

Über die histologischen Veränderungen des Zahnschmelzes während der Erhärtung, insbesondere beim Menschen.

Von

Professor V. v. Ebner in Wien.

Hierzu Tafel II—V.

Inhalt.

Einleitung	Seite 18
I. Formen und Verbindungen der Schmelzprismen	„ 20
II. Struktur der Schmelzprismen	„ 26
III. Retziussche Streifen und Schmelzkanälchen	„ 31
IV. Doppelbrechung. Untersuchungsmethoden, Entwicklungsstufen des Schmelzes	„ 36
V. Befunde an Milchzähnen und bleibenden Zähnen vom Menschen	„ 44
VI. Theoretisches über die Erhärtung des Schmelzes	„ 53
VII. Das Fortschreiten der Erhärtung, die Bildung der Retziusschen Streifen und der Druckformen der Prismen	„ 58
VIII. Die Prismenschicht der Muschelschalen und die Schmelzprismen. Schluss	„ 65
Literaturverzeichnis	„ 76
Erklärung der Abbildungen	„ 78

Einleitung.

In zwei vorläufigen Mitteilungen (12, 13) habe ich bereits kurz den Gegenstand besprochen, welchem der wesentliche Inhalt der folgenden Abhandlung gewidmet sein soll. Wie aus dem weichen, leicht schneidbaren, embryonalen — das steinharte Schmelzgewebe des fertigen Zahnes zustande kommt, ist ein Problem, das noch wenig in Angriff genommen worden ist, obwohl es sowohl von rein histologischen Gesichtspunkten, als von Seiten der Zahnheilkunde ein besonderes Interesse beansprucht. Meine Untersuchungen suchten zunächst festzustellen, wie bei der Ausbildung der Zähne des Menschen der ursprünglich weiche Schmelz durch harten Schmelz ersetzt wird, wobei es sich darum handelte, an einer grösseren Zahl von geeigneten Entwicklungs-

stadien von Zähnen die topographische Anordnung des weichen und des harten Schmelzes rein deskriptiv festzustellen. Um dieses auszuführen, musste vor allem eine Methode gesucht werden, um den harten und weichen Schmelz und die Übergangsformen dieser beiden Schmelzarten an Schliffen sicher zu unterscheiden. Dabei ergab sich aber alsbald die Schwierigkeit, dass auch im fertigen Zahne der Schmelz durchaus nicht überall von demselben Ausbildungsgrade ist und dass insbesondere die unter dem Namen der Retziusschen Streifen (Konturbänder und Konturstriche Preiswerks) bekannten Bildungen, abgesehen von anderen, teils inselartig im Schmelze verteilten, teils die Oberfläche des Zahnbeines berührenden Stellen, niemals die Beschaffenheit des hellen, fast durchscheinenden, völlig harten, normalen Schmelzgewebes erlangen. Einige Haupttatsachen über die topographische Anordnung von weichem und hartem Schmelze liessen sich namentlich an Milchschnidezähnen, an welchen die Retziusschen Streifen oft fast ganz fehlen, mit Hilfe der Untersuchung mit dem polarisierenden Mikroskope feststellen, da seit Hoppe-Seylers (16) Untersuchungen bekannt ist, dass die jugendlichen Schmelzprismen positiv, die fertigen Schmelzprismen dagegen negativ doppelbrechend sind. Aber bei der praktischen Verwertung des Prinzipes dieser Methode zeigten sich im einzelnen solche Schwierigkeiten, dass ein genaueres Studium der Struktur der Schmelzprismen unabweisbar schien. Es war vor allem die auffällige und für die ganze Frage sehr wesentliche Tatsache zu berücksichtigen, dass eine Reihe von Flüssigkeiten, welche die Schmelzprismen nicht angreifen, die positive Doppelbrechung der jugendlichen Schmelzprismen in eine negative verwandeln, oder dieselbe fast zum Verschwinden bringen.

Nur Wasser und Alkohol liessen die am trockenen jugendlichen Schmelze wahrnehmbare Doppelbrechung fast unberührt. Diese Tatsache war zunächst ein schlagender Beweis dafür, dass die jugendlichen Schmelzprismen, trotz ihres bei mittleren Vergrösserungen scheinbar homogenen Aussehens, für Flüssigkeiten durchdringbar, imbibirbar sind, da nach Auswaschen der die Doppelbrechung verändernden Flüssigkeiten durch Alkohol oder Wasser die ursprüngliche positive Doppelbrechung wiederkehrte. In voller Übereinstimmung mit diesen Erfahrungen steht die Tatsache, dass jugendliche Schmelzprismen sich in toto mit Silber-

nitrat (Smreker) und mit Farbstoffen imprägnieren lassen. Ein genaueres Bild der Veränderungen, welche ein Schmelzprisma im Laufe seiner Ausbildung erfährt, konnte nur durch neuerliche Untersuchung der Struktur der Prismen erlangt werden. Ein solches Studium schien umsomehr geboten, als die wichtigen Untersuchungen Smrekers (23, 24) zu dem überraschenden Resultate führten, dass die allgemein verbreiteten Vorstellungen über die Formen der Schmelzprismen sehr unzureichende waren und eine der gewöhnlichsten Prismenformen, nämlich die einer halbrunden Rinne oder einer halbrunden Säule mit einseitigen Kannelierungen bisher ganz übersehen wurde. Nur Viggo Andresen (1) erwähnt der „in der Regel bogenförmigen Begrenzungslinien“ der Prismen, ohne jedoch auf diesen Befund näher einzugehen. So scheint es naturgemäss, zunächst eine Schilderung der Struktur der Schmelzprismen im jugendlichen und ausgebildeten Zustande der Beschreibung der Zahnschliffe und der topographischen Anordnung des jungen und fertigen Schmelzes vor auszuschicken.

I. Formen und Verbindungen der Schmelzprismen.

Wie Smreker an Schliffen nachgewiesen hat und zwar sowohl an solchen, die mit Silbernitrat imprägniert waren, als an gewöhnlichen, gut polierten Schliffen, ist der Querschnitt der Schmelzprismen durchaus nicht immer rundlich oder polygonal; im Gegenteile, die Prismen zeigen vorwiegend Formen, die man durch einen einseitig wirkenden Druck in ähnlicher Weise sich bedingt vorstellen kann, wie die Zellformen eines geschichteten Pflasterepithels. Wie in der Flügel- oder Stachelzellenschicht eines geschichteten Pflasterepithels die Zellen eine gewölbte Oberfläche zeigen und eine von Facetten eingebuchtete Unterfläche, welche durch die gewölbten Flächen der darunter liegenden Zellen bedingt ist, so zeigen auch häufig die Schmelzprismen eine gewölbte Fläche auf der einen Seite, welcher gegenüber eine oder mehrere konkave Flächen stehen, die durch die gewölbten Flächen benachbarter Prismen bedingt sind. Dadurch kommt am reinen Querschnitte einer Prismenlage eine Arkadenzeichnung zustande, die an das Bild erinnert, welches dachziegelförmig sich deckende Schuppen mit halbkreisförmigen, freien Rändern geben (Fig. 17b, 39). Die konvexe Seite der Arkaden

ist fast ausnahmslos der Zahnbeinseite zugewendet, wie Smreker feststellte. Eine genauere Untersuchung ergibt, dass die Querschnittsformen der Prismen im einzelnen verschieden sind. Liegen die Prismen in regelmässigen Reihen hintereinander, so erscheinen sie wie einfache Rinnen mit stark verdicktem, abgerundetem Boden und zugeschärften Rändern. Liegen die Prismen aber in alternierenden oder unregelmässigen Reihen, wobei jedes Prisma an der einen Fläche von zwei oder auch drei Prismen eingedrückt erscheint, so ergeben sich, statt der einfachen, doppelte, oder mehrfache Rinnen, welche von dünnen, blatt- oder flügelartigen Scheidewänden, die von der eingedrückten Fläche ausgehen, gesondert erscheinen. Bisweilen sind die Doppelrinnen ganz abgeflacht und aus dem gewölbten Körper des Prisma geht dann ein allmählich sich zuschärfender Grat oder Flügel ab, wodurch das Prisma im ganzen eine abgeplattete Form erhält. Es scheint sonderbar, dass diese bemerkenswerten Strukturbilder, welche Smreker zuerst an Silberpräparaten sah und später auch an gefärbten und ungefärbten Schliffen eingehend (24) beschrieb, so lange übersehen wurden. Der Grund liegt wohl darin, dass in früherer Zeit meistens nur geätzte Schliffe bei schwächerer Vergrösserung untersucht wurden. An solchen Schliffen werden die dünnen flügelartigen Scheidewände der Rinnen stark angegriffen und von der oberflächlich gequollenen Kittsubstanz zwischen den Prismen schwer unterscheidbar. Man erhält dann bei schwachen und mittleren Vergrösserungen leicht den täuschenden Eindruck allseitig von geraden Linien begrenzter Polygone; kann sich aber bei starken Vergrösserungen auch an solchen geätzten Schliffen vom wahren Sachverhalte überzeugen. Die Täuschung wird umso begreiflicher, als ja in der Tat auch häufig von geraden Linien begrenzte polygonale Querschnitte vorkommen (Fig. 5 und 16). Besser und leichter sind die rinnenförmigen Einbuchtungen der Prismen an ungeätzten polierten Schliffen zu sehen. Da man an Schliffen häufig im Zweifel bleibt, ob man reine Querschliffe von Prismen vor sich hat und ich selbst anfänglich der Meinung war, die Smrekerschen Arkaden seien durch Schiefschnitte zu erklären, so war der Versuch an isolierten Prismen die Formen derselben festzustellen, dringend geboten. An teilweise isolierten Prismen, welche an feinen Schliffen sich darboten, hat bereits Smreker die flügelartigen Fortsätze der Prismen sicher nach-

gewiesen. Schwer gelingt es aus hartem Schmelze einzelne Prismen auf längere Strecken zu isolieren und man bleibt häufig im Zweifel, ob die isolierten Stücke natürliche, oder durch Bruch verunstaltete Oberflächen besitzen. Umso besser gelingt die Isolierung an jugendlichem Schmelze, der, wie Smreker zeigte, schon die charakteristischen Formen der Einbuchtungen an Schliffen erkennen lässt. Ich bediente mich zur Isolierung teils der Zähne von neugeborenen Kindern, vorzüglich aber der noch nicht durchgebrochenen Molaren eines jungen Wildschweines (Frischling), sowie von einem Kuhkalbe, welche reichliches Material boten. Die Isolierung der Prismen gelingt durch Zerzupfen mit Nadeln in Wasser. Öfter bediente ich mich auch des vorherigen Kochens des Schmelzes in 10 pCt. Kali- oder Natronlauge, worauf eine Isolierung eines Teiles der Prismen durch Schütteln in Wasser gelang. Diese mehr schonende Isolierung schien eine bessere Gewähr für natürliche Oberflächen zu bieten, als das einfache Zerzupfen. Es ergaben sich jedoch keine wesentlichen Unterschiede der beiderlei Befunde. Nur das wäre zu bemerken, dass mit der Schüttelmethode längere Prismenstücke isoliert werden konnten. Untersucht man die vorher in destilliertem Wasser gut gewaschenen Präparate trocken, so findet man, neben Prismenstücken mit mehr gleichmässig dunklen Konturen, zahlreiche andere mit mehr weniger gut erhaltenen, dünnen, flügelartigen Anhängen (Fig. 3b) und solche von deutlicher Rinnenform (Fig. 3c). Die Flügel erscheinen meist zackig ausgesplittert (Fig. 3b und 6a) oder stellenweise ganz abgebrochen (Fig. 3e unten) und gar nicht selten, wie in eine Reihe feiner Nadeln aufgelöst (Fig. 3d u. 6b, c, d). Letzterer Befund könnte vielleicht auf eine präformierte Struktur anderer Art bezogen werden. Denn man kann mitunter auch zusammenhängende Splitter einer einfachen Prismenlage finden, an welchen benachbarte Prismen durch feine, kammartige Brücken verbunden sind (Fig. 8 u. 13), oder auch Prismenlagen, an welchen in der Aufsicht eine aus einer Reihe von Höckern bestehende Kante zu sehen ist (Fig. 10), welches letztere Bild wohl zu dem früheren, wie Aufsicht und Profil sich verhält. Da die flügelartigen Fortsätze zwischen die Prismen eindringen, die zuletzt erwähnten Brücken aber zweifellos Verbindungen zwischen zwei Nachbarprismen herstellen, welche den Interzellularbrücken, wie man

sie zwischen Epithelzellen findet, morphologisch entsprechen, so müssen diese Interkolumnarbrücken, wie ich sie nennen will, von den flügelartigen Fortsätzen der Schmelzprismen ebenso unterschieden werden, wie die Flügel der Flügelzellen eines geschichteten Pflasterepithels von den Stacheln, welche den abgerissenen Interzellularbrücken entsprechen. Ob nun Bilder, wie das in Fig. 3d gezeichnete, auf einen in Nadeln aufgelösten Flügelfortsatz oder auf Interkolumnarbrücken zu beziehen sind, erscheint zweifelhaft; doch spricht die Länge der Zacken und die Tatsache, dass alle Flügel eine Neigung zu zackiger Zersplitterung zeigen für die erstere Deutung. Die schwierige Frage der Beziehungen zwischen Flügelfortsätzen und Interkolumnarbrücken wird nun noch dadurch verwickelter, dass, wie es scheint, die Interkolumnarbrücken niemals drehrunde Verbindungen zwischen Nachbarprismen, sondern leistenartige, schräg laufende Platten darstellen. Dafür spricht, dass man solche Leisten an Längsschliffen direkt sehen kann, während an Querschliffen keine Interkolumnarbrücken gesehen wurden (Fig. 4). Es ist mir nur an Schliffen gelungen, gleichzeitig Flügelfortsätze und Interkolumnarbrücken zu sehen und ich halte es daher für berechtigt, Interkolumnarbrücken und nadelförmig aufgesplitterte Flügelfortsätze als verschieden anzusehen. Doch ist es häufig schwer, beiderlei Dinge auseinander zu halten, umsomehr, als im Laufe der Ausbildung des Schmelzgewebes Nachbarprismen mit ihren flügelartigen Fortsätzen miteinander verschmelzen können, wie bereits Smreker nachgewiesen hat. Besonders Präparate vom jungen Schmelze des Kalbes (Fig. 6, 6d) brachten mich zu der Vermutung, dass Interkolumnarbrücken aus nadelartigen Kalkstäben von Flügeln der Prismen hervorgehen können. Die Untersuchung der Isolationspräparate vom jungen Schmelze des Kalbes führte mich auch zu einer, wie ich glaube, befriedigenden Aufklärung über die bisher rätselhafte, nadelartige Aufsplitterung der jugendlichen Schmelzprismen. Bei der Herstellung von Präparaten in Wasser sah ich oft Prismen in wälzender Bewegung und konnte dabei an vielen deutlich sehen, dass die Flügel fast bandartig abgeplattet waren. Viele Prismen zeigten nadelartig aufgelöste Flügel, deren Nadeln schräg gegen die Längsachse der Prismen gerichtet sind (Fig. 6b, c, d, Fig. 3d). Der Winkel, welchen die Nadeln mit der Längsrichtung der Prismen bilden,

ist häufig so spitz, dass er unter 30° herabgeht und es können, bei flüchtigem Anblick, die Nadeln wie von dem Prisma künstlich durch Längsspaltung abgerissene Fäserchen erscheinen. Wenn nun ein solches Prisma während des Wälzens mit seiner Schmalseite zur Ansicht kam, so erhielt man den Eindruck, als ob das eine oder beide Enden der Länge nach in Nadeln aufgesplittert wären, wie dies Fig. 6e veranschaulicht. Zusammenhängende Prismen, welche in der Ruhelage ihre Schmalseiten darbieten (Fig. 6f), zeigen ebenfalls häufig an dem einen Ende scheinbar nadelartige Zersplitterung in der Längsrichtung, welche sich durch die Anwesenheit von Flügeln mit schräg zur Längsachse der Prismen verlaufenden Nadeln erklären lässt. Nimmt man dazu, dass stets in Zerpupfungspräparaten von jungem Schmelze zahlreiche abgebrochene Nadelstücke vorhanden sind, so wird man begreifen, dass man sehr leicht den täuschenden Eindruck erhält, dass die jugendlichen Schmelzprismen der Länge nach in Nadeln zerfallen und eine wesentlich andere Struktur besitzen, als die fertigen Schmelzprismen, an welchen zwar häufig Schrägbrüche aber keine Nadeln bei Isolationsversuchen zur Beobachtung kommen. Es wird weiter unten bei Besprechung der feineren Struktur der Schmelzprismen noch ausführlicher davon die Rede sein müssen, dass mit der zunehmenden Verkalkung des Schmelzgewebes diese Nadelbildungen allmählich verschwinden, ohne dass es, wie ich früher annehmen zu müssen glaubte (8, 9), zu einem gänzlichen molekularen Umbau der Prismen kommt.

Ist es schon recht schwierig über das Verhalten der Flügelnbildungen jugendlicher Schmelzprismen und der Interkolumnarbrücken sich ein bestimmtes Urteil zu bilden, so bietet ein weiterer Befund an Isolationspräparaten des jugendlichen Schmelzes noch mehr Rätselhaftes. Nicht selten findet man isolierte Platten oder häutchenartige Bildungen, welche die Abdrücke von Schmelzprismen zeigen (Fig. 11b), oder welche noch an Gruppen von Schmelzprismen festhaftend, deutlich erkennen lassen, dass es sich um Membranen handelt, welche zwischen Lagen von Schmelzprismen sich befinden (Fig. 11a). Die Membranen sind an trockenen Präparaten scharfkantig und zeigen ein Lichtbrechungsvermögen, das kaum geringer ist, als jenes der Prismen. Die Membranen sind also wohl verkalkt. Diese Membranen scheinen sich nur dort zu finden, wo Prismen in regelmässigen parallelen

Reihen nebeneinander liegen und am jungen Schmelze des Frischlinges ist es mir gelungen, am Querschnitte zwischen Reihen abgeplatteter Prismen solche Membranen wahrzunehmen (Fig. 7b). Man könnte diese Membranen vielleicht als isolierte Stücke von der die Zwischenräume zwischen den jungen Prismen erfüllenden Kittsubstanz ansehen. Allein die selbständige Isolierbarkeit und besonders auch das Verhalten am Querschnitte, an dessen Rissrande die Membranen hervorragten und deutlich als eine festere Masse von der die Prismen zunächst umgebenden Substanz unterscheidbar waren, spricht dafür, dass diesen verkalkten Häuten eine gewisse Selbständigkeit zukommt. Eine direkte Beziehung derselben zu den Flügelmembranen der Prismen ist unwahrscheinlich; die Struktur und das Verhalten am Querschnitte spricht entschieden dagegen (siehe Fig. 7).

Die komplizierten Formverhältnisse der jungen Schmelzprismen lassen sich an den fertigen Schmelzprismen nur mehr teilweise wieder finden. Die in der Regel sehr spärliche Zwischen- oder Kittsubstanz zwischen den Prismen, welche ausserdem im ganz harten Schmelze selbst völlig verkalkt, erschwert die Isolierung intakter Prismen bedeutend; immerhin kann man aus hartem Schmelze rinnenförmige (Fig. 1a) und mit flügelartigen Fortsätzen versehene Prismenstücke isolieren (Fig. 1b). Dass die Prismen mit Flügelfortsätzen auch im fertigen Schmelze bei weitem häufiger sind, als rundliche und polygonale Prismenformen, kann man hier allerdings nur an den Schliffen gut erkennen, da die Isolierung intakter Prismenstücke aus dem harten Schmelz, wie gesagt, nur schwer gelingt.

Abgesehen von den besprochenen Formverhältnissen der flügel-, platten- und nadelartigen Bildungen, welche gewissermaßen Anhänge der Schmelzprismen darstellen, kommen im Verlaufe der Körper der Schmelzprismen, auch wenn dieselben von polygonaler Form sind, nicht selten regelmässig angeordnete Verdickungen und Verdünnungen der Prismenkörper vor, welche denselben ein variköses, oder an den Rändern gezacktes Aussehen verleihen. Letzteres hat schon J. Tomes (32) an regelmässig sich senkrecht überkreuzenden Lagen von Schmelzprismen der Nagetiere gesehen. Dasselbe kann aber auch durch die Anwesenheit von Interkolumnarbrücken bedingt sein. Es kommt aber auch an nicht sich überkreuzenden Prismenbündeln, nament-

lich beim jungen Schmelze vor, dass dieselben abwechselnde Verdickungen und Verdünnungen zeigen (Fig. 9), wodurch eine Art Querstreifung zustande kommt, die aber, ebensowenig als die durch senkrechte Überkreuzungen oder durch Interkolumnarbrücken bedingte Querstreifung mit der Querstreifung verwechselt werden darf, die durch Ätzwirkung von Säuren auftritt. Nicht selten kann man solche Varikositäten der Prismen neben Ätzstreifung beobachten, wie dies beispielsweise in Fig. 12 abgebildet ist.

Ausnahmsweise kommen bei Tieren, wie es scheint, auch Prismen vor, welche der Länge nach aus feinen Fäserchen zusammengesetzt sind. So finde ich in der aus gekreuzten Prismenlamellen bestehenden inneren Schmelzlage in den Nagezähnen des Eichhörnchens die Schmelzprismen an Längsschliffen fein längsstreifig und an Querschliffen deutlich punktiert.

Über den Verlauf und die Anordnung der Schmelzprismen sind wir — soweit es die noch immer auf die Untersuchung von Schliffen beschränkte Methodik gestattet — bereits durch die älteren Arbeiten seit Linderer, Hannover, J. Tomes, Czermak, Koelliker etc. viel genauer unterrichtet, als über die Formen der Prismen; es soll daher auf diese Frage hier nicht eingegangen werden. Nur dagegen möchte ich neuerdings Bedenken erheben, wenn heute noch die Ansicht Anhänger findet, dass namentlich in der Krone, scharfwinkelige Knickungen von Schmelzprismen vorkommen. Ich konnte mich an Stellen, welche solche deutlich zu zeigen scheinen, stets davon überzeugen, dass an dem Scheitel des scharfen Winkels Prismen durchschnitten, also Durchkreuzungen von Prismen vorhanden waren. Die Kontinuität der Prismen konnte ich stets nur in Wellenbiegungen, die allerdings oft ziemlich steil sein können, verfolgen; der Krümmungsradius der Kurve der Umbiegung war aber immer noch mindesten $25\ \mu$, also keineswegs eine scharfe Knickung.

II. Struktur der Schmelzprismen.

Um über die feinere Struktur der Schmelzprismen einen besseren Einblick zu erlangen, scheint es mir zweckmässiger zu sein, nicht von den fertigen, völlig versteinerten Elementen auszugehen, sondern schrittweise die Veränderungen zu verfolgen, welche die Prismen im Laufe ihrer Ausbildung durchmachen. Unter-

sucht man an noch leicht schneidbarem, jugendlichen Schmelze die jüngsten, an der freien Oberfläche befindlichen Prismenstücke, so fällt schon bei mittlerer Vergrößerung auf, dass dieselben nicht homogen erscheinen, sondern eine körnig-wabige Zeichnung erkennen lassen, welche bei der Untersuchung in Wasser oder in verdünntem Glyzerin hervortritt; noch deutlicher aber an trockenen Schliffen oder Isolationspräparaten, wobei freilich zufällige Unebenheiten der Oberfläche die Untersuchung oft in störender Weise erschweren. Mit homogener Immersion und starker Beleuchtung kann man auch am Glyzerinpräparate den globulitisch-wabigen Bau der Prismen deutlich erkennen; feine, rundliche oder längliche, stark lichtbrechende Körnchen, welche teilweise untereinander verschmolzen sind, lassen zwischen sich rundliche, da und dort zusammenfliessende Räume übrig, welche von einer schwächer lichtbrechenden Substanz erfüllt sind. Dies lässt sich sowohl an der Profilansicht (Fig. 2), als an den Querschliffen der Prismen (Fig. 5) deutlich erkennen und es ist dadurch der Zweifel ausgeschlossen, dass die Zeichnung etwa der zwischen den Prismen befindlichen Substanz allein zukäme. Letztere hat allerdings auch ein undeutlich wabiges Ansehen, erscheint aber im ganzen viel blasser als die Substanz der Prismen. Ich stehe also nicht an, den eben in Bildung begriffenen Prismen einen globulitisch-wabigen Bau im Sinne O. Bütschlis (4) zuzuschreiben, wie ihn dieser Forscher an vielen festen Substanzen, darunter an Bildungen aus kohlen-saurem Kalk, an krystallinischen Strukturen verschiedener Art und sein Schüler O. Römer (21) insbesondere auch an den Prismen von Muschelschalen nachgewiesen hat. Verfolgt man die jungen Schmelzprismen von der Oberfläche nach innen, so wird der globulitisch-wabige Bau weniger deutlich und bei mittleren Vergrößerungen erscheinen die Prismen oft von fast gleichmässiger Helligkeit und Durchsichtigkeit, bei starkem Lichtbrechungsvermögen. Doch erkennt man an vielen Prismen die früher erwähnten varikösen Anschwellungen und häufig schräg zur Längsachse des Prismas gerichtete Streifen, welche an geflügelten Prismen in die nadelartigen Differenzierungen der Flügel sich fortzusetzen scheinen. Bei starken Vergrößerungen erkennt man dann wohl, dass auch an diesen Bildungen eine globulitische Struktur noch zu erkennen ist und dass die queren

Streifen, sowie die nadelartigen Fäserchen durch reihenweis dichter vereinte Körner zustande kommen. Die Annahme einer globulitisch-wabigen Struktur, auch für anscheinend homogen erscheinende junge Prismen, findet eine Stütze in dem Erfolge der Imprägnations- und Färbversuche. Junge Schmelzprismen lassen sich leicht intensiv färben mit Methylblau, ferner mit Purpurin, welches ich nach der Methode von Grandis und Mainini (14) anwendete. Mit Jodkaliumjodlösung erhält man lebhaft braune Färbung der Prismen. Einen zufälligen Färbungseffekt erhielt ich durch die von mir behufs Herstellung von Zahnschliffen gewöhnlich angewendete Methode. Ich brachte die zunächst aus freier Hand angeschliffenen Zähne in eine alkoholische, mit Benzol geklärte Lösung von ungebleichtem Schellack, der zur Vermeidung saurer Reaktion etwas Natriumkarbonat zugesetzt war. Die Zähne blieben darin 24 Stunden, wurden dann auf Objektträgern mit einem grossen Tropfen der Schellacklösung bei Ofenwärme bis zum Festwerden des Schellacks belassen und nun fein geschliffen und nach Lösung des Schellacks in Alkohol poliert. An solchen Schliffen war nun jedesmal der jugendliche Schmelz lebhaft rot gefärbt durch das im ungebleichten Schellack enthaltene Erythrolaccin. Alle diese Färbungsmethoden beweisen zunächst nur, dass die jugendlichen Schmelzprismen für Flüssigkeiten durchdringbar sind, da sich die Substanz der Prismen durch und durch intensiv färben lässt; über die feineren Verhältnisse der globulitischen Struktur zeigen sie jedoch nicht mehr als ungefärbte Prismen. Um eventuell über den Ort der Ablagerung des Calciumphosphates etwas Genaueres zu erfahren, versuchte ich nach der Methode von Lilienfeld und A. Monti (18) zum Nachweise der mikrochemischen Lokalisation des Phosphors Schnitte von vorher in Celloidin eingebettetem, jungem Schmelze mit Ammoniummolybdat in salpetersaurer Lösung und nachträgliche Behandlung mit Pyrogallol zu imprägnieren. Ich erhielt aber nur eine diffuse graublaue Färbung. Die Prismen erschienen nur an ihren jüngsten äusseren Enden von etwas gröberen dunkler gefärbten Körnern erfüllt, sonst fein wabig. Eine weitere Verfolgung solcher Versuche schien umsoweniger von Interesse, als, wie L. Heine zeigte (Zeitschr. f. physiol. Chemie, 22. Band, S. 132) die Reaktion auch bei phosphorfreien Substanzen eintreten kann. Besondere Bilder erhält man aber — wenn auch

nicht konstant — durch Imprägnation mit Silbernitrat. Bringt man kleine Splitter von jungem Schmelz in $\frac{3}{4}\%$ Silbernitrat durch einige Stunden im Dunkeln und reduziert hierauf im Lichte, so erhält man manchmal eine Braun- bis Schwarzfärbung der Prismen, welche eine mehr weniger regelmässige Zeichnung erkennen lässt. Man sieht stellenweise eine Querstreifung, bedingt durch Reihen von helleren Körnern, welche durch dunkel gefärbte Zwischenräume getrennt sind und an den nadelartigen Splittern ebenfalls eine Zusammensetzung aus helleren Körnern mit dunkleren Zwischenräumen. Doch tritt diese Färbung nicht konstant auf, gewöhnlich werden die Prismen gleichmässig braun bis schwarz; bisweilen bleiben die Prismen farblos und die Schwarzfärbung beschränkt sich auf die Kittsubstanz, welche im jugendlichen Schmelze immer relativ reichlich zwischen den Prismen vorhanden ist und die leichte Isolierbarkeit derselben bedingt. Bei den eigentlichen Färbungsmethoden färben sich die Prismen und die Kittsubstanz; doch ist die Färbung der ersteren stets intensiver, als die der letzteren; eine differenzierende Färbung konnte ich mit Farbstoffen nicht erzielen.

Haben die Schmelzprismen einmal ein mehr homogenes Ansehen gewonnen, so ist bereits, wie an völlig ausgebildeten Prismen, eine grosse Neigung derselben beim Isolieren schräg abzubringen, vorhanden. Es ist dies besonders deutlich an den, häufig beim Wildschweine und Kalbe vorkommenden, abgeplatteten Prismen zu sehen und man kann an diesen, wenn sie sich in einen nadelförmig zersplitterten Flügel fortsetzen, oft die Beobachtung machen, dass die Richtung des Schrägbruches mit jener der Nadeln übereinstimmt (Fig. 6b, d). Mit zunehmender Homogenisierung der Prismen nimmt ihre Färbbarkeit ab, die durch Varikositäten bedingten Querstreifen verschwinden allmählich und die nadelförmigen Bildungen verschmelzen mehr und mehr zu zusammenhängenden, blattartigen Massen. Aber noch immer sind die Prismen relativ leicht isolierbar und an Schliffen als scharf gesonderte Elemente zu sehen. Sie zeigen ausserdem zu dieser Zeit eine besondere Neigung, durch schwach saure Flüssigkeiten deutliche Querstreifung zu erhalten und Schliffe, welche mit Schellackeinbettung hergestellt wurden, ohne Zusatz von Alkalien, zeigen oft alle Prismen deutlich quergestreift. Die Ausbildung der Flügel bedingt nun häufig an Längsschliffen ein Bild, das

zu der Täuschung Anlass geben kann, als ob zwischen den Prismen eine Substanz vorhanden sei, die das Licht stärker bricht, als die Prismen. Es erscheinen nämlich die Zwischenräume zwischen den Prismen bei hoher Einstellung hell und bei tiefer Einstellung dunkel. Ich kannte diese Erscheinung schon seit meinen ersten Untersuchungen über den Zahnschmelz (5), glaubte sie aber dadurch erklären zu sollen, dass an den oberflächlich gelegenen Prismen konkave Flächen durch muscheligen Bruch entstanden seien. Man kann aber die Erscheinung, wie ich mich jetzt überzeugte, an vollständig eben polierten Schlifren wahrnehmen. Erst durch die Entdeckung Smrekers, über das häufige Vorkommen von Flügeln an den Prismen wird die Erscheinung begreiflich; die zwischen je zwei Prismen in der reinen Aufsicht vorliegenden Flügelkanten bedingen die leuchtende Lichtlinie bei hoher Einstellung. Wo keine Flügel vorhanden sind, sieht man stets das typische Bild der Kittsubstanz; dieselbe erscheint wesentlich schwächer lichtbrechend; also dunkel bei hoher, hell bei tiefer Einstellung. Mit fortschreitender Umbildung des Schmelzes wird die organische Substanz spärlicher und beim Entkalken in Säure erhält man zwar noch einen zusammenhängenden Rest der organischen Grundlage, derselbe ist aber im Bereiche der Prismen viel weniger dicht und schwächer färbbar als im Bereiche der Kittsubstanz. Dann folgt ein Stadium, in welchem die Prismen in Säuren sich vollständig lösen und nur mehr die Kittsubstanz als zusammenhängendes Maschen- oder Wabenwerk übrig bleibt, das sich mit Eosin, Congo usw. lebhaft färben lässt. Mit der vollständigen Ausbildung des fertigen Schmelzes verschwindet die Färbbarkeit desselben gänzlich, die Widerstandsfähigkeit gegen schwache Säurewirkung nimmt zu und es kommt endlich auch noch zur teilweisen Verkalkung der Kittsubstanz zwischen den Prismen, wohl auf dieselbe Art, wie die Verkalkung der Prismen selbst, indem durch fortschreitende Globulitenbildung endlich die ganze Kittsubstanz erhärtet. In diesem Zustande wird dann auch die Kittsubstanz in Säuren löslich; bleibt aber immer noch schwerer löslich als die Substanz der Prismen. Als Beginn dieses Vorganges betrachte ich, abgesehen von den wohl nur zwischen regelmässigen Reihen von Prismen vorkommenden, selbständig verkalkenden Membranen, die Bildung von Interkolumnarbrücken, beziehungsweise Interkolumnar-

leisten, wodurch zunächst unterbrochene Zusammenhänge und endlich, durch Ausfüllung der noch vorhandenen Zwischenräume, ziemlich solide Verschmelzungen der Prismen zustande kommen. So entstehen noch vor dem Durchbruche des Zahnes ausgedehnte Bezirke des Schmelzes, welche für das freie Auge völlig durchscheinend sich darstellen; an polierten Schliffen aber, fast wie eine homogene Masse erscheinen, welche keine deutlichen Grenzen von Prismen mehr erkennen lässt. Doch kann man auch an solchem, die höchste Stufe der Ausbildung erreichendem Schmelze an Splittern meist noch die Prismenstruktur erkennen und stets durch leichte Ätzung mit Salzsäure dieselbe sofort zur Anschauung bringen; ein Beweis, dass auch im ganz harten Schmelze die Kittsubstanz nicht so vollkommen verkalkt ist, wie die Prismen. Der kurz geschilderte Umwandlungsprozess der Schmelzprismen schreitet nun niemals an allen Punkten des Zahnschmelzes bis zur vollständigen Erhärtung des Schmelzes fort, am meisten nähern sich diesem Zustande unter den menschlichen Zähnen gut ausgebildete Milchschneidezähne. Einzelne Schmelzbezirke bleiben dauernd auf einer relativ frühen Entwicklungsstufe stehen, oder machen Umwandlungen durch, welche zu anderen Strukturbildern führen, als jenen, welche dem normalen völlig harten Schmelze zukommen. Es sind dies die besonders für die bleibenden Zähne charakteristischen Retziusschen Linien oder Streifen, beziehungsweise die Konturstriche (Preiswerk, 20), dann die auch bei Milchzähnen vorkommenden bandartigen Retziusschen Streifen (Konturbänder, Preiswerk), ferner unregelmässig angeordnete Schmelzbezirke, die durch Lücken und Kanälchen in der Kittsubstanz und unvollständig verkalkten Prismen ausgezeichnet sind, endlich die durch mehr weniger zahlreiche Kanälchen und unregelmässige Hohlräume stets ausgezeichnete Schmelzlage dicht am Zahnbeine.

III. Retziussche Streifen und Schmelzkanälchen.

Mit den Retziusschen Streifen habe ich mich bereits vor 15 Jahren eingehend beschäftigt. Damals handelte es sich wesentlich um den Nachweis, dass die scharfen braunen Linien, so wie die breiteren, bräunlichen, bandartigen Streifen an trockenen Schliffen wesentlich durch zwischen den Prismen befindliche Luft bedingt seien, wie zuerst Baume bestimmt behauptet hatte und

um die Widerlegung jener Angaben, welche die Linien durch Pigment, oder durch die besondere Verlaufsrichtung der Prismen erklären wollten. Die damals gegebene Darstellung war zunächst eine rein beschreibende und ich unterschied nach dem Verhalten an Längsschliffen zweierlei Streifen, die ich als Retziussche Streifen erster und zweiter Art unterschied. An den Streifen erster Art findet man stets an der Schlifffläche längs des Streifens die Prismen abgebrochen, die Streifen zweiter Art liegen in der Tiefe, ohne dass längs derselben Bruchränder von Prismen zu sehen wären. Dass beide Arten von Streifen nur verschiedene Erscheinungsformen desselben Strukturverhältnisses sind und an trockenen Schliffen luftführende Spalten um die Prismen enthalten, war ein Ergebnis, das wohl ziemlich allgemeine Zustimmung fand. Dass es sich im Bereiche der Retziusschen Streifen um eine unvollkommene Ausbildung des Schmelzgewebes handle, welche den durch die Interglobularräume bedingten Konturlinien des Zahnbeines vergleichbar sind, ist eine naheliegende Vorstellung. Die Schichten der successiven Schmelzablagerung entsprechen der Richtung der Retziusschen Streifen, beziehungsweise jener Flächen, deren Durchschnitte die Streifen sind, und A. Retzius, Linderer, Hannover und Koelliker nahmen daher an, dass die Streifen durch die schichtweise Schmelzbildung entstehen, eine Annahme, welche namentlich durch die Untersuchungen von O. Zsigmondy (29) über pathologische Schmelzhypoplasie eine wesentliche Stütze fand. Eine Schwierigkeit bieten aber die an Schliffen regelmässig an den von mir als erster Art bezeichneten Streifen vorkommenden Bruchenden der Prismen. Die Streifen kreuzen die Prismen meist unter Winkeln von 40° — 60° und da die Prismen fast quer abgebrochen sind stellen die Bruchenden eine Art Treppe dar, welche die scharfe Grenze des Streifens bildet. Wie sollten diese erklärt werden? Handelt es sich um ein successive sich ändernde Verlaufsrichtung der Prismen, etwa so, dass jedes der im Streifen von der Oberfläche des Schmelzes gegen das Zahnbein sich folgenden Prismen etwas früher aus der Schliffebene hervortritt als das vorhergehende? Wäre dies der Fall, müsste man Richtungsänderungen der Prismen sowohl an Längs- als an Querschliffen in den Streifen nachweisen können, was jedoch nicht gelingt, wobei allerdings nicht in Abrede gestellt werden soll, dass es auch Streifen gibt

in deren Bereiche plötzliche Richtungsänderungen vorkommen. Aber gerade solche Streifen, die meistens als Konturbänder im oberen Teile der Krone vorkommen und die Oberfläche nicht erreichen, bestätigen die Regel, dass die typischen feinen Retziusschen Linien, die Konturstriche, welche zwischen den Schmelzwülstchen (Perikimaten) enden, und nur bei den bleibenden Zähnen vorkommen,¹⁾ keine Richtungsänderung der Prismen erkennen lassen. Es muss daher die Ursache des treppenartigen Abbrechens der Prismen im Bereiche der Streifen in einer besonderen Brüchigkeit der Prismen an solchen Stellen gesucht werden. Die Untersuchung nicht völlig ausgebildeter, noch im Zahnsäckchen befindlicher, bleibender Zähne des Menschen bestätigt die Richtigkeit dieser Annahme. Man sieht die Retziusschen Linien an solchen Zähnen, an welchen die Prismenstruktur überall scharf hervortritt, bereits als in der Entwicklung etwas weniger fortgeschrittene Stellen. Man kann aber nur ganz ausnahmsweise und an nur sehr kurzen Strecken der Längsschliffe von solchen Zähnen ein Bild sehen, das den Retziusschen Streifen erster Art entspricht wie man sie an Längsschliffen bleibender durchgebrochener Zähne in Menge sieht. Alle Streifen der noch nicht durchgebrochener Zähne, welche feucht geschliffen und poliert wurden, entsprechen in dem grössten Teile ihres Verlaufes den Streifen zweiter Art und man sucht oft an ganzen Schliffen vergeblich nach einer Spur von Streifen erster Art. Der Umstand aber, dass — wenn auch selten — an einem oder dem anderen Streifen ein kurzes Stück mit Prismenbrüchen sich findet, scheint mir die Richtigkeit der gegebenen Erklärung zu sichern. Es sind eben an noch unfertigen, niemals trocken gewordenen Zähnen die Prismen in den Streifen relativ, gegenüber den normalen Prismen, weniger brüchig, als bei fertigen Zähnen; namentlich wenn letztere vor dem Schleifen ausgetrocknet waren. An den Retziusschen Streifen der noch unfertigen Zähne, an welchen die Prismenstruktur noch überall im Schmelze scharf hervortritt, treten die Streifen bei schwacher Vergrösserung im durchfallenden Lichte

¹⁾ Rudas wirft die Konturstriche mit den Konturbändern, welche letztere auch bei Milchzähnen vorkommen, zusammen und bezweifelt auf Grund dieses Missverständnisses die unbestreitbare Tatsache, dass die Konturstriche nur bei bleibenden Zähnen vorkommen.

Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 67.

durch geringere Durchsichtigkeit hervor und im auffallenden Lichte durch etwas stärkeres Reflexionsvermögen, in dem sie weisslich erscheinen. Mit stärkeren Vergrösserungen überzeugt man sich, dass diese geringere Durchsichtigkeit von zwei Ursachen abhängt. Erstens von einer relativ dickeren Schicht von Kittsubstanz zwischen den Prismen, zweitens von einer häufig mehr körnigen Beschaffenheit der Prismen selbst — beides Charaktere der Frühstadien der Prismenentwicklung. Dazu kommt die stärkere Färbbarkeit der Prismen in den Streifen gegenüber den angrenzenden Prismenabschnitten, was insbesondere bei Purpurinfärbung deutlich hervortritt und endlich die grosse Neigung der Prismen in den Streifen bei ganz schwacher Säurewirkung querstreifig zu werden. Alle diese Eigenschaften kommen auch dem jugendlichen Schmelze zu. Je weiter die Ausbildung des Zahnes fortschreitet, um so scharfer treten die Streifen, welche häufig auf der geschilderten Ausbildungsstufe noch am fertigen Zahne zu finden sind, hervor; besonders scharf dann, wenn die benachbarten Schmelzlagen in ganz harten, fast homogenen Schmelz sich umwandeln. Dass an trockenen Zähnen die Retziusschen Linien im auffallenden Lichte weiss wie Kreide, im durchfallenden bräunlich bis schwarz sich zeigen, sind Erscheinungen, die sie ebenfalls mit noch unentwickeltem Schmelze teilen, der ja in trockenem Zustande ebenfalls weiss, wie Kreide, erscheint infolge der, hier wie dort, beim Austrocknen zwischen den Prismen in der weichen Kittsubstanz entstehenden, mit Luft sich füllenden Spalten. Die Färbbarkeit teilen die Retziusschen Streifen ebenfalls mit dem embryonalen Schmelze. Preiswerk (20), welcher die Färbung der Retziusschen Streifen mit Jod erkannte, wollte darin einen Beweis sehen, dass die Undurchsichtigkeit beziehungsweise bräunliche Farbe der trockenen Streifen nicht von Luft herrühren. Es färben sich aber die auf embryonaler Stufe stehengebliebenen Prismen und die zwischen denselben befindliche, noch weiche Kittsubstanz, was sehr wohl verträglich ist mit dem Auftreten von Luft an den trockenen Schliffen.

Nicht immer bleiben die Retziusschen Streifen auf der geschilderten Embryonalstufe stehen. Bisweilen kommt es auch in diesen zu einer sehr dichten Verkalkung der Prismen, ja auch teilweise der Kittsubstanz, während ein Teil der Kittsubstanz unverkalkt bleibt, ja vielleicht sich sogar verflüssigt, wodurch

dann die mannigfaltigst gestalteten Hohlräume zwischen den Prismen übrig bleiben (Fig. 14), welche die Streifen ausserordentlich dunkel, auch an feucht aufbewahrten Schliffen erscheinen lassen, da der Brechungsquotient der völlig verkalkten Prismen gegenüber der in den Hohlräumen befindlichen Flüssigkeit, deren Brechungsquotient von jenem des Wassers kaum sehr merklich verschieden sein dürfte, ein sehr hoher ist. Die Prismen sind an solchen Stellen zum Teil sehr dünn geblieben, die Hohlräume zwischen denselben von der mannigfaltigsten Gestalt, teils einfache Spalten, welche einen geringeren oder grösseren Teil der Prismen umgrenzen, teils röhrenartige Bildungen, teils buchtige, sternartige oder ganz unregelmässige Räume, welche sich zwischen unregelmässig gestaltete, teilweise verschmolzene Prismen einschieben und an den Grenzen der Streifen blind endigen. Interprismatische Kanälchen kommen nun, wie bekannt, auch anderwärts im fertigen Schmelze vor und vor allem findet man in den an das Zahnbein grenzenden, am frühesten erhärtenden Schmelzlagen mehr minder zahlreiche Kanälchen und unregelmässige Lücken, welche zum Teil mit den arrodieren Zahnkanälchen an der Zahnbeinoberfläche zusammenhängen. An Querschliffen ausgebildeter bleibender Zähne sieht man in der Regel eine ziemlich regelmässige Anordnung von Spalträumen, welche an trockenen Schliffen mit Luft sich füllen und, wie bereits Rudas und Douglas E. Caush zeigten, Farbstoffe aufnehmen können. Smreker (24) erhielt nach der Methode von Ruprecht mit Fuchsin-Alkohol intensive Färbungen. Es handelt sich um windschief verbogene, blattartige Prismenlagen, welche meist an den Firsten zwischen den oberflächlichen Gruben des Zahnbeines ihren Ursprung nehmen und nach auswärts gegen die Mitte des Schmelzes sich mehrfach zerteilen und gewöhnlich die Schmelzoberfläche nicht erreichen. Diese Blätter stehen in Abständen von 0.07—0.15 mm, im Mittel etwa 0.01 mm von einander entfernt (Fig. 40). Die Prismen in denselben sind dünn, unvollkommen ausgebildet und zwischen denselben ist reichliche unverkalkte Kittsubstanz, welche Miller (19) und Viggo Andresen (1), jeder unabhängig von dem anderen, bei Versuchen den Schmelz in Säuren zu lösen als unlösliche Schmelzreste darstellen konnten, ohne die Bedeutung des Befundes klar zu stellen. Die unverkalkte Kittsubstanz dieser Schmelzblätter

hängt direkt mit den Zahnkanälchen zusammen; es wurden diese Blätter früher offenbar, so auch von mir selbst (5), für künstliche Sprünge gehalten, was um so leichter geschehen konnte, als an Längsschliffen die Regelmässigkeit der Blätter nicht hervortritt und dieselben als Stücke von Konturbändern sich darstellen können. Es scheint mir ausgeschlossen, alle diese mannigfaltigen Kanälchen- und Hohlraumbildungen im fertigen Schmelzgewebe anders erklären zu können, als durch unverkalkte Reste der ursprünglich überall zwischen den Prismen vorhandenen, weichen Kittsubstanz. Todd-Bowman und Lessing nahmen Kanäle im Schmelze zur Fortleitung von Flüssigkeit aus dem Zahnbeine als konstant an. Koelliker wollte in seiner mikroskopischen Anatomie (1852) nicht so weit gehen, beschreibt aber schon treffend die Schmelzkanälchen: 1. als Fortsetzungen der Zahnkanälchen, teilweise mit 2. Erweiterungen, 3. spaltförmige Lücken in den mittleren und äusseren Teilen die mit den vorigen nicht zusammenhängen; letztere namentlich in den farbigen Streifen d. h. die Retziusschen Linien und die Konturbänder. Er fügt dann noch ausdrücklich bei: „Wo die Schmelzprismen Kanäle zwischen sich haben, ist die Zwischensubstanz nicht zu leugnen“. Es soll hier nicht ausführlich noch einmal auf die Frage der Kittsubstanz oder Grundsubstanz, wie Rudas (22) sie nennen will, eingegangen werden, welche durch Smrekers (23) Silbermethode eine wesentliche Förderung erfuhr und zu ungerechtfertigten Einwendungen von Seite Prof. O. Walkhoffs (25, 26, 27) Anlass gab, welche ich zu widerlegen suchte (10, 11). Ich glaubte nur nochmals betonen zu sollen, dass eine verständliche Darstellung der Schmelzentwicklung ohne die Annahme einer Zwischen- oder Kittsubstanz der Schmelzprismen kaum denkbar ist und dass die von O. Walkhoff behauptete Existenz einer besonderen Kortikalschicht der Prismen ein optisches Trugbild ist.

IV. Doppelbrechung, Untersuchungsmethoden, Entwicklungsstufen des Schmelzes.

Wie bereits einleitend bemerkt wurde, war das Zusammengehen der Umwandlung des jugendlichen, weichen in den harten, fertigen Schmelz mit der Umwandlung der vorübergehenden positiven Doppelbrechung in eine bleibende negative das Haupt-

hilfsmittel, um topographisch die Verteilung von jüngerem und älterem Schmelz an Schliffen durch die ganze Zahnkrone festzustellen. Es war somit ein eingehenderes Studium der Doppelbrechung des Schmelzes geboten. Die noch leicht isolierbaren, bereits stark glänzend und nicht mehr körnig aussehenden, jugendlichen Prismen lassen sich trocken auf ihre Doppelbrechung als völlig isolierte Prismen untersuchen. Ihre Doppelbrechung ist auffallend stark; schon ein einzelnes Prisma erscheint in diagonalen Stellung hell im dunklen Gesichtsfeld bei gekreuzten Nicols und erhöht die Farbe über einer Gypsplatte Roth I. O. bis Indigblau in Additionsstellung (Fig. 34,c) und erniedrigt dieselbe auf Gelb in der Subtraktionsstellung (Fig. 34d). Bei stärkeren Vergrößerungen macht man die wichtige Beobachtung, dass häufig einzelne, namentlich geflügelte Prismen bei keiner Stellung vollständig neutral sind, sondern in der Stellung, in welcher das Prisma die Farbe des Gypsgrundes möglichst unverändert wiedergibt, immer noch einzelne Flecken oder die ganzen Flügel die Farbe erhöhen oder vermindern (Fig. 34a und b). Die Beobachtung ist deshalb von Wichtigkeit, weil sie zeigt, dass die Schmelzprismen auf keinen Fall die Struktur eines einheitlichen Krystalles haben. Eine zweite bemerkenswerte Tatsache ist die, dass sehr häufig die optische Achse der Prismen nicht mit der morphologischen Achse derselben zusammenfällt. Ich wurde auf diese Tatsache zuerst an radiären Längsschliffen von fertigen Zähnen aufmerksam, an welchen die Grenzlinien der, der freien Zahnoberfläche zugewendeten Prismen, die unter sich ziemlich genau parallel sind, fast niemals mit dem im Analysatorocular die Richtung der Polarisationssebene markierenden Faden zusammenfielen, wenn die Prismen die Farbe des Gypsgrundes möglichst genau wiedergaben. Ich dachte zuerst an eine Täuschung durch in der Tiefe des Schliffes in anderer Richtung laufende Prismen, bis ich die Erscheinung auch an einzelnen, jugendlichen Prismen beobachten konnte. An einzelnen fertigen Schmelzprismen lässt sich diese Tatsache nicht feststellen, da die negative Doppelbrechung derselben viel schwächer ist, als die positive jugendlicher Prismen und infolgedessen die Bestimmung der neutralen Richtung an einzelnen Prismen sehr ungenau wird. Ich suchte an einzelnen jugendlichen Prismen den Winkel, welchen die optische Achse mit der Prismenachse bildet, zu be-

stimmen was nur mit einer Unsicherheit von 4° — 6° möglich ist und fand, dass der Winkel 5° — 18° ja 20° und darüber und zwar sowohl an Milch- als Ersatzzähnen betragen kann. Zu weiteren Untersuchungen benützte ich dann Schliffe fertiger Zähne um den Winkel zwischen Prismenrichtung und Richtung der optischen Achse zu bestimmen. An Querschliffen der Zähne bemerkte ich keine merkliche Abweichung, wohl aber an den radiären Längsschliffen. Daraus folgt, dass die optische Achse mit der Längsachse der Prismen einen Winkel bildet, dessen Schenkel annähernd in einer Ebene liegen, welche durch die Zahnachse geht. Entsprechend diesen Befunden an isolierten Prismen und an Längsschliffen ergab sich auch, dass reine Querschliffe von Prismen nicht immer bei jeder Stellung die Farbe des Gypsgrundes wiedergeben. Als Kriterium des reinen Querschliffes diene ausgiebige Verschiebung der Mikrometerschraube. Schiefschnitte zeigen dann eine deutliche Verschiebung der Prismendurchschnitte, während an reinen Querschnitten eine solche nicht eintritt. Die Untersuchung der radiären Längsschliffe ergab, dass im oberen Teile der Zahnkrone die Richtung der Prismen, von der Zahnbeinseite gegen die Schmelzoberfläche, kronenwärts stärker geneigt ist, als die Richtung der optischen Achse; doch nimmt der Winkel, welchen die beiden Richtungen bilden, vom oberen Teile der Krone, wo er mehr als 20° betragen kann, bis zum Schmelzrande am Zahnhalse auf 6 — 7° ab und kann auch stellenweise, namentlich an der Lingualseite der Zähne, 0° werden. Die optische Achse in Bezug auf ihre Richtung zur Oberfläche des Schmelzes zeigt im ganzen eine derartige Richtungsänderung, dass sie im oberen Teile des Schmelzes eine geringe Neigung gegen die Kronenspitzen zeigt, dann gegen den Zahnhals allmählich sich senkrecht zur Schmelzoberfläche stellt und am Schmelzrande des Zahnhalses schliesslich etwas wurzelwärts geneigt ist.

Die positive Doppelbrechung jugendlicher Schmelzprismen ist ausser an den trockenen Prismen auch an solchen, die in Wasser oder Alkohol untersucht werden, deutlich wahrnehmbar; doch ist sie schon in diesen Flüssigkeiten etwas schwächer als an dem trocknen Präparate. Die meisten anderen Flüssigkeiten beeinflussen aber die Doppelbrechung in höherem Grade. Terpentinöl, Benzin und Paraffinöl schwächen die positive Doppelbrechung sehr merklich, konzentriertes Glyzerin drückt dieselbe

fast auf 0° herab und bewirkt bisweilen bereits schwach negative Doppelbrechung, ähnlich wirken Origanumöl, Xylol und Monobromnaphthalin, etwas stärker Anisöl und Schwefelkohlenstoff. Dagegen rufen Zimmtöl, Cassiaöl, Nelkenöl, Salizylaldehyd und Anilinöl sehr deutliche negative Doppelbrechung hervor, die jedoch viel schwächer ist, als die ursprüngliche positive. Wäscht man die genannten Flüssigkeiten mit Alkohol wieder aus, so zeigt der Schmelz genau dasselbe Maß von positiver Doppelbrechung wie vorher. Daraus folgt wohl notwendig der Schluss, dass die in so augenfälliger Weise das optische Verhalten des jugendlichen Schmelzes beeinflussenden Flüssigkeiten keine bleibende Strukturveränderung in demselben bewirken. Man muss annehmen, dass gerade so, wie die Farbstoffe, auch die genannten Flüssigkeiten in die anscheinend schon homogen erscheinenden Prismen einzudringen vermögen, aber in der fein porösen Masse der Prismen Spannungen erzeugen, welche die totale Umkehr der Doppelbrechung veranlassen. Ich machte die Beobachtung zuerst mit Zimmtöl, das ich versuchte, um den Brechungsquotienten der jugendlichen Schmelzprismen zu bestimmen. Ich fand, dass der Brechungsquotient der ordentlichen Welle für die Linie D in den Schmelzprismen von dem Schneidezahn eines neugeborenen Kindes mit jenem von Zimmtöl, dessen Brechungsquotient für die Linie D gleich 1.5889 war, übereinstimmte, dass aber nun die ordentliche Welle die stärker brechbare geworden, während sie im trocknen Prisma die schwächer brechbare war. Der Befund der Umkehr der Doppelbrechung wurde von mir bereits früher an anderen imbibirbaren Gewebeelementen, ebenfalls zufällig, gemacht. In einer im Jahre 1894 veröffentlichten Abhandlung (7) hatte ich bereits nachgewiesen, dass leimgebende Gewebe, sowie Chitin und Spongin durch Zusatz phenolartiger Verbindungen, besonders von Phenolaldehyden, zu welchen das Zimmtöl gehört, eine totale Umkehrung der Doppelbrechung erleiden, welche — nach Ausschluss anderer Möglichkeiten — nur durch veränderte Spannungen im Innern der Gewebeelemente begreiflich wird. Diese Spannungsänderung hat aber die Imbibirbarkeit oder Durchdringbarkeit der Substanz durch die wirkende Flüssigkeit zur notwendigen Voraussetzung. Es schien mir also die leichte Beeinflussbarkeit der Doppelbrechung der jugendlichen Schmelzprismen ein schlagender Beweis für die Richtigkeit der Annahme, dass bei der

Ausbildung der Prismen nicht bloss eine Verdickung derselben durch Auflagerung, sondern eine fortschreitende Verdichtung durch Neueinlagerung von Kalksalzen zwischen die kleinsten Massenteilchen stattfindet. In Übereinstimmung damit steht auch der Befund, dass der Brechungsquotient der ordentlichen Lichtwelle mit zunehmender Ausbildung der Prismen beträchtlich, von 1.5889 auf 1.6277 zunimmt. Dass schliesslich die Schmelzprismen einen Grad von dichter Aneinanderlagerung der kleinsten Massenteilchen erlangen, welche ein Eindringen von Flüssigkeit ausschliesst, muss aus der Tatsache geschlossen werden, dass die Doppelbrechung der fertigen Schmelzprismen durch Flüssigkeiten nicht mehr beeinflussbar ist — ätzende Flüssigkeiten selbstverständlich ausgeschlossen — und damit steht in Übereinstimmung, dass fertige, vollständig verkalkte Schmelzprismen mit Farbstoffen nicht mehr färbbar sind. Der Umstand, dass die optische Achse keineswegs immer genau mit der Längsrichtung der Prismen zusammenfällt, ferner der verwickelte Verlauf der Schmelzprismen, wie er insbesondere im oberen Teile der Krone und in den Schregerschen Faserstreifen zutage tritt, machen es nun einigermaßen schwierig, den Charakter der Doppelbrechung an Schliffen richtig zu beurteilen. Es ist von vornherein nicht daran zu denken, eine genaue Topographie der Verteilung des weichen und harten Schmelzes und der Übergangsstellen mit Hilfe der Untersuchung der Polarisationserscheinungen festzustellen. Immerhin ist es in der Regel möglich an radialen Längsschliffen von Zähnen für die der Oberfläche nächst liegenden und für die dem Zahnbeine angrenzenden Schmelzschichten den Charakter der Doppelbrechung mit ziemlicher Sicherheit zu bestimmen, da in diesem Bereiche die Prismen auf grössere Strecken einen fast parallelen Verlauf zeigen. Natürlich ist es nicht möglich das Verhalten der einzelnen Prismen sicher zu beurteilen, aber man gewinnt im grossen und ganzen eine Übersicht, wie die Ausbildung des Schmelzes fortschreitet.

Der Charakter der Doppelbrechung, d. h. ob positiv oder negativ, lässt sich an radialen Längsschliffen — den obersten Teil der Krone ausgenommen — fast immer sicher beurteilen, da in der Ebene des Schliffes nur selten Kreuzungen von Prismen vorkommen. Anders steht es mit der Beurteilung des Maasses der Doppelbrechung, für welches bei gleicher Dicke des Schliffes

die Höhe der Interferenzfarbe nur dann entscheidend wäre, wenn alle Prismen parallel der Schliffebene oder in gleicher Neigung zu derselben verlaufen würden, was insbesondere im Bereiche des mittleren Teiles der Schmelzdicke nicht der Fall ist, wo Prismen in allen Richtungen vom reinen Querschnitte bis zum reinen Längsschnitte in den Diazonien und Parazonien durchschnitten sind. Die Untersuchung der Schliffe wurde in Wasser vorgenommen, da unter den aufhellenden Flüssigkeiten, die ja zur Untersuchung der Doppelbrechung sonst vorteilhafter wären, keine gefunden wurde, welche die positive Doppelbrechung des jungen Schmelzes nicht wesentlich schwächen würde. Trocken kann man die Schliffe nicht untersuchen, da der junge Schmelz durch Eindringen von Luft zwischen die Prismen ganz undurchsichtig wird. Bei der Untersuchung wurde nun in folgender Weise verfahren. Auf den drehbaren Tisch eines grossen älteren Zeiss'schen Mikroskopes, das mit den von mir beschriebenen Einrichtungen zur Untersuchung der Doppelbrechung (6) versehen war, kam der Schliff zwischen gekreuzten Nicols. Die Einrichtung ist deshalb sehr bequem, weil ohne weiteres die Zentrierung des Schliffes während der Azimutaldrehungen gegeben ist; sie hat jedoch den Nachteil, dass man nur Objektive benutzen kann, die nicht merklich doppelbrechend sind, was häufig nicht der Fall ist. Über den Polarisator war eine Gypsplatte Roth I. O. so eingelegt, dass deren Additionsrichtung, d. h. diejenige Richtung, zu welcher positiv doppelbrechende Fasern (Bindegewebsfasern, Muskelfasern etc.) mit ihrer Längsrichtung, welche zugleich die Richtung ihrer optischen Achse ist, parallel gestellt werden müssen, um die Farbe des Gypsgrundes in steigendem Sinne über Violett nach Blau usw. zu verändern, stets von links hinten nach rechts vorne vom Beschauer verlief, während die Polarisations-ebene des Analysators gerade von hinten nach vorne gerichtet war. Es wurde nun mit einer mässigen Vergrösserung, welche noch die Konturen der Prismen deutlich erkennen liess, eine Stelle des Schmelzes eingestellt und zunächst durch Drehung des Tisches die neutrale Stellung aufgesucht, in welcher die Farbe des Gypsgrundes möglichst rein zu sehen war. Von dieser Stellung ausgehend wurden nun die Prismenlängsschliffe in die Additionsrichtung und in die zu derselben senkrechte Subtraktionsrichtung gebracht und nach der Farbenänderung der Charakter

der Doppelbrechung bestimmt. Stieg die Farbe bei Parallelstellung der Prismen zur Additionsrichtung und sank sie bei dazu senkrechter Stellung, so lag positiver, trat umgekehrt bei Parallelstellung der Prismenrichtung zur Additionsrichtung ein Sinken und bei dazu senkrechter Stellung ein Steigen der Farbe ein, so lag negativer Schmelz vor. Trat trotzdem, dass Längsschnitte von Prismen vorlagen, keine Änderung der Farbe des Gypsgrundes ein, so lag neutraler, nicht doppelbrechender Schmelz vor, wie er an den Übergangsstrecken von positivem zu negativem Schmelz immer, aber auch bei ganz jungen Prismen, bevor sie positiv doppelbrechend werden, sich findet. So wurde der ganze Schmelz jedes Zahnschliffes von Stelle zu Stelle untersucht und der Befund skizziert. Wollte man alle Einzelbefunde naturgetreu abbilden, so würde eine Unzahl von Abbildungen für jeden Zahnschliff notwendig sein. Ich suchte daher die Summe der Einzelbefunde in einem Bilde zusammen zu fassen, indem ich die positiven Schmelzbezirke mit blauer, die negativen mit gelber, und die neutralen mit roter Farbe hervorhob. Das wäre also in etwas schematisierter Form die Darstellung der Befunde, welche sich bei Parallelstellung der Schmelzprismen zur Additionsrichtung ergaben. Die Schematisierung bezieht sich nur auf die Art der Darstellung der Polarisationsfarben; die topographische Verteilung des positiven und negativen Schmelzes ist aber möglichst genau nach den Präparaten wiedergegeben. Es sind daher auch in den in ihren Umrissen mit dem Zeichenapparate wiedergegebenen Schliffen die durch Aussplittern verloren gegangenen Schmelzteile weggelassen. Solche Schmelzverluste traten bei dem Bestreben möglichst dünne Schliffe herzustellen — denn nur an solchen ist eine gute Beobachtung möglich — leider öfter ein, besonders dort, wo harte Schmelzbezirke an jungen Schmelzgrenzen, welche letzterer wegen des geringen Zusammenhaltes der Prismen sich nur schlecht schleifen und nur unvollkommen polieren lässt.

Erst im Laufe der Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Erythrolaccinfärbung, wie sie durch die Einbettung mit ungebleichtem Schellack sich einstellte, sowie die Purpurin- und Methylblaufärbung sich einigermaßen deckten mit den Polarisationsbefunden, insoferne der positiv doppelbrechend befundene Schmelz gefärbt, der völlig harte negative aber stets ungefärbt erschien.

Eine vollständige Übereinstimmung war jedoch nicht vorhanden, indem auch Schmelz, der bereits negativ doppelbrechend geworden war, sich noch färbt. So war es durch die Färbung bisweilen möglich weichen Schmelz an Stellen nachzuweisen, wo bereits negative Doppelbrechung sich eingestellt hatte oder wo wegen ungünstiger Schliffrichtung, die Untersuchung mit dem polarisierenden Mikroskope erfolglos war. Ich verweise in dieser Beziehung insbesondere auf die Figuren 31, 32 und 37, 38 von welchen Fig. 31 u. 37 das Polarisationsbild, die Fig. 32 u. 38 dieselben Schliffe mit Erythrolaccinfärbung darstellen.

Untersucht man noch im Zahnsäckchen befindliche Zähne, an welchen bereits alle Stadien der Schmelzentwicklung sich finden, an Schliffen, so ergibt sich über das Aussehen der verschiedenen Entwicklungsstufen des Schmelzgewebes bei Untersuchung in Wasser oder verdünntem Glyzerin folgendes.

Die jüngsten Prismenbildungen, die man als primären Schmelz bezeichnen kann, erscheinen ziemlich undurchsichtig, dabei — bei schwacher Vergrößerung — mit nicht deutlich gesonderten Prismen, in dem diese und die Kittsubstanz fast von demselben Lichtbrechungsvermögen sind. Sie sind noch nicht merklich doppelbrechend, stark färbbar und von deutlich globulitischer Struktur. Dieser primäre Schmelz geht nach einwärts in jungen Schmelz über. Er erscheint etwas durchsichtiger als der primäre mit deutlich gesonderten Prismen, die merklich stärker lichtbrechend sind, als die Kittsubstanz. Der junge Schmelz erscheint bräunlich im durchfallenden Lichte, was jedoch nicht von einem Farbstoffe, sondern von dem grossen Unterschiede der Brechungsquotienten der verkalkten Teile und der die Zwischenräume erfüllenden Flüssigkeit herrührt. Die Prismen sind oft varikös querstreifig. Der junge Schmelz ist stark positiv doppelbrechend und ebenfalls gut färbbar. An den jungen Schmelz schliesst sich der Übergangsschmelz. Die Prismen sind noch scharf gesondert, aber am Schliffe durchsichtiger, im durchfallenden Lichte von heller gelb-bräunlicher Farbe, als im jungen Schmelze. Der Übergangsschmelz umfasst teils neutralen, teils bereits deutlich negativ doppelbrechenden Schmelz. Die Färbbarkeit ist gering. Dem Übergangsschmelz schliesst sich dann zu innerst gegen das Zahnbein der fertige harte Schmelz an. Dieser erscheint im durchfallenden Lichte farblos, wasserhell,

homogen mit oft nur undeutlich wahrnehmbaren Prismengrenzen, namentlich an nicht tadellos polierten Stellen, und ist nicht mehr färbbar. Im harten Schmelze treten die mannigfaltig gestalteten Schmelzkanälchen, die in den jüngeren Schmelzentwicklungsstadien nur schwer wahrnehmbar sind, am schärfsten als Lücken hervor (Fig. 17). Trocken untersuchte Schlitze zeigen nur den fertigen harten Schmelz im durchfallenden Lichte hell, während der junge und der Übergangsschmelz an nicht ganz dünnen Schlitten schwarz, beziehungsweise undurchsichtig, erscheinen. Es beruht dies wesentlich auf dem Eindringen von Luft zwischen die Prismen.

V. Befunde an Milchzähnen und bleibenden Zähnen vom Menschen.

Das Vorschreiten der Schmelzerhärtung lässt sich, wie bereits erwähnt, an den Milchschneidezähnen des Menschen in der relativ regelmässigsten Weise verfolgen, weil hier häufig die Bildung von Konturbändern ganz unterbleibt. Ich verweise zunächst auf Fig. 18, welche den sagittalen Längsschliff eines medialen unteren Schneidezahnes vom Neugeborenen darstellt. Die Schneide der Krone besteht bereits grösstenteils aus negativem Schmelze; nur an der Oberfläche der Schneide sind die Prismen fast gar nicht doppelbrechend. Der negative Schmelz zieht, wurzelwärts in schräger Linie sich allmählich verdünnend, gegen das Zahnbein und überdeckt dasselbe noch mit einer ganz dünnen Lage bis etwa zur Mitte der Zahnanlage; etwas weiter herab an der lingualen, als an der labialen Seite. Der noch deutlich positive Schmelz beginnt unter der Schneide; labial etwas höher, als lingual und zieht dann, sich verdickend, wurzelwärts und nimmt im unteren Drittel der Zahnanlage die ganze Schmelzdicke ein. Zwischen die positive und negative Schmelzlage schiebt sich ein allmählich schmaler werdendes Band von neutralem Schmelze, das, nachdem der negative Schmelz wurzelwärts verschwunden ist, noch eine Strecke weit das Zahnbein direkt bedeckt um endlich ebenfalls positivem, jungem Schmelze Platz zu machen. Auch diese neutrale Schmelzlage reicht lingual viel weiter wurzelwärts, als labial. Untersucht man den Schliff im gewöhnlichen Lichte, so zeigt derselbe noch überall scharf gesonderte Prismen auch im Bereiche des negativen Schmelzes der Schneide und nur dicht am Zahnbeine fällt ein schmales,

wurzelwärts sich verlierendes Schmelzband auf, das viel durchsichtiger und heller erscheint, als der übrige, im ganzen bei durchfallendem Lichte hell-bräunliche Schmelz. Die Grenze zwischen positivem und negativem Schmelze, welche, wie die Abbildung ergibt, in ihrem Verlaufe einem Konturbande gleicht, ist im gemeinen Lichte nicht zu erkennen, auch nicht nach Färbung, durch welche eine ziemlich gleichmäßige Tinktion des ganzen Schmelzes erzielt wird. Bei der Untersuchung mit dem Messer auf die Härte, erwies sich der Schmelz dieses Zahnes noch überall schneidbar; nur an der Schneide der Krone zeigte sich eine grössere Resistenz. Beim Trocknen wurde der Schmelz kreidig weiss und von zahllosen Spalträumen durchsetzt.

Von älteren Milchschneidezähnen mit beginnender Wurzelbildung vor dem Durchbruche hatte ich nur trockene ausgezogene Zähne zur Verfügung. Das Polarisationsbild eines solchen gibt Fig. 19. Man sieht an demselben den negativen Schmelz bereits den grössten Teil der Zahnkrone einnehmen; nur an der Oberfläche findet sich eine dünne Schicht positiven Schmelzes, welche erst gegen den Zahnhals merklich dicker ($30\ \mu$) wird und nur knapp am Schmelzrande noch die ganze Schmelzdicke einnimmt. Die positive Oberflächenschicht beginnt lingual 2.5 mm, labial 1.3 mm unter der Kronenschneide. Auch hier schiebt sich überall zwischen positiven und negativen Schmelz eine neutrale Zone, welche am Zahnhalse am dicksten ist. Im gemeinen Lichte untersucht, zeigt dieser Zahn bereits in großer Ausdehnung völlig harten unfärbbaren Schmelz mit hellen, durchsichtigen, oft wenig scharf gesonderten Prismen. Nur an der Oberfläche sieht man durchaus scharfe Prismenstruktur; besonders dort, wo positiver und neutraler Schmelz vorhanden ist und letzterer in negativen übergeht. Es finden sich aber auch mehr minder ausgedehnte Stellen mitten im wasserhellen, negativen Schmelze, welche noch mehr den Charakter jungen Schmelzes besitzen und von gelblich bis bräunlicher Farbe in der hellen Umgebung erscheinen. Diese Stellen sind wohl dadurch entstanden, dass die völlige Erhärtung vom Zahnbeine her nicht gleichmässig fortgeschritten ist, sondern mit Übersprung einzelner Partien früher in der Oberfläche näher gelegenen Schichten eintrat. An einigen Stellen erscheinen diese Partien in Form schräg, wurzelwärts gegen das Zahnbein ziehender Streifen und stellen daher

Stücke von Konturbändern dar, von welchen an den Zähnen der Neugeborenen nichts zu sehen ist. Mit dem Messer untersucht, erwies sich der grösste Teil der Zahnkrone bereits so hart, dass nur die Oberfläche leicht geritzt wurde, während ein Eindringen mit der Messerspitze in die Tiefe nicht mehr möglich war. Nur am Zahnhalse liess sich der Schmelz noch leicht schneiden und trocken zeigte sich hier der Schmelz kreidig weiss; im übrigen Teil der Krone aber schon an der Oberfläche glänzend und von gelblich durchscheinendem Ansehen.

Vergleicht man mit dem geschilderten Stadium einen völlig ausgebildeten, bereits durchgebrochenen Milchschnidezahn (Fig. 22), so unterscheidet sich derselbe wesentlich nur dadurch, dass der positive Schmelz nun gänzlich geschwunden und an der Oberfläche überall heller, oft fast homogener Schmelz getreten ist. Unvollständig verkalkte Stellen und Andeutungen von Konturbändern finden sich auch hier, wie auf der vorhergehenden Entwicklungsstufe. Da und dort findet man in völlig ausgebildeten Milchschnidezähnen scharf begrenzte, oft durch die ganze Schmelzdicke ziehende Konturbänder, welche durch schmalere bräunlich erscheinende Prismen und breitere Kittsubstanz, mitunter auch durch zahlreiche unregelmässige Spalträume (s. S. 34), charakterisiert sind. Doch sind solche Streifen selten und in der Regel findet man nur unterbrochene, breite verwaschene Konturbänder, oder mehr unregelmässig gestaltete bräunliche Stellen im Schmelze, welche durch geringere Durchsichtigkeit der Prismen und schärfer markierte, spaltartige Prismengrenzen als nicht völlig ausgebildetes Schmelzgewebe sich charakterisieren.

Die Milcheckzähne des Neugeborenen zeigen noch überall positiven Schmelz mit Ausnahme einer dünnen Lage dicht am Zahnbeine, die von der Kronenspitze an der lingualen Seite weit gegen den Schmelzrand hinzieht, an der labialen Seite dagegen nur etwa das oberste Drittel der Zahnanlage einnimmt (Fig. 23). Auch an den Milcheckzähnen ist in diesen frühen Stadien von Konturbändern nichts zu sehen, an älteren Stadien, an welchen bereits die Erhärtung des Schmelzes eintritt, treten sie dagegen häufiger auf, als an den Schnidezähnen (vergl. Fig. 20).

An den noch nicht durchgebrochenen Milcheckzähnen eines 20 Monate alten Kindes fand sich überall negativer Schmelz mit Ausnahme einer positiven Oberflächenschicht in der Gegend des

Zahnhalbes an der labialen Seite. Der Schmelz erschien grösstenteils hell und durchsichtig, mit Ausnahme der positiven Partien und den an dieselben angrenzenden, negativen, wo noch bräunlicher, in Purpurin färbbarer Schmelz sich fand. Die Konturbänder zeigten zum Teil dasselbe Verhalten; es waren aber in den Eckzähnen dieses Kindes auch einzelne auffallend dunkle Konturbänder mit massenhaften unregelmässigen Schmelzkanälchen (siehe oben S. 34).

Die Milchmahlzähne des Neugeborenen zeigten noch überall positiven Schmelz, nur beim ersten fand sich unter den Höckern dicht am Zahnbeine eine dünne negative Schmelzlage. An dem noch nicht durchgebrochenen zweiten Milchmahlzahn eines 20 Monate alten Kindes fanden sich noch positive Schmelzbezirke am Zahnhalse an der Oberfläche in einer dünnen Lage, die sich gegen die Kronenhöcker allmählich verlor. Ausserdem fanden sich im Bereiche der ziemlich zahlreichen Konturstreifen mehrere Stellen, welche noch als deutlich positiv, oder fast neutral sich erwiesen, sowohl am Seitenabhange, als im Bereiche der Höcker und Gruben der Krone (Fig. 21). Bei der Untersuchung im gewöhnlichen Lichte zeigte sich an der Spitze der Höcker und an einem grossen Teil der übrigen Oberfläche harter, fast homogener Schmelz und ebenso in einer Lage dicht am Zahnbein. Dagegen war die mittlere Schmelzlage, mit Ausnahme der Höcker, fast überall aus noch jungem, mehr gelbbraunlichem Schmelze, mit scharf begrenzten Prismen, gebildet, welcher gegen den Zahnhals und teilweise auch in den Gruben zwischen den Höckern die ganze Schmelzdicke einnahm.

Der eben im Durchbruche befindliche erste Milchmahlzahn desselben Kindes zeigte etwas weiter geschrittene Ausbildung. Positiver Schmelz war hier nirgends mehr zu finden und der Schmelz selbst am Rande gegen den Zahnhals, zum teil aus ganz hellem, durchsichtigem, hartem Schmelz gebildet. Wohl aber zeigten sich in der Krone ziemlich zahlreiche, zum teil sehr dunkle Konturbänder mit reichlichen Hohlraumbildungen, welche sich auch in Purpurin färbten und inselartige Stellen mit noch scharf getrennten Prismen, die ebenfalls noch färbbar waren (Fig. 28).

Einen sonderbaren Befund, den ich nur in diesem Falle feststellen konnte, ergab ein eben im Durchbruche befindlicher zweiter Milchmahlzahn von einem zweijährigen Kinde, welcher

bereits überall negative Doppelbrechung ergab, die jedoch an der Oberfläche schwächer zu sein schien, als in der Tiefe. Das sonderbare an diesem Zahne war, dass in demselben Konturbänder sich befanden, deren Doppelbrechung anscheinend stärker war, als jene der Umgebung. Doch ist, wie bereits bemerkt wurde, ein Urteil über das Maß der Doppelbrechung stets unsicher, da man wohl die Azimutrichtung der Prismen, nicht aber ihre Neigung gegen die Schliffebene, von welcher die Höhe der Farbe abhängt, deutlich erkennen kann.

Die Entwicklungsvorgänge an den Mahlzähnen zeigen weniger einfache Verhältnisse, als jene an den Schneidezähnen des Milchgebisses; doch lässt sich auch hier im grossen und ganzen das Gesetz erkennen, dass die zuerst gebildeten Schmelzteile auch zuerst erhärten. Doch erleidet dieses Gesetz, besonders in den mittleren Teilen der Schmelzdicke und im Bereiche der Konturbänder mannigfaltige Störungen, die an den Schneidezähnen relativ geringer sind.

Etwas verwickelter, als an den Milchsneidezähnen gestaltet sich die allmähliche Erhärtung des Schmelzes an den bleibenden Schneidezähnen. Zwar waltet auch hier im wesentlichen das für die Milchsneidezähne geltende Gesetz, dass die Erhärtung von den ältesten Ablagerungen von Prismensubstanz zu den jüngsten fortschreitet, aber die zahlreichen, feinen Retziusschen Linien, die je näher dem Zahnhalse und je näher der definitiven Oberfläche umso dichter gedrängt auftreten, bedingen ein von jenem der Milchzähne deutlich verschiedenes Bild. Das jüngste untersuchte Stadium sind drei Schneidezähne von einem 20 Monate alten Kinde (Alkoholpräparat), welche im wesentlichen alle denselben Befund gaben. An der Oberfläche des sagittalen Längsschliffes (Fig. 25) fand sich überall eine sehr dünne Lage optisch neutralen Schmelzes, welche aus dunkeln, deutlich körnigen, also primären Schmelzprismen bestand. Diese neutrale Lage, welche sehr stark färbbar ist, darf nicht verwechselt werden mit jenen neutralen Prismen, welche am Übergange von positivem in negativen Schmelz gefunden werden; sie stellt vielmehr ein frühestes Entwicklungsstadium dar, wie es zunächst aus den Schmelzzellen, beziehungsweise deren Tomesschen Fortsätzen hervorgeht und erst zur Bildung eines positiven Schmelzprismas führt. An der Schneide

ist unter dieser Lage eine dünne positive Schicht, die sofort in negativen Schmelz übergeht, welcher den grössten Teil der Schneide bildet. Der negative Schmelz — wieder, wie bei den Milchzähnen — an der lingualen Seite etwas weiter herabreichend, als an der labialen, verdünnt sich wurzelwärts mehr und mehr und bildet zuletzt nur noch eine dünne Lage hart am Zahnbeine. Im Bereiche des negativen Kronenteiles unter der Schneide, finden sich zwei bogige Konturstreifen, welche fast neutral im negativen Schmelz hervortreten und nach abwärts bis hart an das Zahnbein verfolgbar sind. Diese neutralen Streifen sind wohl als Übergangsschmelz, von positiven in negativen, aufzufassen. Der grösste Teil des Schmelzes unterhalb der Schneide ist positiv doppelbrechend. Doch sind in diesem positiven Schmelze bereits ziemlich zahlreiche Retziussche Linien zu sehen, welche schwächer positiv oder fast neutral erscheinen, was wohl nur so gedeutet werden kann, dass geradeso, wie an der Oberfläche, im Bereiche dieser Streifen die Prismen noch nicht das volle Maß der positiven Doppelbrechung erreicht haben, während die neutrale Zone, welche auch hier wieder zwischen positiven und negativen Schmelz sich einschiebt, als Übergangszone des positiven, weichen in den härteren, negativen Schmelz aufzufassen ist. — In gewöhnlichem Lichte stellte sich der negative Schmelz dicht am Zahnbeine als stark lichtbrechender, wasserheller, harter Schmelz dar (Fig. 24); der negative Schmelz an der Schneide war noch Übergangsschmelz, hell-gelb-bräunlich, mit scharf gezeichneten Prismenkonturen. Die Konturbänder traten deutlich als dunklere Streifen im negativen Schmelze hervor. Die Grenze zwischen positivem und negativem Schmelze tritt im gemeinen Lichte nirgends deutlich hervor, doch ist der junge, positive Schmelz im Ganzen dunkler und die Konturstriche in demselben kaum wahrnehmbar durch die etwas schmäleren Prismen mit reichlicherer Kittsubstanz, welche die Streifen noch etwas undurchsichtiger als die Umgebung erscheinen lässt. Nach versuchter Eosinfärbung, welche jedoch nur eine schwache Wirkung hervorbrachte, zeigte ein grosser Teil des jungen Schmelzes, besonders aber die Retziusschen Linien, deutlich quergestreifte Prismen (Ätzstreifen).

Von älteren, bleibenden Schneidezähnen wurden solche eines fünfjährigen und eines sechsjährigen Knaben untersucht. Der

mediale, rechte untere Schneidezahn des Fünfjährigen (Fig 27) zeigte im oberen Teile der Krone durchaus negativen Schmelz; nur im unteren Teile derselben ist eine positive Oberflächenschicht vorhanden, welche jedoch die Dicke von 50 μ kaum überschreitet, den untersten Schmelzrand nicht ausgenommen. Labial reicht wieder die positive Lage viel weiter kronenwärts, als lingual. Die Retziusschen Streifen erscheinen deutlich schwächer doppelbrechend im negativen Schmelze; zwischen den in der Tiefe vorhandenen Konturbändern finden sich, stellenweise, auffallend stark negativ doppelbrechende Schmelzbänder, die im gewöhnlichen Lichte bereits alle Charaktere harten Schmelzes zeigen, der überhaupt im oberen Teil der Krone vorherrscht — die Oberfläche ausgenommen, die überall scharfe Prismenzeichnung zeigt. — Gegen den Zahnhals wird die Prismenstruktur überall deutlich, der Schmelz mehr gelb-braun, besonders im positiven Anteil und nur dicht am Zahnbein hell und durchsichtig. Wo Retziussche Streifen im harten Schmelze verlaufen, erkennt man im durchfallenden Lichte gut, dass sie im ganzen schwächer lichtbrechend sind, als die Umgebung. Zwei andere Schneidezähne von demselben Kinde gaben ähnliche Befunde, wie die eben geschilderten.

Der Ersatzeckzahn vom fünfjährigen Kinde zeigt ähnliche Verhältnisse wie die Schneidezähne (Fig. 29), doch nimmt der positive Schmelz im ganzen mehr Raum ein, als bei letzteren, was mit Rücksicht auf den späten Durchbruch der Eckzähne begreiflich ist. Die positive Oberflächenschicht reicht labial bis an die Kronenspitze, lingual bis fast 1 mm unter dieselbe. Gegen den Schmelzrand nimmt der positive Anteil fast die ganze Schmelzdicke ein mit Ausnahme einer dünnen Lage dicht am Zahnbeine. Die zahlreichen Retziusschen Linien im Bereiche des negativen Schmelzes sind schwächer doppelbrechend, als die Umgebung und am Übergange des positiven in den negativen Schmelz, sieht man den positiven Schmelz in den Linien weiter in die Tiefe dringen, als zwischen denselben. Durch Erythro-laccinfärbung erscheinen die positiven Schmelzbezirke am meisten gefärbt, insbesondere an der Oberfläche; die Färbung findet sich auch an bereits negativem Übergangsschmelze; doch zeigen alle gefärbten Teile im gemeinen Lichte sehr scharfe Prismenstruktur und weniger durchsichtige Prismen, während der, die Hauptmasse

der Krone bildende, harte Schmelz mit undeutlichen Prismengrenzen, völlig farblos ist. — Ein zweiter Schliff von einem Eckzahne desselben Kindes zeigte nichts wesentlich abweichendes; doch war an diesem der im abgebildeten, vorbesprochenen Eckzahne ausgesplitterte Schmelzrand besser erhalten und zeigte labial eine stärkere Verdickung der positiven Schmelzlage gegen den Schmelzrand, als sie an der lingualen Seite zu finden war.

Der Schliff vom bleibenden Eckzahne eines sechsjährigen Knaben¹⁾, den ich Herrn Dr. O. Zsigmondy verdanke, zeigte etwas andere Verhältnisse (Fig. 26). Die negative Doppelbrechung war auch hier bereits am grössten Teile der Zahnkrone vorhanden. Vom Schmelzrande geht aber, etwa 1,5 mm nach aufwärts, eine positive bis 0,37 mm dicke Schmelzschicht, welche nur von einer ganz dünnen, negativen Schicht, dicht am Zahnbein, unterlagert ist. Weiter hinauf reicht dann nur mehr eine 15 μ dicke, positive Lage bis zur Mitte der Zahnkrone. An der lingualen Seite reicht diese dünne Oberflächenschicht etwas weniger weit kronenwärts; das Verhalten des Schmelzrandes ist wegen Absplitterung desselben an der lingualen Seite nicht festzustellen. An der labialen Seite zeigt sich in der Gegend, wo die dicke positive Schicht verschwindet, noch positiver Schmelz, streckenweise rings von negativem Schmelze umschlossen; ein Beispiel unregelmässigen Fortschrittes der Erhärtung. Die zahlreichen Retziusschen Streifen zeigen, wo dies mit einiger Sicherheit beurteilt werden kann, schwächere negative Doppelbrechung, als ihre Umgebung und gegen den Schmelzrand sieht man auch optisch positive Streifen in negativer Umgebung. Im gemeinen Lichte sieht man, abgesehen von der Oberfläche und den Retziusschen Streifen, im Bereiche des negativen Schmelzes fast hellen, durchsichtigen, harten Schmelz mit undeutlichen Prismenkonturen; sonst mehr weniger gelblich bis bräunlichen Schmelz und zwar im Bereiche der positiven Bezirke besonders deutlich.

Von bleibenden Prämolaren wurden je ein erster und zweiter vom fünfjährigen Knaben an je zwei Schliffen untersucht. Der erste Backenzahn (Fig. 35 u. 36) zeigte an der Spitze

¹⁾ In Folge eines Versehens wurde dieser Zahn in dem zitierten Vortrage (13) als Schneidezahn bezeichnet.

der Höcker eine fast neutrale Lage, die am Abhänge der Höcker sich in eine dünne positive Lage fortsetzte, welche gegen den Schmelzrand plötzlich sich verdickt und an diesem selbst nur eine ganz dünne negative Lage unter sich hat. Eine weniger tiefgehende Verdickung der positiven Lage findet sich auch in den Gruben zwischen den Höckern. Bei weitem die Hauptmasse des Schmelzes ist bereits negativ und hart und im gemeinen Lichte durchsichtig, fast homogen. Durch Erythrolaccinfärbung ist der positive und der Übergangsschmelz blutrot gefärbt und zeigt überall scharf gesonderte, wenig durchsichtige Prismen. Dasselbe ist auch in den zahlreichen Retziusschen Streifen der Fall.

Der zweite Backenzahn (Fig. 31, 32 u. 37, 38) war in dem einen Schliffe (Fig. 31, 32) gerade mitten durch die von O. Zsigmondy (30) genauer beschriebene Spalte, beziehungsweise tiefe Einbuchtung des Schmelzes getroffen, zeigte aber im ganzen die Prismen so ungünstig durchschnitten, dass in einem grossen Teile des Schliffes der Charakter der Doppelbrechung nicht sicher zu bestimmen war. Doch konnte eine dicke positive Schicht nahe am Schmelzrande aufgefunden werden. Bemerkenswert ist das Verhalten des Schmelzes im Grunde der Einbuchtung. Trotz der geringen Schmelzdicke findet sich hier eine deutlich positive Oberflächenlage, die am Seitenabhänge des Divertikels nicht konstatiert werden konnte. Doch ergab das Erythrolaccinbild (Fig. 32), dass in der ganzen Umgebung der Einbuchtung noch junger färbbarer Schmelz vorhanden ist. An dem zweiten Schliffe desselben Zahnes konnte eine ziemlich regelmässige Dickenzunahme des positiven Schmelzes gegen den Schmelzrand bemerkt werden (Fig. 37). Im übrigen ergaben sich ähnliche Befunde wie am ersten Backenzahn; doch konnten die Kronenhöcker, die leider absplitterten, nicht ganz untersucht werden.

Von bleibenden Mahlzähnen wurden nur der erste untersucht und zwar ein noch nicht durchgebrochener vom fünfjährigen Knaben und ein eben im Durchbruche befindlicher vom siebenjährigen Knaben. Letzterer zeigte überall negativen Schmelz, doch war eine dünne Oberflächenschicht entschieden weniger stark doppelbrechend, als die tiefer gelegenen Schmelzteile, nur die Höckerspitzen ausgenommen. Im gewöhnlichen Lichte war diese Oberflächenschicht dunkler mit schärfer kon-

turierten Prismen und mit Purpurin intensiv färbbar, also sicher noch nicht völlig erhärteter Schmelz. Auch in der Tiefe waren da und dort, abgesehen von Retziusschen Streifen, stark färbare Inseln von Übergangsschmelz.

Der erste Mahlzahn des fünfjährigen Kindes zeigte am grössten Teile der Krone bereits negativen Schmelz, der — die Retziusschen Streifen ausgenommen — bereits ganz erhärtet war. Nur an der lingualen Seite gegen den Schmelzrand war namentlich im Bereiche von Konturbändern, mitten im negativen Schmelze, noch positiver und neutraler Schmelz in unregelmässiger Verteilung. Leider splitterte gerade in dieser Region der Schmelz grösstenteils ab, wodurch eine genauere Untersuchung vereitelt wurde (Fig. 30). Diese positiven Schmelzbezirke waren durch die geringe Durchsichtigkeit und scharfe Begrenzung der Prismen auch in gewöhnlichem Lichte von dem hellen harten Schmelze der Umgebung deutlich verschieden.

VI. Theoretisches über die Erhärtung des Schmelzes.

Wenn in den vorhergehenden Abschnitten der Versuch gemacht wurde, in rein beschreibender Weise die mit der allmählichen Ausbildung des Schmelzgewebes einhergehenden Änderungen der Struktur und die topographische Anordnung der Entwicklungsstadien der Schmelzprismen an menschlichen Zähnen darzustellen, so reicht das bearbeitete Material doch nicht hin, um aus demselben ein klares Bild über die wesentlichen Vorgänge bei der Erhärtung des Schmelzes zu gewinnen. Wenn ich es trotzdem versuche, aus den Beobachtungen theoretische Vorstellungen abzuleiten, so bin ich mir wohl bewusst, dass dieselben nur einen provisorischen Charakter haben können und es der Zukunft vorbehalten bleiben muss, auf breiterer empirischer Basis eine gesicherte Theorie der Schmelzbildung aufzustellen. Es wird vor allem notwendig sein, die embryonale Schmelzbildung, die zwar schon so oft untersucht wurde, mit Rücksicht auf die ersten Vorgänge bei der Anlage der Prismen, einer neuerlichen Bearbeitung zu unterziehen. Aber auch die Struktur des Schmelzes ist noch bei weitem nicht so klar, namentlich bezüglich der Umwandlungsvorgänge vom primären bis zum fertigen Schmelze, dass die mannigfaltigen Strukturbilder stets in zweifellose genetische Beziehungen gebracht werden könnten und es wird

noch viele Arbeit kosten, diese notwendige Grundlage einer Theorie der Schmelzbildung fest zu begründen.

Dass der primäre und junge Schmelz für Flüssigkeiten durchdringbare, relativ weiche Prismen besitzen, ist durch die Erfahrungen über die Doppelbrechung und über die Färbbarkeit und Imprägnation mit Silber sicher gestellt. Es sind dies Eigenschaften, welche mit der Schneidbarkeit des jungen Schmelzes zusammenfallen. Es ist aber vor allem die Frage zu beantworten, wie kommt die Abnahme der Durchdringbarkeit für Flüssigkeiten und endlich das völlige Verschwinden derselben zustande, wie wird die im physikalischen Sinne poröse, junge Prismensubstanz endlich eine steinharte Kalkmasse, auf welchen Wegen kommt es nachträglich zu einer festen Ausscheidung von Kalksalzen in den noch weichen Prismen. Man kann sich wohl nichts anderes denken, als dass in die Prismen aus Flüssigkeiten der Umgebung Phosphorsäure und Kalk, um nur die Hauptbestandteile der festen Prismensubstanz zu nennen, in Lösung aufgenommen und innerhalb der Prismen ausgefällt, in feste Substanz übergehen. Denn die theoretisch mögliche Vorstellung, dass es sich nur um die Änderung des Aggregatzustandes ein und derselben Substanz handle, die aus der flüssigen Phase in eine feste durch plötzliche Gerinnung übergeht, ist durch die histologischen Befunde ausgeschlossen. Die erste Anlage der Prismen geht von den Schmelzzellen aus und zwar, so scheint es, lagern dieselben zunächst einen mehr gleichmässigen Erguss organischer Substanz — das Huxleysche Häutchen — ab, in welchem dann als erste Differenzierung in der Fortsetzung der Schmelzzellen faserartige, weiche Gebilde, die Tomesschen Fortsätze als erste Spur der Schmelzprismen entstehen. Dass die Tomesschen Fortsätze direkt in primäre Schmelzprismen sich umwandeln und samt der zwischen denselben befindlichen primären Kittsubstanz ein Bildungsprodukt der Schmelzzellen sind, ist sehr wahrscheinlich. Auch die Ausscheidung der Kalksalze in den primären Prismen auf Kosten des Schmelzorganes beziehungsweise der Schmelzzellen wird allgemein angenommen, da ein Vordringen von Flüssigkeit aus dem Zahnbeine nicht nachgewiesen ist und es von vornherein am wahrscheinlichsten ist, dass die formbildenden Elemente, nämlich die Schmelzzellen, auch das Material für die Verkalkung liefern. Es wird allerdings noch besonderer Untersuchungen bedürfen um

die Art der Bildung der primären Schmelzprismen genauer, als es bisher geschehen ist, festzustellen; aber ich glaube doch, auf grund fremder und eigener Erfahrungen annehmen zu dürfen, dass in Form kleinster Tröpfchen eine Substanz von den Schmelzzellen abgeschieden wird, die alsbald erstarrt und durch teilweise Vereinigung dieser erstarrenden Tröpfchen, der Globuliten, ein poröses Gerüste von globulitisch wabigem Baue herstellt. Ein derartiger Vorgang kann aber ohne Schwierigkeit nur für die erste Bildung der Prismen direkt aus den lebenden Schmelzzellen angenommen werden; mit zunehmender Verdickung des Schmelzes beziehungsweise der Verlängerung der Prismen wird der zuerst gebildete Teil der Prismen immer weiter von der lebenden Bildungszelle entfernt und es ist nun schwer vorstellbar, dass die völlige Ausbildung dieser Prismenteile noch von den ursprünglichen Bildungszellen direkt bedingt sei. Denn das Bildungsmaterial dieser Elemente wird augenscheinlich zur Verlängerung der Prismen durch fortwährende Neubildung von primärer Prismensubstanz verwendet und es könnte nur ein Rest des Bildungsmateriales in flüssigem Zustande weiter strömen, das um so mehr an Kalksalzen verarmen müsste, je mehr dasselbe in die Tiefe gegen das Zahnbein vordringt. Da, wie aus den in den früheren Abschnitten besprochenen Einzeluntersuchungen hervorgeht, die völlige Erhärtung des Schmelzes im allgemeinen von den frühest gebildeten Schmelzlagen zu den zuletzt gebildeten fortschreitet, so müsste man ferner annehmen, dass trotz der Verarmung an Kalksalzen, welche der von den Schmelzzellen ausgehende Strom von Bildungsmaterial, nach der Tiefe zu, erfahren muss, die längere Dauer des Stromes schliesslich doch zur völligen Erhärtung des Schmelzes führt. Aber ein solcher Ernährungsstrom von den Schmelzzellen bis zu den ältesten Teilen der Schmelzprismen, würde weiter notwendig voraussetzen, dass das Zahnbein für Flüssigkeiten durchdringbar ist, die von der Schmelzoberfläche nach der Tiefe ziehen, da ohne diese Annahme, ein Strom zu der dem Zahnbein direkt anliegenden und zu allererst hart werdenden Schmelzlage undenkbar wäre. Die entwickelten Annahmen würden also in ihren Konsequenzen zu einer Vorstellung führen, wie sie in der Hauptsache schon John Hunter (1771) vorschwebte und die dahin ging, dass der von der Schmelzpulpe abgelagerte weiche Schmelz dadurch

hart werde, dass das Zahnbein die Flüssigkeit aus dem weichen Schmelze herausziehe. Wenn auch diese Form der Vorstellung entschieden als unhaltbar zurückgewiesen werden muss, da eine einfache Austrocknung nicht das Wesen der Schmelzerhärtung ist, so ist vielleicht doch die Annahme eines Flüssigkeitsstromes vom Schmelze zum Zahnbeine, während der Entwicklung noch heute berechtigt.

Damit kommen wir zunächst zur Erörterung der Frage, wie Schmelz und Zahnbein sich verbinden. Untersucht man Embryonalstadien von Zähnen, an welchen noch durchaus junger, positiv doppelbrechender Schmelz vorhanden ist, so kann man mit dem Messer die ganze Schmelzkappe wie Käse schneiden, während das unter dem Schmelze befindliche Zahnbein bereits knochenhart ist. Trotzdem hat dieser noch weiche Schmelz die Zahnbeinoberfläche in einer Weise verändert, dass sie wesentlich verschieden erscheint von Zahnbeinoberflächen, welche niemals von Schmelz, sondern nur von Zement bedeckt werden.

Es ist bekannt, dass nur die von Schmelz, nicht aber die von Zement bedeckte Zahnbeinoberfläche von zahlreichen Kugelmensken darstellenden Grübchen, die bei den bleibenden Zähnen besonders tief und oft von halbkugelförmiger Form sind, dicht bedeckt ist und dass diese Grübchen von der tiefsten Schmelzlage ausgefüllt werden. Es ist ferner bekannt, dass die Dentinkanälchen in den Grübchen grossenteils wie abgeschnitten erscheinen und dass mehr weniger zahlreiche Dentinkanälchen in den Schmelz sich auf eine meist kurze Strecke als Schmelzkanälchen fortsetzen. Diese auffälligen Tatsachen brachten schon Wedl zur Vermutung, dass das Zahnbein vom Schmelze teilweise arrodirt werde und ich selbst habe diese Vorstellung weiter zu begründen versucht (5). Die auffallende Ähnlichkeit der von der Schmelzkappe bedeckten Zahnbeinoberfläche mit einer von Howshipschen Lakunen bedeckten Knochenresorptionsfläche drängt unmittelbar zu der Vorstellung, dass der Schmelz teilweise resorbierend auf das Zahnbein wirkt. Da die Zahnbeingrübchen bei der ersten Schmelzablagerung noch nicht vorhanden sind, aber alsbald auftreten, wenn der junge Schmelz sich verdickt, so muss man dem primären noch ganz weichen Schmelze, nicht aber dem in der Erhärtung bereits fortgeschrittenen Schmelze, eine ähnliche Wirkung zuschreiben, wie sie die Ostoklasten auf den Knochen ausüben. Der ganz junge

Schmelz muss also befähigt sein, die leimgebende Substanz samt den Kalksalzen des Zahnbeines teilweise aufzulösen. Dann aber wäre eine Substanzwanderung vom Zahnbeine zum Schmelze und nicht bloss eine solche von den Schmelzzellen zu den Prismen vorhanden und die bei der Erhärtung des Schmelzes stattfindenden Vorgänge würden daher mit einer einfachen Strömung von gelösten Stoffen von den Schmelzzellen gegen das Zahnbein und Ausfällung von Kalksalzen in den Prismen nicht erklärt werden können. Man müsste wenigstens zeitweise auch eine umgekehrte Strömung vom Zahnbeine zum Schmelze annehmen. Für das Vorhandensein einer solchen Strömung beim Beginne der Schmelzerhärtung, scheint mir folgende Tatsache zu sprechen. Bei der Infiltrierung der zum Schleifen vorbereiteten Zähne mit ungebleichtem Schellak färbt sich bei Zähnen, deren junger Schmelz durch und durch rot gefärbt ist, das Zahnbein im allgemeinen nicht. Nur dort, wo dicht am Zahnbeine eben das Hartwerden der tiefsten Schmelzlage eintritt, färbt sich auch eine ganz dünne Zahnbeinlage. So wie die erste harte Schmelzlage gebildet ist, verliert das Zahnbein seine Färbbarkeit in Erythrolaccin (vergl. Fig. 33). Mit Purpurin erhält man einen ähnlichen Erfolg; doch ist das Farbbild weniger scharf, da auch andere Stellen des Zahnbeines, namentlich das junge Zahnbein, sich mehr weniger färben. Der Chemismus der Kalkausscheidung im Schmelze namentlich die Rolle, welche die organische Substanz dabei spielt, ist völlig dunkel; aber man könnte sich vielleicht vorstellen, dass die Flüssigkeit durch osmotische Vorgänge und periodische Änderungen der Oberflächenspannung zwischen festen und flüssigen Teilen in der Tiefe, sowohl von der Seite der Schmelzzellen als von der Seite des Zahnbeins, gelöste Kalksalze anzieht, dass sie selbst fortwährend nach beiden Seiten in einen veränderten Zustand gerät, indem ihr von den Prismen Kalksalze durch Ausfällung entzogen werden. Es würde dann die neutrale Zone, zu welcher sowohl von den Schmelzzellen als vom Zahnbeine gelöste, ausfällbare Stoffe zufließen, von der Raschheit der Ausfällung und der jeweiligen Konzentration der in den Zahnkanälchen und in den Schmelzzellen, sowie in der Kittsubstanz des Schmelzes befindlichen kolloidalen Salzlösungen abhängen und demgemäss mannigfachem Wechsel unterliegen können.

VII. Das Fortschreiten der Erhärtung, die Bildung der Retziusschen Streifen und der Druckformen der Prismen.

Prüft man an der Hand dieser Vorstellungen die in den früheren Abschnitten geschilderten tatsächlichen Befunde, so werden dieselben einigermaßen verständlich. Sowohl an den Milch — als Ersatzzähnen sieht man frühzeitig, wenn der Schmelz erst eine Dicke von 40—50 μ besitzt, dicht am Zahnbein eine 6—10 μ dicke Schmelzlage, welche bereits alle Charaktere des harten Schmelzes besitzt und sich namentlich bei mittleren Vergrösserungen wie ein glänzendes, farbloses Band am Schlicke vom dem darüber liegenden bräunlichen Übergangsschmelze abhebt. Diese harte Schmelzlage nimmt aber lange Zeit kaum merklich an Dicke zu und wenn der Schmelz im ganzen bereits zehnmal dicker geworden, hat die Dicke des dem Zahnbeine dicht anliegenden harten Schmelzes sich oft nur wenig geändert. Dies würde sich erklären, wenn die neutrale Zone, in welcher die Strömungen von den Schmelzzellen und dem Zahnbeine sich treffen und die Ausfällung der Kalksalze stattfindet, anfänglich sehr langsam von der Zahnbeinoberfläche gegen die Schmelzoberfläche vorrückt. An den Kronenhöckern des ersten Mahlzahnes und an der Kronenspitze des Eckzahnes eines Neugeborenen finde ich die harte Schmelzlage nicht messbar dicker, als nahe am Schmelzrande. Dagegen zeigen die Schneidezähne bereits eine Verdickung der harten Schmelzlage an der lingualen Seite der Kronenschneide auf ungefähr das dreifache der Dicke nahe am Schmelzrande. Hier ist also die neutrale Zone der beiden Strömungen bereits erheblich nach aussen gerückt. Indem diese Verschiebung der neutralen Zone von den Kronenschneiden, beziehungsweise Kronenspitzen gegen den Schmelzrand fortschreitet und schliesslich zuerst an den Kronenspitzen die freie Oberfläche erreicht, geht die Erhärtung im ganzen in Linien weiter, welche der Richtung von Konturbändern entsprechen, ohne dass es, im regelmässigsten Falle, bei Milchzähnen zur bleibenden Ausbildung von Konturbändern kommen muss. Das Zustandekommen wirklicher Konturbänder würde sich aber dadurch erklären, dass infolge einer periodisch verminderten Strömung von den Schmelzzellen nach der Tiefe, eine Verschiebung der neutralen Zone stattfindet, ehe

es zur völligen Erhärtung der im Konturbande gelegenen Prismenabschnitte gekommen ist, die später nur dann nachgeholt werden könnte, wenn eine neuerdings sehr verstärkte Strömung von Seite der Schmelzzellen die neutrale Zone wieder gegen das Zahnbein zurückdrängen würde. Es gibt nun in der Tat Konturbänder, die man sich auf diese Weise entstanden denken kann, nämlich Konturbänder, welche dicht verkalkte Prismen besitzen und nur mehr dadurch als Konturbänder hervortreten, dass zwischen den Prismen zahlreiche, unregelmässig gestaltete, blind endigende Schmelzkanälchen und interprismatische Hohlräumchen vorhanden sind. Im allgemeinen wird aber wohl eine Rückverlegung der neutralen Zone nicht stattfinden, da eine bereits völlig harte Schmelzlage der Strömung aus den Schmelzzellen sehr hinderlich sein muss. Normalerweise geht wohl der Strom von den Schmelzzellen direkt in die Prismen, deren globulitische Struktur nach der Tiefe ganz allmählich feiner wird, während umgekehrt der Strom vom Zahnbeine nur durch die Kittsubstanz von den Dentinkanälchen her sich fortsetzen kann, da die völlig hart gewordenen Prismen nicht mehr imbibierbar sind. In der neutralen Zone aber muss der osmotische Ausgleich in der Kittsubstanz stattfinden, während die Ausfällung von Kalksalzen in den Prismen durch das Zusammentreffen der vom Zahnbein in der Kittsubstanz und in den Prismen von den Schmelzzellen strömenden Flüssigkeit eintritt. So wären denn die Konturbänder — soweit sie nicht ausnahmsweise durch plötzliche Richtungsänderung der Prismen bedingt sind — nicht schon mit der ersten Bildung der Prismen angelegt, sondern erst die Folge von Störungen in den bei der Erhärtung der Prismen beteiligten Flüssigkeitsströmungen von den Schmelzzellen und vom Zahnbeine. Die entwickelten Vorstellungen sind auch auf die unregelmässigen Erhärtungsvorgänge anwendbar, wie sie z. B. in Fig. 21 u. 30 im Polarisationsbilde dargestellt sind. Hier sind inselartige Strecken des Schmelzes, wie dies häufig vorkommt, von der völligen Erhärtung ausgeschaltet und es müsste hier angenommen werden, dass plötzliche Verschiebungen der neutralen Zone durch zeitweilige, ungünstige Ernährungsbedingungen einer Gruppe von Schmelzzellen verursacht wurden. Durch die angenommene Wechselwirkung von Schmelzzellen und Zahnbein gelangt man auch zu einer einigermaßen befriedigenden Vorstellung über die Bedeutung der,

besonders in der tiefsten Schmelzlage, zahlreichen und mit den Dentinkanälchen oft zusammenhängenden Schmelzkanälchen. Denn es ist klar, dass Räume in der Kittsubstanz, die nur von Flüssigkeit erfüllt sind, osmotischen Vorgängen zwischen Schmelz und Zahnbein sehr förderlich sein müssen.

Nicht die gleiche Erklärung, wie für die Konturbänder und die bräunlichen, nicht völlig verkalkten Inseln im Schmelze, möchte ich für die Konturstriche, oder feinen Rétziusschen Linien, welche mit den Schmelzwülstchen (Perikymatien, Preiswerk) in inniger Beziehung stehen und daher nur bei bleibenden Zähnen vorkommen, für ausreichend halten. Die Konturstriche sind auch dort, wo die Schmelzprismen in völlig unveränderter Richtung weiter ziehen, schon im jungen Schmelze, wenn auch schwach wahrnehmbar; sie sind also wohl primär als etwas schwächere Prismenabschnitte mit reichlicherer Kittsubstanz dazwischen angelegt und sie bleiben als solche im fertigen Schmelz erhalten. Obwohl nun die Vorstellung von einem Vorrücken der neutralen Zone bei der Verkalkung, ehe es zum völligen Hartwerden der Prismen kam, auch hier in vielen Fällen ebenfalls anwendbar ist, da in der Tat oft die Prismen in den Streifen noch nicht völlig verkalkt sind, so gibt es doch auch viele Konturstriche mit ganz dichten, harten Prismen, die nur durch reichlichere völlig unverkalkte Kittsubstanz auffallen. Man muss schon wegen des Umstandes, dass die Konturstriche nur den bleibenden, zu viel längerer Dauer und zu grösseren mechanischen Leistungen bestimmten Zähnen zukommen, den Milchzähnen aber fehlen, den Gedanken abweisen, dass die Konturstriche eine einfache Entwicklungshemmung, eine unvollkommene Ausbildung des Schmelzgewebes und daher etwas Pathologisches seien. Die Konturstriche sind etwas Typisches, das sicher eine physiologische Bedeutung hat. Worin diese besteht, ist schwer zu sagen, aber es wäre nicht undenkbar, dass die feinen kittsubstanzreichen Schmelzlagen, die an den Schliffen als Konturstriche erscheinen, die Druckfestigkeit und Elastizität des Schmelzes erhöhen ohne seine Härte merklich zu vermindern. Die schon im weichen Schmelze erkennbare Anlage der Konturstriche spricht, wie ich glaube, sehr bestimmt dafür, dass dieselben als eine normale, aber besondere Form des Schmelzgewebes zu betrachten sind, die allerdings — dem völlig harten, transparenten Schmelze gegen-

über — wie ein Stehenbleiben auf einer tieferen Entwicklungsstufe erscheint. Man kann wohl auch den Konturbändern der Milchzähne und der bleibenden Zähne, obwohl diese nicht so typisch angelegt sind, eine ähnliche physiologische Bedeutung zuschreiben, wie den Konturstrichen.

Mit der völligen Erhärtung der Schmelzprismen erscheint die Entwicklung des Schmelzgewebes noch nicht abgeschlossen. Es folgt derselben in den am vollkommensten ausgebildeten Teilen des Gewebes, im transparenten Schmelze noch eine Verkalkung der Kittsubstanz, die aber niemals so vollständig ist, wie jene der Prismen. Fast regelmässig findet man die direkt an das Zahnbein grenzende Schmelzlage, welche am frühesten erhärtet — abgesehen von den mehr weniger zahlreichen Schmelzkanälchen — von fast homogenem Ansehen an gut polierten Schliffen.¹⁾ Es ist dies nur dadurch möglich, dass der Kittsubstanz nahezu ein gleicher Brechungsquotient zukommt, wie den Prismen selbst, dass mithin die Kittsubstanz reichlich Kalksalze aufgenommen hat. Damit stimmt auch, dass bei Färbung und Imprägnation solcher Schmelz, abgesehen von den Schmelzkanälchen und -Lücken, keine Farbe an Schliffen annimmt. Trotzdem ist die Kittsubstanz nicht von gleicher Beschaffenheit wie die Prismen selbst; denn bei schwacher Ätzung mit Säuren tritt die organische Substanz des Kittes deutlich hervor, die Prismen lösen sich aber völlig auf, und es erscheinen am geätzten Querschliffe an Stelle der Prismen Vertiefungen. Dieses homogene Schmelzgewebe wird nun namentlich im Bereiche der Kronenhöcker von der erwähnten basalen Schicht sich ausbreitend in mehr weniger grosser Ausdehnung, oft bis an das Schmelzoberhäutchen heran gefunden und erscheint dasselbe nur durch Schmelzkanälchen, unregelmässige Schmelzlücken und Retziussche Streifen da und dort unterbrochen. Gegen den Schmelzrand findet man in der Regel vorwiegend deutliche Prismenstruktur und bei den Milchzähnen ist der homogene Schmelz oft auch an den Kronenhöckern von sehr beschränkter Ausdehnung. An durch-

¹⁾ Man hüte sich die leuchtende Lichtlinie, die man an der Grenze von Zahnbein und Schmelz immer sieht, wenn der Schliff nicht genau senkrecht zur Trennungsfläche geführt ist und welche von der starken Lichtbrechung im Schmelze im Vergleiche zum Zahnbeine herrührt, mit dieser homogenen Schmelzlage zu verwechseln.

brechenden bleibenden Zähnen sieht man manchmal die dicht unter dem Schmelzoberhäutchen gelegene Schmelzlage noch überall mit deutlich unverkalkter Kittsubstanz, während nach der Tiefe der Schmelz fast homogen erscheint. An durchgebrochenen Zähnen ist aber die oberflächlichste Schmelzlage in der Regel, wenigstens an den Kronenhöckern mehr homogen. Dies scheint mir kaum eine andere Deutung zuzulassen, als dass eine Verkalkung, wenigstens der Kittsubstanz des Schmelzes noch — nachdem die Schmelzzellen ihre Bildungstätigkeit vollständig eingestellt haben — vom Zahnbeine her stattfinden kann. Denn dass durch das Schmelzoberhäutchen beim Durchbruche der Zähne aus dem Mundspeichel Kalkphosphat in den Schmelz tritt und dort ausgefällt wird, ist zwar nicht undenkbar, aber doch wenig wahrscheinlich. Die Schmelzzellen selbst können für die erst bei und nach dem Durchbruche der Zähne noch Kalksalze aufnehmenden Schmelzlagen nicht mehr von Bedeutung sein, da wie neuerdings H. Kallhardt (17, S. 29) betont, die Schmelzzellen schon vor dem Durchbruche der Zähne rudimentär werden. Dass tatsächlich die Härte des Schmelzes noch nach dem Durchbruche der Zähne zunimmt, wird durch die Beobachtungen erfahrener Zahnärzte bestätigt. Smreker (24) hebt ausdrücklich hervor, dass man an den Zähnen ein und desselben Menschen eine Zunahme der Härte des Schmelzes im Laufe der Jahre feststellen könne, indem der Schmelz des jugendlichen Individuums den bearbeitenden Instrumenten merklich geringeren Widerstand biete, als jener des Erwachsenen. Als Wege, welche ein Eindringen von kalkhaltiger Flüssigkeit aus dem Zahnbein in den Schmelz ermöglichen, müssen wohl in erster Linie die besonders im Bereiche des oberen Teiles der Zahnkrone, in ziemlich regelmässiger Anordnung, in Form von sich aufsplitternden Blättern vorkommenden unverkalkten Stellen von Kittsubstanz betrachtet werden, welche von der Oberfläche des Zahnbeins mehr weniger weit oft bis an das Schmelzoberhäutchen in den Schmelz eindringen. (Fig. 40 b.)

Die Frage der Erhärtung des Schmelzgewebes wäre nach ihrer morphologischen Seite nur unvollständig erörtert, wenn nicht auf die so auffallenden Druckformen der Prismen, wie sie zuerst von Smreker genauer studiert wurden, Rücksicht genommen würde. Wie kommen diese Druckformen zustande,

in welcher engeren Beziehung stehen dieselben zu der Bildungstätigkeit der Schmelzzellen?

Die Schmelzzellen selbst zeigen polygonale Querschnittsformen mit geradlinigen Begrenzungen, während die Prismen, wie früher (S. 20) besprochen wurde, gewöhnlich bogige Begrenzungslinien besitzen, welche gegen das Zahnbein in der Regel konvex, gegen die Schmelzoberfläche aber konkav gekrümmt sind. Man kann sich diese Krümmungen der Oberflächen wohl nur dadurch entstanden denken, dass die noch weichen Prismen ihre Nachbarprismen mit ihrer konvexen Wölbung drücken, an ihren konkaven Flächen aber selbst von anderen Nachbarprismen gedrückt werden. Smreker hat künstlich die Druckformen der Prismen dadurch hergestellt, dass er Wachszyylinder der Länge nach halbierte und nun wieder ganze Wachszyylinder herstellte, welche zur Hälfte aus weichem und zur Hälfte aus hartem Wachs bestanden. Diese zusammengesetzten Wachszyylinder wurden mit Zinnfolie umhüllt und nun in einem Metallkästchen zusammengepresst. Smreker erhielt auf diese Weise den natürlichen Arkadenformen und Kannelierungen ganz entsprechende Druckformen. Der natürliche Vorgang dürfte aber diesem schematischen Versuche insofern nicht entsprechen, als die Zustände der Weichheit und Härte, die am schematischen Prisma gleichzeitig an den beiden Hälften desselben vorhanden sind, in Wirklichkeit zeitlich aufeinanderfolgende Zustände ein und desselben Prismas in dessen ganzer Dicke sein werden. Es muss wohl für alle Prismen mit arkadenförmigem Querschnitte ein Entwicklungsstadium geben, in welchem der Turgor des noch weichen Prismas ein Maximum erreicht, das noch vor der völligen Erhärtung wieder beträchtlich absinkt, denn dadurch lässt sich begreifen, dass relativ jüngere Prismen relativ ältere zusammenpressen. Dass es die relativ älteren Prismen sind, welche von den jüngeren gedrückt werden, geht wohl unzweifelhaft daraus hervor, dass die konvexe Seite, also die drückende, fast ausnahmslos gegen die Zahnbeinseite gekehrt ist. Da die Prismen von den Kronenspitzen gegen den Schmelzrand aufeinanderfolgend immer später entstehen und die Prismen in der Hauptsache vom Zahnbeine gegen die Kronenspitzen geneigt sind, so gehören die an Schliffen erscheinenden Prismenquerschnitte im allgemeinen umso jüngeren Prismen an, je näher sie der äusseren Schmelzoberfläche gelegen

sind. Die Erreichung des grössten Turgors in den Prismen muss schon sehr früh, wahrscheinlich im Stadium des primären Schmelzes eintreten; denn im jungen Schmelze findet man die Druckformen der Prismen schon deutlich ausgebildet. Eine genauere Untersuchung dieser Verhältnisse bleibt der Zukunft vorbehalten, aber schon jetzt darf als sicher angenommen werden, dass der Flüssigkeitsdruck im Innern der Prismen mit fortschreitender Kalkablagerung rasch abnimmt. Die typische Verlaufsrichtung und die Kreuzungen der Prismen, welche namentlich in den mittleren Schmelzlagen auftreten, können nicht als Folge von äusseren Druckwirkungen angesehen werden; sie sind vielmehr als primär von den Bildungszellen ausgehende spezifische Formbildungen anzusehen, worauf später (Abschnitt VIII) näher eingegangen werden soll.

Ausser dem Drucke, den die Prismen gegenseitig aufeinander ausüben, kommt bei der Schmelzbildung noch der Druck in betracht, welchen der sich ablagernde Schmelz im Ganzen erfährt. Der Schmelz ruht von der ersten Bildung an auf dem festen Widerlager des Zahnbeines und die Schmelzzellen stehen unter dem Drucke der Flüssigkeit der Schmelzpulpa, mit welcher sich der Turgor der Schmelzzellen ins Gleichgewicht setzen muss. Der Gesamtdruck der Schmelzpulpa lastet nun auf den noch weichen Prismen. So lange die Prismen als geradlinige senkrecht zur Zahnbeinoberfläche stehende Verlängerungen der Schmelzzellen erscheinen, wird dieser Druck keine wesentliche Formveränderung hervorrufen; sobald aber die Prismen sich schief zu legen beginnen, muss wohl von der Schmelzpulpa ein Druck auf die jungen Prismen ausgeübt werden, welcher im ganzen senkrecht zur Prismenrichtung stattfindet. Denn die Prismen werden in ihrem Querdurchmesser gegenüber den Schmelzzellen etwas verkleinert, da jene konvexe Oberfläche der Schmelzmembran, welche die der Schmelzpulpa zugewendeten Enden der Schmelzzellen bilden, im ganzen grösser ist als die Fläche, welche jeweilig die Querschnitte der primären Prismen deckt. Die seitliche Kompression, welche die jungen Prismen erfahren, und die nicht selten zu einer bandartigen Abplattung führt, findet wohl auch darin ihren Ausdruck, dass die Prismen positiv doppelbrechend werden inbezug auf ihre Prismenrichtung als optische Achse. Denn ein allseitig gleichmässiger Druck senk-

recht zur Längsrichtung der Prismen müsste bei einer normal reagierenden Substanz diesen optischen Effekt nach den Spannungsgesetzen hervorrufen. Dass man aber die Doppelbrechung der jungen Schmelzprismen als Folge von Spannungen ansehen darf, dafür spricht insbesondere die nicht ganz regelmässige Orientierung der optischen Achsen in den Prismen und das häufige nicht Zusammenfallen von Prismenrichtung und optischen Achsen, welche Umstände eine krystallinische Struktur ausschliessen, so sehr man versucht sein könnte, eine solche ebenso anzunehmen, wie in der Prismenschicht der Muschelschalen, in welcher die krystallinische Struktur ausser Zweifel steht.

VIII. Die Prismenschicht der Muschelschalen und die Schmelzprismen. Schluss.

Man hat früher wohl öfter, in neuerer Zeit noch Rudas (22), daran gedacht, dass die Prismenschicht der Muschelschalen in Bau und Bildung grosse Analogien mit dem Zahnschmelze zeige. Allein alles, was wir gerade durch eingehendere Untersuchungen aus neuerer Zeit, zuletzt durch W. Biedermann (3) und O. Römer (21) über diese so merkwürdigen Kutikularbildungen erfahren haben, spricht dafür, dass trotz mancher Übereinstimmung, doch tiefgreifende, prinzipielle Verschiedenheiten zwischen den beiderlei Kutikularbildungen bestehen.

Ältere Forscher, wie Bowerbank und Carpenter betrachteten die Prismen der Muschelschalen als versteinerte Zellen, wie man dies seit Schwann für die Schmelzprismen wenigstens insoweit fast allgemein anerkennt, als man jedes Schmelzprisma als Bildungsprodukt je einer Schmelzzelle ansieht. Die Prismenschicht der Muschelschalen (Anodonta, Pinna usw.) besteht aber aus polygonalen Elementen, deren Querdurchmesser vielmal grösser ist, als jener der Epithelzellen des Mantelrandes, welche die Prismen absondern und es ist daher völlig unmöglich, je ein Prisma als direktes Bildungsprodukt je einer Epithelzelle anzusehen. Trotzdem zeigt die Anordnung der organischen Substanz, welche als ein zusammenhängendes Wabenwerk die Zwischenräume zwischen den Prismen erfüllt, eine gewisse Analogie mit der Kittsubstanz der Schmelzprismen und an den Prismen selbst lässt sich eine Querstreifung nachweisen und — wenigstens in den Frühstadien der Bildung — auch organische Substanz,

welche bei Lösung der Kalksalze mitunter in Form quer durchgehender Blätter sich darstellen kann. Es sind dies lauter Analogien mit den Schmelzprismen; ja auch darin liegt eine Analogie, dass von den Bildungszellen zunächst eine zusammenhängende hautartige Lage organischer Substanz abgelagert wird, in welcher erst sekundär die Prismenanlagen auftreten. Diese hautartige Lage kann man mit dem primären Abscheidungsprodukte der Schmelzzellen, dem sogenannten Huxleyschen Häutchen, das zwischen den eigentümlichen Prismenanlagen und den Schmelzzellen gelegen ist, vergleichen. Eigentümlich ist der fast parallele Verlauf der Prismen der Muschelschalen und das häufige Vorkommen von zugespitzten Prismenenden zwischen weiter nach der Tiefe verlaufenden Prismen. Was die feinere Struktur anbelangt, so kommt den Prismen, neben einer wabig-globulitischen, entweder eine sphärokrystallinische Struktur (z. B. Arodonta), oder eine rein krystallinische in der Weise zu, dass jedes Prisma einen einheitlichen Kalkspathkrystall darstellt (z. B. Pinna), dessen optische Achse mit der Prismenachse zusammenfällt, wie das Achsenkreuz im konvergenten Lichte beweist. Die Seitenflächen der Prismen sind aber im allgemeinen keine krystallographisch möglichen Prismenflächen. Zwar hat O. Römer (21) auch die Prismen von Pinna auf einen sphärokrystallinischen Bau zurückzuführen versucht und die Prismen als radiäre Stücke von Sphärokrystallen mit unendlich grossem Radius erklärt. Diese Deutung scheint mir aber deshalb unzulässig, weil man bei Ätzung mit Ameisensäure an den Querschliffen von Pinna-Prismen Ätzfiguren erhält, welche an der ganzen Querschnittsfläche je eines Prismas durchaus parallele Kanten zeigen, was nur an einem einheitlichen Krystallindividuum, nicht aber an einem Sphärokrystalle möglich ist. Ich verweise zur Erläuterung des oben Gesagten auf Fig. 15.

Ich füge noch bei, dass ich auch an Längsschliffen von Pinnaprismen, namentlich solchen, an welchen zufällig Prismenflächen angeschliffen waren, welche ich auf Grund meiner Erfahrungen über Ätzfiguren des Kalkspathes als Deuteroprismenflächen deuten musste, auf lange Strecken schräg zur Prismenachse, durchaus parallel verlaufende Ätzstreifen erhielt, was ebenfalls nur an einem einheitlichen Krystallindividuum nicht aber an einem aus vielen Individuen bestehenden Sphärokrystalle möglich ist.

Vielfach habe ich mich bemüht an Schmelzprismen Ätzfiguren darzustellen. Der Versuch scheiterte stets; vielleicht nur wegen der geringen Durchmesser der Prismen. Ich erhielt nur regellose Ätzflecken an Querschliffen und Längsschliffen oder an letzteren regelmässige Querstreifung, welche jedoch, wie ich jetzt glaube, ebenso wie die Querstreifung an den Prismen von Muschelschalen, auf eine präformierte Struktur, auf das schichtweise Vorschreiten der Verkalkung zurückzuführen ist. Achsenkreuze im konvergenten Lichte konnte ich an Querschliffen der Schmelzprismen niemals sehen; vielleicht nur deshalb, weil eine genügend dicke Schicht mit genau parallelen und zugleich senkrecht zur optischen Achse getroffenen Prismen nicht aufzufinden war. Die Beobachtungen zwischen gekreuzten Nikols im parallelen Lichte, namentlich an geflügelten Prismen (Fig. 34 und S. 37) zeigen aber in Übereinstimmung mit diesen wegen ungünstigen Bedingungen der Beobachtung unsichern Befunden, dass die Prismen weder einheitliche Krystalle noch Sphärokrystalle sind, sondern sich ähnlich verhalten wie verhornte Epithelzellen, welche ihre Doppelbrechung durch Spannungen erlangt haben. Die Umkehrung der Doppelbrechung der Prismen aus einer ursprünglich positiven in eine negative in dem Maße, als die Ausscheidung der Kalksalze in den Prismen zunimmt, ist ebenfalls nur unter der Annahme verständlich, dass die Doppelbrechung der Schmelzprismen durch Spannungen entsteht, nicht aber unter der Annahme einer eigentlich krystallinen Struktur. Dies schliesst jedoch nicht aus, dass die globulitisch-wabige Struktur, welche O. Römer in den Prismen von Margaritana findet, viele Analogien mit der Struktur der Schmelzprismen zeigt und dass selbst bei der Bildung der Prismen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sind. Wie W. Biedermann bei *Anodonta* findet, treten in der organischen Grundlage der Prismenschicht die ersten Spuren der Prismen als relativ weit auseinanderliegende Tropfen verkalkender Substanz auf, welche allmählich, unter teilweiser Verschmelzung und Auflagerung konzentrischer Schichten sich vergrössern bis sie endlich aneinander stossend sich gegenseitig im Wachstum behindern und nun zu Polygonen mit ebenen Seitenflächen sich abplatteten. Dieses Wachstum der verkalkenden Substanz ist nicht gebunden an einzelne Zellindividuen und ihre Form; ja bei Margaritana kommen nach Römer zweierlei Epithelzellen

vor, welche an der Prismenbildung beteiligt sind. Die Schmelzzellen dagegen bilden wohl jede für sich ein Prisma. Der äusserst komplizierte Verlauf der Schmelzprismen wäre völlig rätselhaft, wenn die Schmelzprismen in einer von den Bildungszellen ebenso losen Abhängigkeit entstehen würden, wie dies bei den Prismen der Muschelschalen in der Tat der Fall ist. Aber immerhin geht auch im Schmelze die Prismenbildung in einer organischen Grundlage vor sich, in welcher zunächst Körner verkalkender Substanz sich ausscheiden. Ein sphärokrystallinisches Wachstum derselben ist nicht nachgewiesen; man sieht vielmehr eine körnigwabige, stellenweise fädige Kalkmasse sich abscheiden, die aber in ihrer Anordnung und Begrenzung von der zugehörigen Schmelzzelle direkt abhängig zu sein scheint. Kann man auf der einen Seite die Bildung der Prismenschicht der Muschelschalen als einen chemisch-physikalischen Prozess bezeichnen, in welchem die vitale Tätigkeit der Bildungszelle nahezu darauf beschränkt ist, das Bildungsmaterial abzusondern, dessen weitere Formung dann unabhängig von den lebenden Zellen sich vollzieht, so muss man die Bildung der Schmelzprismen in viel höherem Maße als direkt abhängig von der vitalen Tätigkeit der Schmelzzellen ansehen. Obwohl auch bei den Schmelzprismen die erste Kalkablagerung von der Mitte der Tomesschen Fortsätze gegen die Peripherie fortschreitet und es von vornherein recht wohl möglich erschiene, dass die Ausbreitung der Verkalkung ähnlich, wie bei den Muschelschalen zu Prismenbildungen führen würde, die ohne nähere Beziehungen zu den Zellen stehen, so ist doch tatsächlich jedes Schmelzprisma eine direkte Fortsetzung je einer Schmelzzelle, wie die in Zusammenhang mit Schmelzzellen isolierbaren, oft langen Tomesschen Fortsätze die nichts anderes sein können, als die primären Schmelzprismen, zweifellos beweisen. Das an Schnitten wie eine gleichartige Membran erscheinende Huxleysche Häutchen ist dennoch ein höher differenziertes Zellprodukt, in welchem die direkte Fortsetzung der Schmelzzelle von anderer Beschaffenheit sein muss, als jener Anteil des Häutchens, welcher den Schlussleisten der Schmelzzellen anliegt. Denn ohne diese Annahme wäre die Isolierbarkeit von Schmelzzellen mit langen Tomesschen Fortsätzen kaum zu verstehen. Andererseits kann die Verschiedenheit zwischen primärer Prismensubstanz und der dieselben umgebenden primären Kittsubstanz keine sehr tief-

greifende sein, da die Prismen sich auf Kosten der Kittsubstanz verdicken. Immerhin ist es wahrscheinlich, dass der primären Prismensubstanz eine vitale, assimilatorische Tätigkeit zukommt, welche der Kitt- oder Zwischensubstanz fehlt.

Da die direkte Fortsetzung der Schmelzzellen in Schmelzprismen zwar ziemlich allgemein angenommen, aber keineswegs unzweifelhaft bewiesen ist und Huxley, später insbesondere Williams (28) dieser Annahme entgegengetreten sind, schien es mir wünschenswert, eine direkt anschauliche Lösung dieser Frage anzustreben. Der verwickelte Verlauf der Schmelzprismen im Zahnschmelze des Menschen und die vielfachen, vielleicht durch sekundäre Druckwirkungen während der Erhärtung auftretenden Biegungen der Prismen, liessen es von vornherein als wenig aussichtsvoll erscheinen, an Menschenzähnen und diesen ähnlich gebauten Tierzähnen mit Sicherheit festzustellen, ob jedes Schmelzprisma die direkte Fortsetzung einer Schmelzzelle darstelle. Dagegen schien der Schmelz der Schneidezähne von Mäusen und Ratten in doppelter Beziehung ein günstiges Untersuchungsobjekt zu sein. Erstens dadurch, dass die innere Schmelzlage, wie man seit den Untersuchungen von J. Tomes weiss, aus regelmässig wechselnden Schichten sich fast senkrecht überkreuzender Prismen besteht, zweitens dadurch, dass die Schneidezähne der Muriden mit offenen Wurzeln beständig fortwachsen und daher stets alle Stadien der Schmelzbildung gleichzeitig darbieten. Die sich überkreuzenden Prismenschichten bestehen in der Regel aus je einer einzigen Reihe von Prismen und verlaufen in Ebenen, welche nicht reinen Querschnitten des Zahnes entsprechen, sondern kronenwärts nach aussen von der Zahnbein-oberfläche unter Winkeln von 50° bis 70° ansteigen. Herr Dr. Fleischmann fertigte auf meine Anregung an entsprechend fixierten und entkalkten Kieferhälften von Ratten Querschnittserien an und ich hoffte an jenen Stellen, wo gerade die gekreuzten Prismenlagen in Bildung begriffen waren, entsprechend gekreuzte Lagen von Schmelzzellen oder wenigstens der inneren Enden derselben zu finden. Davon war aber nichts zu sehen; überall waren die auffallend hohen Schmelzzellen in genau paralleler Stellung senkrecht zur Schmelzoberfläche angeordnet, von zufälligen Verschiebungen durch die Präparation abgesehen. Dagegen konnte man die Tomesschen Fortsätze von der Kutikula der

Schmelzzellen aus seitlich abbiegen sehen. An Präparaten, welche mit Zenkers Flüssigkeit fixiert und entkalkt und dann in Celloidin geschnitten worden waren, zeigten sich die Schmelzzellen in der Querrichtung stark geschrumpft und kaum dicker als $1-2\ \mu$, während frisch isolierte Zellen über $5\ \mu$ dick sind. Infolge dieser starken Schrumpfung waren zwischen den Zellen klaffende Zwischenräume vorhanden und der Übergang der Zellen in die Tomesschen Fortsätze liess sich an vielen Stellen der Schnitte sicher verfolgen. Dieser Befund schien aber in Widerspruch zu stehen mit den Ergebnissen der Isolationsversuche. Sowohl bei Mäusen als Ratten versuchte ich wiederholt an Kiefern, welche kürzere oder längere Zeit in Müllers Flüssigkeit konserviert worden waren, Schmelzzellen in Zusammenhang mit Tomesschen Fortsätzen zu isolieren, da es an ähnlich konservierten Präparaten von embryonalen Menschenzähnen verhältnismässig oft gelingt lange Tomessche Fortsätze in Zusammenhang mit den Schmelzzellen darzustellen. Bei Ratten und Mäusen gelang es mir aber niemals aus der kritischen Region der Schneidezähne Schmelzzellen mit Tomesschen Fortsätzen zu isolieren. Die schönen, hohen, auffallend stark gekörnten Schmelzzellen zeigten an ihrer, dem Schmelze zugewendeten Seite stets ein rein quer abgestutztes Ende mit einem breiteren oder schmälern, glänzenden, oft undeutlich gestrichelten kutikularen Saume ohne Spur eines Tomesschen Fortsatzes. Ausserdem ergab die vergleichende Messung der Durchmesser der Zellen und der in Stücken von Lamellen vorliegenden gekreuzten Prismen für erstere im Mittel $5,4\ \mu$, für letztere $3,6\ \mu$. Diese Zahlen scheinen die direkte Fortsetzung einer Zelle in ein Prisma auszuschliessen. Bedenkt man jedoch, dass — wie sich aus den Schnitten ergibt — die Prismen in den Lamellen unter Winkeln von circa 45° zu der Achse der Zellen orientiert sind, so ist der Durchmesser der Berührungsfläche der Zellen mit den Tomesschen Fortsätzen beziehungsweise der Prismen der durch $\sin. 45^\circ (= 0,7)$ dividierte wahre Durchmesser der Prismen daher $3,6\ \mu : 0,7 = \text{circa } 5\ \mu$, wie eine einfache Konstruktion ergibt. Es ist also trotz der ohne Messungen auffallenden Dickendifferenz von Schmelzzellen und Prismen an Isolationspräparaten, die direkte Fortsetzung je einer Zelle in ein Prisma sehr wohl möglich und es besteht nur ein scheinbarer Widerspruch mit den Befunden an Schnitten.

Da ferner auch Sachse (31, S. 176) an Schnitten von den Schneidezähnen der Maus die Tomesschen Fortsätze gesehen hat, so darf man an dem Vorhandensein derselben und ihrer Fortsetzung in die Prismen wohl nicht zweifeln und die Schwierigkeit, die Tomesschen Fortsätze der den gekreuzten Prismenreihen anliegenden Schmelzzellen zu isolieren, muss darauf beruhen, dass wegen der Kreuzungen der Tomesschen Fortsätze dieselben jedesmal dicht am Kutikularsaume der Zellen abbrechen. Diese Annahme ist umsomehr berechtigt, weil es auch an Menschenzähnen keineswegs immer gelingt, Tomessche Fortsätze darzustellen und häufig die Schmelzzellen ohne solche isoliert werden. Steht es aber fest, dass bei den Schneidezähnen der Ratten die Tomesschen Fortsätze unter einem Winkel abgehen, so hat dies zur notwendigen Folge, dass die Prismen in der Knickungsebene, in welcher dieselben mit den Schmelzzellen einen Winkel bilden, eine andere Querschnittsform annehmen müssen, als die im Querschnitte isodiametrischen Schmelzzellen. Es scheint zunächst, dass entsprechend der früher angeführten Rechnung, die Prismen in den Ebenen der sich kreuzenden Lamellen schmaler werden müssten, als in der Richtung senkrecht zu diesen Lamellen. Die älteren Befunde von J. Tomes würden diese Folgerung tatsächlich stützen, indem derselbe die Prismen im Querschnitte elliptisch, mit dem längeren Durchmesser der Ellipse senkrecht zur Lamellenebene darstellt (32, Seite 577). Allein durch eigene Untersuchungen konnte ich dies nicht bestätigen. Ich fand vielmehr die Prismen von halbmondförmigem Querschnitte, ungefähr wie die in Fig. 7 vom Wildschweine abgebildeten Prismenreihen, wobei die Arkadenbögen stets — entsprechend der von Smreker für Menschenzähne gefundenen Regel — dem Zahnbeine zugewendet sind. Die Prismen üben also eine Pressung aufeinander aus, welche statt zur einfachen Abplattung, zur rinnenförmigen Vertiefung derselben führt. Aber immerhin darf man die Formveränderung als eine notwendige Folge der starken Abweichung der Richtung der Schmelzprismen von der Richtung der Schmelzzellen ansehen. Die Formveränderung ist deshalb sehr verwickelt, weil die Schmelzprismen nicht bloss in der Ebene der Lamellen, sondern auch senkrecht zu derselben mit der Richtung der Schmelzzellen Winkel bilden. Relativ einfachere Verhältnisse zeigen die Lamellen der gekreuzten Prismen in den Nagezähnen

der Eichhörnchen. Bei diesen Tieren steigen, wie J. Tomes fand, die Lamellen nicht wie bei den Mäusen und Ratten schräg vom Zahnbeine an, sondern sie stehen senkrecht zur Oberfläche des Zahnbeines. Es müssen demgemäss die Lamellen in der Richtung der Achsen der Schmelzzellen liegen und die Prismen nur in der Ebene der Lamellen mit den Zellen Winkel bilden. In der Tat findet man nun hier die Prismen im Querschnitte von abgerundet rechteckiger oder nur leicht halbmondförmiger Gestalt, wobei der kürzere Durchmesser parallel, der längere senkrecht zu den Lamellen orientiert ist.

So ergibt sich unter der Annahme, dass jede Schmelzzelle je ein Prisma bilde, die Formveränderung der Prismen als bedingt durch die gegebenen Raumverhältnisse. Dagegen ist das Auftreten gekreuzter Prismenlagen an sich, nicht direkt mechanisch zu erklären und als eine „Selstdifferenzierung“ der Schmelzzellen aufzufassen, etwa in dem Sinne, dass aufeinanderfolgende Reihen von Zellen — so lange gekreuzte Prismen entstehen — die einen linksseitig, die andern rechtsseitig mehr Prismensubstanz und dadurch schräglauende Prismen bilden, während in den Fällen, wo die Prismen in der Verlängerung der Achse der Schmelzzellen liegen, die Zellen an der ganzen Oberfläche gleichmässig Prismensubstanz abscheiden. In dem letzteren Falle werden auch die Prismen rein polygonale Querschnittformen zeigen können. So wird man auch die komplizierteren Verlaufsverhältnisse der Prismen in den als Schregersche Faserstreifen bekannten, entgegengesetzt gerichteten Zügen von Schmelzfasern sich zurecht legen müssen. Ich habe seinerzeit der Behauptung von Williams (28), dass die Richtung der Schmelzzellen mit jener der darunter liegenden Schmelzfasern nicht immer übereinstimme, als eine Täuschung zu erklären versucht (9); nach den Erfahrungen am Schmelze der Nager zweifle ich nicht mehr an der Richtigkeit der Beobachtungen des genannten Autors, obwohl ich nach wie vor daran festhalte, dass jedes Prisma von je einer Schmelzzelle gebildet wird, was Williams mit Unrecht als mit seinen Beobachtungen unvereinbar hielt und ihn zu der Behauptung verführte, die Tomesschen Fortsätze der Schmelzzellen seien Kunstprodukte und ohne Bedeutung für die Bildung der Prismen. Was mich damals zu der Annahme bestimmte, dass die Schmelzzellen stets in der Richtung der Achse der

jeweiligen Prismenrichtung sich befinden, war die Beobachtung an abgelösten Schmelzmembranen von Zähnen neugeborener Kinder, an welchen ich in der Flächenansicht den Schmelzgürteln entsprechende Schiefstellungen von Zellengürteln bei Verschiebung der Mikrometerschraube zu sehen glaubte. Doch habe ich das Maß dieser Schiefstellungen nicht genauer zu bestimmen vermocht und es muss der Zukunft vorbehalten bleiben, die Bildung der Schmelzgürtel eingehender zu verfolgen.

Über den Chemismus der Schmelzerhärtung befinden wir uns ganz im dunkeln. Welche komplizierte Vorgänge hier stattfinden mögen, darüber kann man vielleicht ahnende Vermutungen haben, wenn man die Erfahrungen zu Rate zieht, welche W. Biedermann (2) über die Verkalkung des Krebspanzers gewonnen hat. Bei Hummern und Flusskrebse fand Biedermann die tieferen Schichten des Chitinpanzers mit einer amorphen, kalkigen Substanz infiltriert, aus welcher bei Zusatz von Wasser monoklinische, mit einer organischen Grundsubstanz versehene Mischkrystalle von Calciumphosphat und Calciumkarbonat heraus krystallisierten, welche in Essigsäure völlig löslich sind, in Chromsäure aber einen deutlich geschichteten organischen Rest zurückliessen.

Da Biedermann dieselben Krystalle auch aus dem Blute von Mollusken (*Helix pomatia*) darstellen konnte, so schien es nicht ausgeschlossen, dass bei der Schmelzbildung dieselben Doppelsalze von Phosphat und Karbonat auftreten könnten. Ich zerzupfte den in Bildung begriffenen Schmelz von den Schneidezähnen der Maus, nachdem ich die Wurzel des Zahnes am frischen Objekt blossgelegt, in Wasser. Eine Ausscheidung der Biedermannschen Krystalle konnte ich aber niemals wahrnehmen, obwohl an den stets offenen Wurzeln der Schneidezähne der Nager alle Entwicklungsstufen des Schmelzes nebeneinander vorkommen. Die Zusammensetzung des Schmelzes ist von jener der verkalkten Crustaceenpanzer und der Molluskenschalen allerdings durch den Reichtum an Kalkphosphat wesentlich verschieden und daher war auch die Wahrscheinlichkeit, dass bei ersterem dieselben chemischen Prozesse eine Rolle spielen, wie bei letzteren, von vornherein gering. Da jedoch bei Mollusken, nach Biedermann insbesondere bei *Helix*, die jüngsten Schichten der Schalen fast nur aus Calciumphosphat bestehen, schien es immer-

hin von Interesse, den Versuch zu machen, ob die Biedermannschen Krystalle aus jungem Schmelze dargestellt werden können.

Welcher Natur die in dem noch weichen Schmelze sich in Lösung befindenden Kalkverbindungen sind, ist unbekannt; es ist daher auch nicht möglich, über den chemischen Vorgang der Erhärtung der Prismen und über das Verschwinden der organischen Substanz in denselben sich eine präzise Vorstellung zu machen und man kann nur als mit den Tatsachen am besten vereinbar im allgemeinen annehmen, dass die Abscheidung der Kalksalze aus einer kolloidalen Lösung erfolgt. Die organische Substanz schwindet mit fortschreitender Erhärtung immer mehr, doch ist dieselbe an nicht völlig verkalkten Stellen noch in fertigen Zähnen nachzuweisen, und W. D. Miller (19), sowie Viggo Andresen (1) haben an fertigen Zähnen zusammenhängende Reste organischer Substanz, welche von dem Schmelzoberhäutchen bis ans Zahnbein reichten durch Salz- und Salpetersäure isoliert. (Siehe S. 35.) Diese organische Substanz erscheint in Form von Flocken und Häutchen; sie stammt wesentlich von der Kittsubstanz der Prismen, während in den vollständig ausgebildeten Prismen keine organische Substanz mehr nachweisbar ist. Der Zusammenhang dieser Häutchen mit dem Schmelzoberhäutchen wird durch die Entwicklung verständlich, der zufolge das Schmelzoberhäutchen bei Abschluss der Schmelzbildung von denselben Schmelzzellen abgesondert wird, welche bis dahin die Prismen gebildet hatten. Die im fertigen Zahne noch vorhandene Kittsubstanz in Form von blattartigen Ausbreitungen zwischen, in ziemlich regelmässigen Entfernungen befindlichen Prismenlagen (siehe S. 35 und Fig. 40), ferner die Schmelzlücken und Schmelzkanälchen ermöglichen noch nach dem Durchbruche der Zähne einen, wenn auch beschränkten Flüssigkeitsaustausch zwischen Zahnbein und Schmelz. Ein guter Teil der vom Zahnbein zum Schmelz ziehenden Kanälchen bleibt zeitlebens erhalten; doch scheint mir, als ob die Zahl der Schmelzkanälchen, welche an sich entwickelnden Zähnen mit den Zahnkanälchen zusammenhängen, grösser wäre, als an fertigen Zähnen. Bei der geringen Regelmässigkeit und komplizierten Anordnung dieser Strukturteile infolge der Anwesenheit der zahlreichen Grübchen im Zahnbeine sind vergleichende Zählungen nicht wohl auszuführen und eine Schätzung nach dem Augenmaße, wie ich sie vornahm, kann leicht infolge zufälliger Umstände zu irrüm-

lichen Annahmen führen. Es muss daher diese Frage offen gelassen werden. Die grosse Härte und die durchscheinende Beschaffenheit des auf der höchsten Stufe der Ausbildung befindlichen Schmelzes macht denselben für Flüssigkeitsströmungen jedenfalls sehr ungeeignet und damit stimmt die Erfahrung, dass der ganz harte Schmelz nicht färbbar ist und auch bei hochgradig Ikterischen, deren Zahnbein von Gallenfarbstoff intensiv gelbbraun gefärbt ist, keine Spur von Färbung zeigt.

Ohne auf die über die allmähliche Erhärtung des Schmelzes bei menschlichen Zähnen gewonnenen Erfahrungen nochmals einzugehen, möchte ich schliesslich nur einige Ergebnisse mehr allgemeiner Natur mit wenigen Sätzen zusammenfassen:

1. Die nadelartige Zersplitterung junger Schmelzprismen bei Isolationsversuchen beruht wesentlich auf einer schrägfaserigen Struktur der später meist unter einander verschmelzenden Flügelfortsätze der Prismen.
2. Die Erhärtung des Zahnschmelzes schreitet langsam von den zuerst gebildeten Gewebeteilen zu den zuletzt gebildeten vor; doch erleidet dieses Gesetz im einzelnen zahlreiche Störungen.
3. Um die Vorgänge bei der Erhärtung des Schmelzes einigermaßen zu verstehen, erscheint es notwendig eine Beteiligung des Zahnbeines bei der definitiven Erhärtung des Schmelzes in dem Sinne anzunehmen, dass ein Säftestrom vom Zahnbeine in die interprismatische Kittsubstanz stattfindet.
4. Die nur bei bleibenden Zähnen vorkommenden typischen Retziusschen Linien, die Konturstriche, sowie die auch bei Milchzähnen vorkommenden Konturbänder sind durch ein Stehenbleiben der Schmelzentwicklung auf einer frühen Entwicklungsstufe bedingt.
5. Die an Längsschliffen in den Konturstrichen an ausgebildeten Zähnen sichtbaren, treppenförmig angeordneten Prismendurchschnitte sind durch eine besondere Brüchigkeit der Prismen, nicht aber durch eine Richtungsänderung derselben bedingt.
6. Die Bildung der Schmelzprismen steht in einer viel innigeren Beziehung zu der vitalen Tätigkeit der Schmelzzellen, als die in vieler Beziehung ähnliche Bildung

der Prismenschicht der Muschelschalen zu den Epithelzellen des Mantelrandes.

7. Die Prismen des Schmelzes haben zwar eine globulitschwabige Struktur, sie zeigen aber Formbildungen, namentlich Druckformen, wie Epithelzellen und verdanken ihre Doppelbrechung nicht Krystallisationsvorgängen, sondern Spannungen.
8. Die typische Anordnung und Verlaufsrichtung der Prismen, insbesondere in den gekreuzten Schmelzlamellen der Nagezähne, ist durch eine ererbte Selbstdifferenzierung der Schmelzzellen bedingt; dagegen lassen sich die Querschnittsformen der Prismen direkt mechanisch erklären.

Wien im April 1905.

Literaturverzeichnis.

1. Andresen, Viggo: Beitrag zur Histologie des Schmelzes. Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk., XX. Jahrg., August 1902.
2. Biedermann, W.: Über den Zustand des Kalkes im Crustaceenpanzer. Biol. Centralbl., XXI. Bd., No. 11 (S. 343).
3. Derselbe: Untersuchungen über Bau und Entstehung der Mollusken-schalen. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissenschaft, XXXVI. Bd., 1901.
4. Bütschli, O.: Untersuchungen über Strukturen etc. mit Atlas. Leipzig 1898.
5. v. Ebner, V.: Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes. Sitzber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. Math. nat. Cl., Bd. 99, Abth. III, Januar 1890, S. 57.
6. Derselbe: Über A. Frommes Einrichtung des Polarisationsapparates zu histologischen Zwecken. Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie u. f. mikroskop. Technik, Bd. IX, 1892, S. 161.
7. Derselbe: Über eine optische Reaktion der Bindesubstanzen auf Phenole. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. M. n. Cl., Bd. 103, Abth. III, Juni 1894.
8. Derselbe: Histologie der Zähne in Scheffs Handbuch d. Zahnheilkunde, 2. Auflage, I. Bd., Wien 1902.
9. Derselbe: A. Koellikers Handbuch der Gewebelehre, III. Bd, 6. Auflage, Leipzig 1902.
10. Derselbe: Über die Kittsubstanz der Schmelzprismen. Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk., XXI. Jahrg., Oktober 1903, S. 505.
11. Derselbe: Schmelzstruktur und Höllenstein. Ebenda XXII. Jahrg., Januar 1904.

12. Derselbe: Über das Hartwerden des Zahnschmelzes. Sitzb. d. k. Akad. d. W. in Wien. Math. nat. Cl., Bd. 112, Abth. III, Juli 1903, S. 191.
13. Derselbe: Das Hartwerden des Schmelzes. Vortrag. Oesterr. Zeitschr. f. Stomatologie, I. Jahrg., 14. Hft., Dezember 1903, S. 453.
14. Grandis V. e Mainini C. Studi sui fenomeni chimici che hanno luogo nella cartilagine epifisaria etc. Archivio p. l. scienze mediche. Vol. 24, N. 2, p. 49, anno 1900.
15. Heine, L.: Über Molybdänsäure als mikroskopisches Reagens. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 22. Bd., S. 132, Jahrg. 1896/7.
16. Hoppe-Seyler in Virchows Arch., 24. Bd., 1862.
17. Kallhardt, H. Beiträge zum Durchbruch der bleibenden Zähne. Münchener Dissertation. Wien 1904 u. Oesterr.-Ung. Vierteljschr. f. Zahnk., Hft. 1 u. 2.
18. Lilienfeld, L. u. Monti A.: Über die mikrochemische Lokalisation des Phosphors. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 17. Bd., 1893, S. 410.
19. Miller, W., D.: Einige bei der Entkalkung des Schmelzes auftretende Erscheinungen. Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk., XX. Jahrg. 1902, Maiheft. Haupttitel: Das Vorkommen eines Bakterienhäutchens auf der Oberfläche der Zähne und seine Bedeutung.
20. Preiswerk, G. Beiträge zur Kenntnis der Schmelzstruktur bei Säugethieren mit besonderer Berücksichtigung der Ungulaten. Dissert., Basel, 1895.
21. Römer, O. Untersuchungen über den feineren Bau einiger Muschelschalen. Zeitschr. f. wissensch. Zool., 75. Bd., 3. Hft., 1903.
22. Rudas, G. Beiträge zur Histologie des Zahnschmelzes. Mittheilung aus dem Institute Stephan v. Apáthy's. Vortrag. Különlenyomat a Stomatologiai Közlöny 1902, évi 7. számából.
23. Smreker, E.: Über die Darstellung der Kittsubstanz des Schmelzes menschlicher Zähne. Anatom. Anz., 22. Bd., 1903, S. 467.
24. Derselbe: Über die Form der Schmelzprismen menschlicher Zähne und die Kittsubstanz des Schmelzes. Arch. f. mikrosk. Anat. und Entwickl., Bd. LXVI, 1905, S. 312.
25. Walkhoff, O.: Die vermeintliche Kittsubstanz des Schmelzes. Anatom. Anz., 23. Bd., S. 199.
26. Derselbe: Beitrag zur Lehre von der Struktur des Schmelzes. Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk., XXI. Jahrg., Dezember 1903, S. 625.
27. Derselbe: Ergebnisse neuerer Arbeiten über die Schmelzstruktur. Ebenda. XXII. Jahrg., März 1904.
28. Williams, J. L.: On the Formation and Structure of the Dental enamel. Dental Cosmos, Vol. 38.
29. Zsigmondy, O.: Beiträge zur Kenntnis der Entstehungsursache der hypoplastischen Schmelzdefekte. Transactions of the World's Columbian Dental Congress. Chicago 1894.
30. Derselbe: Über die Entstehung der Fissuren in der die Kauflächen überkleidenden Schmelzdecke bei Prämolaren und Molarzähnen. Oesterr.-ungar. Vierteljschr. f. Zahnheilk., 19. Jahrg., 3. Hft., 1903, S. 318.

31. Sachse, Benno: Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung der Schneidezähne bei *Mus musculus*. Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk., XIII. Jahrg. 1895, S. 156 u. 205.
32. Toms, John: On the Structure of the Dental Tissues of the Order of Rodentia. Philosoph. Transact. of the Royal Soc. of London for the year 1850, Part II, p. 529.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel II—V.

Tafel II.

- Fig. 1. Mittelst einer Knochenzange isolierte Schmelzprismenstücke von einem Mahlzahne eines Erwachsenen a. Rinnenförmiges Prismenstück in schräger Aufsicht auf die Rinne b. Prismenstück mit anhängendem Flügel. Profilansicht. Vergr. 700.
- Fig. 2. Primäre Schmelzprismen im Längsschliffe von der Oberfläche eines bleibenden lateralen Schneidezahnes vom 20 Monate alten Kinde (vergl. Fig. 25) Globulitische Struktur der Prismen. Vergr. ca. 1000.
- Fig. 3. Junge noch schneidbare Schmelzprismen von einem nicht durchbrochenen Mahlzahne eines Frischlings (Wildschwein) durch Zerzupfen isoliert. a) Prisma mit Schrägbruch ohne Flügel; b) Prisma mit zersplittertem Flügel, Profilansicht; c) rinnenförmiges Prisma, Aufsicht auf die Rinne; d) Prisma mit in schräg stehende Nadeln zerspaltenem Flügel, Profil; e) Prisma mit teilweise abgebrochenem Flügel im Profil.
- Fig. 4. Von einem Längsschliff durch einen Milchsneidezahn vom 20 Monate alten Kinde. Eine Prismengruppe in der Nähe des Zahnbeines mit schräg aufgesetzten Leisten: Interkolumnarbrücken von der Fläche gesehen zu vergleichen mit Fig. 13.
- Fig. 5. Primäre Schmelzprismen von der Oberfläche desselben Zahnes wie Fig. 2 im Querschliffe. Globulitische Struktur.
- Fig. 6. a) Junges Prisma vom Frischling durch Kochen mit verdünnter Kalilauge und Schütteln des ausgewaschenen Schmelzstückes in Wasser isoliert. Anhängende Flügel teilweise abgebrochen. b), c), d), stark abgeplattete Prismen von einem noch nicht durchgebrochenen Mahlzahn eines Kalbes durch Zerzupfen isoliert. Flügel im Profil in schräg stehende Nadeln zerspalten. e), u. f) Flache Prismen von der Kante gesehen scheinbar in längslaufende Nadeln zerspalten.
- Fig. 7. Querschnitte von jungen Schmelzprismen von einer nicht entkalkten in Celloidin eingebetteten Schmelzkappe eines nicht durchgebrochenen Mahlzahnes vom Frischling. Methylblaufärbung: a) Reihen rinnenförmiger Schmelzprismen; b) verkalkte Blätter zwischen diesen Reihen. Vergr. ca. 1200.
- Fig. 8. Schmelzsplitter von einem Mahlzahne des Erwachsenen mit dem Meißel abgesprengt. Interkolumnarbrücken im Profil.

- Fig. 9. Von der Oberfläche eines Längsschliffes durch den bleibenden seitlichen Schneidezahn eines 20 Monate alten Kindes. Junge variköse Prismen. Vergr. ca. 700.
- Fig. 10. Schmelzsplitter von demselben Zahne wie Fig. 8. Drei Prismen mit nach oben stehenden Höckerreihen (abgebrochene Flügel in der Aufsicht).
- Fig. 11. a) Junge Schmelzprismen vom Frischling durch Schütteln in Wasser nach vorherigem Kochen in Kalilauge isoliert. Vier noch zusammenhängende Prismen, teilweise von einem verkalkten Häutchen bedeckt (vergl. den Querschnitt Fig. 7). b) Ein völlig isoliertes Häutchen bei stärkerer Vergrößerung.
- Fig. 12. Von demselben Schliffe wie Fig. 9; a) Varikositäten der Prismen; b) Querstreifung durch Ätzung (saure Schellaklösung) entstanden.
- Fig. 13. Von demselben Schliffe wie Fig. 4; a) Zahnbein; b) Schmelzprismen mit Interkolumnarbrücken.
- Fig. 14. Von demselben Schliffe Gegend eines Konturbandes (Breiter Retzius'scher Streifen); a) Unvollständig ausgebildete Prismen; b) Unregelmässige Lücken zwischen den Prismen.

Tafel III.

- Fig. 15. Querschliff durch die Prismenschicht einer Steckmuschel (Pinna) mit conc. Ameisensäure 1½ Minuten geätzt. Ätzfiguren teils gleichseitige Dreiecke (in den Prismen die genau senkrecht zur optischen Achse geschliffen sind) teils ungleichseitige Dreiecke (Prismen deren optische Achse zur Schliffebene geneigt ist). Innerhalb eines Prisma alle Ätzfiguren mit genau parallelen Seiten. (Beweis, dass die Prismen einheitliche Krystalle und nicht Sphaerokrystalle sind). Vergr. ca. 500.
- Fig. 16. Vom Querschliffe eines Mahlzahnes vom Erwachsenen. Der Schliff mit Salzsäure oberflächlich geätzt, dann neuerdings etwas abgeschliffen und poliert. Eine Region mit polygonalen Prismen. a) Prismen durch die Ätzung gelöst, nur die Kittsubstanz erhalten; b) Prismen teilweise gelöst, wodurch ein leerer Raum zwischen Prisma und Kittsubstanz entstanden ist; c) Prismen an welchen die geätzte Oberfläche ganz weggeschliffen wurde.
- Fig. 17. a) Querschliff von einem I. Mahl Zahn vom 20 Monate alten Kinde. Harter Schmelz mit unregelmässigen Prismen und Schmelzkanälchen. Letztere schwarz. Vergr. 1000. b) Von einem Mahl Zahn des Erwachsenen.

Tafel IV.

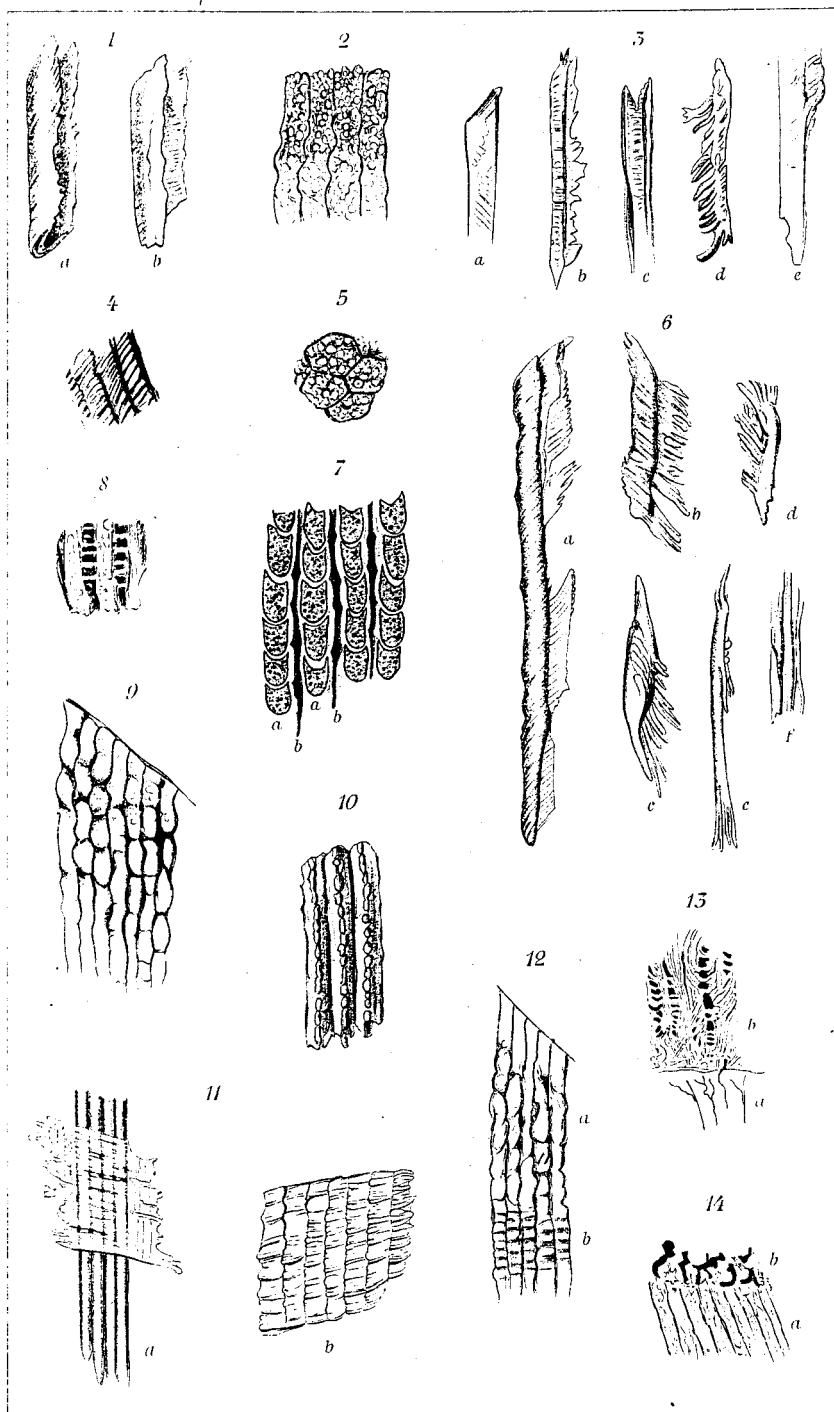
Die Figuren 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27 und 29 sowie Fig. 30, 31, 35, 36, 37 der Tafel V stellen Zahnschliffe auf Grund der Untersuchung im polarisierten Lichte dar. Optisch positiver Schmelz ist mit blauer, optisch negativer mit gelber, optisch neutraler Schmelz mit roter Farbe dargestellt. Zahnbein nur in Umrissen. Über die Art der Herstellung dieser Abbildungen muss auf den Text Seite 41 verwiesen werden.

- Fig. 18. Sagittaler Längsschliff durch einen medialen unteren Schneidezahn vom neugeborenen Kinde. Die linguale Seite des Zahnes links; ebenso an den folgenden Figuren. Vergr. 9.
- Fig. 19. Milchschnidezahn im Durchbruche. Vergr. 9.
- Fig. 20. Milcheckzahn vom 20 Monate alten Kinde. Färbung mit Purpurin. Die nicht völlig verkalkten Partien des Schmelzes rot gefärbt besonders intensiv ein Konturband an der labialen Seite rechts. Ausserdem ist bei d) d) die oberflächlichste Zahnbeinlage dicht unter dem Schmelze tief rot gefärbt. Vergr. 9.
- Fig. 21. Zweiter Milchmahlzahn vom 20 Monate alten Kinde. Die Konturbänder, soweit sie negativ doppelbrechend sind, durch graue Farbe hervorgehoben; auf der rechten Seite sind auch optisch neutrale (rote) und positive (blaue) Konturbänder. Vergr. 9.
- Fig. 22. Voll bewurzelter, abgescheuerter Milchschnidezahn. Vergr. 9.
- Fig. 23. Milcheckzahn vom neugeborenen Kinde. Vergr. 9.
- Fig. 24. Bleibender medialer unterer Schneidezahn vom 20 Monate alten Kinde. Schliff in verdünntem Glyzerin angesehen um die relative Undurchsichtigkeit des positiven Schmelzes zu zeigen. Das Bild ist mit Fig. 25 zu vergleichen, welche denselben Schliff im polarisierten Lichte darstellt. Vergr. 8.
- Fig. 25. Derselbe Schliff wie Fig. 24 im polarisierten Lichte. Vergr. 18.
- Fig. 26. Bleibender Eckzahn vom 6-jährigen Kinde. Präparat von Dr. O. Zsigmondy. Vergr. 9.
- Fig. 27. Medialer unterer bleibender Schneidezahn vom 5-jährigen Knaben. Vergr. 9.
- Fig. 28. Erster oberer Milchmahlzahn vom 20 Monate alten Kinde. (eben im Durchbruche) Purpurinfärbung. Die nicht völlig verkalkten Schmelzpartien rot gefärbt. Vergr. 8.
- Fig. 29. Unterer bleibender Eckzahn vom 5-jährigen Kinde. Vergr. 9.

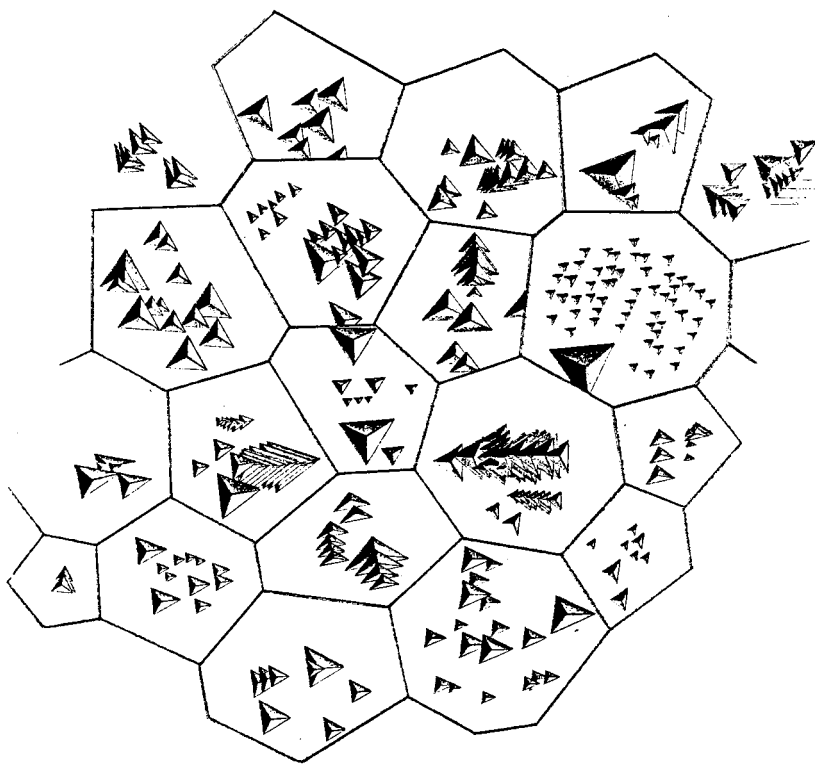
Tafel V.

- Fig. 30. Bleibender noch nicht durchgebrochener 1. Mahlzahn vom fünf-jährigen Knaben. Vergr. 9.
- Fig. 31. Bleibender zweiter unterer Backenzahn vom 5-jährigen Knaben. Die Polarisationsfarben auf der rechten Seite des Bildes grösstenteils nicht dargestellt, da der optische Charakter der Schmelzprismen nicht sicher erkennbar war. Vergr. 9.
- Fig. 32. Derselbe Schliff in natürlichem Lichte nach Erythrolaccinfärbung.
- Fig. 33. Noch nicht durchgebrochener Mahlzahn vom Frischlinge (mit leicht schneidbarem, mit Ausnahme einer dünnen Schicht am Zahnbeine unter den Höckern noch durchaus positivem Schmelze). Der schlecht schleifbare und daher vielfach abgesplitterte Schmelz mit Erythrolaccin überall rot gefärbt. Noch intensivere Rotfärbung zeigt das Zahnbein dicht unter dem Schmelze, doch fehlt diese Rotfärbung unter den Kronenhöckern. Dagegen ist die jüngste Zahnbeinschicht dicht an der Pulpahöhle ebenfalls rot gefärbt.

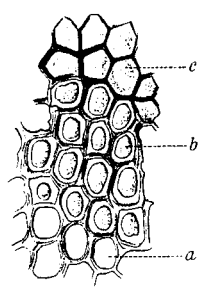
- Fig. 34. Isolierte junge, positive Schmelzprismen mit flügelartigen Anhängen vom Frischling zwischen gekreuzten Nicols im Rot I. Ordnung einer Gipsplatte. A A Richtung der Polarisationssebene des Analysators, P P des Polarisators, M M der Additionsrichtung (erste Mittellinie) der Gipsplatte. a und b zwei Schmelzprismen in möglichst neutraler Stellung bei welcher sie jedoch noch teils steigende teils sinkende Polarisationsfarben zeigen; c Schmelzprisma in Additionsstellung; d in Subtraktionsstellung, wobei die Flügel fast neutral in der Farbe des Gipsgrundes erschienen. Vergr. ca. 300.
- Fig. 35. Bleibender erster unterer Backenzahn vom 5-jährigen Knaben. Vergr. 9.
- Fig. 36. Ein zweiter Schliff von demselben Zahn wie Fig. 35. Vergr. 9.
- Fig. 37. Ein zweiter Schliff von demselben zweiten Backenzahne wie Fig. 31 und 32.
- Fig. 38. Derselbe Schliff wie Fig. 37 in natürlichem Lichte mit Erythro-laccinfärbung. Vergr. 9.
- Fig. 39. Querschliff von der Krone eines Mahlzahnes vom Erwachsenen. Alkohol-Fuchsin-Präparat von Dr. Smreker. Schmelzprismen grossenteils im Querschnitte mit Arkaden. Die Grenzen mit Farbstoff einprägniert, soweit der Schmelz nicht völlig hart und transparent ist. Vergr. ca. 500.
- Fig. 40. Querschliff von der Krone eines Mahlzahnes vom Erwachsenen. Präparat von Dr. Smreker. Alkohol-Fuchsin. D Dentin, S Schmelz, b, b Büschelartig angeordnete mit Farbstoff erfüllte Spalträume, welche von der Dentinoberfläche ausgehend gegen die mittleren Schmelzlagen zwischen den Prismen sich allmählich verlieren. Vergr. ca. 120.



15



16



17

