243 u. ff.) besprochen und durch eine Tafel mit 4 Abbildungen erläutert. Ich habe nur Weniges hinzuzufügen.

Durch den eigenthümlichen complicirten Verlauf der Zahnröhren steht das Elfenbein scharf characterisirt da. — Soweit ich den mikroskopischen Bau der Zähne kenne, giebt es keinen, der durch gleiche Anordnung ausgezeichnet wäre. Die Röhren ziehen nicht nur in einer grossen Curve vom Centrum zur Peripherie und drehen sich dabei schraubenförmig, sie sind überdies in doppeltem Sinne von ihrem Verlauf abgelenkt: durch concentrische Knickungen und durch excentrische, die von entgegengesetzten Richtungen kommend, sich kreuzen. Schraubentouren, Curven, und concentrische Knickungen sind Eigenschaften, welche die Röhren wohl aller Zähne zeigen, die sich kreuzenden Knickungen sind aber nur dem echten Elfenbein eigenthümlich, sind ein ausschliessliches Merkmal dieser vielgeschätzten Substanz. Sie fehlen selbst den Backzähnen des Thieres, in deren substantia eburnea neben den Curven und Schraubentouren lediglich concentrische Knickungen vorkommen.

Die concentrischen feinen Knickungen sind zwar ausserordentlich zahlreich ($^1/_4$ Meter von der Spitze des Stosszahnes entfernt schätzt man ungefähr 300) aber die einzelne Knickung ist sehr niedrig. — Die Höhe beträgt vielleicht $^1/_{60}$ Mm. Der Reflex des Lichtes ist also sehr gering, doch immerhin so, dass er für ein geübtes Auge selbst ohne Loupe noch wahrnehmbar ist. Auf der Figur 1 der oben citirten Abhandlung, Querschnitt eines Elephantenzahnes in natürlicher Grösse — hat das photographische Objectiv manche dieser feinen Linien in die empfindliche Platte hineingezeichnet, und man wird sie in jedem Abdruck wiederfinden. Die Knickungen, welche die kreuzenden Linien bedingen, sind viel stärker, und durch eine grössere Entfernung, namentlich in den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Randschichten, deutlich markirt. Das Licht wird von den höchsten Stellen der Krümmungen stark reflectirt; die Wellenberge erscheinen weiss dort wo sie dem Lichte zugewendet sind, ebenso der Rücken der Welle, die abgewendeten Flächen liegen im Schatten und das Wellenthal ist dunkel. Der Lichteffect wechselt mit einer anderen Stellung der Lichtquelle. Dreht man das Präparat um 180° so werden die früher dunkeln Flächen hell.

Die concentrischen Knickungen entstehen unabhängig von den sich kreuzenden. Es geht dies daraus hervor, dass beide unbeirrt von einander ihre Bahnen verfolgen: die concentrischen kleinen Knickungen werden durch die andern gekreuzt, ohne dass sie von ihrem Cours abgelenkt würden.

Die sich kreuzenden starken Knickungen scheinen von den vorspringenden Kanten und den an sie angrenzenden Flächen des Zahnumfanges zu kommen. Sie streben in weiten Bogen nach dem Centrum. An den Durchkreuzungsstellen sind die Wellen am höchsten und haben breite Rücken. Die verbindenden Züge sind schmäler und niedriger. Wenn diese Krümmungen das Product von Druckwirkungen sind, so erklären sich leicht die eben aufgezählten Eigenschaften. Dort wo der Knotenpunct zweier Druckcurven sich befindet, ist der Druck am stärksten, und das Resultat der Knickung grösser als an jenen Stellen, wo derselbe sich mit einfacher Kraft fortpflanzt.

Die concentrischen Knickungen sind das Bild anderer Druckcurven, und deshalb können sie neben den andern vorkommen. Die beiden Bedingungen, sowohl jene, welche von den vorspringenden Kanten nach beiden Seiten gegen das Centrum wirkend, jene sich kreuzenden Wellen erzeugt, als jene, welche die concentrischen Knickungen hervorruft, bleiben während der Ablagerung des Zahnbeins stets dieselben.

Die concentrischen Linien, d. h. die concentrisch verlaufenden Knickungen, entsprechen ebenso viel kleinen Anstrengungen der Pulpa, den Zahn nach vorwärts zu treiben; die centripetalen sich kreuzenden Linien zeigen wohl den grossen Widerstand, welchen der Zahn bei seinem Weg aus dem langen, ihn fest umschliessenden Kieferrohr der vorwärtstreibenden Gewalt der Pulpa entgegensetzt.

b. Backzahn (Fig. 5 Taf. XX).

Die Zahnröhren zeigen:

Curven (sehr deutlich rechts und links oben, Fig. 5 Taf. XX) und die mit den Schraubentouren zusammenhängenden Undulationen.

Concentrische feine Linien = Knickungen (Fig. 5 *k* Taf. XX).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Concentrische starke Linien = starke Knickungen, *K* nicht sehr zahlreich.

Die concentrischen feinen Linien sind sehr dicht gedrängt. Die Abbildung giebt nur sehr wenige wieder, es konnte nur ein verschwindend kleiner Theil dargestellt werden. Ich muss hinzufügen, dass es sehr schwer ist, bei durchfallendem Licht den Nachweis zu liefern, dass die leichten Schattirungen der Grundsubstanz feinen Knickungen der Zahnröhren entsprechen. Hier ist die Anwendung des auffallenden Sonnenlichtes bei 60—120maliger Vergrösserung, ferner die Vergleichung mit den Zähnen vom Pferd, Wildschwein, Kaninchen und anderen massgebend. Nur so wird man die allmäligen Uebergänge finden von den starken Knickungen zu diesen schwer erkennbaren Ablenkungen von der geraden Linie.

Owen hat darauf aufmerksam gemacht, dass gegen die Spitze der Zahnkrone hin die Kanälchen mehr gerade verlaufen, während jene, welche nach der Seite hingehen, eine Curve beschreiben, die ziemlich stark ist und in sagittaler Ebene liegt. Ich kann hinzufügen, dass sich dieser mehr gerade Verlauf wiederholt an all jenen Stellen, wo das Zahnbein in schmalen Zungen zwischen den Schmelz vordringt. Dieselbe Erscheinung kehrt auch in den Backzähnen von Pferd und Rind wieder (Fig. 6 Taf. XXI). Ich habe diesen überraschenden Verlauf der Zahnkanälchen abgebildet, weil dadurch die seltsame Bahn deutlicher ins Auge springt, welche die Pulpa bei ihrem Rückzug von der äussersten Schichte des Zahnbeins einschlagen musste.

Was die Zahl der Zahnkanälchen auf einer gegebenen Fläche, also den Abstand zwischen zwei Röhren betrifft, ebenso die Dicke derselben, so muss ich Owen widersprechen, welcher meint, sie wären am Stoss- und Backzahn gleich. Im Backzahn sind sie weiter und ihr gegenseitiger Abstand grösser.

Pferd

Backzahn (Taf. XXI Fig. 6).

Schneide- und Backzähne des Pferdes zeigen im Verlaufe ihrer Röhren:

Curven und die den Schraubentouren entsprechenden Undulationen.

Kleine Knickungen und damit zusammenhängend feine Linien, ferner

Einige starke Knickungen, die man als deutliche Streifen meist schon mit freiem Auge oder doch bei geringen Vergrösserungen wahrnimmt.

In den Schneidezähnen vom Pferd (rechte Seite, Unterkiefer, 3 Jahre

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

alt, Querschnitt) finde ich in der Krone zwei deutliche Knickungen, von denen die eine $^1/_2$ Mm. vom Rande der Dentine entfernt, die andere dem Centrum zunächst liegt. Im Backzahn desselben Thieres (Querschliff, Krone) zeigen einzelne jener langgestreckten und buchtigen Zahnbeininseln, die durch starke Knickungen entstandenen Linien sehr deutlich, sie erreichen an Steilheit jene des Flusspferdes. Dies ist namentlich der Fall an dem Backzahn eines älteren Thieres, bei dem 6—8 starke Knickungen vorkommen (Taf. XXI Fig. 6 *K*). Die feinen Knickungen *k* finde ich 40—50 an der Zahl.

Im Backzahn des Pferdes finden sich also, ebenso wie im Backzahn des Elephanten, zwei Arten von Knickungen: grosse und kleine, beide concentrisch.

Aehnlich verhalten sich Schneide- und Backzähne vom Rind.

Sus scrofa.

a) Stosszahn (Taf. XXI Fig. 7).

Enthält Curven; Undulationen an den Röhren;

feine Linien, von schwachen Knickungen herrührend *k*; und

Linien, bedingt durch regelmässig angeordnete Interglobularräume *i*.

Es liess sich erwarten, dass man in diesem Zahn Knickungen finden würde, d. i. die Zeichen jener Widerstände, welche der in eine lange Röhre des Kiefers eingeschlossene Zahn zu überwinden hatte. Aber die Knickungen sind ausserordentlich schwach, so dass es des auffallenden Lichtes bedarf um sie als solche zu erkennen. Auf der schematischen Fig. 2 Taf. XIX sind diese kleinen Wellen angedeutet.

Die Linien, sowohl die durch Interglobularräume als die durch Knickungen bedingten, beschreiben, der Zahnform entsprechend, in den äussern Dentinlagen (Querschnitt) stumpfe Dreiecke, in den innern langgezogene Ovale. Die Ringe der feinen Knickungen sind vollständig geschlossen wie die eines Stammes, mit andern Worten: der Stosszahn des Ebers wird gleichmässig aus dem Kieferkanal herausgetrieben. Die feinen durch Knickung entstandenen Linien kommen durch die ganze Dicke der Dentine vor.

b) Backzahn, II. Molar, Unterkiefer rechts.

Leider stammen Stosszahn und Molar nicht von demselben Thier. Die Unterschiede sind jedoch auffallend genug, um sie als eine specifische Differenz hinzustellen. Es fehlen nämlich nicht nur die regelmässig angeordneten Interglobularräume, sondern auch alle jene concentrischen Knickungen, welche den Stosszahn characterisiren. Der Schnitt aus dem unteren Ende der Krone zeigt bei auffallendem

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Licht, dass die Kanälchen grosse Curven beschreiben, welche die Hauptbiegungen in der horizontalen Ebene besitzen. Mit der Entstehung dieser Curven waren die bei dem II. Molar vorkommenden Widerstände gebrochen.

Hund.

Schneidezahn, I. Molar und Eckzahn.

Die Zähne stammen aus dem Unterkiefer eines grossen Hundes. Schneidezahn und I. Molar zeigen die gewöhnlichen Curven, doch keine Linien durch Knickung entstanden und keine Interglobularräume. Der Eckzahn besitzt dagegen concentrische Linien, welche von leichten Knickungen herrühren. Ich zähle auf derjenigen Zahnhälfte, wo sie am stärksten ausgesprochen sind, ungefähr zwanzig, deren gegenseitiger Abstand von $^1/_6$—$^1/_{30}$ Mm. schwankt. Dieser Unterschied des Eckzahnes von dem Incisor und dem Molaren zeigt, dass auch er wie jener des Ebers während seines Wachsthums auf grössere Widerstände stösst als die übrigen.

Kaninchen.

Im Schneide- und Backzahn dieses Nagers (Oberkiefer) kommen neben den Curven Linien vor, bedingt durch leichte Knickungen. Die Linien sind feiner als die der Eckzähne von Hund und Eber. Der Backzahn des Kaninchens zeichnet sich durch eine grössere Anzahl von Linien vor dem Schneidezahn aus. Bei diesem fanden sie sich nur in den centralen Schichten, bei jenem durch die ganze Dicke des Zahnbeins. Die Befestigung des Backzahnes ist in der That bei diesen Thieren eine stärkere als jene des Schneidezahnes.

Es wäre ohne Zweifel wünschenswerth, das Verhalten der Zähne in dieser Hinsicht vollständiger zu kennen. Aber für unsere Zwecke genügt die Erfahrung, dass die Curve, d. h. der geringste Grad der Ablenkung, überall zu finden ist, wo regelmässig angeordnete Zahnröhren vorkommen, dass die Knickungen, d. h. die öfters wiederholten kleinen Ablenkungen, in den Zähnen vieler Thiere vollständig fehlen, dass sie bei andern nur in geringer Zahl auftreten, in andern Fällen dagegen stark ausgeprägt und ungemein häufig sind.

Am schärfsten und zahlreichsten sind sie bei Elephas, Hippopotamus, bei Rhizodus, Microdon, Megalosaurus, Plesiosaurus und Zeuglodon, weniger bei Iguanodon und Ichtyosaurus, dann folgen Walross,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Pferd und Esel, demnächst reihen sich an Sus scrofa und Sus babirussa, Kaninchen u. a. m.

Die vergleichende Untersuchung lehrt also, dass auch die Knickungen der Zahnröhren oder die dadurch bedingten Linien bei den verschiedensten Wirbelthieren vorkommen: bei Fisch, Amphibium und Säugethier.

Ueber den Wechsel, welchen diese Linien bei verschiedenen Zähnen desselben Individuums zeigen, hat man bisher noch keine Beobachtungen gemacht. Meine Erfahrungen hierüber sind nicht sehr bedeutend. Sie betreffen nur den Elephanten, das Pferd, das Wildschwein, den Hund und das Kaninchen. Aber sie genügen um den Satz zu erhärten, dass bei einem und demselben Individuum, in den Zähnen desselben Kiefers, bedeutende Schwankungen vorkommen. Die einen Zähne zeigen neben den Curven noch Linien, die anderen nicht. Aus den früheren Mittheilungen geht hervor, dass zwischen den Eckzähnen und Backzähnen desselben Thieres bedeutende Unterschiede in dieser Hinsicht herrschen.

Man hat bisher die Behauptung, dass die Bildung des Zahnes absatzweise vor sich gehe, und dass die Knickungen nichts anderes seien als die Zeichen eines häufig unterbrochenen Wachsthumes ohne Widerspruch gelten lassen, obwohl nirgends in der Literatur sich etwas finden lässt, das zu Gunsten angeführt worden wäre. Sie schien so einfach den ganzen Sachverhalt zu erklären, dass man fürchtete seine Zeit damit zu vergeuden, hätte man sie auch noch beweisen wollen. Fragt man aber, welchen Effect dann der fingirte häufig wiederkehrende Stillstand in der Ablagerung des Zahnbeines auf die darinliegenden Röhren üben würde, so ergiebt sich, dass eine Knickung derselben geradezu unmöglich ist, dass eine absatzweise Bildung nie die Veranlassung für die Zahnröhren geben kann, in concentrischen oder andern Richtungen sich zu krümmen. Wenn nach einem Stillstand in der Ausscheidung der Zahnbeinmasse die Production von Neuem beginnt, so ist doch nicht der leiseste Grund vorhanden zu einer Knickung der Zellenausläufer. Denn das neuangesetzte Stück würde beim Wiederbeginn der Ablagerung nothwendig in der geraden Richtung mit den vorher entstandenen sich verbinden. Ein solcher Stillstand könnte höchstens die Folge haben, dass sich Interglobularräume bilden, dass die Ablagerung der Kalksalze nicht gleichzeitig mit der des Zahnbeinknorpels beginnt, und dann im getrockneten Zahn Lücken sichtbar werden, weil der Zahnknorpel an diesen Stellen durch Maceration entfernt werden konnte (s. m. Abhdg. in dieser Ztsch. Bd. XX S. 84); aber nimmer wird sich eine verschiedene Richtung der Zahnröhren ergeben.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es wurde weiter oben bei der Beschreibung des Elephanten-Stosszahnes besonders hervorgehoben, dass die kleinen concentrisch verlaufenden Wellenbiegungen ausserordentlich häufig seien.

Wäre die geläufige Ansicht richtig, dass die Bildung des Zahnes absatzweise vor sich gehe, so müsste man annehmen, dass bei dem $1^1/_2'$ langen Stosszahn des Elephanten der Ablagerungsprocess schon 300 mal unterbrochen worden sei, denn ungefähr ebensoviel Wellenlinien lassen sich auf das deutlichste nachweisen. Beim Schneidezahn des Hippopotamus wäre dasselbe ungefähr 100 mal geschehen.

Bei den Affen und Menschen würde der Ablagerungsprocess nur sehr selten unterbrochen, denn wir finden in der Regel nur Curven, keine Linien durch Knickung entstanden. Wenn man nun bei den grossen Thieren annehmen muss, dass schon innerhalb eines Millimeters der Entwicklungsgang 6—10 mal, wie beim Flusspferd, oder 20—30 mal, wie beim Elephanten, unterbrochen worden sei, beim Menschen und anderen Thieren dagegen innerhalb 3—4 Mm niemals, so wird man nicht im Stande sein auch nur den leisesten Grund für diesen auffallenden Unterschied im Wachsthum ein und derselben Substanz aufzufinden. Berücksichtigt man ferner die Thatsache, dass die leichte geschwungene Linie, welche die Kanälchen im Zahn des Menschen, des Affen und namentlich des Rindes und in der Backzahnkrone des Schweines beschreiben, den Gedanken an eine stattgehabte Unterbrechung schwer aufkommen lassen, so wird der Werth dieser Ansicht auch für die starken Knickungen, in den Zähnen z. B. der grossen Pflanzenfresser, ebenfalls bedeutend heruntergedrückt.

Nun sehen wir ferner dass bei den Milchzähnen die Biegungen überhaupt geringer und spärlicher sind, als bei den bleibenden, und bei den letzteren die zuerst entstehenden Randschichten regelmässigeren Verlauf zeigen als die zuletzt angesetzten Zahnbeinmassen. Ja man weiss, dass in der Nähe der Pulpahöhle der Röhrenverlauf oft sogar alle Regelmässigkeit verliert. Das würde nach der früheren Anschauung zeigen, dass die Unterbrechung der Zahnbeinbildung beim Kind selten ist, häufiger beim Erwachsenen, dass sie bei letzterem in den Peripherien schwächer eintritt als im Centrum. Es wird unmöglich sein in dem Organismus irgend einen Grund zu entdecken, um diese Auffassung plausibel zu machen.

Auf welche Weise will man endlich irgend eine Erklärung dafür aufbringen, dass bei der einen Species oder Familie Linien zu finden sind bei der andern nicht; ja warum in ein und derselben Species die Zähne ohne die angebliche Schichtung gebaut sein können, andere sie dagegen besitzen; noch mehr — wie es komme, dass sich die Zähne

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

desselben Individuums ganz verschieden verhalten? Wenn die Zähne durch Schichtung entstehen, so müssen alle die Spuren dieses Vorganges an sich tragen. Es wird ferner für die Anhänger der Schichtungstheorie eine unmögliche Aufgabe sein, irgend einen plausibeln Grund zu entdecken für die Thatsache, dass die wirklichen Knickungen in ihren Abständen bei einem und demselben Zahn bedeutend schwanken und dass die Höhe der Wellen ungleich ist. Doch ich habe versucht experimentell den Nachweis zu liefern, dass bei der Ablagerung des Zahnbeines keine Krümmung der Kanälchen stattfinde, wenn die Ablagerung einer Masse periodisch unterbrochen wird. Die Bildung des Zahnbeines von der Pulpa aus, geschieht ganz ebenso wie der Ausfluss irgend einer Substanz, z. B. Sand, Thon, Eis, Blei aus einer kreisförmigen concentrischen Oeffnung.

v. Obermayer (Sitzbrcht. d. k. k. Wien. Acad. Nov. 1868 S. 6) hat Versuche über den Ausfluss von plastischem Thon gemacht, die ich mit der Modification wiederholte, dass die Ausflussöffnung nicht frei blieb, sondern mit einer dünnen Gummiplatte überzogen wurde. Es sollte damit der Widerstand nachgeahmt werden, welchen die Wände der Alveole dem Vordringen des Zahnbeines entgegensetzen. Dieses Verfahren hatte nur auf die Form des ausfliessenden Thoncylinders Einfluss, der eine mehr kolbige Gestalt erhielt, die wesentlichen Verhältnisse glichen vollständig jenen, die v. Obermayer ohne ein solches Hinderniss erhielt. Um die Art und Weise des Ausfliessens ersichtlich zu machen, habe ich, wie mein Vorgänger, in das Gefäss mit der Ausflussöffnung abwechselnd weisse und schwarze Schichten von Thon eingelegt, welche dann mit Hülfe einer hydraulischen Presse und des das ganze Gefäss erfüllenden Stempels herausgetrieben wurden. Den ausgetretenen Thoncylinder schneidet man mit einem befeuchteten Messer der Länge nach durch und übersieht nun auf welche Weise der hervorgetretene Strahl beschaffen ist. Die Figur 9 Taf. XX stellt einen solchen senkrecht durchgeschnittenen Strahl dar.

Die Vorgänge dabei sind kurz folgende: die Schicht 1 sinkt durch die ganze Breite der Ausflussöffnung in ihrer ursprünglichen Dicke herab und bleibt mit ihrem im Gefässe befindlichen Theil durch eine dünne Röhre in Verbindung. In die Schicht 1 tritt die nächste, gleichfalls in Gestalt einer nach aussen geschlossenen Röhre, in diese Schicht tritt eine nächste in ähnlicher Weise ein, so dass die Schichten sich concentrisch umgeben.

Vergleicht man das Wachsthum des Zahnes mit dem Verhalten des ausfliessenden Thones, so zeigt sich die grösste Aehnlichkeit. Auf der Papille bildet sich erst, wie jeder weiss, sei die Form des Zahnes welche

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sie wolle, sei es ein Milchzahn oder ein bleibender, stets eine Kappe, deren Rand dünn, scharf zuläuft, während das Dach dick ist. Jeder folgende Strahl der Zahnbeinsubstanz, welcher von der Oberfläche der Papille abfliesst, verhält sich genau so wie der vorige; er ist am stärksten auf der Kuppe, und wird gegen den Rand zu dünner. So fliessen immer neue Massen zu, welche die Krone verdicken und das Längenwachsthum dadurch bedingen, dass jede folgende Lage über den Rand der vorigen hinausreicht. Die Figur 10 Taf. XX giebt ein schematisches Bild von dem Wachsthum der Zähne. Dadurch erklären sich auch die concentrischen Leisten, welche man an der Oberfläche der Zähne von Mensch und Thier beobachtet. Der Abstand der Ringe zeigt an, wie gross das neuangesetzte Stück war. Diese Querleisten wurden von Leuwenhoek zuerst gesehen und sind von Retzius und Owen genauer berücksichtigt worden.

In Fig. 11 Taf. XXI ist ein menschlicher Zahn abgebildet mit den dichtstehenden Querleisten. Fig. 12 zeigt den eines Orang-Utang an welchem deutlich die einzelnen Querringe zu sehen sind, Fig. 13 ein Stück vom Stosszahne des wilden Ebers. Solche Querleisten kann man ferner sehen beim Hippopotamus, beim Moschus moschiferus (den Caninis), bei Cystophora (Genus Phocidae), beim Crocodil, beim Chimpansee, dem Hund, Sus babirussa, Stosszahn des Elephanten, Backzähnen von Mastodon u. A. m.

Diese Leisten wechseln, wie schon die Abbildungen zeigen, von der leichten kaum sichtbaren Linie, wie beim Menschen, bis zum starken rundlichen Vorsprung, den der Eber- oder Flusspferdezahn zeigt. Es kommen Unterschiede selbst innerhalb derselben Species vor. Manche menschliche Zähne zeigen sie mehr, andere weniger; an der Krone stehen sie dichter gedrängt als an den Wurzeln, sie sind deutlicher an den Ersatz- als an den Milchzähnen.

1) Diejenigen welche geneigt sind an eine Schichtung des Zahnbeines zu glauben, dürfen in jenen in einander gesteckten Thon- oder Zahnbeinschalen nicht einen Beweis für ihre Anschauung erblicken. Denn sobald der Thon ungefärbt ist verschwindet jede Spur einer Schichtung, und wenn im Zahnbein keine Röhren sich befänden, so fehlte wohl jede Veranlassung für eine schichtenweise Lagerung in die Schranken zu treten. Meine schematische Figur über den Ansatz des Zahnbeines soll nur zeigen, in welcher Weise derselbe geschieht. Wir sind durch unsere Erfahrung über den Ausfluss von Flüssigkeiten und über die Bildung des Zahnes nur zur Annahme berechtigt, dass die Vergrösserung nach gleichem Princip erfolge, dass die Beschleunigung des Ausflusses in den mittleren Theilen der ausfliessenden Schichten grösser ist als an den Rändern. Man wird sich im Zahn wie im Wasser tausende von Schichten vorstellen können, welche aufeinander folgen; nur bei den festen Stoffen, wie Thon, gelingt es durch die Färbung verschiedener Schichten die Strömungslinien der Theilchen zum Ausdruck zu bringen und zu verdeutlichen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Diese Querleisten sind also kein Hinderniss für die Annahme eines stetigen Zahnwachsthumes, sondern eine Bestätigung derselben.

In dem ganzen Wachsthum des Zahnes, soweit seine Entwicklungsgeschichte bis jetzt bekannt geworden ist, giebt es keinen Beweis für die Annahme, dass die continuirliche Ablagerung des Zahnbeines zu irgend einer Zeit auch nur einmal stillstehe, um später wieder zu beginnen, geschweige denn dass dies mehr als 300 mal der Fall sein könne wie beim Stosszahn des Elephanten. Wir dürfen im Gegentheil versichert sein, das langsame Wachsthum der Ersatzzahnkeime lässt es mit grosser Bestimmtheit vermuthen, dass, wenn einmal die Bildung des Zahnbeines beginnt, dieselbe auch ununterbrochen fortschreite. — Es mögen Abschnitte kommen, wo dies langsamer, andere, in denen es schneller geht, aber ein völliger Stillstand ist nicht zu beweisen. Wenn nun die gleichzeitig mit dem Zahn entstehenden Kanälchen Curven und Knickungen zeigen, so können diese nur durch Druck hervorgebracht sein. Dass beim Ausfliessen sowohl des Wassers wie anderer Substanzen ein Druck der innern Schichten gegen die äusseren stattfindet, ist selbstverständlich, ebenso dass die Papille den Zahn durch Druck weiter schiebt. Die Arbeit, welche dabei von der Papille geleistet wird, ist bei Milchzähnen geringer als bei den Ersatz- oder bleibenden Zähnen. In beiden Fällen ist die Papille nicht allein das producirende Organ, sondern auch die den Zahn forttreibende Kraft. Aber ein solcher gleichmässiger ununterbrochener Druck veranlasst noch immer keine Knickung der Kanälchen. Ich habe wenigstens nicht vermocht irgend etwas ähnliches dadurch zu Stande zu bringen, dass ich durch die Thonschichten, die Fortsätze der Zahnfasern nachahmend Leinenfäden einlegte. Unter den möglichen Arten von Druck, welche sich bei dem Hervorpressen eines Thoncylinders anwenden lassen, giebt es nur zwei. Den constanten gleichmässig fortwirkenden und den unterbrochenen. In beiden Fällen war das Resultat dasselbe. Die Fäden stacken gerade in dem Thon und zeigten keine Verschiebung. Man sieht, weder Schichtung, noch der stets gleichbleibende Druck, können eine Abweichung der gerade angelegten Kanälchen hervorbringen.

Vergegenwärtigen wir uns einmal den Process der Ablagerung!

Die Dentinzellen sammt ihren Ausläufern, welche wir uns wie Grashalme auf einem Hügel, der Pulpa, vorstellen können, tragen auf ihrer Oberfläche eine der Form des Hügels entsprechende Kappe von Zahnbein. Diese Kappe liegt jedoch nicht frei, sondern von den Wänden des Zahnsäckchens, und später von denen der Alveole umgeben. Die Ausläufer der Odontoblasten, die Zahnfasern, stecken in den noch kurzen Zahnröhren. Die Bildung dieser Kappe hatte nur einen sehr geringen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Widerstand zu überwinden, von dem wir wohl annehmen können er sei gleich Null. Denn über der Papille liegt das mit weichem Gallertgewebe gefüllte Schmelzorgan, das keinerlei Hinderniss für das Wachsthum des Zahnbeines bietet. Die Odontoblasten besitzen gerade oder gablich getheilte Fortsätze, um diese herum lagert sich die harte Substanz. Es existirt nirgends ein Grund für eine Knickung der Zahnröhren, *i. e.* für eine Verschiebung der Odontoblasten und deshalb finden wir überall in den Randschichten der substantia eburnea den geraden Verlauf durch keinerlei Knickung irgend geändert.

Um einer nun folgenden Menge neuen Zahnbeines Platz zu machen muss entweder die Pulpa zurückgedrängt, oder die Kappe von Zahnbein in die Höhe geschoben werden. In beiden Fällen, sowohl nach oben als unten, giebt es Widerstände: die Pulpa sitzt im Grund der Alveole fest, ein Ausweichen nach unten ist unmöglich, oben ist die Lage von Dentine am Vorrücken gehindert durch das Dach der Alveole. Während des ganzen Wachsthums, es mag von kurzer oder langer Dauer sein, kehren dieselben Widerstände immer wieder. Die knöchernen Wände der Alveole umschliessen den Zahn und er kann erst dann eine kleine Strecke vorrücken, nachdem er die starren Wände auseinander getrieben. Ist der gewonnene Raum ausgefüllt, so wiederholt sich dieselbe Scene. Am einleuchtendsten ist dies wohl bei den continuirlich wachsenden Zähnen, z. B. denen von Hippopotamus und ganz besonders beim Stosszahn des Elephanten. Sie stecken mit ihrem hinteren Ende in dem langen Knochenkanal des Kiefers und ein Vorrücken des kegelförmigen Zahnes ist nur denkbar, wenn er durch die Pulpa vorgeschoben wird, und wie ein Keil die harten Knochenwände auseinander treibt.

Es ist leicht einzusehen, dass bei einer solchen Art des Wachsthums die Widerstände sich an dem zartesten und verschiebbarsten Theile, an den Dentinzellen, den Odontoblasten vorzugsweise spiegeln werden. Treibt die Pulpa den Zahn nach vorwärts, so müssen auch diese zarten Gebilde in Action treten, sie sind es ja, welche diesen Druck auf das Zahnbein übertragen.

Nehmen wir unser Bild von dem dicht mit Grashalmen besetzten Hügel wieder auf und vergegenwärtigen wir uns, dass leicht biegsame Fäden eine schwere Decke von Zahnbein und Schmelz emporheben müssen, so lässt sich erwarten, dass die zarten Halme etwas nach der Seite ausweichen werden, wenn zu dem Gewichte der Decke, das sie ohne Störung ihrer Richtung zu heben im Stande waren noch ein neuer Widerstand kommt z. B. die Festigkeit der Alveolenwand, wodurch ihre Tragkraft über Gebühr angestrengt wird. Hört dieser vermehrte Druck wieder auf, so werden die Halme wieder in ihre frühere Richtung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zurückkehren können. Dies ist der Zustand, in dem sich die auf der Zahnpulpa dicht gedrängten Dentinzellen sammt ihren Fortsätzen zeitweise befinden. Auf ihnen ruht der ganze Zahn. Dieser soll vorwärts, aber die knöchernen Wände leisten Widerstand; die Gewalt von der Pulpa steigert sich allmälig, unter ihrem Einfluss erweitert sich allerdings der Knochenkanal, die Dentinzellen aber, welche wie tausend kleine Riesen sich dem Hinderniss entgegenstemmen, diese sonst geraden Träger neigen sich, werden nothwendig von der früheren Richtung abgelenkt und weichen etwas nach der Seite aus. Sie bringen das Hinderniss zum Weichen, und den gewonnenen Raum mauern sie sofort mit neuer Zahnmasse aus, aber die Wände um die Spitzen der Odontoblasten, die entsprechenden Abschnitte der Röhren haben dadurch eine schiefe Richtung bekommen. Hört dieser vermehrte Druck wieder auf, ist hinlänglich Raum gewonnen, so werden die Dentinzellen allmälig in ihre frühere Richtung wieder zurückkehren; denn jedes Emporcrücken, wir müssen dies aus der Existenz dieser Wellenlinien schliessen, wird mit solcher Energie ausgeführt, dass damit zugleich der Raum für den absteigenden Theil der Welle gewonnen ist, eben so gross, wie jener, welcher während des ansteigenden Druckes abgelagert wurde. Die Spitze des Wellenberges stellt den Zeitpunct dar, in welchem der Druck nach vorwärts am stärksten geworden war. Von dort aus markirt die nach dem Centrum abfallende Seite des Wellenberges die Rückkehr zur Ausgangsstellung.

Ein Blick auf die Fig. 2 Taf. XIX, 3 u. 4 Taf. XX wird meine Anschauung zu illustriren vermögen. Während des absteigenden Druckes kehren die Dentinzellen allmälig wieder in ihre frühere Stellung zurück, und nachdem sie auch während dieser Bewegung Zahnbein absondern, so können die nach der Maceration durch Luft sichtbar gewordenen Knickungen als eine Zeichenschrift betrachtet werden, die uns Grösse und Häufigkeit der Widerstände erzählt, welche der Zahn während seiner Entwicklung erfahren hat. Bei diesen Betrachtungen über die Arbeit der Odontoblasten und ihrer Fortsätze für das Vorwärtstreiben des Zahnes ist nicht zu übersehen, dass sie im Stande sind einen gewissen Druck auszuüben, ohne gerade Knickungen zu erfahren. Bei den Zähnen grösserer Thiere finden wir ausnahmslos in dem äusseren Drittel des Zahnes die Kanälchen gerade verlaufen, erst weiter nach innen treten die Knickungen auf (Fig. 3 u. 4 Taf. XX). Ein sehr bedeutender Theil des Zahnes wird also abgelagert und über seinen Ursprungsort geschoben, ohne dass die Odontoblasten wesentlich von ihrer Stellung abweichen. Die scharfen Knickungen, welche in den tieferen Schichten auftreten, zeigen deutlich, dass der Druck periodisch stärker

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

werden musste, um den jetzt grösser gewordenen Zahn vorwärts zu treiben oder die Hindernisse zu beseitigen, welche die umgebenden Theile seinem Vordringen entgegensetzen.

Nur der periodisch sich steigernde Druck wird Knickungen und Wellenlinien hervorbringen. Nehmen wir die Existenz der immer wiederkehrenden Druckschwankungen einstweilen als erwiesen an, und untersuchen wir von diesem Standpunct aus die Erscheinungen bei der Entwicklung des Zahnbeines.

4 Mm. Dicke soll neu hinzukommen; denken wir uns diese Schichte von hundert Odontoblasten geliefert, so brauchten sie nur während der einen Wellenhälfte sich gegen den stetig von aussen wachsenden Widerstand zu stemmen, um auch für die zweite Hälfte Raum zu gewinnen. Der Druck während der ersten Hälfte müsste genügen, um so viel von dem Widerstand leistenden Gewebe zur Resorption oder zum Weichen zu bringen, dass auch die zweite Hälfte Platz findet.

Diese Druckschwankungen könnten, das wird man zugeben müssen, den Effect haben, dass der Verlauf der Zahnröhrchen eine Knickung erfahre, der beginnende Druck würde den Odontoblasten und damit den Zahnröhren eine andere Richtung geben, welche nach dem Aufhören sich in die entgegengesetzte umwandelte.

Dass während des Vordringens der ersten Hälfte der oben angenommenen Schichte zugleich auch Platz geschafft werden könne für die zweite, wird bei der Natur des Materiales, gegen das der Druck gerichtet ist und bei der Art der Wachsthumsvorgänge im Organismus, kaum zu bestreiten sein. Die 4 Mm. dicke Schichte, deren Ablagerung wir oben genauer verfolgten, wurde nur beispielsweise so stark angenommen. In Wirklichkeit sind die Lager, welche die Erscheinungen dieses schwankenden Druckes uns anzeigen, viel dünner. Beim Walross oft 6—8 Wellenbiegungen auf den Millimeter, mit anderen Worten 6—8 Druckschwankungen; beim Hirscheber ebenso viele, im Stosszahn des Elephanten 20—30.

Die Einfachheit der Knickungen hört sehr häufig gegen das Centrum der Dentine (Schneidezahn des Hippopotamus Fig. 2* Taf. XIX) ebenso gegen die Wurzel hin auf, die Wellenberge erhalten einen breiten Rücken, der bisweilen sogar mehrere Einsenkungen zeigt. (S. Fig. 3* Taf. XX.) Diese Form der Wellen zeigt an, dass der Druck mit der Grösse und Dicke des Zahnes länger anhält und steigt. Der Druck muss sogar auf einer gewissen Höhe fortdauern um die starre Alveole zu erweitern. Den anhaltenden Druck zeigt der breite Rücken des Wellenberges. Die leichten Einsenkungen deuten darauf hin, dass selbst während dieses

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lange dauernden gesteigerten Druckes geringe Schwankungen eintreten können; diesen Zeichen eines lange stattgehabten Druckes folgen jene eines längeren gleichmässigen Wachsthums, nämlich die Wellenthäler (Fig. 2 Taf. XIX, Fig. 3 u. 4 Taf. XX).

Halten wir diese beiden Erscheinungen, die Wellenberge und die Wellenthäler zusammen, so können wir daraus lernen wie häufig der Druck sich wiederholte, ob er stets gleich oder in seiner Grösse Schwankungen unterworfen war. Wie lange die Zeit währte, bis er sich wiederholte, ob dies regelmässig geschah oder unregelmässig. Auch über diese Verhältnisse wird ein Blick auf die Figuren eine schnelle Uebersicht geben. Der Raum zwischen zwei Wellen giebt die Zeitdauer, innerhalb welcher das Vordringen des Zahnes ohne wesentliche Hindernisse stattfand und kein vermehrter Druck die Dentinzellen nöthigte ihre gerade Linie zu verlassen. Die Höhe der Wellen drückt die Grösse und Dauer des Widerstandes aus. War derselbe einfach vermehrt, um nach kurzer Zeit auf ein früheres Mass zurückzukehren, so erscheint eine einfache Knickung, die je nach den Modificationen höher oder niedriger sein kann. Wellen, wie sie in Fig. 2* Taf. XIX vorkommen, mit doppeltem Rücken, entstanden wie schon erwähnt dadurch, dass der gesteigerte Druck etwas nachliess, um bald wieder zu seiner früheren Höhe anzusteigen. In solchen Fällen bedurfte es einer besonderen Anstrengung, um die festen Wände der Alveole entsprechend auseinander zu treiben.

Es ist wohl zu beachten, dass eine Aenderung in der Richtung des Röhrenverlaufes erst dann beginnt, nachdem der Mantel eine gewisse Ausdehnung erhalten hat, dass die Knickungen erst niedrig sind, und gegen die innern Dentinschichten an Höhe und Ausdehnung zunehmen.

Alle diese Erscheinungen lassen sich verstehen bei der Annahme von Druckschwankungen während der Entwicklung des Zahnes. In den ersten Stadien, so lange die vermehrten Widerstände fehlen, bemerkt man keine Knickungen, erst später, allmälig treten sie auf und steigern sich bis zu einem bedeutenden Grade. Die schematische Figur Taf. XIX illustrirt diese Auffassung. An allen dort dargestellten Zahnröhren verschiedener, oft weit in der Organisation von einander abstehenden Thiere, zeigt sich ohne Ausnahme, dass in den zuerst abgelagerten Schichten noch keine Knickungen vorkommen, dass dieselben anfangs niedrig sind, später jedoch mit der Vermehrung der Widerstände an Höhe und Ausdehnung zunehmen. Es ist unnöthig, weitere Details in dieser Hinsicht anzuführen. Die Abbildungen vom Flusspferd, Nashorn, vom Backzahn des Elephanten und Pferdes bestätigen dieses Verhalten zur Genüge.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es giebt unter den Knickungen der Zahnröhren noch andere Eigenthümlichkeiten, welche direct auf Druckwirkungen hinweisen. Beim Stosszahn des Elephanten wurde darauf aufmerksam gemacht, wie die centripetal sich kreuzenden Linien oder guillochirten Schichten von ganz bestimmten Puncten und nach beiden Seiten divergirend auseinander treten. (Stzbchte. d. M. Acad. Nov. 1871.) Hier von Schichtung zu sprechen wird gewiss Niemand in den Sinn kommen; dagegen hat die Annahme, dass Druckwirkungen im Spiele sind, sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich. Wer sich die höchst interessanten Forschungen von H. Meyer über die Architectur der Spongiosa[1]) und des Resultates erinnert, wonach das spongiöse Knochengefüge nicht ein regelloses Gewirre von Knochenblättchen ist, sondern ein nach mechanischen und statischen Verhältnissen und durch Nothwendigkeit bedingtes Netz von Stützbalken und Strebepfeilern darstellt, der wird bei der Betrachtung der Architectonik des Elephantenzahnes auf dieselbe Ansicht verfallen.

Nun ist es H. Meyer selbst und J. Wolf[2]) möglich gewesen, die Uebereinstimmung der architectonischen Ordnung der Spongiosa mit den theoretischen Linien der graphischen Statik klar darzuthun. Der Mathematiker Culman hatte durch sein epochemachendes Werk, »die graphische Statik« den Weg geebnet. Für den Beweis, dass die centripetal-verlaufenden Wellenlinien des Elephantenzahnes aus denselben mechanischen Ursachen hervorgehen, giebt es leider noch keine mathemathischen Beweise. Die Erfahrungen über die Wirkungen der Kräfte von innen nach aussen, z. B. des Pulvers auf die Kanonenröhre, des Dampfes auf die Wände des Kessels konnten noch nicht unter mathemathische und graphisch darstellbare Gesichtspuncte gebracht werden, wie dies bei den entgegengesetzten Druckwirkungen, von aussen nach innen — bei Gewölben — Brücken etc. der Fall ist. Die Anhaltspuncte, welche ich für meine Ansicht habe, lassen sich nicht einmal experimentell feststellen. — Bis dieser Zeitpunct gekommen ist, will ich wenigstens nichts unterlassen beizubringen, was für spätere Untersuchungen dieser Art dienlich sein könnte.

Die Architectur des Elfenbeines steht ebenso vereinzelt da, wie dessen hoher Grad von Elasticität. Unwillkürlich wird man zwischen diesen beiden Eigenschaften einen gewissen Zusammenhang vermuthen, besonders seit man weiss, dass die Tragfähigkeit der Knochen abhängt

1) Reicherts und du Bois-Reymond's Archiv 1867.

2) Ueber die innere Architectur der Knochen in ihrer Bedeutung für die Frage vom Knochenwachsthum — Virchow's Archiv Bd. 50, 1870.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von einer bestimmten Architectonik der Spongiosa. Denn es liegt nahe in diesen nach allen Richtungen centripetal laufenden und sich durchkreuzenden Wellen ein Mittel zu sehen, den Stoss, den zum Beispiel die Billardkugel erhält, nach allen Seiten gleichmässig fortzutragen. Die in drei verschiedenen vertikalen Ebenen gekrümmter Zahnkanälchen und die dazwischen liegende Substanz, welche ja in ganz denselben Richtungen wie die Zahnkanälchen gekrümmt ist, wird sich um so leichter in noch höherem Grade verschieben können, je zahlreicher die schon geebneten Pfade sind, auf denen der Druck fortschreiten muss.

Wenn das Gitterwerk einer Eisenbrücke, und das der Spongiosa und die Druckcurven der Krahnen dieselbe Aufgabe haben, dann scheinen mir die Linien im Elfenbein eine ähnliche Leistung zu besitzen, wenn der Grund ihrer Entstehung auch ein ganz anderer war. Entstanden sind diese Wellenlinien während der Entwicklung des Zahnes und während eines Druckes, der von innen nach aussen wirkte. Während die Pulpa das Elfenbein ablagerte musste gleichzeitig der Zahn aus dem Kiefer hervorgeschoben werden, so wie dies schon früher ausführlich geschildert wurde; ein ganz bedeutender Druck scheint hier stattzuhaben und zwar ein continuirlicher von den Kanten nach dem Centrum zu, und ein unterbrochener, so wie dies die concentrischen Linien erkennen lassen. (Bei allen andern Zähnen findet man die Zahnröhren bekanntlich nur in concentrischen Ringen gekrümmt.) Dieselbe Anordnung des Elfenbeines, welche während der Entwicklung entstanden ist, unter dem Einfluss eines von innen nach aussen gehenden Druckes, kann später dazu dienen, um einem Stoss vermehrten Widerstand zu leisten, der von aussen nach innen wirkt. Ich habe diesen Umstand betont um darauf hinzudeuten, dass die Elasticität, soweit sie von der Anordnung der Masse abhängt, ein zufälliges Resultat der Entwicklung ist.

Meine Anschauung, dass diese Wellenlinien dieselbe Bedeutung wie Druckcurven haben, wird noch durch einen anderen Umstand, wie ich glaube, erheblich gestützt, nämlich durch eine Analogie zwischen der Anordnung der Durchkreuzungsstellen der Wellen im Elfenbein und denen des Knochens. Es ist eine auffallende Erscheinung, dass die Wellen dort, wo sie sich, von verschiedenen Richtungen kommend, durchkreuzen, die grösste Höhe und Breite haben. (S. die Fig. 4 der Sitsbchte. v. Nov. 1871.) Wenn man nun im Bau der Spongiosa eine Verdickung des Gitterwerkes an den Knotenpuncten constatiren könnte, wenn ausnahmslos dort, wo sich die Balken kreuzen, von der sonst so sparsamen Natur mehr Material angehäuft worden wäre, so dürfte man doch mit einigem Recht vermuthen, dass dies aus mechanischen Grün-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

den, der grösseren Tragfähigkeit wegen, geschehen sei. In der That ist dies der Fall. An den photographischen Abbildungen der vortrefflichen Durchschnitte der Spongiosa, welche J. Wolf seiner Abhandlung beigegeben hat lässt sich leicht constatiren, dass an den Durchkreuzungspuncten die Knochenmasse stets verdickt ist[1]; (namentlich Taf. II Fig. 1 frontaler central gelegener Längsschnitt vom Femur einer

1) Fachmänner auf dem Gebiet der Mechanik werden zunächst zu entscheiden haben, ob die Verdickung der Durchkreuzungspuncte in der That von einiger Wichtigkeit für die Tragfähigkeit der Knochen ist. Wenn dem so ist — so könnte die Anwendung dieses Principes für die Construction vielleicht einige Vortheile gewähren. —

Die Zähne der übrigen Thiergeschlechter, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, besitzen nur concentrische Anordnung der Krümmungen. Das interessanteste Bild bieten, soweit ich diese Organe kenne, die Zähne des Flusspferdes. Die Oberfläche dieser Zähne ist mitunter stark canellirt, das mir zu Gebote stehende Exemplar war freilich gerade darin nicht besonders ausgezeichnet, aber vielleicht wiegt dann die Thatsache um so mehr, dass der Einfluss der äusseren Form des Zahnes sich bis in die tiefern Schichten des Zahnbeines hinein abspiegelt. Der Querschnitt stellt wie beim Elephanten ein Polygon dar, wie dort sind die Ränder zwischen zwei vorspringenden Winkeln eingebogen, gleich dem Querschnitt einer dorischen Säule. Das Polygon ist von unregelmässigen Linien begrenzt, die Winkel sind oft weit von einander entfernt — oft sehr nahe an einander gerückt. Die äussern Schichten des Zahnes (zuerst entstanden) besitzen die polygonale Form; sie füllt sich allmälig mit Dentine. Bei diesem Ausfüllungsprocess bleiben die Zahnkanälchen in den zuerst abgelagerten Schichten ohne scharfe Knickungen, man kann kurzweg sagen, sie verlaufen gerade. Die ziemlich dichtgedrängten Linien, welche man dort findet, rühren hauptsächlich von Interglobularräumen her. Die ersten Reihen der Interglobularräume folgen scharf dem zackigen Rand der Zahnbeinoberfläche. Allmälig werden jedoch die Winkel stumpfer und man bemerkt nurmehr eine leichte Ausbuchtung — (Fig. 1 Taf. XIX). Im Verlauf der Zahnkanälchen treten, $^1/_2$ Cm. von der Oberfläche des Zahnbeines entfernt, die ersten starken Knickungen auf. Sie stellen 1 — 2 Mm. lange Streifen dar, die an beiden Enden spitz auslaufen, dagegen in der Mitte breit sind (Fig. 1* Taf. XIX). Ueberdies sind sie leicht gekrümmt — Segmente eines Kreises, dessen Centrum mit dem des Querschnittes zusammenfällt. Die ersten Segmente sind kürzer, die folgenden werden allmälig länger, und umziehen dann in halben Bogen mitunter sogar zu dreiviertel den Mittelpunct. (Siehe Fig. 1.)

Es ist nun characteristisch und für meine Ansicht von grossem Gewicht, dass die ersten Spuren der winklig geknickten Röhren nicht den vorspringenden Winkeln entsprechen, sondern den einspringenden Flächen, d. h. die erste Beschränkung des Raumes für weitere Ablagerung der Zahnbeinmassen und namentlich die Stützpuncte für das Hinausschieben des Zahnes aus dem Grund der Alveole findet die Pulpa an den einspringenden Flächen; dort stemmt sie sich, wenn sie die Last vorwärts bewegt.

Gegen die Mitte des Zahnes hört allmälig der Unterschied zwischen vorspringenden Winkeln und einspringenden Flächen auf, die Unebenheiten sind ausgeglichen, die Innenwand ist jetzt gleichmässig, und nun stellen die Knickungen, welche für uns die Anstrengungen der Pulpa, den Zahn stückweise vorzuschieben

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

26jährigen Frau. Fig. 8 Frontaler durch das obere Ende des Unterschenkels einer 28jährigen Frau. Fig. 10 Sagittaler Längsschnitt durch die Mitte des Calcaneus eines 35jährigen Mannes). Diese Verdickungen der Balken in der Spongiosa, welche bisher übersehen wurden, wiederholen sich in den centripetalen Wellenlinien des Elfenbeines, und dieser Umstand hat meine Ueberzeugung von ihrem mechanischen Ursprung und der mechanischen Bedeutung wesentlich bestärkt.

Endlich ist noch ein Moment hervorzuheben. Die Untersuchungen der graphischen Statik ergeben, dass Druck- und Zugcurven sich rechtwinklig schneiden müssen. Dies ist auch bei den Wellenlinien im Elfenbein der Fall. Aber diese Anordnung ergiebt sich bei einem Druck, der von innen nach aussen wirkt, die des Knochens oder anderer Constructionen aber bei umgekehrter Belastung: dasselbe Resultat, wenn auch unter verschiedenen Umständen; so darf man bei ähnlichem Bau wohl auf ähnliche Functionen schliessen!

Wenn ich die im Elfenbein vorkommenden Krümmungen der Zahnröhren, überhaupt die mechanische Anordnung der Masse in einen gewissen Zusammenhang zu bringen suchte mit der bekannten Elasticität des Elfenbeines, so bin ich doch überzeugt, dass dies nur der eine der Factoren ist. Der Andere, vielleicht nicht minder wichtige, liegt in der chemischen Zusammensetzung. — —

Stark entwickelte und dicht gehäufte Knickungen, wie ich sie vom Hippopotamus, Rhinoceros und dem Stosszahn des Elephanten abgebildet, vom Walross, Halicore dygong, Zeuglodon, Physeter macrocephalus, vom Crocodilus sclerops und Lucius; Sparus Rondeleti und von einem Plesiosaurus theils nach Präparaten, theils nach Abbildungen von Owen und den Angaben von Retzius kenne, kommen also bei Kalt- und Warmblütern vor; sie sind nicht abhängig von der Grösse des Zahnes, denn die Zähne des Plesiosaurus Hawkinsii Owen Pl. 74 übertreffen an Länge nicht die Eckzähne des Menschen und haben doch starke Knickungen, welche die des Menschen nie aufweisen, auch das

registriren, grosse Bogen dar; Beim Flusspferd sind sie jedoch keine vollständigen Ringe wie beim Elephanten. Die eine Hälfte des Querschnittes hat, wie schon bei der speciellen Beschreibung hervorgehoben wurde, schwächere Bogenlinien, als die andere; das rührt wohl von der starken Krümmung des Zahnes her, wobei die Convexität einen grösseren Weg zu beschreiben hat während sie aus dem Kiefer herauswächst, als die concave Seite.

Man wird zugeben müssen, dass die Ansicht einer schichtenweisen Ablagerung rathlos vor diesen Erscheinungen steht, während sie sich ungezwungen erklären lassen, sobald man den zweifellos bei der Bildung des Zahnes mitwirkenden und periodisch gesteigerten Druck damit in Zusammenhang bringt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lebenslängliche Wachsthum ist es nicht, was unter allen Umständen die starken Knickungen hervorruft. Die Hauer des wilden Ebers besitzen solch feine und unbedeutende Knickungen, dass es die grösste Mühe macht sie nachzuweisen.

Die Beschaffenheit des Kiefers, die Festigkeit mit der die Zähne umschlossen sind, scheinen die hauptsächlich bedingenden Momente.

Meine Annahme, dass die Knickungen der Zahnröhren hervorgebracht werden durch einen periodisch gesteigerten Druck *i. e.* durch Druckschwankungen, wird eine bedeutende Stütze dadurch erfahren, wenn sich die Existenz ähnlicher Linien auch in dem Schmelz und Cement nachweisen lässt. Denn man wird voraussetzen müssen, dass diese Druckschwankungen nicht auf die substantia eburnea beschränkt bleiben können, sondern auch auf die übrigen Zahnsubstanzen ihren Einfluss üben müssen.

III.

Linien in der Substantia adamantinae.

Die Handbücher erwähnen seit Retzius's Mittheilungen bräunlicher Linien, oder farbig gleichlaufend übereinander liegender Streifen. Die Linien sind fein, dicht übereinander gelagert; doch ist der Abstand nicht immer gleich; einzelne treten stärker hervor, andere schwächer.

Schreger fand, dass der Schmelz in horizontalen Schnittflächen drei verschiedene Bänder oder Schichten bilde, eine äussere graue, eine milchweisse und eine innere wiederum graue Schicht. Schon Retzius hat dazu bemerkt, diese seien nur die gröberen braunen schon mit blossem Auge sichtbaren Striche, oder vielleicht mehrere, die zu dicht gedrängt beisammen stünden um einzeln bemerkbar zu sein. Das ist in der That die einzig richtige Deutung.

An Querschnitten der schmelzfaltigen Zähne giebt sich leicht Gelegenheit, die mit der Oberfläche des Zahnes parallelen Linien im Schmelz zu constatiren. Aber auch bei den einfachen Zähnen macht der Nachweis dieser Linien nicht die geringsten Schwierigkeiten. Im Stoss- und Backzahn des Ebers (siehe Fig. 7 Taf. XXI), sind sie scharf gezeichnet, als wären sie mit dem Griffel gezogen, jedoch dichter im ersteren als im letzteren. Bei dem Menschen, dem Hund, Affen, bei den Nagern, im Backzahn des Elephanten, beim Luchs, Schaf, Schwein, Pferd, Rind, überall findet man diese Linien, die auch jedes Handbuch abbildet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Dieselben Linien findet man auf Längsschnitten, und es stellt sich dabei deutlich heraus, dass sie mit denen auf dem Querschnitt identisch sind. Ueber den Verlauf auf dem Längsschnitt, möge er nun sagittal oder frontal angefertigt sein, lässt sich nur sagen, dass diese Linien der Oberfläche der Krone parallel sind. Man darf nicht vergessen, dass der Schmelz auf die Oberfläche des Zahnbeines von oben deponirt wird, dass gleich von Anfang an der Ueberzug über die Ränder der Mahlfläche auf die Seitenflächen übergeht, und dort mit der zunehmenden Länge des Zahnes schliesslich bis zum Hals weiter schreitet. Eine triviale Ausdrucksweise, die aber den Hergang am besten bezeichnet, würde sagen, dass immer grössere, d. h. längere und weitere Mützen über die Zahnkrone von oben darauf gesetzt werden, bis die letzte nicht blos alle vorausgegangenen zudeckt, sondern auch bis an den Hals herunterreicht. Dieser Vergleich soll nur darauf hinweisen, dass die Ablagerung des Schmelzes über die Ränder der Mahlfläche fortschreitet.

Es soll durch ihn weder die Entstehungsart der Linien angedeutet werden, noch die Vermuthung entstehen, als ob die Ablagerung eine Unterbrechung erleide. In dem Wachsthum der Prismen giebt es keinen Stillstand.

Man kann diese Vorstellung noch weiter festhalten, weil sie die parallelen Riffe erklären hilft, welche man auf der Oberfläche aller Zähne findet. Die Ablagerung des Schmelzes geschieht ebenso wie die des Zahnbeines: nach den Regeln des durch eine Oeffnung ausströmenden Thoncylinders. Die feinen oder groben Querlinien sind Marken, welche andeuten, um wie viel die folgende Schmelzlage länger war als die vorausgehende.

Diese Eigenthümlichkeit des Schmelzüberzuges hat nach Retzius Angabe schon Leuwenhoek genau gesehen. Es sind beim Menschen fast immer zarte dicht beisammenstehende Querleisten, welche ringförmig die Krone umziehen in Fig. 11 Taf. XXI, in Fig. 12 Taf. XXI vom Orang Utang, wo sie stärker eingeprägte ringförmige Wülste darstellen. Auf dem Stosszahn des Ebers (Fig. 13 Taf. XXI) treten sie noch stärker hervor. Beim Durchblättern des Owen'schen Werkes findet man diese Querstreifen ebenfalls durch die Zeichnung deutlich hervorgehoben. Man erkennt sie an den Zähnen des Mastodon, Hippopotamus, der Suidae, der Phocidae, der grössern Jeliden und Musteliden, der Caniden u. s. w.

Czermak hat beim Menschen, auf dem dritten Theil einer Linie nahe an der Schmelzgrenze 24—28, weiter oben 10—12, endlich ganz oben 4—6 gezählt. Man untersucht dieses Verhältniss am besten bei auffallendem Licht mit einer starken Loupe.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Man betrachtet allgemein die dunkeln Linien als den Ausdruck der schichtenweisen Bildung des Schmelzes; (die Behauptung, ein Farbstoff sei der Grund dieser Streifen, fand niemals ausdrückliche Zustimmung) aber man vergisst, dass eine schichtenweise Bildung des Schmelzes durch Nichts zu beweisen ist, dass dagegen die ganze Anordnung der Elemente ebenso wie im Zahnbein für einen ununterbrochenen Aufbau des ganzen Gebildes spricht.

Owen[1]) und Czermak haben schon längst[2]) den wahren Grund dieser braunen Streifen gefunden, aber man hat diese Angaben entweder nicht berücksichtigt oder falsch verstanden. Der Letztere hat richtig bemerkt: »Die Streifen werden hervorgebracht durch regelmässige Zickzackbiegungen der Schmelzprismen, indem die Lichtstrahlen unter verschiedenen Winkeln auf die verschieden geneigten Flächen der Prismen auffallen und daher bald in das Auge des Beobachters reflectirt werden, bald keine in dieser Richtung reflectirende Oberfläche finden, wodurch dann nothwendig helle und dunkle Streifen entstehen müssen. Würden alle Prismen gerade gestreckt auf dem kürzesten Weg von der innern zur äussern Oberfläche des Schmelzes ziehen und niemals gruppenweise einen gebogenen Verlauf haben, so könnten solche helle und dunkle Stellen gar nicht entstehen. Der Wechsel des Lichtes — auffallend oder durchgehend — bei einer Drehung um einen Winkel von 180° zeigt, dass die verschiedene Neigung der Prismen gegen das Licht auch verschiedene Anordnung der hellen und dunklen Streifen hervorruft«.

Czermak zählte bei menschlichen Zähnen ungefähr 55 helle und ebensoviele dunkle Streifen, also 55 Knickungen der Schmelzprismen.

Dass die Schmelzprismen in ihrem Verlauf regelmässige Knickungen zeigen, hat schon Retzius[3]) gesehen, und nach ihm Owen[4]) constatirt, aber die Existenz dieser »Parallelbiegungen« ist, soweit ich die Literatur kenne, nur von Czermak wieder beachtet worden. Waldeyer[5]) erklärt ausdrücklich sie nicht gesehen zu haben.

Um dieser Thatsache ihren Platz zu sichern, habe ich vom Backzahn des Elephanten (Fig. 5 Taf. XX) und vom Menschen (Fig. 14 Taf. XXI) diesen winkligen Verlauf copirt. Man sieht, die Schmelzprismen besitzen zahlreiche Krümmungen, welche sehr dicht aufeinander folgen, und scharfe Winkel zeigen. Die Stärke und Häufigkeit der Knickungen ist verschieden selbst bei einem und demselben Individuum.

1) Odontographie Vol. I. pag. 465.
2) Im Jahr 1850.
3) a. a. O. S. 536.
4) a. a. O. S. XXV.
5) Stricker's Handbuch S. 339.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die genaue Untersuchung ergiebt ferner, dass, abgesehen von diesen Knickungen, die Schmelzprismen doch senkrecht zur Oberfläche des Zahnes stehen. Und dies gilt von allen Thieren, die ich untersuchte. Es kommen freilich an einzelnen Stellen Abweichungen von der Hauptrichtung vor, namentlich in der Nähe der Zahnbeinoberfläche, also in den zuerst abgelagerten Schichten, und einen regelmässigen Fall dieser Art werde ich später besprechen, aber im Allgemeinen ist die Stellung der Prismen überall dieselbe, senkrecht zur Oberfläche wie die Zahnröhrchen.

Bei solcher Richtung beschreiben die Prismen, wenn man von den feinen Knickungen absieht, auch noch Curven, grosse Biegungen, ebenso wie dies oben von den Zahnröhren beschrieben wurde, ja es kommt wie dort ebenfalls vor, dass man wohl deutlich ausgesprochene Curven, aber keine Knickungen findet.

Die Schmelzprismen können also bezüglich ihrer Anordnung vollständig mit den Zahnröhrchen verglichen werden. Beide stehen im Allgemeinen senkrecht zu ihrer Grundlage, die einen zur Pulpa, die andern zum Zahnbein, beide zeigen während ihres Verlaufes Curven und Knickungen. Diese Eigenthümlichkeiten der Schmelzprismen sind leicht nachzuweisen, sobald man nicht allzu starke Vergrösserungen, nur solche zwischen 60—80 anwendet.

Ist einmal festgestellt, dass die Schmelzprismen Knickungen besitzen und dass diese der Grund sind der bekannten braunen Linien, welche der Oberfläche des Zahnes parallel ziehen, so wird man auch jene Streifen deuten können, welche die Richtung der übrigen im rechten Winkel kreuzen. Auf Längsschnitten bemerkt man nämlich, wenn der Schliff nicht allzu dünn ist, schon mit blossem Auge im Verhältniss zur Länge breite Streifen. (Siehe Kölliker's Gewebelehre 5. Aufl. Fig. 250, Stricker's Handbuch Fig. 97 *i*.) Am Hals des Zahnes ziehen sie sanft ansteigend nach aussen und oben; an der Mahlfläche stehen sie senkrecht. Es sind dieselben, die Schreger als Faserstreifen bezeichnet hat und Retzius mit der ihm eigenthümlichen Umsicht beschrieben. Seine Deutung können wir nicht acceptiren. Er hat nämlich auch hier wie bei den zur Krone parallelen Linien den Schatten der Querstriche an den Schmelzprismen im Verdacht.

Diese Streifen erscheinen ebenso wie die zuerst erwähnten bei durchfallendem Licht braun, bei auffallendem weiss, sind also durch den Gang der Lichtstrahlen bedingt, welcher von anders gestellten Flächen der Schmelzprismen geändert wird; d. h. bestimmte Reihen der Schmelzsäulen sind so gestellt, dass sie bei durchfallendem Licht die Strahlen ablenken und dadurch dunkel erscheinen, während bei

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

auffallendem Licht die ganze Substanz im Atlasglanz schimmert, und die das Licht am meisten reflectirenden Stellen, die am günstigst gestellten Säulenreihen als die hellsten Streifen hervorleuchten.

Was sonst noch von Linien erzählt wird, die von irgend einem Farbstoff herrühren sollten, so halte ich sie für eine Täuschung und Verwechslung mit denjenigen, welche sonst der veränderten Richtung ganzer Schmelzlager ihren Ursprung verdanken. Färbungen müssten nicht allein bei durchfallendem, sondern auch bei auffallendem Lichte sichtbar sein, wie das in der That beim Biber der Fall ist. Die orangegelbe Farbe der Schneidezähne hat ihren Sitz in den äussersten Lagen des Schmelzes, von denen übrigens nur eine sehr dünne Schicht gefärbt ist.

Die Streifen der Substantia adamantinae, welche bräunlich tingirt erscheinen bei durchfallendem Licht, entsprechen also Knickungen. Und diese sind bezüglich ihres Ursprunges verwandt mit denen des Zahnbeins, sind die Zeichen jener häufigen Widerstände, welchen die Ablagerung dieser Substanz begegnet. Wenn Czermak auf dem Schliff eines menschlichen Zahnes 55 solcher Knickungen im Schmelz zählen konnte, so zeigen diese an, dass ebenso oft die Schmelzzellen und ihr Product durch Druck in eine andere Richtung versetzt wurden, und dann allmälig in die frühere Stellung wieder zurückkehrten, nachdem das Hinderniss beseitigt war Diese Knickungen der Prismen können sich bilden, ohne dass ihre Production auch nur einen Moment sistirt wird, ein Vorgang, vollkommen analog dem bei der Entstehung der Knickungen der Zahnröhren.

Die Annahme dieser Anschauung über die Entstehung der Knickungen und Curven im Schmelz, ist unabhängig von irgend einer der Hypothesen von der Bildung dieser Substanz. Mag die Entstehung der substantia adamantinae einer Zellenausscheidung zugeschrieben werden, oder mag man an die directe Umwandlung der Schmelzzellen in Prismen glauben, gleichviel: die Prismen werden nothwendig den Einfluss der Widerstände erfahren müssen, welche das Zahnwachsthum begleiten.

Eine genaue Untersuchung des Emails ergiebt, dass die oben beschriebenen Knickungen nicht die einzigen Störungen sind, welche die Schmelzprismen bei ihrer Entstehung erleiden. Jedes Hinderniss, auf welches die regelmässige Ablagerung stösst, kann der Grund werden, dass sowohl die Richtung der Linien als die sonst regelmässige Reihenfolge der Prismen selbst geändert wird. Man wird wohl selten irgend einen Backzahn vom Menschen untersuchen können, an dem sich nicht ein paar Stellen fänden mit starker Einbuchtung der Emailschicht von aussen her. Auf der Mahlfläche der hintersten Backzähne sind in der Regel zwei sich kreuzende Furchen. Sie entsprechen den tiefsten Stellen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

jener Thäler, welche sich zwischen den Hügeln der Krone befinden. In dem Kreuzungspunct dieser Furchen findet sich in der Regel eine cylindrische Vertiefung, eine Cisterne [1]). An der tiefsten Stelle ist die Emailschicht oft nur $^1/_6$—$^1/_5$ Mm. dick, während sie zu beiden Seiten bis zu $1^1/_2$ Mm. Dicke ansteigt. Diese Einkerbungen sind offenbar die Folgen von Bindegewebswucherungen, welche von dem Zahnsäckchen aus gegen die Membrana adamantinae sich vordrängten. An solchen Stellen ist die Regelmässigkeit der Ablagerung gestört, so zwar, dass sowohl die obenerwähnten Schmelzlinien von ihrem sonst regelmässigem Verlaufe abweichen mussten, als auch die einzelnen Prismen selbst in Unordnung gebracht wurden. Siehe Fig. 14 Taf. XXI, welche die störenden Wirkungen eines solchen Druckes auf die Reihen der Schmelzprismen demonstrirt. Die Bindegewebsmasse beeinflusste die Richtung des Schmelzzellen, so dass diese eine unregelmässige Stellung einnehmen mussten; der Druck auf die Zellen spiegelt sich in ihrem Product, den Prismen.

Ich glaube, es lässt sich kaum ein schlagenderes Beispiel anführen, das die Wirkungen eines Druckes auf die Richtung und den Verlauf der Elemente des Schmelzes deutlicher nachwiese.

Der Druck dieser Bindegewebsmasse vernichtet später an dieser Stelle das Schmelzorgan selbst, so dass jede weitere Production von Schmelz aufhört, und so die tiefen Furchen und Lücken im Ueberzug des Zahnes entstehen.

Die Erscheinung, dass an den Furchen und Vertiefungen die regelmässige Richtung der Schmelzprismen gestört ist, correspondirt vollständig mit der Aenderung des Verlaufes der Zahnkanälchen zunächst der Pulpahöhle. Man weiss, dass dort in der Regel die Zahnkanälchen von der regelmässigen Anordnung abweichen: Wirbel bilden, d. h. nach verschiedenen Richtungen gelagert sind. Im Schmelz kann ganz dasselbe vorkommen, hervorgerufen durch den Druck eines Bindegewebekeils, der die regelmässige Anordnung der Elemente stört, ja sogar die weitere Thätigkeit des Schmelzorganes unterdrückt.

1) Ich habe das Wort Cisterne gewählt, weil diese Vertiefung wohl stets mit Speiseresten gefüllt ist, deren Zersetzung allmälig die Emailsubstanz erweicht und so die Zerstörung des ganzen Zahnes nach sich zieht. Die oft so rasche zerstörende Wirkung erklärt sich, wenn man bedenkt, dass zwischen den Schmelzprismen Spalträume feinster Art vorkommen, deren Nachweis an getrockneten Präparaten nicht allzu schwierig ist. Ich werde Genaueres hierüber an einem andern Orte mittheilen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

IV.

Linien im Cement [1]).

Auf dem Querschnitt des Stosszahnes vom Elephanten sind schon mit freiem Auge mehrere Linien im Cement zu sehen. Eine schwache Vergrösserung genügt, um einen ziemlichen Reichthum solcher Linien in der verhältnissmässig dünnen Schicht zu constatiren. Ich schätze in dem mir vorliegenden Präparat bei einer Dicke von 4 Mm. ungefähr dreissig solcher Cementlinien. Sie laufen der Oberfläche des Zahnes parallel und zwar mit solch strenger Regelmässigkeit, dass Erhöhungen und Vertiefungen der Zahnbeinoberfläche sich in den Cementlinien auf's genaueste wiederspiegeln. Sie geben nicht nur die Winkel wieder, welche auf dem Querschnitt angetroffen werden und von der facettirten Oberfläche des Elfenbeins herrühren, sondern auch die kleinen warzigen oder drusigen Erhebungen, welche auf den Grenzschichten des Zahnbeines nirgends fehlen (siehe Fig. 15 Taf. XXI). Es ist ja eine anerkannte Thatsache, dass die substantia eburnea wohl bei keinem Zahn und nach keiner ihrer Flächen hin, weder nach dem Cement, noch dem Email, noch der Pulpahöhle zu mit einer ebenen Fläche abschliesst, sondern immer drusig oder warzig sich emporhebt.

Von menschlichen Zähnen sind diese Hervorragungen wiederholt beschrieben und abgebildet worden. Ganz dieselbe Eigenthümlichkeit ist auf der Grenzschicht der substantia eburnea vieler anderer Thiere zu constatiren. Beim Pferd z. B. sind diese Erhebungen der Zahnbeinfläche wie kleine Spitzen mit breiter Basis (Fig. 6 Taf. XXI). Die des Elephanten sind nicht so stark kuglig wie jene des Menschen, sondern sanft gewölbt, mehr uhrglasförmig über die Fläche hervorragend. Diese kleinen Erhebungen der Zahnbeinoberfläche drücken sich in den Wellenlinien des darüber gelagerten Cementes ab, mit derselben Schärfe wie die Erhebungen eines Reliefs im Wachs wiederkehren (Fig. 15 *Cl* Taf. XXI).

Die Cementlinien im Elephanten-Stosszahn zeigen sich bei durchfallendem Licht als weisse Streifen. Diese weissen Schichten, ungefähr $^1/_{20}$ Mm. breit, besitzen keine Knochenkörperchen, oder nur sehr wenige.

Ray Lankester [2]) beschreibt das gleiche Verhalten von dem Cement in den Zähnen des Micropteron Sowerbiensis E. »das Cement zeigt ein

1) Selbstverständlich ist hier nicht von jenen Linien die Rede, welche mit Knochenlamellen zusammenhängen.

2) On the tooth of Ziphius Sowerbiensis Journ. of M. Sc. 1867 S. 59.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

auffallend gebändertes Aussehen, die ganze Dicke des Lagers wird in mehrere kleinere Streifen zerlegt«.

Die Deutlichkeit dieser weissen Streifen wird noch bedeutend dadurch gesteigert, dass an ihren Rändern die Knochenkörperchen sehr dicht gehäuft sind (Fig. 15 Taf. XXI). Es scheint mir diese auffallende Beschaffenheit des Cementes, das abwechselnd aus hellen zellenlosen Streifen und breiten zellenreichen Bändern aufgebaut ist, am besten mit der Annahme zu erklären, dass in einem Zeitabschnitt die Neubildung der Knochenmasse nicht im Mindesten gehindert war und also ebenso wie im übrigen Skelet ein grösserer Abstand zwischen den zelligen Elementen entstehen konnte (helle Linie), während in einem folgenden Zeitabschnitt der Zahn auf Hindernisse stiess bei seinem Vorrücken und die Zellen dichter an einander rückten bei verhältnissmässig geringer Zwischensubstanz (breite zellenreiche Bänder). Wechseln diese Zustände häufiger mit einander ab, so wird man im Cement abwechselnd helle und dunkle Linien finden, also die Zeichen einer wiederholten Druckschwankung constatiren können.

Es giebt aber in dem Cement auch Röhren, und diese müssen, wenn meine eben ausgesprochene Ansicht richtig ist, die Spuren der Druckschwankungen ebenfalls an sich tragen. Die Röhren im Cement gehören theils den Knochenkörperchen an, welche in den Zähnen von Elephas, Hippopotamus, Rhinoceros und Sus babirussa hauptsächlich radiär gestellte Ausläufer besitzen, theils selbständigen feinen Kanälen, die ich Cementröhren nennen werde. Czermak und Kölliker haben diese von Retzius am Backzahn des Elephanten zuerst beschriebenen Cementröhren erwähnt und abgebildet, während Waldeyer in Stricker's Handbuch sie nicht erwähnt. Kölliker erkennt auch ihre Aehnlichkeit mit Zahnkanälchen an, auf die Retzius aufmerksam gemacht hat. Im Cement des Elephantenstosszahnes sind sie so dicht aneinandergelagert, dass die dazwischenliegenden Knochenkörperchen mitunter schwer zu sehen sind. Ihre Dicke schwankt zwischen $^1/_{800}$—$^1/_{1000}$ Mm.

An einzelnen Stellen sind sie erweitert und nicht selten hängen sie mit Knochenkörperchen zusammen. Retzius will Theilungen und Verbindungen derselben gesehen haben. Ich mache auf diese Röhren deshalb aufmerksam, weil auch durch sie die Linien im Cement des Elephantenstosszahnes markirt werden. Die Röhren zeigen sehr viele Biegungen, welche dadurch, dass sie in der ganzen Peripherie des Zahnes regelmässig auftreten das characteristische Aussehen dieser Knochensubstanz, sowohl auf dem Längs- als Querschnitt bedingen helfen. In Fig. 15 Taf. XXI sind diese Linien im Cement zu sehen.

Sie zeigen deutliche Wellen, ungefähr ebenso wie ein Bündel paral-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

leler Fibrillen aus dem subcutanen Bindegewebe. Diese Krümmungen sind durch Druck hervorgebracht. Die Höhe der Krümmung entspricht der Höhe der Pression während der Ablagerung der Knochenschicht, die niedersten Stellen dem verhältnissmässig geringsten Druck.

Linien entstanden durch helle Bänder, welche frei sind von Knochenkörperchen, oder Linien entstanden durch gekrümmte Cementröhren und die gekrümmten Ausläufer der Knochenkörperchen sind nicht blos beim Elephanten zu finden, sondern auch bei Sus babirussa, im Schneidezahn vom Pferd und Esel, in den äussersten Lagen des Cementmantels am Backzahn vom Pferd und Nashorn. Von Sus babirussa ist eine kleine Stelle der gebänderten Cementschicht in Fig. 16 Taf. XXI abgebildet, ebenso von Hippopotamus (Fig. 3 *C* Taf. XX).

Retzius erwähnt solcher Cementröhren noch vom Schwein, vom Walross, von Delphinus Delphis, aber diese Angaben bedürfen noch weiterer Controle, weil Retzius die Bezeichnung Röhren anwendet auch für die Havers'schen Kanäle.

Wo Linien im Cement vorkommen ohne die Anwesenheit solcher »Cementröhren«, kann, wie schon erwähnt, die Lagerung der Knochenkörperchen und die Krümmung ihrer Ausläufer, Linien hervorbringen.

Beim Menschen kommen nur sehr selten solche Linien vor, weil das Cement in der Regel ausserordentlich dünn ist an den Zähnen, sich überdies verhältnissmässig spät bildet an den untersten Theilen der Wurzeln, d. h. zu einer Zeit, wo wenig Widerstände mehr vorkommen dürften. Doch kann man in günstigen Präparaten, und die Fig. 17 Taf. XXI stellt eine kleine Partie der Cementschicht (Wurzel eines Backzahnes) dar, nicht nur bandartige hellere Streifen finden, sondern auch eine Richtung der Kanälchen, welche einen wellenförmigen Verlauf, also Krümmungen, nicht verkennen lässt. Dass bei dem Menschen auch Cementröhren vorkommen, lässt sich an manchem Präparat nachweisen. Kölliker bildet sehr lange Cementröhren vom Menschen ab (Hdbch. 5. Aufl. Fig. 255). —

V.

Linien, entstanden durch die Schnittführung.

Man hat bisher diese Linien kaum irgend einer genaueren Betrachtung gewürdigt. Wo immer Unterbrechungen des Zahnröhrenverlaufes bemerkt wurden, da brachte man sie mit Schichtung in Zusammenhang. Eine Sorte dieser fälschlich sog. Schichtungslinien werden nun im Zahnbein erst durch den Schnitt erzeugt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ein auffallendes Beispiel dieser durch Schnitt erzeugten Linien bietet auch hier wieder der Zahn des Flusspferdes. In den innersten Schichten des Zahnes sind die Knickungen mitunter so stark, dass der Horizontalschnitt nicht selten einen Theil derselben entfernt, also eine Linie entsteht, welche von abgeschnittenen Zahnkanälchen herrührt. Es ist mitunter sehr schwer, die Ursache dieser Linie an dem Präparat auf den Schnitt zurückzuführen, und deshalb erklärlich, dass selbst die besten Abbildungen in manchen Fällen keine Vermuthung zulassen, ob man in dem gegebenen Fall eine durch Schnitt entstandene Linie vor sich habe oder nicht. Im Ganzen interessirt uns diese Frage auch nicht weiter, es genügt darauf hingewiesen zu haben, dass der Schnitt, wenn er die ansteigende Reihe der Zahnkanälchen unter einem scharfen Winkel kreuzt, eine Linie erzeugen kann. Man darf sich nur der scharfen Knickungen erinnern, welche die Fig. 3 Taf. XX vom Zahn des Hippopotamus giebt, und es wird selbstverständlich, dass ein horizontaler Schnitt häufig die Kuppe, namentlich grössere Knickungen entfernen wird. Der Effect durch den Reflex des Lichtes bleibt für die Betrachtung mit der Loupe in einem solchen Fall zwar vollkommen gleich: Die Strahlen treffen irgend eine Seite der schief gerichteten Röhrenreihen und werden in einem andern Winkel zurückgeworfen, aber das mikroskopische Bild ist verschieden. Der sonst regelmässige Zug erscheint unterbrochen. Eine solche Trennungslinie von der aus die Zahnröhren beiderseits in verschiedenen Ebenen verlaufen, brächte vielleicht noch mehr als die Wellenlinien auf die Vermuthung, dass man es hier mit einer schichtenweisen Ablagerung zu thun habe.

In der Fig. 3 Taf. XX (vom Flusspferd) ist zunächst der Pulpahöhle eine solche Linie zu sehen, welche durch die Schnittführung hervorgebracht ist. Hat man diese Sorte von Linien einmal gesehen, so fällt es nicht schwer, sie an den verschiedensten Zähnen nachzuweisen. So kann man mitunter solche durch Schnitt entstandene Linien an Wurzeln der menschlichen Zähne finden, und den Backzähnen bei Perd, Rind und Esel etc.

Es giebt noch eine andere Anordnung der Zahnröhrchen, welche beim Horizontalabschnitt die Veranlassung zur Entstehung von Linien giebt. Wenn die Curven, welche die Zahnröhren beschreiben, sehr stark sind, so kann der Horizontalschnitt die Curve theilweise treffen und dadurch äusserst feine Linien erzeugen. Man denke sich feine Stäbe reihenweise so in eine Thonschicht eingekettet, dass sie zur Oberfläche nicht horizontal sondern schief gestellt sind, so wird ein Schnitt parallel zur Oberfläche mehrere Stäbchenreihen treffen. Aehnlich verhält es sich bei manchen Zähnen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ein vorzügliches Object in dieser Hinsicht ist der Stosszahn des wilden Ebers.

VI.

Schraubenwindungen der Zahnröhren.

Die vorausgegangenen Erörterungen über den Verlauf der Zahnkanälchen haben gezeigt, dass derselbe, namentlich bei einigen Thieren im hohen Grade complicirt ist. Selten, wohl nur bei einigen Fischen, ziehen die Zahnröhren von der Pulpahöhle bis zur Zahngrenze in einer leichten Curve, bei allen andern Thieren sind die Curven stark entwickelt und bei vielen noch überdies zahlreiche Knickungen vorhanden. Aber zu all diesen Eigenthümlichkeiten kommt noch das hinzu, dass die Röhre selbst, indem sie diesen Weg zurückgelegt, gleichzeitig schraubenartig gewunden ist. (Siehe die schematische Fig. 2 Taf. XIX †). Seit Wecker die Existenz dieser Schraubentouren gezeigt hat, weiss man, dass die sogenannten Undulationen der Zahnröhrchen (Owen), Krümmungen (Retzius) nichts anderes sind als die von der Seite gesehenen Spiralen.

Der gewundene Verlauf der Röhren ist eine ebenso allgemeine Erscheinung wie die Bildung der Curven. Die Querschnitte aller Zähne, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, zeigten diese Eigenthümlichkeit. Wecker fand ganz dasselbe. Ein und dasselbe bedingende Moment wirkt also bei der Entstehung der Zähne in den verschiedensten Organismen, und ist wirksam bei Milch- wie bei Ersatzzähnen.

Die frühere Annahme, der Zahn bilde sich schichtenweise, genügt weder für die Erklärung der Linien in der substantia eburnea, dem Schmelz noch Cement, sie ist auch nicht im Stand über die Entstehung der Schraubentouren Licht zu verbreiten. Auch die Umwandlungstheorie, auf die Waldeyer so viel Hoffnung setzt, steht rathlos vor dieser Thatsache. Die einzige Erklärung scheint mir durch die Annahme gegeben, dass die Zahnfasern schneller wachsen als die Ablagerung des Zahnbeins geschieht. Denken wir uns einen bestimmten Zeitpunct während der Entwicklung der substantia eburnea. In der bereits abgelagerten Schicht stecke die Faser fest, von der Pulpa aus wachse nun $1\frac{1}{4}$ Mm. hinzu, dann muss sich die oben und unten festsitzende Faser nothwendig krümmen und nachdem die Verlängerung langsam geschieht wird eine Spirale entstehen um welche später die Zahnmasse erhärtet.

Für eine solche Annahme giebt die Beobachtung mancherlei Anhaltspuncte.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Vor allem ist zu bemerken, dass die Zahnfasern in verhältnissmässig sehr weiten Gängen der jüngsten Zahnbeinschicht stecken. Das zeigen die vortrefflichen Abbildungen bei Wenzel, Untersuchungen über die Entwicklung der Zahnsubstanzen Leipzig 1872 8⁰ namentlich Fig. 1. Die Verengerung dieser weiten Gänge durch Ablagerung der Zahnsubstanz geschieht sehr allmälig, so dass sich unterdessen die Zahnfasern schon spiralig gedreht haben können.

Ferner zeigen in der That die Zahnfasern in den noch weiten Gängen der Dentinschicht wiederholte Krümmungen. Ich verweise auch in dieser Beziehung auf die Abbildung bei Wenzel Fig. 8, welche hier um so mehr in's Gewicht fällt, als sie ohne die Absicht entworfen ist, für eine solche Auffassung verwerthet zu werden [1].

Wenn man die Voraussetzung gelten lassen will, dass die Zahnfaser schneller wächst als das Zahnbein, so steht der Erklärung, auf welche Weise sich die Spiralen im Zahnbein bilden, nichts im Wege.

Für die Entstehung der Spiralen im Zahnbein ist die Annahme von Druckschwankungen nicht erfordert. Stetiger Druck von den Odontoblasten aus bewirkt allein schon eine solche Erscheinung, sobald ein rascheres Wachsthum der Zahnfaser statt hat im Vergleich mit dem des Zahnknorpels.

Die Annahme von Druckschwankungen während des Zahnwachsthumes ist dagegen nothwendig für die Erklärung der Curven und der Krümmungen, welche an den Zahnröhren, den Schmelzprismen und den histologischen Elementen des Cements zu beobachten sind.

Linien, hervorgebracht durch regelmässig angeordnete Interglobularräume, haben mit Druckerscheinungen nichts zu schaffen.

München im November 1872.

1) Es liessen sich auch für diese Erscheinung aus der Botanik analoge Fälle beibringen, aber ich ziehe vor, einen Versuch zu beschreiben, der mir für die Entstehung von Spiralen beweisend scheint, wenn ein cylindrischer Strang von ähnlicher Consistenz wie die Zahnfaser oben und unten festsitzend sich verlängert. Schklarewsky hat bei seinen Untersuchungen über die Extravasation der weissen Blutkörperchen Faserstoffcylinder beobachtet, die in einem Glasröhrchen so eingeschlossen waren, dass ihr oberes und unteres Ende fest sass. Nach ungefähr 1—1½ Stunden verlängert sich das Blutgerinnsel und zeigt schlangen- und spiralförmige Windungen. Pflüger's Archiv f. Phys. S. 662.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Erklärung der Abbildungen Taf. XIX—XXI.

Fig. 1 Taf. XIX. Querschnitt von einem Schneidezahn des Flusspferdes, Vergrösserung 7. Die Winkel, welche der Querschnitt zeigt, sind genau nach dem Original copirt, die übrigen Details halbschematisch gehalten und namentlich die der Dentine bei einer Vergrösserung von $^{60}/_{1}$ hineingezeichnet. Der Zahn ist von einer Cementschicht umgeben, welche drei deutliche Linien, an manchen Stellen vier erkennen lässt.

Die Dentine zeigt in den äussersten Schichten geschlossene Linien, dem Rande parallel laufend; der eine Theil gehört regelmässig angeordneten Interglobularräumen an *i*, der andere kleinen Knickungen *k*. In den innern Schichten trifft man grössere oder kleinere Bogen und Bogensegmente, welche keine geschlossene Linien darstellen und nicht symmetrisch angeordnet sind. Die vordere Zahnhälfte (in der Abbildung die obere) zeigt stärkere Bogen als die hintere. Diese Bogen bestehen aus starken Krümmungen oder Knickungen der Zahnröhren. Sie entsprechen den schon mit freiem Auge sichtbaren Linien.

i Linien, hervorgebracht durch regelmässig angeordnete Interglobularräume

k kleine Knickungen.

* Starke Knickungen, Wellen vergleichbar, doch von kurzer Ausdehnung, auf bestimmte Radien des Querschnittes beschränkt, während in den tiefern Schichten der Dentine Bogen von grosser Ausdehnung zu finden sind.

Fig. 2 Taf. XIX. Schematische Darstellung des Röhrenverlaufes in der Dentine beim Menschen und einigen Thieren, um die Curven, die stärkeren und schwächeren Ablenkungen von der geraden Linie, die sog. Knickungen vergleichen zu können. Die Grundlinie stellt eine Abscissenachse dar, welcher der Verlauf einer Röhre aufgetragen wurde. Der mit Grau abgetonte Raum zwischen der Grundlinie und der Röhre entspricht dem Zahnbein. Nach links auf der Tafel befindet sich das dicke Ende des Röhrchens *i. e* sein Anfang in der Pulpahöhle. Bei neun Röhren blieb das Vorkommen von Interglobularräumen und Schraubenwindungen an den Zahnröhren völlig unberücksichtigt.

* Doppelknickung der Zahnröhren mit sattelförmiger Einschnürung; bei † wurde ein Theil der Curve sammt den Schraubenwindungen dargestellt.

Fig. 3 Taf. XX. Segment eines Querschnittes vom Schneidezahn des Hippopotamus. Die Vergrösserung der Dentinschicht ist $^{13}/_{1}$, die des Cementlagers $^{30}/_{1}$, aber die Zahnröhren und ihre Knickungen sind bei $^{120}/_{1}$ in den Raum hineingetragen. Es lässt sich unter solchen Umständen erwarten, dass nur ein kleiner Theil der Linien Platz finden konnte.

i Linien, hervorgebracht durch regelmässig angeordnete Interglobularräume

k kleine Knickungen — feine Drucklinien

K grosse Knickungen — starke Drucklinien

* Doppelknickung der Zahnröhre mit eingesunkenem Rücken.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

† Linie, hervorgebracht durch die Schnittführung. Der Schnitt hat die Spitze einer Welle hinweggenommen.

C Cement mit Cementlinien. Die Luft ist theilweise aus den Röhren und den Knochenzellen verdrängt, wodurch letztere als einfache Lücken erscheinen ohne Ausläufer.

Fig. 4 Taf. XX. Segment aus dem Querschnitt eines Backzahnes vom Nashorn. Der Schnitt ist vom Hals des Zahnes angefertigt. Vergrösserung $^{25}/_{1}$. Die Details sind bei $^{60}/_{1}$ hineingezeichnet. Die Begrenzung des Zahnes wird durch eine leicht braun gefärbte Schmelzschicht hergestellt, in der Wucherungen der Dentine voll von Interglobularräumen stecken, feine Schmelzlinien ziehen in Bogen über diese Hügel hinweg und senken sich zwischen dieselben hinab. In der Dentine beschreiben die Zahnkanälchen, wenn man ihren Verlauf in toto überblickt, bedeutende Curven, welche in der horizontalen Ebene liegen, und deshalb auf dem Querschnitt zum Vorschein kommen.

i und *K* wie in der vorigen Figur.

* Hügel von Zahnbein mit lufthaltigen Interglobularräumen im Schmelz.

Fig. 5 Taf. XX. Partie aus einem Backzahn des Elephanten. Querschnitt einer Lamelle. Vergrösserung der Dentine $^{17}/_{1}$, des Schmelzes $^{35}/_{1}$. Die Details der Dentine sind $^{60}/_{1}$ vergrössert, jene des Schmelzes $^{200}/_{1}$.

In der Dentine ist der Verlauf der central gelegenen Röhren mehr gerade, die seitlichen beschreiben starke Curven (Owen). Die kleinen dunkeln unregelmässigen Puncte in der Dentine sind Interglobularräume.

k, *K* wie in den frühern Figuren.

Im Schmelz Knickungen der Schmelzprismen.

Fig. 6 Taf. XXI. Mittlere Partie eines Pferde-Backzahnes $^{10}/_{1}$, die Details der Dentine sind bei $^{60}/_{1}$ hineingezeichnet. Querschnitt der Krone.

Die Röhren im Centrum der Dentine ziehen wie bei Elephas ziemlich gerade zur Peripherie, die zunächstliegenden setzen sich in grossen Bogen in die zungenförmigen Auswüchse fort; die übrigen erreichen unter starken aber kurzen Curven den Rand des gebänderten Schmelzes.

k kleine Knickungen, ausserordentlich zahlreich. Bei dem Gegensatz in der Vergrösserung des Zahnes $^{10}/_{1}$ und der des Details konnte nur ein Theil dieser Linien Platz finden.

K wie oben.

Die Linien im Schmelz wiederholen im Verlauf den Contour der Dentine.

Fig. 7 Taf. XXI. Stosszahn von Sus scrofa, Querschnitt $^{17}/_{1}$ Vergrösserung. Die Details der Dentine sind bei $^{60}/_{1}$ aufgenommen.

Die Curven leicht erkennbar an den seitwärts strebenden Zahnröhren.

i, *k* wie oben.

An dem dreikantigen Stosszahn sind 2 Flächen mit Schmelz, die dritte mit Cement überzogen; links oben ist eine jener Stellen abgebildet, wo sich diese beiden Substanzen berühren. Beide Substanzen zeigen Linien.

Fig. 8 Taf. XIX.

a- Sagittalschnitt eines Zahnes. An den Röhren ist nur der Verlauf der Curven berücksichtigt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sie liegen in vielen Zähnen in der sagittalen Ebene, wie beim Menschen, dem Flusspferd etc.

b-Transversalschnitt eines Zahnes; die Curven liegen in der transversalen Ebene. — Backzahn des Elephanten, des Pferdes, Rindes etc.

Fig. 9 Taf. XX. Thon durch die centrale Oeffnung eines Gefässes in einen Kautschuk-Beutel gepresst.

1. unterste Schicht.

Fig. 10 Taf. XX. Schematische Figur des Wachsthumes der Dentine. Idealer Sagittalschnitt. Die erste auf der Papille entstandene Kappe von Dentine ist wie alle folgenden dick in der Mitte, dünn an den Rändern, ähnlich dem aus einer centralen Oeffnung ausfliessenden Thoncylinder. Und diese Art der Zunahme bleibt sich gleich auch bei der Entstehung des Schmelzes. Der stufenweise Ausbau Fig. 10* verursacht die Querbinden der Zähne.

Fig. 11 Taf. XXI. Menschlicher Schneidezahn, 1 mal vergrössert mit Querbinden unter denen manche tiefer sind.

Fig. 12 Taf. XXI. Eckzahn und I. Praemolar von einem Orang-Utang mit starken Querbinden, in deren Verlauf einzelne Vertiefungen, Gruben vorkommen.

Fig. 13 Taf. XIX. Der im Kieferkanal befestigte Theil eines Stosszahnes von Sus scrofa. Die Querbinden springen so stark über die Ebene vor, dass der Zahn wie gerippt erscheint.

Fig. 14 Taf. XXI. Medianschnitt durch die Krone eines menschlichen Backzahnes. Schmelzschicht 50 mal vergrössert, der Verlauf der Prismen halbschematisch bei einer Vergrösserung von 120 hineingezeichnet, die Knickungen der Schmelzprismen sind in Natur viel zahlreicher. Es ist ferner zu bemerken, dass nur die eine Schicht der Prismen berücksichtigt wurde, welche durch den Schnitt blosgelegt ist. — Der Verlauf der dahinter liegenden blieb unberücksichtigt. Der senkrecht in die Schmelzschicht eingesetzte und nach unten verengte Kanal ist eine im Centrum der Mahlfläche befindliche Cisterne. Ihr Ursprung datirt aus der Entwicklungsperiode. Diejenigen Prismen, welche sich zwischen der Spitze der Cisterne und der Dentine befinden, sind in ihrem regelmässigen Verlauf bedeutend gestört.

In der Dentine dieses Backzahnes findet sich dicht unter dem Schmelz ein Lager von Zahnbeinkugeln.

Fig. 15 Taf. XXI. Cementschicht des Stosszahnes vom Elephanten. Schnitt senkrecht zur Achse, auf dem der Kantenquerschnitt bemerkbar ist. Vergrösserung der Umrisse $^{10}/_{1}$ der Details $^{60}/_{1}$.

C Cementschicht getrennt von

D der substantia eburnea durch einen hellen Streifen.

Das Cement ist gebändert, die hellen Bänder *Cl* wiederholen die uhrglasförmigen Erhebungen der Zahnbeinoberfläche, doch so, dass die entfernteren Bänder dieselben etwas vergrössert wiedergeben. Die hellen Bänder enthalten weniger Knochenkörperchen als die unmittelbar folgenden Schichten.

Die ganze Dicke des Cementringes ist durchzogen von Röhren von $^{1}/_{600}$ Mm. Sie verlaufen nicht gerade, sondern beschreiben kleine Bogen, deren gleichmässige Wiederholung innerhalb der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einzelnen Abtheilungen des Cementes ähnliche Wellen oder Linien bedingt, wie bei den Zahnröhren.

Fig. 16 Taf. XXI. *C* Cementschicht eines Stosszahnes von Sus babirussa; Schnitt senkrecht zur Achse $^{40}/_{1}$ vergr., die Details bei $^{120}/_{1}$ eingetragen.

Cl Helle Bänder in der Cementschicht wie bei Elephas. Betrachtet man in toto den Verlauf dieser $^{1}/_{250}$ Mm. starken Cementröhren und der Ausläufer der Knochenkörperchen, so lassen sich leicht wiederholte Biegungen constatiren wie beim Elephanten. Gegen den Rand bei *C* hat der Balsam die Luft der Röhren und Knochenkörperchen etwas verdrängt.

Fig. 17 Taf. XXI. Längsschnitt durch eine Wurzelzacke des menschlichen Backzahnes.

Cl Cementlinien, entstanden durch Häufung der Knochenkörperchen innerhalb bestimmter zur Dentine paralleler Flächen.

D Dentine.

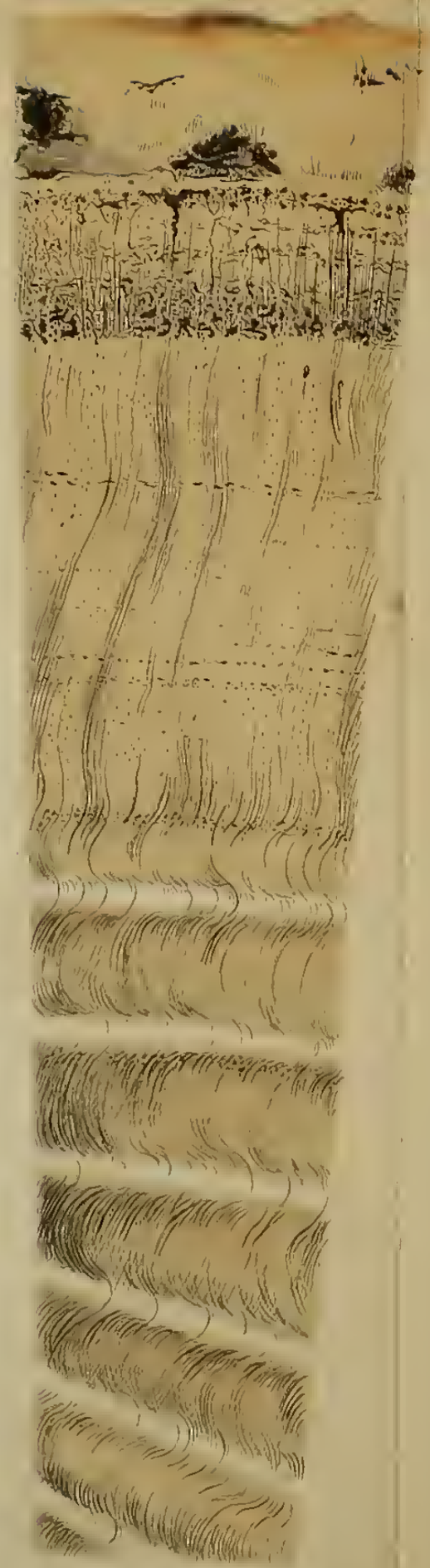
Die Grenze zwischen Zahnbein und Cement wie bei Elephas, Sus babirussa, Hippopotamus u. a. ein heller das Licht stark brechender Streifen.

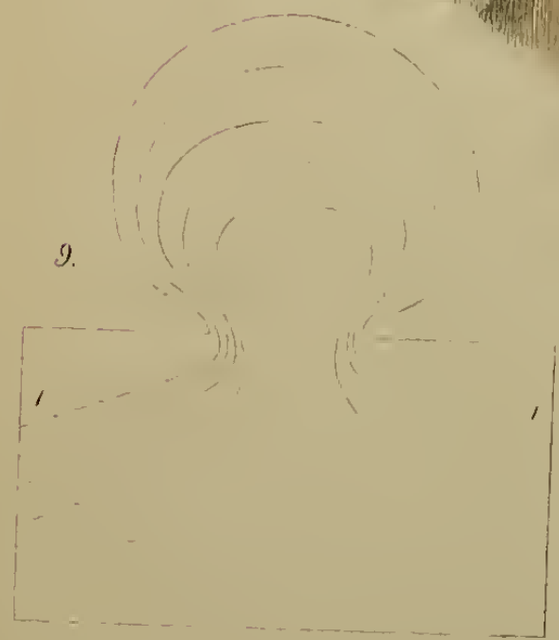
© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

BRITISH MUSEUM
ZOOL.
NATURAL HISTORY

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at





© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fig. 6.

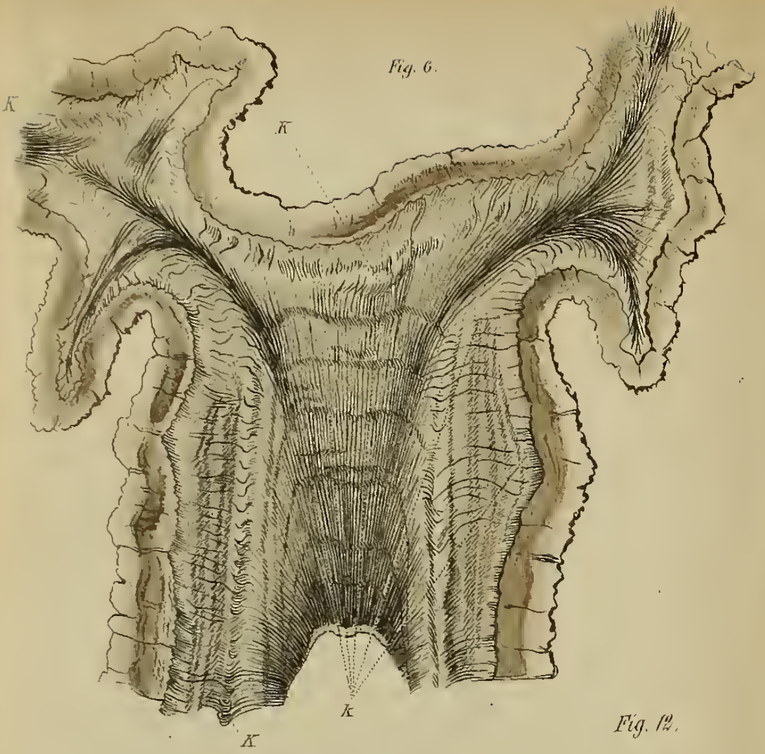


Fig. 7.

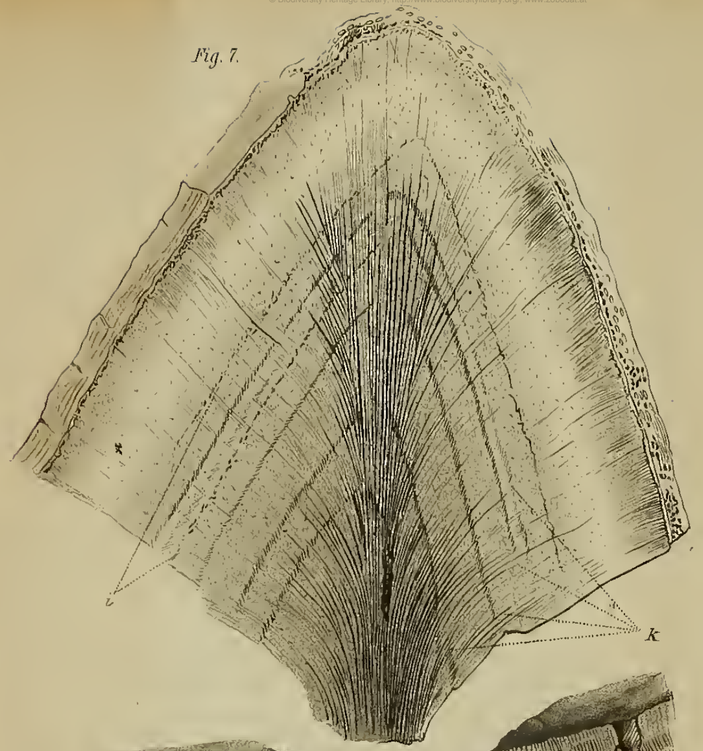


Fig. 15.

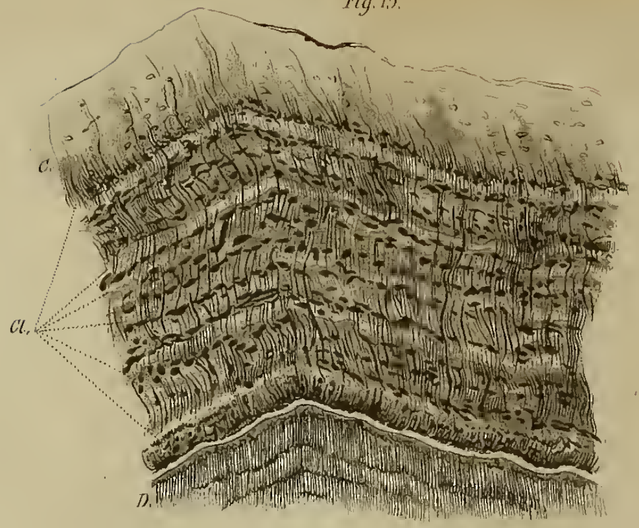


Fig. 11.

Fig. 13.

Fig. 12.

Fig. 14.

Fig. 16.

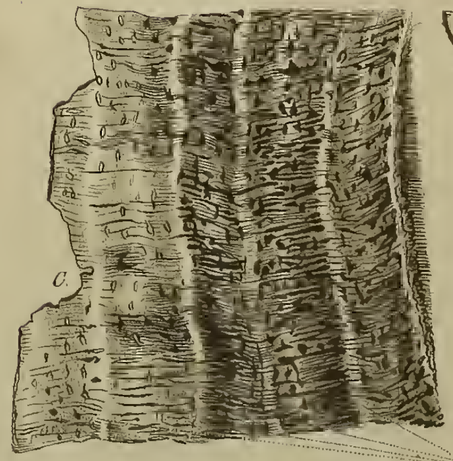
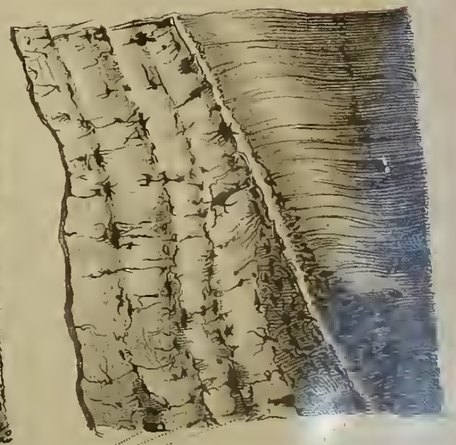


Fig. 17.



Cl.