

Aus dem Institut für Geschichte der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Ruhr-Universität Bochum
Leiterin: Prof. Dr. rer. nat. Irmgard Müller

**Die Geschichte der Histogenese und Histologie des
Zahnschmelzes zwischen 1770 und 1890**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von
Zahnärztin Nina Eckardt
aus Dortmund

2001

Dekan: Prof. Dr. med. Gert Muhr

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Irmgard Müller

Korreferent:

Tag der mündlichen Prüfung:

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	6
2 Hauptteil	9
2. 1 Zur Entwicklung der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Histogenese und Histologie des Zahnschmelzes beim Menschen bis 1758	9
2. 1. 1 Die Anfänge der zahnärztlichen Histologie	9
2. 1. 2 Die Entstehung der ersten beiden Schmelzbildungstheorien	14
2. 2 Zahnentwicklung und zahnärztliche Histologie zwischen 1770 und 1890	17
2. 2. 1 Allgemeine wissenschaftliche Ansichten zur Zahnentwicklung – Stand der Erkenntnisse im 19. Jahrhundert	19
2. 2. 2 Spezielle Aspekte der Schmelzhistogenese – die Weiterentwicklung der Schmelzbildungstheorien	29
2. 2. 3 Zusammenfassende Betrachtung der bestehenden Schmelzbildungstheorien	46
2. 2. 4 Die Histologie des Zahnschmelzes im 18. Und 19. Jahrhundert	51

	5
3 Schlußbetrachtungen	70
4 Anhang	77
4. 1 Übersicht über die historischen Fachbegriffe	77
4. 2 Übersicht über die verschiedenen Schmelzbildungstheorien	80
5 Zusammenfassung	82
6 Literaturverzeichnis	84
7 Danksagung	91
8 Lebenslauf	92

1 Einleitung

Menschliche und tierische Zahnhartsubstanz waren jahrhundertlang Gegenstand vieler Analysen und Untersuchungen. Es bestand ein stetes Wechselspiel zwischen dem Streben nach immer neueren und detaillierteren Erkenntnissen und der technischen Vervollkommnung der hierzu erforderlichen Hilfsmittel. Je nach den zur Zeit der jeweiligen Forscher vorhandenen Instrumenten, Präparationstechniken, optischen Hilfsmitteln und deren Qualität wurden die verschiedensten mehr oder weniger zutreffenden Ergebnisse postuliert.

Während einer Zeitspanne von ca. 300 Jahren wurden zahlreiche Entdeckungen bezüglich der Struktur der Zahnhartsubstanz und ihrer embryologischen Entwicklung gemacht, von denen einige auch heute noch gültige Tatsachen darstellen.

Die Geschichte der Histologie des Zahnschmelzes wurde im Rahmen der Medizingeschichte bisher nur fragmentarisch behandelt. So können z. B. die Zeiträume der Entdeckung von Dentin (1835 – 1839) und Zement (1798 – 1801)¹ gut eingegrenzt werden, die der Schmelzentdeckung jedoch nicht.

Dementsprechend findet sich nur wenig Literatur zur Geschichte des Zahnschmelzes. Ein Großteil der Sekundärliteratur beschäftigt sich entweder nur mit einzelnen Forschern und deren Biographie, wie z. B. TANNEBERGER² (Linderer) oder COPE³ (John Tomes) oder mit konkreten Elementen der Schmelzstruktur, wie z. B. BOYDE⁴ (Schmelzfasern).

Ein umfassender geschichtlicher Überblick und eine kurze Übersicht über die historisch relevanten Forscher findet sich bei HOFFMANN-AXTHELM⁵. Er bezieht sich allerdings auf die gesamte Geschichte der Zahnheilkunde und widmet der zahnärztlichen Histologie eine geringere Aufmerksamkeit.

GLASSTONE⁶ gibt eine gute geschichtliche Zusammenfassung der dentalen Histogenese und histologischen Struktur der Zähne vom 17. bis zum 19. Jahrhundert mit gelegentlichen Ausblicken auf das 20. Jahrhundert, wobei alle

¹ Cohen (1966), S. 62

² Tanneberger (1936)

³ Cope (1961)

⁴ Boyde (1966)

⁵ Hoffmann-Axthelm (?1985)

wichtigen Forscher und ihre Erkenntnisse detailliert und übersichtlich in chronologischer Reihenfolge dargestellt werden.

Einen umfassenden Überblick über die Anfänge der zahnärztlichen Histologie erhält der Leser bei COHEN⁷, der sich allerdings allein auf die Entwicklung in Großbritannien bezieht und nur wenige Bezüge zu anderen europäischen Forschern herausstellt.

Die Studie zur zahnärztlichen Histologie in Deutschland von TOPPAY⁸ kann nur einem oberflächlichen Überblick dienen, da die Darstellung zahlreiche sachliche Fehler bezüglich der Jahreszahlangaben oder Veröffentlichungen enthält und entsprechende exakte Literaturangaben fehlen.

HELMCKE⁹ verknüpft in seinem Artikel die Forschungen zur Histologie der Zähne erstmals mit den jeweiligen optischen Untersuchungstechniken.

Bei dem Studium der Sekundärliteratur fällt auf, daß in den meisten Fällen die Forschungsergebnisse bezüglich Dentin und Zement im Vordergrund stehen und keine genaueren Betrachtungen des Zahnschmelzes und seiner Histogenese vorliegen. Auch die verschiedenen Schmelzbildungstheorien finden keinerlei Erwähnung, so daß für diese Arbeit in der Regel auf Originalschriften der Forscher zurückgegriffen werden musste und damit teilweise neues Quellenmaterial erschlossen wurde.

Die vorliegende Studie soll die Geschichte der Erkenntnisentwicklung auf den Gebieten der Histologie und Histogenese des Zahnschmelzes aufzeigen. Die Betrachtung soll in Abhängigkeit vom jeweiligen Stand der optischen Untersuchungstechniken erfolgen. Hierzu wird die Arbeit in zwei Hauptabschnitte gegliedert.

Nach einem kleinen Exkurs zum Kenntnisstand der allgemeinen Embryologie der Zähne beschäftigt sich der erste Abschnitt mit dem Zeitraum von 1563 bis 1758 und enthält eine Übersicht über die ersten zahnhistologischen und – embryologischen Forschungen von Bartholomaeus EUSTACHIUS (1520 – 1574) bis Francois HÉRISSANT (1714 – 1771), die noch weitestgehend ohne optische Hilfsmittel gewonnen worden sind. Hier soll eine kurze zusammenfassende

⁶ Glasstone (1965)

⁷ Cohen (1966)

⁸ Toppay (1953)

⁹ Helmcke (1960)

Darstellung der ohne oder nur mit primitiven Hilfsmitteln erlangten Forschungsergebnisse gegeben werden. Es soll das vor allem im 17. Jahrhundert langsam erwachende umfassendere Forschungsinteresse an den Zahnhartsubstanzen aufgezeigt werden, was nicht zuletzt bedingt ist durch die Arbeiten Marcello MALPIGHIS (1628 – 1694) und Anthony van LEEUWENHOEKS (1632 – 1723).

Der Hauptteil dieser Studie beschäftigt sich mit der Zeitspanne von 1770 bis 1890. Hier wird zunächst eine Einführung über die allgemeinen Ansichten zur Zahnentwicklung im 19. Jahrhundert gegeben. Es folgen detaillierte Betrachtungen zur Histogenese und Histologie des Zahnschmelzes. Desweiteren soll versucht werden, die im Laufe der Zeit entstandenen verschiedenen Schmelzbildungstheorien systematisch zusammenzufassen und darzustellen.

Für diese zeitliche Eingrenzung war maßgebend, daß sowohl das zunehmende wissenschaftliche Interesse als auch die Bedeutung der Verbesserung optischer und technischer Hilfsmittel für die Genauigkeit und Detailliertheit der Forschungsergebnisse aufgezeigt werden soll. Das Hauptaugenmerk liegt demnach auf dem Zusammenspiel der Entwicklung optischer, mechanischer und materialtechnischer Hilfsmittel und den damit gewonnenen Erkenntnissen.

Mit der Konstruktion des Elektronenmikroskops im Jahre 1927 durch Ernst RUSKA beginnt eine neue Epoche in der Erforschung der Zahnhartgewebe, die nicht mehr Gegenstand dieses historischen Rückblicks sein soll.

2 HAUPTTEIL

2. 1 Zur Entwicklung der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Histogenese und Histologie des Zahnschmelzes beim Menschen bis 1758

2. 1. 1 Die Anfänge der zahnärztlichen Histologie

Bartholomaeus EUSTACHIUS (1520 – 1574), päpstlicher Leibarzt und Professor, ist in der vormikroskopischen Ära einer der ersten Wissenschaftler, der sich mit der histologischen Anatomie der Zähne und der Zahnembryologie beschäftigt. Mit seinem 1563 erschienenen Buch *Libellus de dentibus* liegt die erste der Odontologie gewidmete, selbständige Monographie vor.¹⁰ Obwohl EUSTACHIUS ohne optische Hilfsmittel arbeitet, kann seine Forschungsmethode als erstmalig anatomisch-physiologisch umfassend bezeichnet werden, da sie sich an praktischen Sektionsergebnissen orientiert und nicht auf theoretischen Schlußfolgerungen beruht, wie er selber immer wieder betont. Als Untersuchungsmaterial dienen ihm eine Leibesfrucht, verschiedene Aborte, ein ausgetragener Fötus, eine zwei Monate altes Kind und Ziegenböckchen.¹¹

Er unterscheidet erstmals zwei verschiedene Zahnhartsubstanzen, jedoch noch ohne sie zu benennen. Er schreibt:

Diese [die Zähne] bestehen ... aus einer doppelten Substanz, wie die Bäume aus der Rinde und dem von der Rinde bedeckten Teil.¹²

Später beschreibt er die beiden Hartsubstanzen genauer:

Denn der Stoff, der wie die Schale der Eichel oder wie der Eisenring, der am Speerende zum Schutz angebracht ist, außen sitzt, ist weiß, glatt und fest gefügt wie Marmor; der andere Stoff aber, der auf der Innenseite verborgen ist und von ersterem umschlossen wird, ist dunkel, rauh und weniger fest.¹³

Im XIV. Kapitel betont er zudem, daß die Zähne nicht aus Knochen bestehen, wie später von vielen anderen Forschern, wie zum Beispiel Anthony van

¹⁰ Eustachius (1563)

¹¹ Eustachius (1563) Kap. XVII

¹² Eustachius (1563) Kap. I

¹³ Eustachius (1563) Kap. XVIII

LEEUVENHOEK (1632 – 1723)¹⁴, angenommen wird. Als Hauptmedium des Nährstofftransportes gilt für ihn das Blut:

... wenn ... nicht ... das Blut oder vielmehr die überflüssige Nahrung, sowie sie von den Zähnen, die ein zweites Mal wachsen und besonders von den Backenzähnen gänzlich entnommen wird, eine Art Fähigkeit eines Samens in sich enthielte, aus dem die Teile sich dann bilden.¹⁵

Die Kapitel XIV bis XIX sind der Embryologie der Zähne gewidmet. EUSTACHIUS entdeckt bei der Sektion mehrerer Aborte die Anlagen der bleibenden Frontzähne im Fötus¹⁶ und schließt daraus, daß auch alle übrigen Zähne der zweiten Dentition schon in der Fötalperiode angelegt sein müssen und jeder Zahn seinen eigenen Keim hat.

Damit widerlegt er die auf VESAL¹⁷ zurückgehende Ansicht über die Entstehung der bleibenden Zähne aus den Wurzeln der Milchzähne.

Desweiteren stellt er fest, daß es beim Zahnwechsel Zähne gibt, die als Ersatz nachwachsen und solche, die nach der ersten Dentition „zum ersten Mal“ erscheinen. Er schreibt:

Wenn wir nämlich hinzufügen, daß die Materie sämtlicher Zähne, auch derjenigen, die wieder nachwachsen, und derjenigen, die spät aus dem Kiefer kommen, am Beginn des Wachstums im Uterus vorbereitet wird, und daß ihre Gestalt ... im rohen Umriß begonnen, dann allmählich ... von der Natur vollendet wird, dann sind wir auch nicht weit von der Wahrheit entfernt.¹⁸

EUSTACHIUS führt alle seine Beobachtungen ohne optische Hilfsmittel durch, so daß seine Beschreibung der verschiedenen Zahnbestandteile noch sehr ungenau ausfällt.

Sein Verdienst ist es aber zweifellos, aus der Summe seiner neuen Erkenntnisse eine umfassende anatomisch-physiologische, an praktischen Sektionsergebnissen orientierte Forschungsmethode geschaffen zu haben, mit der er vorsichtig aber kritisch versucht, die damaligen aktuellen anatomischen Lehrmeinungen zu modifizieren.

Der niederländische Naturforscher Anthony van LEEUVENHOEK (1632 – 1723) beginnt seine Untersuchungen von Zahnschliffen mit von ihm selbst angefertigten

¹⁴ Leeuwenhoek (1678) S. 1002

¹⁵ Eustachius (1563) Kap. XIV

¹⁶ Eustachius (1563) Kap. XV

¹⁷ Vesal (1543) S. 46f.

¹⁸ Eustachius (1563) Kap. XIV

Mikroskopen. Das erste von ihm entwickelte Lupenmikroskop mit einer etwa 290fachen Vergrößerung und sehr guter optischer Qualität stammt aus dem Jahre 1678 und besteht aus einer etwa 3 x 6 cm großen Metallplatte. Durch eine ca. 2 mm dicke Bohrung, in die eine kleine Linse eingeschmolzen ist, kann das Untersuchungsobjekt betrachtet werden. Es ist bis heute leider nicht bekannt, mit welchem Verfahren er seine Linsen hergestellt hat, deren Glas ungewöhnlich klar ist.¹⁹ Mit der Weiterentwicklung der Mikroskopiertechnik schafft er entscheidende Voraussetzungen für weitere Forschungen auf dem Gebiet der odontologischen Histologie.

Das von LEEUWENHOEK hergestellte Mikroskop ist ein sogenanntes „einfaches Mikroskop“. Es besteht aus nur einer einzigen kleinen Linse und verfügt durch die sehr einfache Konstruktion zwar nur über sehr limitierte Vergrößerungsmöglichkeiten, doch erzielt man damit zunächst bessere optische Resultate, da weniger Abbildungsfehler die Beobachtungen stören.²⁰

Die später entwickelten „3-Linsen-Systeme“, bei denen das von einer Linse (Objektiv) entworfene Bild von einer zweiten bzw. dritten Linse (Okular) nachvergrößert wird, führen anfangs zu starken sphärischen und chromatischen Aberrationen, die vernichten, was an Vergrößerung gewonnen wird.²¹

LEEUWENHOEK erkennt zunächst nur „*Globules*“, doch bei genauerer Betrachtung mit besserer Vergrößerung erschließt sich ihm die Mikrostruktur des gesamten Zahnkomplexes:

... we plainly saw, that the whole tooth was made up of very small strait and transparent pipes. Six or seven hundred of these pipes put together, I judge exceed not the thickness of one hair of a mans beard.²²

Hierbei gilt es allerdings zu beachten, daß LEEUWENHOEK noch nicht zwischen Schmelz, Dentin und Knochen unterscheidet, so daß es sich bei dem von ihm beschriebenen und illustrierten Präparat vermutlich nicht um Schmelz, sondern um Dentin oder sogar um ein Stück Knochen gehandelt hat.²³

1696 stellt er erstmals die Dentintubuli dar, die er als „*dentinel tubules*“ bezeichnet und folgendermaßen beschreibt:

¹⁹ Helmcke (1960) S. 157

²⁰ Bunyan (1966) S. 55

²¹ Bunyan (1966) S. 55

²² Leeuwenhoek (1678) S. 1002

²³ Boyde (1966) S. 87 f

All the extremities of the tubuli which lie near the outside of the tooth ... are extremely hard, being as it were the solid case, shell or covering of the tooth.²⁴

Da auch hier keine exakte Unterscheidung zwischen Schmelz und Dentin erfolgt, dürfte es sich in dem Zitat eher um Schmelzprismen als um Dentintubuli handeln, zumal er von einer harten, den Zahn überziehenden Schale spricht.

Bei näherer Untersuchung der Zahnoberfläche entdeckt er eine Struktur, die später durch PREISWERK als Perikymatien²⁵ bezeichnet wird. Er beschreibt sie als zirkuläres Rillenmuster und vermutet, daß es dem Zahn beim schrittweisen Zahndurchtritt durch das Zahnfleisch eingepägt wird.

... and I imagine that the circles which thus appear like wrinkles proceed from hence, that they are the places where the tooth, while growing, is from time to time protruded or thrust out from the gum.²⁶

Der vergleichende Anatom und Zoologe Francois David H. HÉRISANT (1714 – 1771), Lehrer am anatomischen Institut in Paris, veröffentlicht 1754 seine *Neueren Untersuchungen zur Bildung des Zahnschmelzes und Zahnfleisches*. Er beschäftigt sich darin hauptsächlich mit der Schmelzbildung, weniger mit der Schmelzstruktur. Die Schmelzbildung hängt für ihn dabei eng mit der Bildung des Zahnfleisches zusammen:

... die Zähne verdanken ihr Wachstum und ihre Verhärtung einem Saft, der nach und nach schichtweise verknöchert; der Zahnschmelz ist aus einer Unzahl kleiner Fäden zusammengesetzt, die durch ihre Wurzeln an der Innenfläche des Zahnes verankert sind; das Wachstum dieser Fasern ist dem der Fingernägel identisch.²⁷

Die weiteren Forschungen zur Zahnschmelzentstehung führt HÉRISANT 1758 unter chemo-analytischen Gesichtspunkten durch. In verschiedenen chemischen Untersuchungen von Zähnen und Knochen findet er erhebliche Unterschiede heraus, was ihn zu dem Rückschluß veranlaßt, daß auch der Bildungsmodus ein anderer sein muß.²⁸ Er pulverisiert den Schmelz eines menschlichen Zahnes und gibt zu dem Pulver eine saure Lösung. Der Schmelz löst sich darin rückstandslos

²⁴ Hoole (1798) S. 114 f

²⁵ Preiswerk (1895) S. 14

²⁶ Hoole (1798) S. 115

²⁷ Hérissant (1754) S. 430

²⁸ Hérissant (1758) S. 322-336

auf. Nach Fixation und Versetzen mit gesättigter Weinsäurelösung erhält er Körner eines staubartigen, reinweißen Pulvers.²⁹ Aus dem Ergebnis folgert er:

Wie man sieht, beweist dieses Experiment auf ziemlich überzeugende Art und Weise, daß die Beschaffenheit des Zahnschmelzes mit der aller anderen Knochenteile nicht identisch ist; sie ist nicht durch eine den anderen Knochen vergleichbare Kalzifizierung entstanden ...³⁰

Allerdings beläßt er es nicht bei der allein chemischen Analyse. Er versucht gleichzeitig, den Unterschied zwischen Schmelz und Knochen mit einer vierfachen Lupe genauer zu erkunden.

Durch das Fehlen geeigneter optischer Hilfsmittel erkennt er die näheren Zusammenhänge des induktiven Wachstums von Schmelz und Dentin allerdings noch nicht. Dennoch bilden seine Untersuchungen zur Schmelzbildung und zur Zahnentwicklung überhaupt die Grundlage für spätere Forschungen.

²⁹ Hérissant (1758) S. 335

³⁰ Hérissant (1758) S. 335

2. 1. 2 Die Entstehung der ersten beiden Schmelzbildungstheorien

Bezüglich der embryonalen Schmelzentstehung werden zunächst zwei unterschiedliche Theorien vertreten, die im 19. Jahrhundert noch durch eine dritte ergänzt werden.

Bei EUSTACHIUS findet sich erstmals ein versteckter Hinweis auf eine der drei später vertretenen Schmelzbildungstheorien. Bei dem Vergleich des Zahnschmelzes mit weißem Marmor attestiert er ihm eine harte, glänzende Gestalt und spricht von einer „Umwandlung“ in eine „harte, glänzende Schale“³¹, was zu dem Begriff der *Umwandlungstheorie* geführt hat.

Der italienische Naturforscher und Anatom Marcello MALPIGHI (1628 – 1694) nimmt eine Schmelzbildung mittels eines „verknöchernden Saftes“ an, wie aus dem folgenden Zitat hervorgeht:

Denn sie [die Zähne] werden in zwei Schichten zusammengefügt, deren äußere netzartig und faserig ist, da diese einen herausragenden Abschnitt der Haut oder wenigstens ihrer Fasern ausmacht. Denn die von der Wurzel zur Basis der Zähne nach vorn geführten Fäden werden verschiedenartig gebeugt und kräuselig, damit ein elegantes Gewebe erscheint, das schließlich durch einen darauf gegossenen Saft unter Hinzutreten einer Verknöcherung verborgen wird.³²

Damit wird er zum ersten Vertreter der sogenannte *Sekretionstheorie*, die nach ihm unter anderem Johann Jakob RAU³³ (1668 – 1719), Francois HÉRISANT³⁴ und John HUNTER³⁵ (1728 – 1793) wieder aufgreifen.

Johann Jakob RAU, Professor der Medizin, Anatomie und Chirurgie in Leyden betrachtet in seiner Dissertation *De ortu et regeneratione dentium* sehr ausführlich Aspekte der Embryonalentwicklung der Zähne und postuliert wie MALPIGHI einen Saft als Hauptbestandteil der Zahnschmelzsubstanz. Dieses Sekret, das er als aus dem Blut synthetisierten „salino-terrestren Saft“ bzw. als „*Succus dentificus*“³⁶ bezeichnet, wird aus „Drüsen“ sezerniert und „verhärtert“. Die den „*Succus dentificus*“

³¹ Eustachius (1563) Kap. XVII

³² Malpighi (1686) S. 4

³³ Rau (1694) S. 197 f

³⁴ Hérissant (1754) S. 429

³⁵ Hunter (1778) S. 95

³⁶ Rau (1694) S. 186

absondernden Drüsen und ihre Ausführungsgänge befinden sich in der sogenannten „*Membrana glandulosa*“³⁷. Die Ausführungsgänge sind so angeordnet, daß ihr Sekret nur zwischen zwei Lamellen abgesondert werden kann, aus denen der Zahn gebildet wird. Diese Lamellen haben, wie die „*Membrana glandulosa*“ von der sie gebildet werden, die Form des späteren Zahnes. So kann der „*Succus dentificus*“ nach seiner Verfestigung die Gestalt des zu bildenden Zahnes annehmen.³⁸ Die eingeflossene Flüssigkeit beschreibt RAU als erhärtete Plättchen, durch deren Übereinanderlagerung die Zahnkrone entsteht. Den gleichen Entstehungsmodus nimmt RAU erstmals auch für die Zahnwurzel an.

In seinen weiteren Ausführungen betrachtet er die „*Membrana glandulosa*“ differenzierter. Im Bereich der Schmelzkappe, die er in Anlehnung an MALPIGHI als „*Involucrum externum*“³⁹ oder äußere Hülle bezeichnet, nennt er sie „*Membrana externa*“, die übrige Drüsenhülle wird als „*Membrana interna*“ charakterisiert. Infolge des auf den oberen Alveolenanteil ausgeübten Druckes kommt es zu einer Mangelernährung, so daß der „*Succus dentificus*“ nicht weitergegeben werden kann.⁴⁰ Die „*Membrana externa*“ erhält durch diese Mangelernährung ihre vor dem Zahndurchbruch weiche, dann steinartige harte Struktur. Die „*Membrana glandulosa*“ wird beim Zahndurchbruch zerstört.⁴¹

RAU erklärt erstmals die gesamte Entstehung des Zahnes, nicht nur die des Zahnschmelzes, durch die Sekretionstheorie.

HÉRISSANT greift in seinen Untersuchungen auf die Ansichten RAUS zurück und spricht wie dieser auch von „Drüsen“ oder „Vesikeln“, aus denen eine bestimmte Flüssigkeit auf die Schmelzoberfläche tropft und sich verfestigt.⁴²

Löst man diese Membran [vermutlich das Zahnsäckchen] über der Krone vorsichtig ab und untersucht ihre innere Oberfläche mit einer drei- bis vierfachen Lupe, so entdeckt man ... eine unendliche Menge winzig kleiner Vesikel ... Während einer bestimmten Zeit enthalten diese Vesikel eine äußerst helle, klare Flüssigkeit, die jedoch nach einiger Zeit milchig wird und eindickt.

³⁷ Rau (1694) S. 195-197

³⁸ Rau (1694) S. 197-198

³⁹ Malpighi (1686) S. 4

⁴⁰ Rau (1694) S. 199-200

⁴¹ Rau (1694) S. 200

⁴² Hérisant (1754) S. 433

Er macht diese sezernierte Flüssigkeit für die Schmelzbildung über dem Dentinkern verantwortlich. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wird der Zahnschmelz als Produkt der oben genannten Vesikel auf dem Zahnknochen dichter und verfestigt sich bis zu seiner größtmöglichen Härte.⁴³ Beim Zahndurchbruch wird letztendlich die gesamte Zahnkrone vom Schmelz überzogen, da die Vesikel durch die Unterbrechung der Verbindung zwischen Membranoberfläche und Zahnkrone zerplatzen und sich ihr Inhalt über die gesamte freigelegte Krone ergießt.⁴⁴

... offensichtlich ist diese Bildung [Bildung des Zahnschmelzes] wohl eher das Ergebnis einer speziellen Art von Schichtung, hervorgerufen durch eine ursprünglich reinweiße und sehr klare Flüssigkeit, die sich während einer bestimmten Zeit über die Zahnkrone ergießt, sich nach und nach verfestigt, milchig wird, dann eine äußerst harte und haltbare Konsistenz gewinnt, die ... den so schönen und widerstandsfähigen Überzug bildet, der dem Zahn seine Dauerhaftigkeit verleiht.⁴⁵

Nach HÉRISSANT trifft diese Bildungsart allerdings lediglich für die Schmelzkappe zu, wohingegen RAU, wie schon erwähnt, die gesamte Entstehung des Zahnes mit der Sekretionstheorie erklärt.

Hier werden bereits Ansätze zu der Diskussion um die Schmelzentstehung mittels der von EUSTACHIUS vertretenen Umwandlungstheorie und der von MALPIGHI, RAU und HÉRISSANT postulierten Sekretionstheorie deutlich, die im weiteren Verlauf der Arbeit, insbesondere bei der Betrachtung der Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts, näher erläutert werden sollen.

⁴³ Hérissant (1754) S. 433

⁴⁴ Hérissant (1754) S. 433 f

⁴⁵ Hérissant (1758) S. 335

2. 2 Zahnentwicklung und zahnärztliche Histologie zwischen 1770 und 1890

Die Ansichten zur Zahnentwicklung und zur Entwicklung der zugehörigen Gewebe sind im Laufe der Zeit sehr vielen Variationen ausgesetzt. Generell wird die Effektivität der wissenschaftlichen Untersuchungen durch die zur Verfügung stehenden optischen Hilfsmittel limitiert. Mit fortschreitender Verbesserung der Mikroskopiertechnik erlangen die Forscher genauere und differenziertere Kenntnisse über die Embryologie und Histologie des Zahnes.

In diesem Kapitel soll dem Leser vor allem ein historischer Überblick über die Entwicklung und Struktur des Zahnes und insbesondere der Histologie des Zahnschmelzes gegeben werden.

Wie in einem der vorangegangenen Kapitel⁴⁶ schon näher erläutert, ist es Anthony van LEEUWENHOEK, der im 17. Jahrhundert erste histologische Untersuchungen an Zähnen mit einfachen, selbst gefertigten Mikroskopen durchführt.

Bis zum Beginn des frühen 19. Jahrhunderts finden zunächst nur wenige detailliertere Forschungen statt. Grund für das neue Interesse an solchen Studien ist in erster Linie die technische Verbesserung der optischen Hilfsmittel. HUGHES stellt in seinem Artikel über die Geschichte des Mikroskops fest:

In Europe during the 1830`s the study of microscopical anatomy in its various branches assumed a very great prominence, and is one of the major events in the history of the biology of that period. It was directly related to the production of the achromatic compound microscope. Physiologists and anatomists became microscopists and found schools of research in animal histology; in this way the use of the microscope entered medical teaching.⁴⁷

Im 19. Jahrhundert wird mit der systematischen Verbesserung der optischen Eigenschaften des Mikroskops begonnen. Allerdings dauert es einige Zeit, bis es sich als allgemein anerkanntes Hilfsmittel zur Forschung durchsetzen kann.

So protestiert z. B. der französische Anatom Marie Francois Xavier BICHAT (1771 – 1802) vehement gegen den Gebrauch des Mikroskops, weil er glaubt, daß ein mit Hilfe eines Instrumentes betrachteter Gegenstand seine ganzheitliche Struktur verliere. Nur die Beobachtung von lebenden Objekten könne die wahre Natur der

⁴⁶ Siehe hierzu Kapitel 2. 2. 1 dieser Arbeit.

⁴⁷ Hughes (1955) S. 1-22

Dinge aufzeigen. Auch andere Wissenschaftler waren der Ansicht, daß man des Mikroskops nicht bedürfe.⁴⁸

⁴⁸ Chadarevian (1994) S. 123

2. 2. 1 Allgemeine wissenschaftliche Ansichten zur Zahnentwicklung – Stand der Erkenntnisse im 19. Jahrhundert

Die Erkenntnisse HÉRISSANTS, HUNTERS und anderer Wissenschaftler lösen zum Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine Vielzahl von Untersuchungen und Publikationen bezüglich der Zahnhistologie und –embryologie aus. Dabei bieten gerade diese beiden Wissenschaftler viele Ansatzpunkte für Kritik durch die nachfolgenden Forscher. Hierbei setzen sich mehr und mehr eine wissenschaftliche Systematik und die Verwendung von Mikroskopen durch.

Die erste detaillierte wissenschaftliche Beschreibung der Zahnentwicklung stammt von John HUNTER (1728 – 1793). Er widmet sich in seiner 1771 erschienenen *Natural history of the human teeth* ausführlich der Struktur der einzelnen Zahnsubstanzen und deren Histogenese.⁴⁹ Für seine Untersuchungen benutzt er ein System aus zwei zueinander passenden Linsen, die eine maximal 220fache Vergrößerung ermöglichen. Dieses Verfahren der optimierten Linsenkombination wird als „Pröbeln“ bezeichnet.⁵⁰

HUNTER beginnt seinen beruflichen Werdegang als Lehrling bei einem Möbeltischler, bis ihn sein Bruder William (1718 – 1783), ein Arzt, nach London holt. Die Studien bei diesem in Anatomie, Physiologie und Pathologie öffnen ihm den Weg zur Chirurgie, der er bis zu seinem Lebensende eine gleichberechtigte Stellung neben der Medizin einräumt. Als Chirurg wird er Mitglied der Royal Society of London und der Corporation of Surgeons, bis der König von England ihn schließlich zu seinem außerordentlichen Wundarzt macht.⁵¹

Sein Untersuchungsmaterial setzt sich größtenteils zusammen aus Kadavern, die er sich nur durch freundschaftliche Verbindungen zu Totengräbern und zu Leuten, die Exhumierungen durchführen, beschaffen kann. Seine Studien der vergleichenden Anatomie führt er teilweise an toten Tieren aus dem Londoner

⁴⁹ Hunter (1778) S. 33-97

⁵⁰ Helmcke (1960) S. 157

⁵¹ Campbell (1952) S. 29f.

Tower durch, die ihm von den dortigen Tierpflegern überlassen werden. Des weiteren kauft er häufig Kadaver von Zirkustieren auf.⁵²

Auf Grund der Unzulänglichkeit seiner optischen Hilfsmittel setzen seine Untersuchungen zur Zahnhistogenese zu einem späten Zeitpunkt der Entwicklung ein, so daß ihm einige Details der Zahnstruktur verborgen bleiben.

So beginnt seine Beschreibung der Zahnentwicklung mit der Entstehung der Zahnpapille, die er als eine „breiige“ (*pulpy*) Substanz bezeichnet:

All the teeth are produced from a kind of pulpy substance which is pretty firm in its texture, transparent, excepting at the surface, where it adheres to the Jaw, and has at first the shape of the bodies of the Teeth which are to be formed from it. These pulpy substances are very vascular, they adhere only at one part to the Jaw, viz. at the bottom of the cavity which is to form the socket; ...⁵³

Die äußere Hülle des Zahnkeimes, die als Membran die oben erwähnte breiige Substanz umschließt und in ihrer Gesamtheit mit dieser den Zahnfollikel bildet, beschreibt er folgendermaßen:

They are surrounded by a membrane, which is not connected with them, excepting at their root or surface of adhesion. This membrane adheres by its outer surface all around the bony cavity in the Jaw, and also to the gum where it covers the Alveoli ... it makes a kind of Capsula for the pulp and body of the Tooth.⁵⁴

In seinem Kapitel über die Entstehung des Zahnschmelzes schreibt er:

There is another pulpy substance opposite to that which we have described; it adheres to the inside of the Capsula, where the Gum is joined to it, and its opposite surface lies in contact with the basis of the above described Pulp, and afterwards with the new formed basis of the Tooth: whatever eminences or cavities the one has, the other has the same, but reversed, so that they are moulded exactly to each other.⁵⁵

Die zweite breiige Substanz ist das Schmelzorgan, das nach HUNTER mit der Schmelzabsonderung beginnt, sobald die erste breiige Substanz das Dentin, das vor Beginn des 19. Jahrhunderts noch als Knochen (*bone*)⁵⁶ bezeichnet wird, ausgebildet hat.

HUNTER unterscheidet damit zwischen zwei Hartsubstanzkomponenten, nämlich Schmelz und Knochen und ist mit den Grundzügen ihrer Entwicklung vertraut.

⁵² Campbell (1952) S. 7

⁵³ Hunter (1778) S. 86

⁵⁴ Hunter (1778) S. 86f.

⁵⁵ Hunter (1778) S. 94

⁵⁶ Hunter (1778) S. 33

Der Zahnfollikel liegt seinen Ausführungen zufolge in den sogenannten Zahnhöhlen, die sich aus kleinen Erhabenheiten einer als Zahnleiste bezeichneten länglichen Rinne gebildet haben.⁵⁷ Die aus dem Zahnsäckchen durch Unterteilung der embryonalen Zahnleiste hervorgegangenen Zahnfollikel sind von dem Zahnsäckchen wie von einer Art Haut umgeben. Dieses Säckchen besteht aus zwei Plättchen, einem äußeren und einem inneren. Die fünf Zahnanlagen der Milchzahnleiste werden auf Grund der durch Einstülpung des Follikels am Boden entstehenden Form als Zahnglocke bezeichnet.⁵⁸ Der entstandene Raum wird als Hülle für den Zahn versorgende Nerven und Blutgefäße angesehen.

Weiterhin unterscheidet HUNTER zwischen Milchzahnleiste und Ersatzzahnleiste und differenziert bei der Entstehung der bleibende Zähne zwischen Ersatz- und Zuwachszähnen. Er erkennt also, daß sich die Zuwachszähne in eigenen Zahnhöhlen bilden und nicht die alten Zahnhöhlen der Milchzähne einnehmen.⁵⁹

Die kapselartige Umhüllung des Keimes durch das Zahnsäckchen wird beim späteren Durchbruch des Zahnes aufgelöst und bleibt lediglich noch am Zahnhals angeheftet, wenn der Durchtritt durch die Gingiva erfolgt.⁶⁰

Eine detaillierte Beschreibung der früheren Entwicklungsstadien findet sich bei Fr. ARNOLD (1831). Dabei können über Art und Präparationstechniken seines Untersuchungsmaterials keine näheren Angaben gemacht werden. Eine Alkoholfixierung erscheint mit Rücksicht auf das Jahr seiner Forschungen eher unwahrscheinlich, da zu diesem Zeitpunkt kaum spezielle Konservierungs- und Präparationstechniken bekannt sind und angewandt werden.

Alexander NASMYTH (1789 – 1848) gibt in seinem Werk (1839) erstmals eine Übersicht über die Literatur des frühen 19. Jahrhunderts, worin er auch die Ansichten ARNOLDS wiedergibt:

In an embryo at the ninth week, we can perceive on the projecting edges of the gums in both jaws a deep furrow, with ten depressions on its floor; a little later the surface is flat, and perforated by many openings communicating with small sacs into which fine bristles may be passed. At the third month the sacs of the second molars may be seen communicating with the cavity of the mouth by small holes. The openings of the remaining sacs are soon closed by the mucous membrane of the mouth ... Once only, in a newly born child, I

⁵⁷ Hunter (1778) S. 8

⁵⁸ Hunter (1778) S. 80

⁵⁹ Hunter (1778) S. 83

⁶⁰ Hunter (1778) S. 87

observed, behind the most prominent edge of the gums, several openings, which led to the sacs of the incisors and canines, and which are usually obliterated before birth.⁶¹

NASMYTH zufolge gehen nicht alle Autoren konform mit den Ansichten ARNOLDS, daß der komplette Zahnkeim, ARNOLD bezeichnet ihn als Zahnfollikel⁶² oder Zahnsäckchen, durch Einstülpung der Mundschleimhaut gebildet wird.

Isaac RASCHKOW ist ein bekannter Gegner seiner Meinung. In seiner unter Johann Evangelista Baron von PURKINJE (1787 – 1869) verfaßten Dissertation *Meletemata circa mammalium dentium evolutionem* (1835) bemerkt er laut NASMYTH folgendes:

Arnold has very recently brought forward an opinion upon the origin of the dental follicle, differing widely from the views of most writers. According to him, the dental follicles take their primal origin from the mucous membrane of the cavity of the mouth, the membrane in question being inflected into the alveolar groove of the upper and the lower jaw ... Our own investigations by no means allow us to adopt the opinion of Arnold; for we have never been able to see, either in the human foetus, or in other animals, any such apertures. We have examined with this object the foetuses of calves and sheep; but we never saw the mucous membrane of the mouth dip into the alveolar groove; and in the grooves themselves we never discovered the deeper recesses which Arnold describes. It was always, on the contrary, dear to us, that the dental follicle at its origin is altogether separate from the gum, and is not closely attached to it by any intermediate connexion.⁶³

Es stehen sich hier also zwei unterschiedliche Sichtweisen bezüglich der embryonalen Zahnentwicklung gegenüber. ARNOLD auf der einen Seite glaubt, der Zahn entwickle sich aus der Mundschleimhaut in einer offenen Rinne, PURKINJE und RASCHKOW jedoch postulieren, der Zahn sei nicht mit dem oralen Epithel verbunden und entwickle sich im Kiefer.

Alexander NASMYTH (1789 – 1848) ist einige Zeit als Assistent bei seinem älteren Bruder tätig und lernt dort auch GOODSIR kennen. Er befaßt sich seit 1834 in einer Reihe histologischer Studien mit Fragen zur Zahnhartsubstanzstruktur und –entwicklung, wobei ihm die Arbeiten der Schule PURKINJES ebenso vertraut sind

⁶¹ Nasmyth (1839) S. 127

⁶² Arnold (1831) S. 236

⁶³ Nasmyth (1839) S. 131f.

wie die von Johannes MÜLLER (1801 – 1858)⁶⁴ und Anders Adolph RETZIUS (1796 – 1860)⁶⁵. Seine erste Publikation veröffentlicht er 1839 in den *Medico-chirurgical Transactions* nach einem Vortrag vor der Royal Society.⁶⁶ Seine Untersuchungen *Researches on the development, structure and diseases of the teeth* erscheinen erst posthum im Jahre 1849. Bezüglich der zahnembryologischen Aspekte schließt NASMYTH sich zunächst weitgehend den Ansichten GOODSIRS, PURKINJES und RASCHKOWS an, die er aber durch eigene Untersuchungsergebnisse modifiziert. Er untersucht die Kiefer von Kalbfoeten und Lämmern, kann aber das Einstülpfen der Mundschleimhaut in die Alveolarrinne (*alveolar groove*) so wie es GOODSIR beschrieben hat, zunächst nicht nachvollziehen. Später schreibt er:

But prosecuting the subject further, and directing my attention to the jaws of the human embryo, I succeeded to my entire satisfaction.⁶⁷

John GOODSIR, Anatomieprofessor in Edingburgh von 1846 – 1867, erhält seine Ausbildung bei dem Bruder von Alexander NASMYTH, der ein chirurgisch tätiger Zahnarzt ist. Er veröffentlicht sein erstes Referat *On the Origin and Development of the Pulp and Sacs of the Human Teeth* 1839 im Alter von 25 Jahren. Hierin beschreibt er alle Stadien der Zahnentwicklung mit größerer Sorgfalt und Genauigkeit als seine Vorgänger. Die Aussagen ARNOLDS kommentiert er folgendermaßen:

... he appears to be unacquainted with the mode of formation of the permanent follicles, supposing them to be formed immediately from the mucous membrane of the mouth, an opinion which is very prevalent among the continental anatomists.⁶⁸

GOODSIR untersucht menschliche Kiefer verschiedener Altersstufen von der sechsten pränatalen Woche bis zum sechsjährigen Kind, über deren Herkunft er allerdings keine näheren Angaben macht, mit einer speziellen Technik:

An embryo ... was selected and prepared for the purpose of examining the state of the palate and dental arches ... The cheeks were divided transversely from the commissure of the lips with fine scissors; the jaws were separated, removed and fixed to the bottom of a small capsule full of water. The point of

⁶⁴ Müller (1840)

⁶⁵ Retzius (1837)

⁶⁶ Nasmyth (1839)

⁶⁷ Nasmyth (1849) S. 103

⁶⁸ Goodsir (1839) S. 37

the tongue was removed. The configuration of the mouth was then determined by means of a half-inch lens and two needles bent at the points, and fixed in slender handles.⁶⁹

Er ist der erste Wissenschaftler, der die Zahnentwicklung systematisch in vier Stadien unterteilt.⁷⁰ Im „Papillen-Stadium“ (*papillary stage*) lagert sich zunächst eine granuläre Masse auf der Mundschleimhaut ab. Aus dieser Masse entsteht eine Rinne, die er „primitive Zahnrinne“ (*primitive dental groove*) nennt und in der die späteren Zahnkeime gebildet werden, die er als „Papillen“ (*papillae*) bezeichnet. Die Seiten der Rinne wachsen in die Höhe, so daß die Papillen am Boden der offenen Rinne zu liegen kommen. Das zweite Stadium ist das „Follikel-Stadium“ (*follicular stage*). Hier entstehen zu beiden Seiten der Rinne Fortsätze, die jede Papille in einem Follikel umgeben, der immer noch nach oben geöffnet ist. Gleichzeitig formt sich seitlich der primitiven Zahnrinne die „sekundäre Zahnrinne“ (*secondary dental groove*). Im „Zahnsäckchen-Stadium“ (*saccular stage*) erhält die Papille langsam Zahnform. Die Follikel weisen nun eine verschiedene Anzahl von Spitzen auf, die mit der Höckeranzahl des fertigen Zahnes korrespondiert. Er formt sich nun um zu einem geschlossenen „Sack“ (*shut sac*). Gleichzeitig schließt sich in diesem Stadium auch die sekundäre Zahnrinne bis auf die Stelle, aus der die „Ersatzzahnleiste“ (*shut cavity of reserve*) hervorgeht.

Das „eruptive Stadium“ (*eruptive stage*) wird erreicht, wenn der Milchzahn mit Zahnhartsubstanz bedeckt und das Wurzelwachstum so gut wie abgeschlossen ist.

Die permanenten Zähne entwickeln sich aus der Ersatzzahnleiste. Der erste bleibende Molar, der keinen Milchzahnvorgänger hat, entsteht in einer eigenen Zahnrinne. GOODSIRS Beschreibung der Entwicklung des zweiten und dritten Molars ist zu kompliziert und spekulativ, um sie hier ausführlich zu betrachten.

Ihm ist daran gelegen herauszustellen, daß beide Zahnkeime zunächst als freie Papillen und nicht in geschlossenen Zahnsäckchen entstehen. Damit steht er im Kontrast zu den meisten anderen damaligen Forschern, vor allem wohl zu PURKINJE und RASCHKOW, die er folgendermaßen zitiert:

The germs ... appear as shut sacs, full of a fluid, the pulps being formed by inspissation of the latter, or by development from the walls of the former ... The pulp must be considered as the principal part of the organ, and as the

⁶⁹ Goodsir (1839) S. 1f.

⁷⁰ Goodsir (1839) S. 31-37

element which appears first. The sac is a mere subsidiary part, supplied for purposes of development and nourishment.⁷¹

GOODSIRS irrigte Annahme der freien Papille weist dennoch eine gewisse Schlüssigkeit in den von ihm geschilderten einzelnen Phasen der Zahnentwicklung auf.

Obwohl von seinen Zeitgenossen heftig kritisiert, werden seine Theorien erst ca. 30 Jahre später endgültig verworfen.

Der Anatom und Zoologe Thomas Henry HUXLEY (1825 – 1895) beschäftigt sich im Jahre 1853 ebenfalls mit zahnhistologischen und –embryologischen Fragen und bestätigt in seinen Untersuchungen weitgehend die Ergebnisse NASMYTHS, widerspricht diesem aber auch in einigen Punkten.⁷² Als Untersuchungsmaterial dienen ihm Glattrochen, Makrele, Frosch, Kalb und Mensch, wobei sein Schwerpunkt allerdings auf der Erforschung der tierischen Zahnentwicklung liegt. Er kommt zu dem Schluß, daß sich die Zahnentwicklung auf zwei Wegen vollziehen kann, wobei hier aber nur der für den Menschen zutreffende geschildert werden soll:

... the pulp projects freely at one period above the surface of the mucuous membran, becoming subsequently included within a capsule formed by the involution of the latter; a marked instance of this mode of development occurs in the human subject.⁷³

Der in Würzburg tätige Anatom und Physiologe Albert KÖLLIKER (1817 – 1915) veröffentlicht im Jahre 1852 seine ersten grundlegenden Untersuchungsergebnisse über die Zahnanatomie und –embryologie. 1860 vertritt er in seinem *Manual of Human Microscopic Anatomy* noch GOODSIRS Theorie, daß sich die Zähne zunächst als freie Papillen in offenen Rinnen entwickeln. Drei Jahre später (1863) ändert er seine Ansichten grundlegend als er feststellt, daß GOODSIRS freie Papille nicht existiert. Seiner Meinung nach ist der Zahnkeim umgeben von einer Gewebshülle, von deren Boden ausgehend die Zahnpulpa erwächst.⁷⁴

Wilhelm WALDEYER (1836 – 1921), Privatdozent in Breslau und später Direktor des Anatomischen Institutes in Berlin, stellt mit seinen herausragenden

⁷¹ Goodsir (1839) S. 31

⁷² Huxley (1853) S. 149 ff

⁷³ Huxley (1835) S. 150

Forschungsergebnissen eine Basis her, auf welche spätere Autoren aufbauen können. Allerdings beschäftigt er sich weniger ausführlich mit der Histologie der Zahnhartsubstanzen, sondern eher mit ihrer Histogenese, die er an Menschen- und Schweineembryonen untersucht.

Auf ihn geht auch die Erkenntnis zurück, daß Zahnpapille und Zahnsäckchen der Säugetiere mesodermalen Ursprungs sind. Über die Zahnentwicklung beim Menschen schreibt er folgendes:

Near the end of the second month of foetal life the margin of the jaw exhibits a slight longitudinal furrow, with rounded borders, termed the „dental groove“. The epithelium of the oral cavity completely covers it, so that it is scarcely perceptible when the surface alone is examined. The two projecting borders of the groove are termed the „dental ridges“ ... Soon, from the bottom of the dental groove, a narrow process of the oral epithelium dips into the subjacent mucous tissue, presenting on section the form of a short tubular gland, but in point of fact constituting an epithelial fold along the whole length of the jaw – the „enamel germ“ of Kölliker (1863).⁷⁵

Die Schlußfolgerungen Emile MAGITOTS (1834 – 1897) bezüglich der Zahnentwicklung haben grundsätzlich noch heute Gültigkeit. Er untersucht Zähne von Mensch, Schaf und Kuh und stellt fest, daß keine Zahnrinne auf der Oberfläche der Mundschleimhaut existiert, bevor die Zahnleiste entsteht:

... on ne peut reconstruire à aucune époque de la vie embryonnaire, à la surface du bord alvéolaire, aucune dépression, enfoncement ou perforation quelconque.⁷⁶

Auch John TOMES (1815 – 1895) und sein Sohn Charles (1846 – 1928) leisten beide einen beträchtlichen Beitrag zur Zahn-anatomie und -embryologie des Menschen.

John TOMES beginnt bereits Ende 1837 unter seinem Lehrer Richard OWEN (1804 – 1892) als Student des King's College seine mikroskopisch-histologischen Untersuchungen an menschlichen und tierischen Zähnen. Er hält 1838 als dreiundzwanzigjähriger seinen ersten Vortrag *Über die Struktur der Zähne* vor der

⁷⁴ Kölliker (1863) S. 457f.

⁷⁵ Waldeyer (1870) S. 479f.

⁷⁶ LeGros/ Magitot (1873) S. 454

Royal Society in London.⁷⁷ Darin erreicht er ganz auf sich allein gestellt das Niveau seiner Vorgänger aus der Breslauer und Berliner Schule.

1876 veröffentlicht Charles TOMES eine Zusammenfassung der Zahnentwicklung. Er ist überrascht, daß gerade HUXLEY, der seiner Ansicht nach ein so sorgfältiger Beobachter ist, die falsche Theorie GOODSIRS übernimmt. Zu dieser Zeit ist die Herkunft der Zahngewebe immer noch nicht vollständig geklärt. TOMES lehnt die Existenz einer offenen Rinne im Kiefer mit einer unbedeckten freien Papille ab und gibt eine exakte Beschreibung der Zahnentwicklung:

... from the deep layer of the epithelium (the rete Malpighi) an ingrowth, consisting of a double layer of cells, takes place, burrowing down into the submucous tissue, and looking, in sections transverse to the jaw, like a tubular gland ... This inflection of epithelium is said to take place uniformly, all round the circumference of the jaw ... closely following upon this epithelial development, the tissue immediately subjacent to it becomes elevated at corresponding points ... The subjacent tissue forms a conical eminence ..., which is invested above by a bell-like cap of epithelium ...⁷⁸

Er faßt die frühen Entwicklungsstadien zusammen⁷⁹, indem er sagt, daß alle Zahnkeime letztlich aus zwei Komponenten bestehen: einem „Schmelzorgan“ (*enamel organ*) und einer „Dentinpulpa“ (*dentine pulp*). Für ihn gibt es keinen „Einkapselungsprozess“, wie manche Forscher vor ihm angenommen haben. Die ganze Entwicklung findet im Kiefer statt und das Schmelzorgan entsteht kurz vor oder gleichzeitig mit der Entwicklung der Dentinpulpa.

TOMES glaubt den Grund für die Irrtümer GOODSIRS und anderer zu kennen:

Foetuses were kept in spirit for some time that the mouth epithelium and possibly the enamel organ, would be torn away leaving the free papilla.⁸⁰

Damit spricht er ein großes Problem der damaligen wissenschaftlichen Untersuchungen an. Durch unzureichende Erfahrungen bezüglich der Präparations- und Fixierungstechniken kommt es sehr häufig zu Artefakten, die, da Vergleichsmöglichkeiten fehlen, nicht erkannt und als tatsächliche Komponenten der Entwicklung hingenommen werden.

Auf die embryonale Entstehung der zweiten Dentition soll hier nur in Grundzügen eingegangen werden.

⁷⁷ Cohen (1966) S. 66

⁷⁸ Ch. Tomes (1876) S. 41

⁷⁹ Ch. Tomes (1876) S. 50

KÖLLIKER beschreibt 1862 erstmals die eigentliche Zahnleiste, aus der sich die Milchzähne entwickeln und nimmt an, daß auch die bleibenden Zähne hieraus hervorgehen. WALDEYER⁸¹ und MAGITOT⁸² unterstützen KÖLLIKERS Ansicht, daß sich die Zähne der zweiten Dentition von der Zahnleiste abspalten.⁸³ Sie sind allerdings zu der Erkenntnis gekommen, daß der erste bleibende Molar, der keinen Vorgänger im Milchgebiß hat, direkt aus dem Mundhöhlenepithel entsteht. Der zweite Molar geht aus dem Schmelzorgan des ersten Molaren hervor und der dritte Molar aus dem Schmelzorgan des zweiten. TOMES⁸⁴ schließt sich MAGITOT an, doch er glaubt, der erste Molar gehe auch aus der Zahnleiste hervor.

⁸⁰ Ch. Tomes (1876) S. 50

⁸¹ Waldeyer (1864) S. 255

⁸² LeGros/ Magitot (1873), 449-503

⁸³ Kölliker (1863) S. 459

⁸⁴ Ch. Tomes (1877) S. 96f.

2. 2. 2 Spezielle Aspekte der Schmelzhistogenese – die Weiterentwicklung der Schmelzbildungstheorien

In der Histogenese stellt HUNTER keine Qualitätsunterschiede der Zahnhartsubstanzen fest. Er bezeichnet die komplette Zahnanlage zunächst als „*pulpy substance*“. Diese breiartige, amorphe Vorstufe unterliegt nach seiner Aussage einer späteren Verknöcherung.⁸⁵ In den folgenden Kapiteln seiner *Natural History* geht er genauer auf die Entwicklung und die Struktur der einzelnen Zahnhartsubstanzen ein und beschreibt drei Hauptabschnitte in der Zahnentwicklung⁸⁶. Zunächst liegt nur die schon erwähnte „*pulpy substance*“ vor. Innerhalb dieser Masse kommt es dann zu einer Verknöcherung, später bildet sich darüber ein dünner Schmelzüberzug, der langsam an Dicke zunimmt:

After the points of the first described pulp are begun to ossify, a thin covering of enamel is spread over them, which increases in thickness ... The enamel appears to be secreted from the pulp above described, and perhaps from the capsula which incloses the body of the tooth.⁸⁷

Die Schmelzentstehung wird nach HUNTER durch die Entwicklung und Verknöcherung der Grundsubstanz induziert. Die Vorstufe des Schmelzes liegt nach seiner Aussage dabei der Dentinmatrix gegenüber. Damit beschreibt er hier schon deutlich die Schmelz-Dentin-Grenze, ohne sie als solche zu bezeichnen.⁸⁸ Desweiteren stellt er hier auch schon die Verzahnung der Schmelzpulpa („*another pulpy substance*“) mit der Dentinvorstufe fest, zieht daraus aber noch keine weiterführenden Schlüsse.

HUNTER schließt sich hinsichtlich der Schmelzentstehung den Ansichten HÉRISSENTS an und vertritt wie dieser die Sekretionstheorie, was auch aus dem oben angeführten Zitat hervorgeht. Den aus der „*pulpy substance*“ und der „*capsula*“ abgesonderten Schmelz beschreibt er als kalkhaltige Erde, die gelöst in Körpersäften von als Drüsen fungierenden Teilen sekretiert wird. Hier nimmt er auch die von HÉRISSENT erwähnten Drüsen wieder auf⁸⁹, deren Sekret auf der Zahnbasis „kondensieren“ und auf diese Weise den Schmelz bilden soll.

⁸⁵ Hunter (1778) S. 86 f

⁸⁶ Siehe hierzu auch Seite 20ff. in dieser Arbeit.

⁸⁷ Hunter (1778) S. 94 f

⁸⁸ Siehe hierzu auch Seite 20f. in dieser Arbeit.

⁸⁹ Hérissant (1754), 429 f ; Siehe hierzu auch Seite 14f. in dieser Arbeit.

Die „kalkhaltige Erde“ wird nun von dem knöchernen Teil des Zahnes angezogen und kristallisiert auf dessen Oberfläche, wobei HUNTER diesen Vorgang mit der Entstehung einer Eierschale vergleicht:

The operation is similar to the formation of the shell of the egg, the stone in the kidneys and bladder, and the gall stone. This accounts for the striated crystallized appearance which the enamel has when broken and also for the direction of these striae.⁹⁰

Auch hier greift er HÉRISSANTS Ansichten wieder auf, der die Schmelzentstehung als eine Art Kristallisation der „ausgeschwitzten“ Schmelzmasse in Schichten (*Congelation*) auffaßt⁹¹. Weiter geht seine Anlehnung an die Forschungsergebnisse HÉRISSANTS aber nicht.

Der Dubliner Zahnarzt Robert BLAKE (1727 – 1822) schließt sich bezüglich der Schmelzbildungstheorie den Ansichten HUNTERS und HÉRISSANTS an.⁹² Wie diese nimmt auch er an, daß der Schmelz sich nach der Bildung der inneren Zahnschicht aus der Membran des Zahnsäckchens ablagert und auskristallisiert. So wird er „an der Spitze des Zahnes“ zuerst ausgebildet und verläuft kapuzenförmig und immer dünner werdend bis zum Zahnhals.⁹³ Die Hartschichtbildung muß damit von außen nach innen verlaufen, wobei der Schmelz seine Sensibilität im Laufe der Entwicklung durch eine vom Inneren des Zahnes ausgehende Kristallisation verlieren soll.

Die schmelzbildende Membran verkleinert sich und verschwindet schließlich bei Durchbruch des Zahnes durch die Mundschleimhaut durch Resorption ganz. Dies ist für ihn auch der Grund, weshalb eine Strukturveränderung des Schmelz nach dem Durchbruch nicht mehr möglich sein kann.

Thomas BELL (1792 – 1880), Lektor für Zahnheilkunde am Londoner Guy's Hospital, greift den von HUNTER und anderen Forschern postulierten Vergleich zwischen Zähnen und Knochen auf, wobei er bei allen Unterscheidungskriterien doch glaubt, eine Gemeinsamkeit in der Knochen- und Zahnbildung zu erkennen:

It has been often observed that the mode in which the teeth are produced, is so totally different from that of the formation of bone in general, as to lead to

⁹⁰ Hunter (1778) S. 96

⁹¹ Hérissant (1758) S. 335

⁹² Boyde (1966) S. 85

⁹³ Blake (1800) S. 314-338, S. 320 f

a reasonable doubt of the identity of their structure ... this objection be true with regard to the original formation of bone: yet that a very striking analogy subsists between the production of the teeth, and that of bony matter deposited in exostosis. It is asserted, that, in this process, the bone is immediately secreted by the vessels of the periosteum, without the intervention of a cartilaginous matrix; and it will be seen ... that the bony substance is secreted by an extremely delicate membrane, called the proper membrane of the pulp, which is believed to be a production of the periosteum of the alveolus.⁹⁴

Damit wird deutlich, daß auch BELL die Sekretionstheorie vertritt. Im Kapitel über die Zahnentwicklung finden sich häufige Querverweise auf BLAKE, von dem er behauptet, er sei der erste gewesen, der diesen schwierigen Prozeß durchschaut habe.⁹⁵

Der ganze Zahnkeim wird von einem „sac“⁹⁶, bestehend aus zwei „lamellae“ eingeschlossen. BLAKE beschreibt die äußere „lamella“ als extrem vaskularisiert, die innere als gefäßlos,⁹⁷ HUNTER behauptet genau das Gegenteil⁹⁸. BELL wiederum glaubt Beweise zu haben, daß beide „lamellae“ Gefäße enthalten.⁹⁹ Das Zahnsäckchen lagert sich dem knöchernen Zahnanteil dicht an, wobei die Vaskularisation des inneren Anteils stark zunimmt, um eine höhere Blutversorgung für die Schmelzsekretion zu gewährleisten. Von der inneren Oberfläche kommt es nun zur Sezernierung einer dicken Flüssigkeit, die sich zu einer dunkleren kalkartigen Substanz verfestigt:

It [the sac] now begins to pour out from its internal surface a thickish fluid, which is speedily consolidated into a dark chalky substance, and afterwards becomes white and hardened by more perfect crystallization. This is enamel.¹⁰⁰

Der gebildete Schmelz überzieht nun als geschlossene Schicht die ganze Krone.

BELL sieht die Aufgabe des Zahnsäckchens allein in der Sekretion der anorganischen kristallinen Schicht.¹⁰¹ Danach wird es durch den beim Zahndurchbruch ausgeübten Druck vollständig absorbiert.¹⁰²

⁹⁴ Bell (21835) S. 10 f

⁹⁵ Bell (21835) S. 53

⁹⁶ Vermutlich ist das heutige Zahnsäckchen gemeint.

⁹⁷ Blake (1800) S. 320 f

⁹⁸ Hunter (1778) S. 87

⁹⁹ Bell (21835) S. 55

¹⁰⁰ Bell (21835) S. 57

¹⁰¹ Bell (21835) S. 60

Friedrich ROSENTHAL¹⁰³ gelangt bei seinen Untersuchungen an einem mazerierten Kinderschädel zu einer Schmelzbildungstheorie, die nicht das von HÉRISANT¹⁰⁴ erstmals beschriebene „Ausschwitz“ von Schmelzmasse auf dem Zahnhartsubstanzkörper als Grundgedanken enthält. Vielmehr glaubt er, daß aus dem porösen, äußerst gefäßreichen Sack, der den Zahnkeim umgibt, Schmelzmasse als „Deposition“ auf die „Knochenmasse“ abgelagert wird. Die Formung der Schmelzmasse erfolgt durch die auf der Innenseite des Sackes gelegenen Gefäßmündungen. Die „Knochensubstanz“ des Zahnes wird vorher in Form einzelner Lamellen gebildet. Ob ROSENTHAL mit diesem gefäßreichen Sack die Schmelzpulpa gemeint hat, oder ob der Schmelz sich seiner Ansicht nach aus dem Zahnsäckchen bildet, läßt sich aus seinen Ausführungen nicht zweifelsfrei entnehmen.

Isaak RASCHKOW verfaßt 1835 seine Dissertation unter PURKINJE, in der er sich eingehend mit der Entwicklung der Zähne beschäftigt.

Er ist einer der wenigen Forscher, die für ihre Studien ein Mikroskop benutzen, zu dem er aber keine weiteren Angaben macht. Im Vorwort gibt er lediglich zu, daß er ohne die Hilfestellungen seines Doktorvaters PURKINJE niemals mit diesem Gerät zurechtgekommen wäre. Von der eigentlichen Herstellung mikroskopisch-histologischer Präparate schreibt er nichts. Er bemerkt lediglich, daß das Material so frisch wie möglich für die mikroskopische Untersuchung hergestellt werden muß.

Er geht, wie er selbst berichtet, immer nach dem gleichen Präparationsschema vor.¹⁰⁵ Zunächst legt er durch Abtragen des bedeckenden Zahnfleisches den Zahnfollikel frei. Nach nicht näher beschriebenen „weiterem Präparieren“ betrachtet er die isolierten Strukturen unter dem Mikroskop. Er untersucht Follikel unterschiedlicher Lebewesen in verschiedenen Entwicklungsstufen. Neben menschlichen Präparaten muß ihm auch Material von Fleisch-, Pflanzen-, Frucht- und Insektenfressern, sowie von Wiederkäuern, Dickhäutern und Nagern vorliegen.¹⁰⁶

¹⁰² Bell (1835) S. 65

¹⁰³ Rosenthal (1811) S. 320 f

¹⁰⁴ Hérissant (1758) S. 335

¹⁰⁵ Raschkow (1835) S. 1

¹⁰⁶ Raschkow (1835) S. 1/ 5/ 7/ 8 f/ 10/ 12/ 20

RASCHKOW bezeichnet das Innere des Zahnfollikels erstmals als „Schmelzorgan“ (*organon adamantinae*), wobei die deutsche Übersetzung des Begriffes 1837 durch J. LINDERER¹⁰⁷ (1809 – 1878) geprägt wird:

Diesen runden Kern wollen wir im Vorgriff Schmelzorgan nennen, wie sich beim Betrachten der weiteren Entwicklung diese Organs herausstellen wird, daß es zur Schmelzbildung bestimmt ist, und weil es sich langsam und fast unmerklich in die Membran verwandelt, welche den Schmelz hervorbringt.¹⁰⁸

Im Inneren des Schmelzorgans befindet sich eine sternartige Parenchymsubstanz, die er „Schmelzpulpa“ nennt und eine aus dünnen, senkrechten Fasern bestehende seidenartige Zellschicht, die „Schmelzmembran“.¹⁰⁹ Damit setzt sich das Schmelzorgan aus Schmelzpulpa und Schmelzmembran zusammen. RASCHKOW spricht hier erstmals von dieser Membran, die aber erst 1839 durch NASMYTH als „*Nasmyth's membrane*“ bekannt werden soll.

Im weiteren Verlauf beschreibt er als erster Forscher den Ameloblastensaum und die von diesem gebildeten Schmelzprismen in der Schmelzmembran.¹¹⁰ Zwischen Pulpa und Schmelzorgan findet er ein dünnes Häutchen, das er als „*Membrana praeformativa*“ bezeichnet und der er die erste Bildung von Zahnschmelz zuschreibt¹¹¹, wobei Schmelz- und Dentinbildung gleichzeitig beginnen sollen.¹¹² Dabei bilden sich von den in der Schmelzmembran lotrecht angeordneten Zellen ausgehend primitive Vorstufen der Schmelzfasern in zentro-peripherer Richtung und lagern sich an die Dentinkanälchen an. Zur Weicherhaltung der neu gebildeten Schmelzfasern wird aus den Drüsen des Parenchyms der Schmelzmembran eine organische Lymphe ausgeschieden. Die feste Schmelzstruktur formt sich erst später durch Einlagerung mineralischer Substanzen. Mit fortschreitender Hartschmelzentwicklung ändert sich der Aufbau der Schmelzmembran.¹¹³

RASCHKOW ist der Ansicht, daß die Schmelzprismen durch Verkalkung der Epithelzellen der Schmelzmembran entstehen. Damit ist der Schmelz kein Sekretionsprodukt, sondern entsteht direkt aus einem Teil des Schmelzorgans. Er

¹⁰⁷ Linderer/ Linderer (21842) S. 75-99

¹⁰⁸ Raschkow (1835) S. 2

¹⁰⁹ Raschkow (1835) S. 3

¹¹⁰ Raschkow (1835) S. 4

¹¹¹ Raschkow (1835) S. 5 f

¹¹² Raschkow (1835) S. 7

¹¹³ Raschkow (1835) S. 8 f

ist also wie ursprünglich EUSTACHIUS¹¹⁴ auch ein Vertreter der Umwandlungstheorie.

RASCHKOW gibt in seiner Dissertation nicht nur eine sehr detaillierte Beschreibung der Schmelzentstehung, die er dank seines Mikroskops in vielen vorher nicht bekannten Einzelheiten aufzeichnen kann, sondern auch einen umfassenden Überblick über die damals relevanten Lehrmeinungen. Dabei kritisiert er die Angaben HÉRISSENTS, HUNTERS und BLAKES als zu ungenau:

Allein Hunter beschreibt die Schmelzpulpa näher, allerdings von keiner Seite richtig. Die meisten [Autoren] haben die Struktur der Schmelzmembran nur so nebenher oder sogar falsch skizziert. Allein Hérissant hat ihre Struktur und ihre Funktion am besten dargestellt. Denn die Drüsen, die er beschreibt, entsprechen voll und ganz jenen kurzen Fasern, die von uns schon früher ausführlich erwähnt wurden.¹¹⁵

Die Korrektur der ungenauen oder mit dem zeitgenössischen Wissen nicht zu vereinbarenden Erkenntnisse der anderen Autoren ist RASCHKOW nur dadurch möglich, daß ihm offensichtlich neuere und genauere Untersuchungsmethoden zur Verfügung stehen, zu denen er allerdings, das Mikroskop ausgenommen, keine näheren Angaben macht.

Durch die neuen Techniken kommt RASCHKOW zu wesentlich detaillierteren Forschungsergebnissen und Beschreibungen bereits bekannter histologischer Phänomene. Dennoch sind seine Möglichkeiten begrenzt. So erkennt er zum Beispiel mit der Membrana praeformativa die Bildungslinie zwischen Schmelz und Dentin¹¹⁶, schließt aber dann daraus, daß der gesamte Bildungsvorgang eine unter ständiger Zelldifferenzierung ablaufende Erneuerung der Membrana praeformativa darstellt. Desweiteren bleibt ihm bei der Zahnentwicklung die gegenseitige Induktion der Zahnhartgewebe noch verborgen.

Aus einer Zahnarztfamilie stammend, erwirbt Joseph LINDERER (1809 – 1878) neben seiner Praxistätigkeit eine Ausbildung im mikroskopischen Arbeiten bei Johannes MÜLLER (1801 – 1858), die er seinen odontologischen Untersuchungen dienstbar macht. Für seine Forschungsergebnisse erhält er später die Ehrendoktorwürde des Philadelphia Dental College.

Angeleitet durch seinen Lehrer MÜLLER und den später in Lüttich tätigen Anatom Theodor SCHWANN (1810 – 1882) beschäftigt sich Joseph LINDERER eingehend

¹¹⁴ Siehe hierzu auch Seite 16 in dieser Arbeit.

¹¹⁵ Raschkow (1835) S. 20

mit dem Zahnbildungsmechanismus. In dem gemeinsam mit seinem Vater C. J. LINDERER veröffentlichten *Handbuch der Zahnheilkunde* beschreibt er zunächst die Bestandteile des Zahnkeimes, den er die „Matrix“ nennt, als „*Membrana capsularis*“, Zahnsäckchen, Schmelzorgan und „*Pulpa dentalis*“.¹¹⁷ Hier findet sich erstmals der Begriff Schmelzorgan als deutsche Übersetzung des von RASCHKOW geprägten Terminus „*Organon adamantinae*“¹¹⁸. Das Schmelzorgan, das er wie folgt beschreibt, stellt die Form des künftigen Zahnes dar und wird im Verlaufe der Schmelzbildung bis auf ein dünnes Häutchen reduziert:

Das Schmelzorgan hat die Gestalt des früheren Schmelzes ... und es hat auf dem Gipfel mehr eine ebene Fläche, nicht die Spitzen und Gruben des Schmelzes. Die innere Fläche aber, welche auf dem Gipfel der Zahnpulpa liegt, hat eben so viele Spitzen und Gruben wie letztere, natürlich aber im umgekehrten Verhältnis. Die äußere Fläche des Schmelzorgans berührt unmittelbar die innere Fläche des Zahnsäckchens, die innere Fläche des Schmelzorgans berührt unmittelbar die äußere Fläche der Zahnpulpa.¹¹⁹

Am äußeren Rand der Schmelzpulpa liegen runde bis eckige, durch Fasern miteinander verbundene „Körperchen“. Bei diesen Zellen nimmt MÜLLER¹²⁰ bereits 1836 an, daß es sich um den jungen Zustand der Schmelzmembranfasern handeln könnte.

Im Inneren der Schmelzpulpa erkennt LINDERER parallel verlaufende Fasern, die senkrecht auf der Pulpaoberfläche stehen und die gleiche Größe wie die Schmelzfasern besitzen. Aus dieser „Schmelzhaut“, die LINDERER in Übereinstimmung mit HUNTER, BLAKE und später auch TOMES als Sekretionsorgan betrachtet, wird letztendlich eine Schmelzfaser abgesondert, die sich durch „*Crystallisation*“ verfestigt. Der Stoff zur Schmelzbildung stammt von der Schmelzpulpa, die sich dadurch, wie schon erwähnt, mit zunehmender Schmelzmasse verbraucht und kleiner wird. Der periphere Teil der Zahnpulpa wird durch eine Membran von ihrem inneren Bereich getrennt. Diese Membran bezeichnet LINDERER nach RASCHKOW als „*Membrana praeformativa*“ und schreibt ihr die Bildung sowohl des Zahnmarkes als auch der Zahnschmelzsubstanz zu.

¹¹⁶ Raschkow (1835) S. 6/ 10

¹¹⁷ Linderer/ Linderer (?1842) S. 75-99, 162-175, 219-246

¹¹⁸ Raschkow (1835) S. 2

¹¹⁹ Linderer/ Linderer (?1842) S. 85

¹²⁰ Müller (1840) S. 775

Der später in Lüttich als Professor für Physiologie, allgemeine Anatomie und Embryologie tätige Anatom Theodor SCHWANN (1810 – 1882), der ebenfalls aus der Berliner Schule um Johannes MÜLLER stammt, lehnt sich 1839 in seiner Arbeit hauptsächlich an die Forschungsergebnisse RASCHKOWS an, eröffnet aber auch einige neue Aspekte. Seine Ergebnisse über die Entstehung der Zahnhartsubstanzen gewinnt er durch Untersuchungen von Zahnkeimen, deren Herkunft er nicht näher benennt.

In seinen mikroskopischen Forschungen diskutiert er drei verschiedene Theorien der Schmelzentstehung. Nach der ersten Theorie soll die innere Fläche der Raschkowschen „Schmelzmembran“ prismatische Zellen ausbilden, die dann aber nicht weiter mit den Prismen in Verbindung stehen. Dabei wird jede einzelne Faser der Membran als Schmelzprismen absonderndes Exkretionsorgan aufgefaßt. Die zweite Hypothese besagt, daß kontinuierlich verkalkte Fortsetzungen der Prismen der Schmelzmembran ausgebildet werden. Die dritte Theorie postuliert ein Ablösen der prismatischen Zellen der Schmelzmembran von der inneren Membranoberfläche bei der Schmelzentstehung. Sie verwachsen mit dem schon gebildeten Schmelz und werden durch Verkalkung dann zu Zahnhartsubstanz umgebildet. Danach erfolgt eine schichtartige Auflagerung weiterer Prismenzellen. Er schreibt:

... daß die prismatischen Zellen der Schmelzmembran sich von dieser trennen und mit dem schon gebildeten Schmelz verwachsen, während sich zugleich entweder ihre Höhle mit den Kalksalzen füllt, oder während sie in ihrer ganzen Dicke verknöchern, nachdem vorher ihre Höhle mit einer organischen Substanz gefüllt ist.¹²¹

SCHWANN befürwortet diese letzte Theorie der direkten Verkalkung und lehnt explizit die Sekretionstheorie ab. Später wird er in seiner Ansicht von Charles TOMES¹²² bestätigt, daß die Schmelzfasern kein Sekret des Zahnsäckchens, sondern entweder Verknöcherung der Prismen der Schmelzmembran sind oder daß die Prismen hohl sein müssen, damit darin die anorganische Substanz abgelagert werden kann.

SCHWANN gilt zusammen mit dem Rechtsanwalt und Professor für Naturwissenschaften in Jena und Estland Matthias Jacob SCHLEIDEN (1804 –

¹²¹ Schwann (1839) S. 101

¹²² J. Tomes (1861) S. 131

1881) als Begründer der Zellentheorie, die besagt, dass alle Pflanzen und Tiere aus Zellen bestehen. Zusammenfassend schreibt SCHWANN zu dieser Theorie:

Die Entwicklung des Satzes, dass es ein allgemeines Bildungsprinzip für alle organischen Produktionen gibt, und dass die Zellenbildung dieses Bildungsprinzip ist, und die aus diesem Satz hervorgehenden Folgerungen, kann man mit dem Namen der Zellentheorie im weiteren Sinne belegen, während wir im engeren Sinne unter Theorie der Zellen dasjenige verstehen, was sich aus diesem Satze über die – diesen Erscheinungen zu Grunde liegenden – Kräfte schließen lässt.¹²³

Es liegt nun nahe zu untersuchen, in welchem Maße seine Ansichten zur Schmelzbildung von dieser Zellentheorie beeinflusst wurden. In einer Art „Kristallisationshypothese“ vergleicht er die Zellbildung mit der Entstehung eines Kristalls und konstatiert nach eingehender Diskussion des physikalischen und chemisch-physiologischen Zustandes der tierischen Zelle im Unterschied zu den physikalischen Bedingungen einer Kristallbildung folgendes:

Indessen darf man doch auch die Momente nicht übersehen, worin beide Prozesse ähnlich sind. Sie stimmen in dem Hauptpunkte überein, dass sich auf Kosten einer in einer Flüssigkeit aufgelösten Substanz nach bestimmten Gesetzen feste Körper von einer bestimmten regelmäßigen Form bilden.¹²⁴

Als Unterschied wird der Umstand gekennzeichnet, dass Kristalle solide, aus übereinandergelagerten Schichten derselben chemischen Substanz bestehende Körper sind und ihr Wachstum durch „*Apposition*“ geschieht, während die Zellen „ineinandergeschachtelte hohle Bläschen“ seien und ihr Wachstum durch Flüssigkeitsaufnahme (*Imbibition*) erfolge.¹²⁵

Bei der Schmelzbildung geht SCHWANN zwar auch von einer schichtweisen Ablagerung organischer Substanzen aus, so dass insofern gewisse Parallelen zwischen Schmelzbildungs- und Kristallisationshypothese bestehen, doch bei der Schmelzbildung kommt es nicht zu einer Verfestigung von Flüssigkeiten, sondern zu einer direkten Verkalkung der Schmelzprismenzellen, wie in einem späteren Kapitel dieser Arbeit noch erläutert werden wird.¹²⁶

¹²³ Schwann (1839) S. 197

¹²⁴ Schwann (1839) S. 241

¹²⁵ Schwann (1839) S. 240f.

¹²⁶ Siehe auch Seite 46-50 in dieser Arbeit.

Richard OWEN (1804 – 1892) beschäftigt sich in seinem Werk *Odontography* neben der Histologie von Schmelz, Dentin und Zement hauptsächlich mit der Systematik ihrer Verkalkung während der Embryonalentwicklung.

In der Zahnentwicklung entstehen nach OWENS Ansicht drei Bildungsorgane entsprechend den drei Hauptgeweben der Zähne: die „Dentinpulpa“ für die Dentinbildung, die „Schmelzpulpa“ für die Schmelzbildung und die „Kapsel“ für den Zement.¹²⁷ Die fundamentale Struktur jedes Bildungsorgans ist zellulär, aber die Zellen unterscheiden sich in jedem Organ und erhalten ihre speziellen Eigenschaften und Fähigkeiten durch den Zellkern.

Im früheren Stadium der Entwicklung ist die Schmelzpulpa noch eine weiche, gelatineartige Substanz, die mit der inneren Kapseloberfläche verbunden ist:

... a pulp destined for its [the enamel] production is developed from the inner surface of the capsule opposite that to which the dentinal pulp is attached.¹²⁸

Sie bildet innerhalb ihres Keimgewebes Zellaggregationen aus, die sich als Zylinderzellen in Nachbarschaft zur Membrana praeformativa aufreihen. Diese dünne, transparente Membran nimmt später als erste die härtenden Salze auf. Nach weiterer Differenzierung der Zylinderzellen verschwindet ihr Zellkern. Durch den engen Kontakt untereinander werden die Zellen zu einer hexagonalen oder polygonalen Form zusammengedrückt und erhalten so ihr langes, schlankes, prismatisches Aussehen. Nun werden aus dem die Schmelzpulpa umgebenden Plasmabereich Kalksalze in klarem, fast kristallinem Zustand in die Zellwände eingebaut. Dabei verwandeln sich die Zellen in Formen zur Aufnahme der härtenden Salze. Dieser Vorgang wird vermutlich ausgelöst durch die unmittelbare Nähe zur Dentinpulpa.

Die zuerst kalzifizierende Membrana praeformativa gibt dem Druck der Enden der prismatischen Zellen nach, wodurch die Vertiefungen auf der äußeren Dentinoberfläche entstehen. Daraus resultiert der feste mechanische Verbund, den der Schmelz mit dem Dentin eingeht.¹²⁹

Später wird, wie OWEN vermutet, der Hohlraum des Zylinders durch Multiplikation der Nucleoli in Kompartimente unterteilt, wobei die Rückstände

¹²⁷ Owen (1840) S. XLI – LXII

¹²⁸ Owen (1840) S. XVIII

¹²⁹ Owen (1840) S. LVIII – LX

dieser Nucleoli die Wände des Zylinders so verändern, daß die charakteristische transversale Streifung der Schmelzfasern hervorgerufen wird.¹³⁰

Der komplette Bildungsvorgang verläuft dabei peripher-zentrisch, wobei die Flüssigkeit in den Zellen nach und nach in die feste Salzkristallstruktur umgewandelt wird. Der organische Zellwandaufbau verschwindet zu Gunsten der prismatischen Form der Schmelzfasern, in die niemals Blutgefäße einsprossen.

OWEN erkennt als erster die induktiven Zusammenhänge der einzelnen Bildungsorgane während der Zahnhartgewebsentwicklung und beschreibt sehr genau den mikroskopischen Aufbau der einzelnen Hartgewebe. Des weiteren ist sein Werk von größter Wichtigkeit im historischen Zusammenhang und für alle nachfolgenden Forscher, da er durch die Berücksichtigung von Arbeiten zeitgenössischer kontinentaler Wissenschaftler einen guten Überblick über den Stand der Zahnhistologie zu seiner Zeit gibt.

Alexander NASMYTH (1789 – 1848) schließt sich bezüglich der embryologischen Aspekte der Zahnschmelzentstehung weitgehend den Ansichten RASCHKOWS an, die er aber durch eigene Untersuchungsergebnisse modifiziert. Das „Schmelzorgan“ beschreibt er als kleine Menge weißlichen Grundgewebes zwischen Zahnkeim und Zahnsäckchen:

At an early period of the follicular stage ... a small quantity of whitish matter may be detected in the groove between the papilla and the follicle – this is the enamel organ.¹³¹

Es ist seiner Ansicht nach von granulärer Gestalt und scheint von der inneren Follikeloberfläche abgetrennt zu sein. Aus der Grundmasse der Schmelzpulpa differenzieren sich in der weiteren Entwicklung zwei Zelltypen. Einer mit länglicher und einer mit runder Gestalt.¹³² Bei fortschreitendem Wachstum des Fetus entsteht die weißliche Vorform der Schmelzpulpa als eine Art Gürtel um den Zahnkeim herum, um letztlich die Krone des Keimes wie eine Kapuze zu umkleiden. Alexander NASMYTH ist der erste Forscher, der eine aus heutiger Sicht korrekte histologische Beschreibung des Schmelzorgans gibt:

In my own investigations made with the aid of one of the best microscopes of modern construction, and with a magnifying power of one-tenth of an inch

¹³⁰ Owen (1840) S. LIX

¹³¹ Nasmyth (1849) S. 104

¹³² Nasmyth (1849) S. 105

focal distance, I found the enamel substance to be composed of cells of three different kinds.¹³³

Im Schmelzorgan differenziert er drei Zelltypen: im Zentrum findet sich eine Zellart mit abgeflachter, dreieckiger Form, verbunden durch dünne Filamente, die er als „Sternzellenschicht“ (*stellate reticulum*) bezeichnet, der zweite Zelltyp ist oval und umgibt die erste Schicht mantelartig und die dritte Zellformation, die Kontakt zum Keim besitzt, besteht aus schmalen, verlängerten, dicht an dicht angeordneten Zellkörpern und stellt sich zum Keim hin radiär auf. Diese letzten beiden Schichten bezeichnet KÖLLIKER¹³⁴ 1862 als „äußeres und inneres Schmelzepithel“ (*external and internal epithelium*). NASMYTH vermutet, daß RASCHKOW seinerzeit wegen des zu geringen Auflösungsvermögens seines Mikroskops lediglich die Schmelzpulpa und die sie umkleidende Schmelzmembran erkannt haben kann¹³⁵.

Als Inhalt des Zahnsäckchens findet man den Zahnkeim, bestehend aus Dentinpulpa und Zahnpulpa und die Schmelzpulpa, wobei er letztere ebenso wie OWEN als weich und gallertig beschreibt.

Thomas Henry HUXLEY (1825 – 1895) geht in seinen Untersuchungen von den Ergebnissen NASMYTHS aus, um ihnen dann in einigen wesentlichen Punkten zu widersprechen.¹³⁶

Er isoliert, ebenso wie NASMYTH, unter Säureeinwirkung eine dünne Membran von der Schmelzoberfläche, unter der die Enden der Schmelzfasern zum Vorschein kommen. Er gibt ihr den Namen „*Nasmyth's membrane*“, obwohl RASCHKOW diese Struktur schon vor NASMYTH erwähnt hatte und bringt sie mit RASCHKOWS *Membrana praeformativa* in Verbindung, die später von KÖLLIKER in „Schmelzoberhäutchen“¹³⁷ umbenannt wird:

... In fact, it is the altered *membrana praeformativa* itself, no trace of which has ever yet been found in the locality in which, according to the prevalent hypotheses upon the development of the teeth, it should exist – viz., between the enamel and the dentine.¹³⁸

¹³³ Nasmyth (1849) S. 105

¹³⁴ Kölliker (1863) S. 455-460, S. 458

¹³⁵ siehe Raschkow (1835) S. 3

¹³⁶ Huxley (1853) S. 149 ff

¹³⁷ Kölliker (1852) S. 373

¹³⁸ Huxley (1853) S. 158

Dem „Schmelzorgan“ RASCHKOWS spricht er im Gegensatz zu TOMES und KÖLLIKER jede Schmelzbildungsfähigkeit ab und benutzt diesen Begriff lediglich zur Kennzeichnung eines Funktionsorgans, das den Schmelz bildet.¹³⁹ Seiner Ansicht nach entwickelt sich der Schmelz weder aus dem Schmelzorgan noch aus der Kapsel, sondern aus der Membrana praeformativa, die die Grenzlinie zwischen den Schmelzzellen im Schmelzorgan und den Schmelzprismen, die dem Dentin gegenüberliegen, darstellt. Er sieht also in dieser Membran das Bildungsorgan aller drei Zahnhartgewebe. Die strukturlose Membran liegt im sehr jungen Zahn über der Pulpaoberfläche, nach Beginn der Kalzifikation findet sie sich nur noch im noch nicht ossifizierten Teil.¹⁴⁰ In der weißlichen Substanz zwischen Membrana praeformativa und Kapsel beschreibt er eine Schicht zylindrischer Epithelzellen auf der Seite der Pulpa; auf der Seite der Kapsel sieht er ein Netzwerk aus irregulären Zellen. Diese Struktur bezeichnet er als „*enamel organ*“. Laut HUXLEY gibt auch TOMES eine treffende Beschreibung des Schmelzorgans, doch unterscheidet dieser nicht zwischen echtem Schmelzorgan und submukösem Zellgewebe¹⁴¹.

In HUXLEYS Arbeiten findet man auffällig viele Verweise auf NASMYTH. So behauptet er z. B., daß nur NASMYTH eine detaillierte und exakte Beschreibung des Schmelzorgans und dem „*persistent capsular investment*“ gegeben habe.¹⁴²

Am Ende seiner Ausführungen zieht er drei zusammenfassende Schlußfolgerungen¹⁴³: erstens betrachtet er die Zähne als „*true dermic structures*“ (Hautstrukturen), die durch die Ablagerung kalkhaltiger Substanzen gebildet werden. Zweitens tragen weder Kapsel noch Schmelzorgan in direkter Weise zur Entwicklung der Zahnhartsubstanzen bei und drittens haben auch die histologischen Elemente der Pulpa keinen direkten Anteil an ihrer Entwicklung.

Wie KÖLLIKER zieht auch HUXLEY Parallelen zwischen der menschlichen Haarbildung und der Zahnentwicklung. Er geht sogar so weit, den Haarfollikel mit dem Zahnfollikel und die Haarkutikula mit dem Nasmythschen Schmelzoberhäutchen zu vergleichen.¹⁴⁴

¹³⁹ Huxley (1853) S. 153/ 164

¹⁴⁰ Huxley (1853) S. 152

¹⁴¹ Huxley (1853) S. 153

¹⁴² Huxley (1853) S. 153/ 159

¹⁴³ Huxley (1853) S. 163

¹⁴⁴ Huxley (1853) S. 164

In Eduard LENT finden HUXLEYS Ansichten bezüglich der Schmelzkalzifikation einen großen Kritiker. Er schreibt:

He also denies altogether that the enamel organ takes part in the formation of the enamel. I believe that, in spite of all, it's share may and must be ascribed to the enamel organ; ...¹⁴⁵

LENT postuliert folgende Theorie:

... the cells exert a secretorial activity, and that their secretions pass through the membrana praeformativa, then condense, and receive calcareous salts.¹⁴⁶

Vor HUXLEYS Untersuchungen¹⁴⁷ bestand noch die Lehrmeinung, die Schmelzfasern würden durch direkte Kalzifikation der Säulen des Schmelzorgans gebildet.

John TOMES (1815 – 1895) lehnt sich bezüglich der Entwicklung und Verkalkung des Schmelzes eng an HUXLEY an, der sich ebenfalls ausführlich mit der Schmelzstruktur beschäftigt¹⁴⁸.

Wie HUXLEY vertritt auch TOMES die Ansicht, daß die Membrana praeformativa zwischen Schmelzpulpa und Schmelz liegt, Schmelzfasern und Schmelzorgan voneinander trennt¹⁴⁹ und letztlich das Schmelzoberhäutchen bildet.

Bei näherer Untersuchung der Säulen des Schmelzorgans bemerkt er einen feinen Ausläufer, der von dem mit dem Schmelz verbundenen Ende durch die Membrana praeformativa hindurchzieht:

... each column will be found to have a delicate small process projecting from that extremity which was connected with the enamel, a process which would pass through a membrana praeformativa could such be shown to exist.¹⁵⁰

Jede dieser Säulen besteht aus einer zarten Scheide, in die ein oder mehrere Kerne eingeschlossen sind. Die Innenräume enthalten eine transparente, granuläre Substanz. Bei einzelner Betrachtung fällt ihm auf, daß die dekalzifizierten Schmelzfasern, die durch die Membran Richtung Oberfläche verlaufen, ein klares, transparentes, fertig ausgebildetes Ende und eine feine strukturlose Scheide zum Dentin hin besitzen; das Ende, das auf die Säulen trifft, ist hingegen rau, granulär

¹⁴⁵ Lent (1856/ 57) S. 352

¹⁴⁶ Lent (1856/ 57) S. 352

¹⁴⁷ Huxley (1853) S. 149-164

¹⁴⁸ J. Tomes (1856) S. 213

¹⁴⁹ J. Tomes (1856) S. 214

¹⁵⁰ J. Tomes (1856) S. 216

und erscheint bei Lichteinfall dunkelbraun. Daraus schließt TOMES, daß eine Verbindung zwischen noch nicht abgeschlossener Schmelzentwicklung und den granulären Substanzen in der Scheide bestehen muß.

Er betrachtet die Entstehung der Säulen des Schmelzorgans als Voraussetzung für die Entwicklung der Schmelzfasern, da später eine Verwandlung der Säulen in die Schmelzfasern stattfindet.¹⁵¹ Hierbei kalzifizieren zunächst die Scheiden der proximalen Säulenenden. Zur gleichen Zeit lagern sich die Säulen eng aneinander. Danach trennen sie sich von den Fasern und hinterlassen eine membranartige Oberfläche, deren retikuläres Aussehen zurückzuführen ist auf den Rückzug des Fortsatzes aus der kalzifizierten Säule, wobei der Fortsatz ursprünglich den formenden Säulenteil darstellt. Das Innere der Säule kalzifiziert nun langsamer und erhält dadurch ein anderes Aussehen als die Faseroberfläche. Vor der Kalzifikation „zerplatzen“ die Nuclei der Säule in zahlreiche kleine Granula und verlagern sich an das distale Ende der Schmelzfasern.

Sein Sohn Charles TOMES (1846 – 1928) untersucht als erster Forscher die Entwicklung des von seinem Vater 1849 beschriebenen tubulären Schmelzes und bezeichnet diese Tubuli als „Fasern“. Er nutzt den Begriff Faser nur in Ermangelung einer treffenderen Bezeichnung, obwohl ihm bewußt ist, daß im Schmelz keine faserartige Struktur vorliegt.¹⁵²

1876 veröffentlicht er sein Werk über die Zahnanatomie *A manual of dental anatomy*, an das er 1898 noch ein Kapitel zur vergleichenden Anatomie anfügt. Ebenfalls 1876 gibt er eine Übersicht über die menschliche Zahnentwicklung heraus, wobei er sich in seinen Auffassungen zur Zahnentwicklung hauptsächlich auf Albert KÖLLIKER (1817 – 1915) und Wilhelm WALDEYER (1836 – 1921) stützt und im Widerspruch zu HUXLEY und OWEN steht¹⁵³.

Alle Zahnkeime bestehen laut seiner Forschungsergebnisse zunächst nur aus zwei Teilen. Dem „Schmelzorgan“ und der „Dentinpulpa“.¹⁵⁴ Die Zahnsbstanzen sind dabei keine Sekretions- oder Exkretionsprodukte, sondern durch „wirkliche Metamorphose“ entstanden.¹⁵⁵ Die Schmelzpulpa erscheint gleichzeitig mit der Dentinpulpa und besteht aus vier verschiedenen Zelltypen: „äußeres Epithel,

¹⁵¹ J. Tomes (1856) S. 218

¹⁵² Boyde (1966) S. 88

¹⁵³ Ch. Tomes (1876) S. 41 f. Siehe hierzu auch Owen I, XLI-LXII.

¹⁵⁴ Ch. Tomes (1876) S. 50 f; Siehe hierzu auch Seite 27 in dieser Arbeit.

¹⁵⁵ Siehe hierzu auch Seite 48 in dieser Arbeit.

sternförmiges Netzwerk, Zwischenschicht und inneres Epithel“¹⁵⁶. Allerdings ist er über die Funktion der Schmelzpulpa noch im Ungewissen und geht davon aus, daß der Schmelz auch ohne sie gebildet werden kann. Das sternförmige, gallertige Netzwerk im Zentrum der Schmelzpulpa verschwindet seinen Ausführungen zufolge im Laufe des Schmelzwachstums und ist zum Zeitpunkt des Zahndurchbruchs nicht mehr nachweisbar.

Er glaubt, daß nur das Schmelzgewebe aus Mundhöhlenepithel entstehe, alle anderen Zahnschubstanzen aber mesodermalen Ursprungs seien.

TOMES bezeichnet die Schmelzzellen in Analogie zum Begriff „Odontoblasten“ als „Ameloblasten“.¹⁵⁷ Dieser Ausdruck bleibt allerdings sehr lange auf den angelsächsischen Sprachraum begrenzt und findet erst im 20. Jahrhundert Eingang in die deutsche Sprache.

Albert KÖLLIKER geht in seinen Untersuchungen zur Histogenese des Zahnschmelzes zunächst davon aus, daß nur die sich auf der Innenseite des Schmelzorgans gegenüber dem Zahnkeim befindliche Membran epithelialen Ursprungs sei. Diese aus einer Schicht polygonaler, kernhaltiger Zylinderepithelzellen bestehende Struktur bezeichnet er als „*Membrana adamantina*“ (Schmelzhaut).¹⁵⁸ Das Schmelzorgan („*Organon adamantinae*“) selbst sieht seiner Ansicht nach größtenteils aus einem schwammigen, netzförmigen Bindegewebe („*Corpus spongiosum*“) zusammen, in dessen Zwischenräumen eiweißreiche Flüssigkeit enthalten ist.¹⁵⁹

Durch weitere Untersuchungen gelangt er zu einer anderen Darstellung des Schmelzorgans. Glaubte er 1852 noch, die Schmelzpulpa werde aus Bindegewebe gebildet, so revidiert und korrigiert er diese Ansicht 1863. Er geht nun mit HUXLEY konform und ist wie dieser davon überzeugt, daß das gesamte Schmelzorgan aus dem Epithel des Zahnsäckchens und der Zahnpapille gebildet wird.¹⁶⁰ Damit vertritt er als erster deutscher Forscher die These der vollständigen epithelialen Herkunft des Schmelzorgans, das sich aus dem aus einer Verdickung

¹⁵⁶ Ch. Tomes (1877) S. 92

¹⁵⁷ Ch. Tomes (1876) S. 160

¹⁵⁸ Kölliker (1867) S. 373

¹⁵⁹ Kölliker (1867) S. 373

¹⁶⁰ Kölliker (1863) S. 457

des Mundhöhlenepithels entstehenden Schmelzkeim entwickeln soll.¹⁶¹ Weiterhin unterscheidet er erstmals zwischen „innerem und äußerem Schmelzepithel“.¹⁶²

Auch Wilhelm WALDEYER trennt am Schmelzorgan, dem er wie KÖLLIKER einen epithelialen Ursprung zuspricht, inneres und äußeres Schmelzepithel voneinander, wobei er das innere als „Schmelzmembran“ bezeichnet.¹⁶³ Er schreibt:

In diesem Zustand der Ausbildung des Organs [Schmelzorgan] nennt man dann nach Kölliker's Vorgang bekanntlich die unmittelbar dem Zahnbein aufliegende Lage zylindrischer Zellen die „Schmelzmembran“ oder das „innere Epithel“; dessen Fortsetzung auf die äußere Fläche das „äußere Epithel“ und die innerhalb dieser Epithelbekleidung liegende Masse die „Schmelzpulpa“.¹⁶⁴

Zwischen Schmelzpulpa und dem inneren Schmelzepithel befindet sich das sogenannte „*Stratum intermedium*“. Seiner Ansicht nach rekrutieren sich aus diesem Rest embryonalen Bindegewebes die Zellen des inneren Schmelzepithels und der Schmelzpulpa, was aus folgendem Zitat hervorgeht:

...ich ziehe es vor, diese Lage „stratum intermedium“ zu benennen, da sich dieselbe nie in Form einer Membran abheben läßt; sie ist dem rete Malpighi der Epidermis analog. Sobald die Einstülpung des Schmelzkeimes durch die Zahnpapille beginnt und also topographisch das äußere vom inneren Epithel geschieden ist, fängt letzteres an, sich zu der eigentlichen „Schmelzmembran“ umzuwandeln.¹⁶⁵

Nach Beendigung der Schmelzbildung werden die Reste des äußeren und inneren Schmelzepithels und des *Stratum intermedium* zum Schmelzoberhäutchen, welches damit eine Art Verhornungsprodukt der genannten Zellstrukturen darstellt.¹⁶⁶ Der Begriff Schmelzoberhäutchen wurde bereits von KÖLLIKER geprägt, der damit die letzte vom Schmelzorgan ausgeschiedene Schicht bezeichnete. Er beschreibt es als verkalkte, strukturlose Membran mit hoher Widerstandsfähigkeit gegen chemische Agentien.¹⁶⁷ WALDEYER nennt es „*Cuticula dentis*“ und sieht in ihm in Opposition zu KÖLLIKER ein Überbleibsel des äußeren Schmelzepithels.¹⁶⁸

¹⁶¹ Kölliker (1880) S. 312-318

¹⁶² Kölliker (1863) S. 458

¹⁶³ Waldeyer (1864) S. 255

¹⁶⁴ Waldeyer (1864) S. 255

¹⁶⁵ Waldeyer (1864) S. 273

¹⁶⁶ Waldeyer (1865) S. 294

¹⁶⁷ Kölliker (⁵1867) S. 373

¹⁶⁸ Waldeyer (1864) S. 294

WALDEYER glaubt allerdings nicht an eine Übereinstimmung von Schmelzoberhäutchen und Membrana praeformativa, die er als optisches Phänomen betrachtet und schreibt:

[Ich glaube] ungescheut behaupten zu dürfen, daß kein Histologe sie je recht gesehen, geschweige denn an einem Präparat für sich dargestellt oder daß er aus der Raschkow'schen Beschreibung ... habe entnehmen können, was ihr Entdecker darunter verstanden wissen wollte.¹⁶⁹

Jedenfalls wird es am besten sein, den Namen „Membrana praeformativa“ ganz aus der histologischen Terminologie zu streichen.¹⁷⁰

¹⁶⁹ Waldeyer (1865) S. 177

¹⁷⁰ Waldeyer (1865) S. 182

2. 2. 3 Zusammenfassende Betrachtung der bestehenden Schmelzbildungstheorien

Das vorangegangene Kapitel zeigt, daß das Grundmuster der Hartsubstanzentwicklung sowohl im deutschsprachigen als auch im angelsächsischen Raum sehr kontrovers diskutiert wird. Daher soll hier noch einmal eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten verschiedenen Ansätze gegeben werden.

In seinen *Memoir No. II*¹⁷¹ bezweifelt NASMYTH, daß eine regelmäßige Gewebestruktur durch „Exkretion“ oder „Exudation“ entstehen könne. Außerdem glaubt er nicht an die Möglichkeit einer Absonderung normaler Zellstrukturen. Wie OWEN¹⁷² ist er davon überzeugt, daß die Zahnschmelz durch Einlagerung von Kalksalzen gehärtet wird, sucht aber noch nach einer Erklärung hinsichtlich des Ablaufs dieser Einlagerung im einzelnen.¹⁷³ Er behauptet, alle Zahnentwicklungsabläufe würden durch „zelluläre Prozesse“ bestimmt, wobei, wie später auch OWEN¹⁷⁴ meint, die im umgebenden Keimgewebe angereicherten Kalksalze sich in die zellulären Gerüste der Zahnhartschmelzen einbauen oder einlagerten.

SCHWANN befürwortet ebenfalls die Umwandlungstheorie, indem er eine direkte Verkalkung der prismatischen Zellen der Schmelzmembran annimmt, nachdem sie zuvor mit dem schon gebildeten Schmelz verwachsen sind.¹⁷⁵

Auch RASCHKOW hält den Schmelz nicht für ein Sekretionsprodukt, sondern für ein Produkt des Schmelzorgans, das sich direkt aus einem Teil desselben entwickelt. Die Schmelzprismen entstehen dabei durch Verkalkung der Epithelzellen der Schmelzmembran.¹⁷⁶

Wie schon weiter oben erwähnt, ist auch OWEN¹⁷⁷ ein Vertreter der Umwandlungstheorie. Er glaubt an eine Schmelzentstehung durch Einbau härtender Kalksalze in fast kristallinem Zustand in die Zellwände der prismatischen Zellen, wobei die *Membrana praeformativa* als erste die härtenden

¹⁷¹ Nasmyth (21842) S. 37

¹⁷² Owen (1840) S. XLVII

¹⁷³ Nasmyth (21842) S. 41

¹⁷⁴ Owen (1840) S. LVII

¹⁷⁵ Schwann (1839) S. 101

¹⁷⁶ Raschkow (1835) S. 8 f; Siehe hierzu auch Seite 33 in dieser Arbeit.

¹⁷⁷ Owen (1840) S. LVII/ XLVII

Salze aufnimmt. Der komplette Bildungsvorgang verläuft dabei peripher-zentrisch, wobei die Flüssigkeit in den Zellen nach und nach in die feste Salzkristallstruktur umgewandelt wird.

HUXLEY dagegen neigt zu einem Kompromiß innerhalb dieser Auffassungen, denn bezüglich der Schmelzentstehung akzeptiert er weder die Sekretions- noch die Konversionstheorie. Er wird zum Verfechter einer Zwischenform, die er als „Ablagerungstheorie“¹⁷⁸ bezeichnet.

Still less can the enamel be produced by any conversion of a cellular structure. Between it and anything which can be called a nucleated cell it has on the outer side Nasmyth's membrane; on the inner, the layer of dentine, which in Man is formed before it. The fibres of which it is composed are structureless, and almost horny; and I think we must be content for the present to consider its existence and its structure as ultimate facts, not explicable by the Cell Theory.¹⁷⁹

Durch Behandlung eines Zahnes mit starker Säure gelingt ihm die Ablösung einer transparenten Membran von der Zahnoberfläche. Diese Membran wurde erstmals von NASMYTH beschrieben, dessen Namen sie auch trägt. HUXLEY aber glaubt, es handele sich hierbei um die Membrana praeformativa zwischen Schmelzorgan und Pulpa und folgert, daß sich alle verkalkten Gewebe unter dieser Membran bilden. Da sich die Membran auf der äußeren Zahnoberfläche befindet schließt er daraus, daß weder Kapsel noch Schmelzorgan einen direkten Beitrag zur Bildung der Zahnhartsubstanzen beitragen, gesteht ihnen aber unter Umständen eine indirekte Beteiligung am Bildungsprozeß zu.¹⁸⁰

Seine Ablagerungstheorie stellt bei genauerer Betrachtung jedoch nichts anderes als eine modifizierte Sekretionstheorie dar.¹⁸¹

Die Ansichten J. TOMES bezüglich der Kalzifikation des Schmelzes¹⁸² entsprechen weitestgehend denen HUXLEYS. Auch er glaubt, daß die Membrana praeformativa sich zwischen Schmelzpulpa und Pulpa befindet:

Up to the time of this discovery it was generally believed that the enamel was formed by the calcification of the columns of the enamel pulp; but if the membrane raised by the acids should prove to be, in the strict sense of the term, a well defined membrane, separable both from the enamel pulp and the enamel, and not to be a transitional condition of the one in its gradual progress towards becoming the other, then the conversion hypotheses must be

¹⁷⁸ Huxley (1853) S. 163

¹⁷⁹ Huxley (1853) S. 162

¹⁸⁰ Huxley (1853) S. 163

¹⁸¹ Siehe hierzu auch Seite 40f. dieser Arbeit.

¹⁸² Siehe hierzu auch Seite 41f. dieser Arbeit.

relinquished, and we shall fall back upon the opinions held by other authors; and we must with Mr. Huxley, regard the enamel organ as exerting no direct influence in the development of the enamel.¹⁸³

TOMES zieht das Vorhandensein der Membrana praeformativa in früher definierter Form in Zweifel und folgert, daß die Umwandlungstheorie der Zahnhartsubstanzenentstehung zu Gunsten der älteren Sekretionstheorie wieder fallengelassen werden sollte. Ausgehend vom heutigen Stand der Wissenschaft vermuten sowohl TOMES als auch HUXLEY richtig, daß die Schmelzzellen selber nicht verkalken, sie irren aber in ihrer Auffassung, daß die Zellen bei der Kalzifikation keine Rolle spielen. Ihre Schlußfolgerungen werden dabei entscheidend beeinflußt durch die Position der Membrana praeformativa.

Sein Sohn Charles TOMES hingegen hält an der Umwandlungstheorie fest. Seiner Auffassung zufolge sind die Zahnschmelzen keine Sekretions- oder Exkretionsprodukte, sondern durch „wirkliche Metamorphose“ entstanden. Die Zahnhartsubstanzen entwickeln sich also durch Umwandlung des organisch vorgebildeten Grundgewebes unter Einlagerung von Kalksalzen. Danach werden die Schmelzzellen so zu Schmelzprismen umgebildet, daß nach Abschluß der Umwandlung keine organische Grundsubstanz mehr nachweisbar ist.¹⁸⁴ Seiner Ansicht nach wird der Schmelz aber nicht durch direkte Umwandlung von Schmelzzellen gebildet, sondern durch indirekte Umwandlung unter Beteiligung der Membrana praeformativa¹⁸⁵, die er als Grenzzone zwischen Schmelzzellen und Schmelzprismen deutet.

Erst 1898 kommt TOMES zu der Ansicht, daß der Zahnschmelz doch ein Sekretionsprodukt der Zellen sein muß. Über diese Zellen schreibt er:

To secure uniformity of nomenclature, the name ameloblast has recently been proposed for them, as being better comparable with the terms odontoblast and osteoblast.¹⁸⁶

Ihre Struktur beschreibt er folgendermaßen:

The cells thus torn away often have tapering processes at the ends directed toward the enamel, which were first described by my father, and go by the name of „Tomes' processes“... The ameloblast is not itself calcified, as was formerly supposed by many observers, myself including, but this fibrillar prolongation of its plasma does calcify, hence it does seem probable that a

¹⁸³ J. Tomes (1859) S. 266

¹⁸⁴ Ch. Tomes (1877) S. 94/ 103

¹⁸⁵ Ch. Tomes (1877) S. 108

¹⁸⁶ Ch. Tomes (1898) S. 160

single ameloblast gives rise to the whole length of the enamel prism, itself receding as the enamel grows thicker.¹⁸⁷

KÖLLIKER hat diese Fortsätze schon 1867 erwähnt, doch sie sind noch heute unter dem Namen „*Tomessche Fortsätze*“ bekannt.

Albert KÖLLIKER ist zunächst ein Vertreter der Umwandlungstheorie. Seiner Ansicht nach erfolgt die Bildung der sechseckigen Schmelzprismen durch Umwandlung bzw. „direkte Verknöcherung des inneren Schmelzepithels“¹⁸⁸, wobei das Lumen des *Corpus spongiosum*¹⁸⁹ des Schmelzorgans durch ständige Zellneubildung und Dickenwachstum der Schmelzschicht immer kleiner wird.

Später ändert er, gestützt auf eigene neue Forschungserkenntnisse, seine Ansichten grundlegend und nimmt in der von ihm so bezeichneten „modifizierten Sekretionstheorie“ nun eine „ständige Sekretion“, ausgehend von den Zellen des inneren Schmelzepithels, an, die mit dem so gebildeten Schmelz mittels Fortsätzen verbunden sind. Die weitere Aushärtung erfolgt, wie er vermutet, durch „Säfte“, die das Dentin dem Schmelz zuführt und die eine Vermehrung des Kalkgehaltes bewirken.¹⁹⁰ Diese Auffassung soll sich später mehr und mehr durchsetzen.

Eduard LENT, ein Schüler KÖLLIKERS, untersucht unter dessen Anleitung im Jahre 1855 die Bildungsmechanismen an menschlichen und tierischen Zähnen.¹⁹¹

Seiner Meinung nach bilden sich die Schmelzzellen aus dem Plasmareservoir im Inneren des Schmelzorgans und sezernieren durch die Membrana praeformativa hindurch, die er als „Huxleysches Häutchen“ bezeichnet, die Substanz, die die Schmelzprismen bildet.¹⁹² Sie lagert sich an der Außenseite des Zahnbeins an und verhärtet dann durch Aufnahme von Kalksalzen.¹⁹³ Damit verknüpft LENT KÖLLIKERS zu diesem Zeitpunkt noch nicht veröffentlichte Auffassung der Sekretionstheorie mit den aktuellen Thesen HUXLEYS aus England.

Nach der Feststellung, daß die Schmelzzellen die Form der sezernierenden Zellen beibehalten und bei der Verkalkung nicht untereinander verschmelzen, zweifelt er

¹⁸⁷ Ch. Tomes (1898) S. 160

¹⁸⁸ Kölliker (1863) S. 458

¹⁸⁹ Siehe hierzu auch Seite 44 in dieser Arbeit.

¹⁹⁰ Kölliker (⁵1867) S. 385

¹⁹¹ Lent (1855) S. 121-134

¹⁹² Lent (1855) S. 132

¹⁹³ Lent (1855) S. 129/ 131 f

allerdings an einer Schmelzsekretion durch die Membrana praeformativa und bezeichnet seine Hypothese als „Wahrscheinlichkeitstheorie“.¹⁹⁴ Da ihm die Interpretation HUXLEYS, die Membran fungiere als alleiniges schmelzbildendes Organ, aber noch unwahrscheinlicher erscheint, hält er an den geschilderten Ansichten fest. LENT glaubt, der Schmelz bilde sich unter der Membrana praeformativa, welche dann zum Ende der Zahnentwicklung zum Schmelzoberhäutchen werde.¹⁹⁵

Wilhelm WALDEYER geht von einer Schmelzprismenbildung durch direkte Verkalkung der Zylinderepithelzellen des inneren Schmelzepithels aus. Er schreibt:

Die in dieser Weise ausgebildeten Zellen sind nun bestimmt, den Schmelz zu liefern, und zwar, wie ich mit meinen Untersuchungen mit Bestimmtheit behaupten darf, dadurch, daß sie selbst direkt verkalken. Ich kehre also zur Auffassung SCHWANN'S zurück, die nur noch seit HUXLEY'S Beobachtung einen entschiedenen Verteidiger in TOMES gefunden hat.

Aus diesem Zitat geht hervor, daß WALDEYER sich bezüglich der Schmelzbildung und –härtung der Auffassungen RASCHKOWS, SCHWANN'S und TOMES anschließt.

Die Hohlräume werden dabei entweder mit Kalksalzen gefüllt oder sie verknöchern nach Füllung des Hohlraumes mit organischer Substanz.¹⁹⁶ Damit lehnt er auch die von KÖLLIKER modifizierte Ausscheidungstheorie ab und stellt fest:

Soviel ich aus meinen Untersuchungen schließen muß, ist die alte Ansicht der direkten Verkalkung der Substanz der Elfenbeinzellen aufrecht zu erhalten
...¹⁹⁷

Das von LENT¹⁹⁸ erwähnte „Huxley'sche Häutchen“, identisch mit RASCHKOW'S Membrana praeformativa, ist nach WALDEYER in jedem Stadium der Schmelzentstehung zu isolieren. Er definiert es als jüngste Schicht des noch nicht vollständig verkalkten, neugebildeten Schmelzes. Nach LENT hingegen soll dieses Häutchen Schmelzzellen und –prismen voneinander trennen und damit eine direkte Verkalkung der Schmelzzellen unmöglich machen.¹⁹⁹

¹⁹⁴ Lent (1855) S. 132

¹⁹⁵ Lent (1855) S. 131 f

¹⁹⁶ Waldeyer (1864) S. 275

¹⁹⁷ Waldeyer (1864) S. 184

¹⁹⁸ Lent (1855) S. 131

¹⁹⁹ Lent (1855) S. 132

2. 2. 4 Die Histologie des Zahnschmelzes im 18. und 19. Jahrhundert

In seinem Werk *Natural History of the Human Teeth* behandelt John HUNTER in einem gesonderten Kapitel²⁰⁰ die Histologie der Zähne. Er unterscheidet nur zwischen zwei Hartschmelzkomponenten, nämlich Schmelz und Knochen. Den Schmelz bezeichnet er als glasartige Rinde (*vitreous, or cortical part*), die den knöchernen inneren Zahnteil als härteste Substanz des Körpers überzieht.²⁰¹ Die Bruchflächen erscheinen ihm faserartig-streifig. Er schreibt:

When it is broken it appears fibrous or striated; and all the fibres or striae are directed from the circumference to the centre of the tooth.²⁰²

In diesem Zitat findet sich die einzige Beschreibung HUNTERS der Streifen, die später unberechtigter Weise nach ihm benannt worden sind. Viele Autoren haben die Hunter-Schreger-Streifen vor ihm schon wesentlich genauer beschrieben, z. B. MALPIGHI²⁰³, HAVERS²⁰⁴ oder DE LA HIRE²⁰⁵.

Der Londoner Anatom Clopton HAVERS (1650 – 1702), nach dem später die Gefäßkanälchen der Knochen benannt wurden, ist der erste englische Forscher, der 1689 eine Beschreibung des „*stone-like exterior of the teeth*“ veröffentlicht. Seine Schmelzbeschreibung lautet wie folgt:

... the cortex of a tooth ... is plainly, and easily to be distinguished from the other part. The several parts or striae of which it consists differ in their position from the strings in the bony part, not lying straight in the length of the tooth but on the sides oblique, near to a transverse position in some animals and upon the upper part of the Dentes Molares where the bony strings are transverse, and at that very point, or extremity of the sharp teeth they are in a manner erect.²⁰⁶

Die von ihm an gleicher Stelle beschriebenen, in einem Bogen verlaufenden „*striae*“ entsprechen wohl den Hunter-Schreger-Streifen.

Auch der Mathematiker Philippe DE LA HIRE (1640 – 1718), gehört zu den Autoren, die vor HUNTER die Hunter-Schreger-Streifen beschrieben haben. Er

²⁰⁰ Hunter (1778) S. 33-43

²⁰¹ Hunter (1778) S. 33

²⁰² Hunter (1778) S. 33

²⁰³ Malpighi (1687)

²⁰⁴ Havers (1689)

²⁰⁵ de la Hire (1699)

²⁰⁶ Havers (1689) S. 78-88

führt seine Untersuchungen, die die Grundlage für sein 1699 vor der Pariser Akademie der Wissenschaften gehaltenes Referat *Sur les dents*²⁰⁷ bilden, vermutlich nur mit einer Lupe durch. In diesem Vortrag bezeichnet er den Zahnschmelz wie HÉRISANT als aus zahlreichen feinen „*filets*“ (Fäden) zusammengesetzt, die wie Nägel oder Hörner am Dentin befestigt sind, in der Gegend des Zahnhalses entspringen und an der Bruchfläche eines Zahnes sehr gut erkennbar sind. Die Fasern, die am Zahnhals entspringen, beschreibt er als sehr stark geneigt, wobei sie aber senkrecht auf der Zahnachse stehen.

HUNTER vermutet, daß Höcker und Schneidekanten als am stärksten beanspruchte Zahnanteile den dicksten Schmelzüberzug aufweisen. Dieses Konstruktionsprinzip und der peripher-zentrische Verlauf der Fasern soll den Zahn bei allzu großer Kaubelastung vor Abnutzung und Zerstörung schützen. Er schreibt:

The enamel is thickest on the grinding surface, and on the cutting edges, or points, of the teeth; and becomes gradually thinner on the sides, as it approaches the neck, where it terminates insensibly, though not equally low, on all sides of the teeth.²⁰⁸

Hier schildert er schon ziemlich genau den Verlauf der Schmelz-Zement-Grenze, ohne das Zement als weitere Zahnhartsubstanz überhaupt zu kennen.

In einem von anderen Forschern später mehrfach wiederholten Färberröte²⁰⁹-Versuch, in dem er den Bildungsmechanismus der Zahnschmelz zu erklären versucht, weist er die Gefäßlosigkeit des Zahnschmelzes und gleichzeitig den Unterschied zwischen Zahn- und Knochenentwicklung nach:

But what is a more convincing proof, is reasoning from the analogy between them and other bones, when the animal has been fed with madder. Take a young animal, viz. a pig, and feed it with madder, for three or four weeks; then kill the animal, and upon examination you will find the following appearance: first, if the animal had some parts of its teeth formed before the feeding with madder, those parts will be known by their remaining of this natural colour; but such parts of the teeth as were formed while the animal was taking the madder, will be found to be of a red colour. This shews, that it is only those parts that were forming while the animal was taking the madder that are dyed; for what were already formed will not be found in the least

²⁰⁷ de la Hire (1699) S. 41-43

²⁰⁸ Hunter (1778) S. 34

²⁰⁹ Färberröte (*Rubia tinctorum*) ist eine Farbpflanze der Rubiaceae mit hellblutroter Wurzel, aus der seit Jahrtausenden für leuchtendrote Färbungen verwendete Farbstoff Alizarin (Krapp) gewonnen wird.

tinged. This is different in all other bones; for we know that any part of a bone which is already formed, is capable of being dyed with madder ... we may readily suppose that the teeth are not vascular, because they are not susceptible of it after being once formed.²¹⁰

Als weitere Unterscheidung zwischen Zähnen und Knochen führt er an, daß Knochen im Alter weicher wird, der Zahn aber außer einer gewissen Abrasion keiner Veränderung unterworfen ist.²¹¹

Der Dubliner Zahnarzt Robert BLAKE (1727 – 1822), spricht HUNTER explizit die Erstentdeckung der Streifen ab und kritisiert ebenso wie SCHREGER auch, HUNTERS Arbeiten aufs Schärfste als zu ungenau besonders bezüglich der Präparation des Untersuchungsmaterials und dessen Auswertung:

Mr. Hunter's figure one would think had been drawn from an imaginary preparation for in whatever direction a section was made, the appearance would have been different from what he has represented.²¹²

An gleicher Stelle merkt er an, daß HUNTERS Illustrationen sowohl im Längs- als auch im Querschnitt eine gleichartige Streifung zeigen. Er zeichnet die Streifen als gerade Linien, die durch die gesamte Schmelzdicke verlaufen.

BLAKE übersetzt 1801²¹³ eine Schmelzbeschreibung DE LA HIRES aus dem Jahre 1699 und stimmt damit dessen Definition der Hunter-Schreger-Streifen zu:

It is composed of numberless small fibres (filets), which are attached to the internal part of the tooth by their roots ... We can see without difficulty this structure when a tooth is broken, and we observe that the fibres which arise from that part of the tooth next to the gum, are there very much inclined, but they are placed perpendicular on its base.

BLAKE bezeichnet den Schmelz als „*cortex striatus*“ und macht damit deutlich, daß es gerade für damalige Verhältnisse sehr schwierig gewesen sein muß, aus den vielen verschiedenen Strukturen des Schmelzes die Schmelzprismen oder die Hunter-Schreger-Streifen zu differenzieren. Es müssen zumindest die Art der Präparation und das optische Auflösungsvermögen des Mikroskops bekannt gewesen sein, um eine einigermaßen verlässliche Aussage über die Identität der beschriebenen Struktur machen zu können. Damit zeigt sich, daß BLAKE zu einer Reihe von Autoren gehört, die sehr kritisch mit den Erkenntnissen ihrer

²¹⁰ Hunter (1778) S. 37 f, siehe hierzu auch Hunter (1778) S. 34 f.

²¹¹ Hunter (1778) S. 39

²¹² zitiert nach Boyde (1966) S. 85

²¹³ Blake (1801) S. 331 f

Vorgänger bzw. Zeitgenossen umgehen. Interessanterweise ist BLAKE auch einer der ersten Autoren, die Defekte im Schmelz auf bestimmte Erkrankungen während der Zahnentwicklung zurückführen.²¹⁴

Christian Heinrich Theodor SCHREGER (1768 – 1833), der nach der Ausbildung durch seinen älteren Bruder Professor der Heilkunst in Halle wird, kritisiert und korrigiert die Untersuchungen HUNTERS, indem er einen noch bogenförmigeren Verlauf der Schmelzfasern, die eine konvexe und eine konkave Seite aufweisen, betont.²¹⁵ HUNTER beschreibt seinerzeit eine Faserstruktur im Schmelz, die in peripher-zentrischer Richtung verläuft und dadurch dem Schmelz eine „gewölbeartige Festigkeit“ verleihen soll.²¹⁶ SCHREGER gibt eine sehr stichhaltige Beschreibung der nach ihm benannten faserartigen Schmelzstruktur:

Alle Streifen laufen nämlich im menschlichen Schmelze bogenförmig – nicht, wie Hunter sagt und abbildet, als gerade Strahlen, und zwar so, daß die concave Fläche der Bogen nach der Spitze, die convexe nach der Wurzel des Zahnes hin gerichtet ist.²¹⁷

An gleicher Stelle erwähnt SCHREGER eine Schichtschichtung im Schmelz, bestehend aus drei Schichten. Die äußere Schicht ist relativ breit und weist eine Graufärbung auf, die mittlere ist schmal und weiß und die innere, der Knochensubstanz des Zahnes aufliegende Schicht, ist schmal und grau. Leider gibt er keinerlei Bedeutung dieser Schichten an. FRAENKEL entlarvt sie Jahre später als optisches Phänomen.²¹⁸

Folgt man den Ausführungen BOYDES²¹⁹, so sind SCHREGER die Arbeiten BLAKES nicht bekannt.

Thomas BELL (1792-1880), Lektor für Zahnheilkunde am Londoner Guy's Hospital, unterscheidet, wie die meisten anderen Autoren zu seiner Zeit auch, zwei Zahnhartsubstanzen. Die strukturierte und organisierte Substanz bezeichnet er als „*true bone*“ und meint damit wahrscheinlich das Dentin, den Schmelz beschreibt er als dünne, kristalline, extrem harte, milchig-weiße und

²¹⁴ Blake (1800) S. 320 f

²¹⁵ Schreger (1800) S. 3

²¹⁶ Hunter (1778) S. 33

²¹⁷ Schreger (1800a) S. 1-7

²¹⁸ Fraenkel (1835) S. 15

²¹⁹ Boyde (1966) S. 85

semitransparente Schicht, die sich über dem Zahnkörper bildet und hauptsächlich aus Kalziumphosphat („*earthy salts, principally phosphate of lime*“) und einem geringen Anteil organischer Substanzen besteht.²²⁰

An den Bruchflächen erkennt er eine faserartige Struktur und vermutet ebenso wie HUNTER²²¹ durch diese Kristallanordnung einen Vorteil für den Widerstand des Zahnes gegen Kaubelastung.

... they [the fibrous crystals] are disposed in a radiated direction with respect to the centre of the tooth; consequently the combined external extremities of the crystals form the surface, and the internal extremities are in contact with the bony substance, so that their sides are parallel with each other.²²²

BELL scheint HUNTERS Werk sehr genau zu kennen, denn er bezieht sich häufig auf diesen und dessen Erkenntnisse, die er z. T. sehr kritisch hinterfragt. Dies fällt vor allem bei der Diskussion über die Vaskularisation der Zähne²²³ und der Unterscheidung zwischen Knochen und Zahn²²⁴ auf.

Was die Vaskularisation des Schmelzes angeht, gibt er zu, daß dieser komplett gefäßfrei sein muß, da er auch bei Verfärbungen des Dentins in bestimmten Situationen frei von jeglicher Farbinlagerung bleibt,²²⁵ was auch HUNTER schon bewiesen hat. BELL besteht aber dennoch auf einer unter Umständen möglichen Einlagerung von Farbstoffen, die er jedoch nicht nachzuweisen vermag.

Das Färberröte-Experiment HUNTERS betrachtet er sehr mißtrauisch und gibt zu bedenken, daß das erzielte Ergebnis und die daraus von HUNTER gezogenen Schlußfolgerungen der Modifizierung bedürfen.²²⁶

BELL liefert in seinem Werk eine gute und kritische Zusammenfassung der Ansichten bezüglich der Schmelzstruktur und –entwicklung seiner Zeit. Besondere Verweise finden sich auf die bekanntesten Forscher HUNTER und BLAKE, deren Erkenntnisse er genau überprüft und bei Bedarf durch seine eigenen Experimente und Untersuchungsergebnisse modifiziert.

Trotz der Unzulänglichkeit seiner optischen Hilfsmittel, durch die seine Beschreibungen und Differenzierungen der einzelnen Zahnschichten ungenau

²²⁰ Bell (1835) S. 4

²²¹ Hunter (1778) S. 58

²²² Bell (1835) S. 5

²²³ Bell (1835) S. 12 f

²²⁴ Bell (1835) S. 10

²²⁵ Bell (1835) S. 12 f

²²⁶ Bell (1835) S. 15

bleiben, ist es das Verdienst HUNTERS, 1771 mit seiner *Natural history* eine neuzeitliche Anatomie der Zähne und der Kiefer geschaffen und damit die eher empirisch orientierte Zahnheilkunde auf einen Weg mit speziellen odontologischen Forschungsansätzen gebracht zu haben. Besondere Erwähnung soll hier der Versuch zum chronologischen Bildungsablauf im Tierzahn finden. Das intermittierende Anfärben der Nahrung mit Färberröte stellte sich als eine zweckmäßige Methode für weitere Untersuchungen heraus.

Die 1835 unter dem Physiologen und Begründer der Schule für mikroskopische Anatomie in Prag Professor Johann Evangelista Baron von PURKINJE (1787 – 1869) verfaßten Dissertationen Meyer FRAENKELS und Isaak RASCHKOWS bilden neben der im Jahre 1837 erschienen Studie des Stockholmer Anatoms Anders Adolph RETZIUS (1796 – 1860) die ersten auf modernen wissenschaftlich-systematischen Grundlagen basierenden Arbeiten über die Embryologie und Histologie der Zähne zu Beginn des 19. Jahrhunderts.

Hierbei besitzt die Dissertation FRAENKELS *De penitiorum dentium humanorum structura observationes* einen mehr histologischen Charakter, die Arbeit RASCHKOWS *Meletemata circa mammalium dentium evolutionem* bezieht sich im wesentlichen auf die Entwicklung der Zähne und ist in dem entsprechenden Kapitel dieser Arbeit schon ausführlich erwähnt worden²²⁷.

Meyer FRAENKEL nutzt für seine histologischen Untersuchungen ebenso wie RETZIUS ein von Plössel entwickeltes Mikroskop mit mehreren Vergrößerungsstufen. Dieses Mikroskop ist vermutlich auch mit einer Abdunkelungsblende ausgestattet, denn FRAENKEL macht manche Beobachtungen bei „mäßiger Dunkelheit“²²⁸. Diese kontrastreichere Darstellung erleichtert ihm zum Beispiel die Untersuchung der Struktur von Schmelz- und Dentinfasern.

In seiner Dissertation erfährt der Leser mehr über die Kunst des Mikroskopierens und der Herstellung histologischer Präparate zu jener Zeit.

Grundlage für die nähere histologische Erforschung der Schmelz- und Dentinstruktur sind verschiedene standardisierte Versuchsaufbauten, die zu

²²⁷ Siehe hierzu Seite 32ff in dieser Arbeit.

²²⁸ Fraenkel (1835) S. 12

reproduzierbaren Ergebnissen führen sollen.²²⁹ Zunächst bringt er einige Schmelzstückchen mit etwas Wasser unter das Mikroskop und stellt fest, daß nicht mehr zu sehen ist, als mit unbewaffnetem Auge auch. Bei Wiederholung des Versuches mit verdünnter Salzsäure erzielt er die Auflösung der Mineralsubstanzen und das Sichtbarwerden einer faserigen Struktur. Damit widerlegt er BLAKES Ansicht, der Zahnschmelz setze sich nur aus mineralischen Substanzen zusammen.

Nach der Säurebehandlung nutzt er kaltes Wasser als Konservierungsmittel, um den Verlust der Fasergestalt durch zu lange Säureexposition zu verhindern.

Bei der Untersuchung des Dentins läßt er die Salzsäure kürzer einwirken und versucht eine „Präparathärtung“²³⁰ durch alternierendes Einlegen in Kalilauge und kaltes Wasser.

FRAENKEL entwickelt zwei verschiedene Techniken, um Zähne für die mikroskopische Untersuchung nutzbar zu machen.²³¹ Zum einen legt er den Schnitt bei mittlerer Temperatur in 10 bis 20fach mit Wasser verdünnte Salzsäure. Durch die alleinige Auflösung der „erdenen Teile“ bleibt eine zusammenhängende, knorpelige, weißlich-durchsichtige Masse zurück, die die Form des Zahnes wiedergibt. Durch ihre Elastizität weist diese Art des Präparierens den Nachteil auf, daß nur kleine und ziemlich dicke Schnitte angefertigt werden können. Daher scheint ihm die zweite Präparationstechnik wesentlich sinnvoller. Hierbei wird der Zahn mittels einer feinen Säge zerschnitten und die Schnitte mit Feile oder Schleifstein so poliert, daß sie durchsichtig werden. Diese feinen Lamellen werden dann mit Wasser unter das Mikroskop gebracht.

FRAENKEL gibt dieser Methode aus dreierlei Gründen den Vorzug. Einerseits sind die erzeugten Präparate Teile des unveränderten Zahnes, was die Richtigkeit der Beobachtungen entscheidend unterstützt. Andererseits können die Schnitte aus allen Richtungen und von jeder beliebigen Größe hergestellt werden, so daß auch die Verhältnisse im Grenzbereich zum Schmelz genauer zu eruieren sind und zum Dritten wird so eine gleichzeitige Beobachtung von Schmelz und Zahnschmelz ermöglicht.²³²

²²⁹ Fraenkel (1835) S. 8 f

²³⁰ Fraenkel (1835) S. 9 f

²³¹ Fraenkel (1835) S. 9 f

²³² Fraenkel (1835) S. 9/ 11

Die Untersuchungen der Schmelzstruktur führt er an fünf mit der oben beschriebenen Technik hergestellten systematischen Dünnschliffen mit verschiedenen Schnittrichtungen durch. Es zeigt sich, daß dieses standardisierte Vorgehen bei der Anfertigung von Dünnschliffen zu einer großen Reproduzierbarkeit der Ergebnisse führt.

Im ersten Schnitt, einem Zahnlängsschnitt, erkennt er den bogenförmigen Verlauf der Schmelzfasern von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Zahnoberfläche. Je nach Lichteinfall bemerkt er ein bereits von SCHREGER²³³ erwähntes optisches Phänomen. Dieser schildert eine farbig abgesetzte Schicht im Schmelz²³⁴, dem FRAENKEL die seiner Meinung nach auf optischer Täuschung beruhende Faserstruktur abspricht.²³⁵

An Hand der zweiten Schnittrichtung, einem um 45° zur Achse geneigten Zahnsegment, zeigt er die später nach PREISWERK²³⁶ benannten Para- und Diazonien. Außerdem bezeichnet er die Schmelzfasermorphologie als prismatisch und beschreibt erstmalig sogenannte „Spalten“ (*fissurae*), die heute unter dem Namen Schmelzbüschel bekannt sind und als blattartige Strukturen von der Schmelz-Dentin-Grenze in den Schmelz einstrahlen.²³⁷

Der dritte Schnitt erfolgt parallel zur Zahnoberfläche oberhalb der Schmelz-Dentin-Grenze. Hier tritt erneut die prismatische Struktur der Schmelzfasern in Erscheinung, bei denen FRAENKEL nun „rhomboiden Oberflächen“ erkennt.²³⁸

Der vierte Schnitt ist ein Querschnitt durch den Schmelzkörper der zeigt, daß die Schmelzfasern auf der Zahnoberfläche gerade in regelmäßigen stumpfen Vierecken enden.²³⁹

Der fünfte Schnitt, ein Transversalschnitt von der Kronenspitze bis zum Apex, bestätigt die Richtigkeit seiner vorherigen Aussagen. Die Schmelzprismen haben durch wechselseitigen Druck während der Entstehung ihre prismaförmige Gestalt erhalten. Sie verlaufen nun in einer Ebene gekrümmt und nehmen von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Zahnoberfläche an Volumen zu, verzweigen sich aber nicht. Durch die Vernetzung der einzelnen Faserkrümmungen in Verbindung

²³³ Schreger (1800) S. 1-7

²³⁴ Siehe hierzu auch Seite 54 in dieser Arbeit.

²³⁵ Fraenkel (1835) S. 17

²³⁶ Preiswerk (1895) S. 11 f

²³⁷ Fraenkel (1835) S. 17

²³⁸ Fraenkel (1835) S.18

²³⁹ Fraenkel (1835) S.18

mit der zwischen den Schmelzprismen abgelagerten Substanz wird die Festigkeit der Schmelzkappe und damit die Widerstandsfähigkeit gegen den Mastikationsdruck gewährleistet.

In diesem Zusammenhang erwähnt FRAENKEL die Möglichkeit einer mathematischen Vermessung der Schmelzprismen um so ihre Festigkeit ermitteln zu können.²⁴⁰

Bei allen seinen Untersuchungen zum Zahnschmelz bildet der aktuelle Stand der Lehrmeinungen den Ausgangspunkt für seine Betrachtungen. Unter Bezugnahme auf die Ansichten und Untersuchungsergebnisse früherer Wissenschaftler wie zum Beispiel HUNTER, BLAKE oder SCHREGER, die häufig ohne optische Hilfsmittel oder Dünnschliffverfahren zu ihren Erkenntnissen gekommen sind, zeigt er vage und unklare Aussagen über Verlauf und Struktur der Fasern in ihren Werken auf und ergänzt sie durch neuere und genauere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Mikromorphologie der Zähne.

Der schwedische Anatom Anders Adolph RETZIUS (1796 – 1860) wird 1837 nach eigenen Angaben durch die Darstellung der Zusammensetzung einer Krystall-Linse in den *Philosophical Transactions* aus dem Jahre 1833²⁴¹ zu seinen Studien an Zähnen veranlaßt. Dabei wird er auf die Arbeiten der Schule PURKINJES aufmerksam und widmet sich fast zeitgleich zu FRAENKEL und RASCHKOW der feingeweblichen Untersuchung der Zahnstruktur. Er bestätigt und ergänzt weitgehend die Ergebnisse der genannten Forscher.²⁴²

In seinen Briefen an Dr. Creplin in Greifswald, in denen er seinen Ergebnissen Ausdruck verleiht, finden sich hauptsächlich Vergleiche über den Bau der Zähne bei verschiedenen Tiergattungen, z. B. Meerkatze, Luchs, Hund, Biber, Hase und Delphin.²⁴³

Über die Herstellung der Präparate schreibt er folgendes:

Viele Präparate wurden nur mit Feilen gemacht, wobei ich die Zähne in hren Alveolen sitzen liess, so dass diese letzteren dazu dienten, jene während des Feilens fest zu halten. Ich konnte nach kurzer Zeit die Zahnscheibchen zu der Dünne des gewöhnlichen Schreibpapiers ausarbeiten, und ihre

²⁴⁰ Fraenkel (1835) S. 19 f

²⁴¹ Retzius (1837) S. 486

²⁴² Retzius (1837) S. 486-566

²⁴³ Retzius (1837) S. 491

Durchsichtigkeit vergrößerte ich theils durch Baumöl, theils durch Terpentinölfirniss.²⁴⁴

In einem gesonderten Abschnitt²⁴⁵ äußert sich RETZIUS genauer über den Zahnschmelz. An einem aus dem Moor ausgegrabenen fossilen Pferde Zahn studiert er, die Dauerhaftigkeit der verschiedenen Zahnsubstanzen:

... Der grösste Theil des Zahnrestes bestand sonach aus dem Schmelze, und dieser hatte dasselbe krystallinische Ansehen, und auch dieselbe Härte, wie an einem getrockneten, neuen Zahne. Auch dies spricht für die geringe Organisation des Schmelzes und für seinen geringen Inhalt von organischer Materie.²⁴⁶

Seiner Ansicht nach besteht der Schmelz aus kleinen eckigen Nadeln. Einige dieser Nadeln weisen kleine, dicht stehende Querstriche auf, von denen sich manche über die gesamte Faser, andere nur über einen Teil derselben erstrecken. Bei der Betrachtung von der Länge nach durch die Cavitas pulpae geschnittenen dünnen Schmelzscheiben bei einer ca. 300fachen Vergrößerung sieht er, daß die Querstriche an einigen Stellen nahe beieinander, an anderen getrennt verlaufen und manchmal auch über mehrere Schmelzfasern hinweggehen.²⁴⁷

Diese Streifen minderer Verkalkung im Zahnschmelz sind die nach ihm benannten bräunlichen Parallelstreifen, die im Zahn neben den schon erwähnten Para- und Diazonien vorkommen. Er kann sich die Ursache dieser Querstreifen zunächst aber nicht erklären und schreibt:

Es ist mir nicht geglückt, auszumitteln, was diese Streifen hervorbringt, ich vermuthe aber, dass, wenn die Schmelzfaser selbst eine unorganisierte Masse ist, welche von einer dünnen organischen Kapsel umgeben wird, die in Rede stehenden Striche dieser Kapsel, und nicht der Schmelzfaser selbst angehören.²⁴⁸

Im Querschnitt beschreibt er sechseckige Fasern, die wie Wachsröhren in einer Bienenwabe nebeneinander stehen.

Mit einer Lupe betrachtet er die äußere Schmelzoberfläche eines noch nicht abgenutzten menschlichen Zahnes. Dabei entdeckt er „eine Menge, von Seite zu Seite paralleler, wellig laufender, erhöhter Linien“²⁴⁹. Diese Linien hat bereits

²⁴⁴ Retzius (1837) S. 487 f

²⁴⁵ Retzius (1837) S. 534-544

²⁴⁶ Retzius (1837) S. 534

²⁴⁷ Retzius (1837) S. 535

²⁴⁸ Retzius (1837) S. 535 f

²⁴⁹ Retzius (1837) S. 537

LEEUWENHOEK²⁵⁰ beschrieben. Er glaubte, sie entstünden beim Durchtritt der Zähne durch die Gingiva. RETZIUS hingegen schildert ihre Ursache folgendermaßen:

Man konnte hier sehen, dass ihr Erscheinen dadurch bewirkt wurde, dass die Schmelzfasern sich in eine Menge von Gürteln vereinigt hatten, deren innerer Rand sich auf den Zahnknochen stützte, der äussere aber vor dem nächstfolgenden vorstand. Bekanntlich beginnt der Schmelz sich zuerst am äussersten Ende der Krone oder an den Spitzen der Kaufläche eines Zahnes abzusetzen; um diesen ersten Absatz herum bildet der nächstfolgende einen konischen Gürtel, um diesen sich wieder ein neuer u.s.w., aber beständig so, dass der vorhergehende immer etwas über den folgenden hervorragt, wesshalb auch der letzte Ring, äusserst an der Wurzel, gleichsam zu äusserst von allen zu stehen kommt ... An Milchzähnen ist es mir nicht geglückt, diese Ringe zu entdecken.²⁵¹

Bei der weiteren Untersuchung polierter Schmelzlängsschnitte findet er zwei weitere Strukturen. Die eine besteht aus bräunlichen parallelen Strichen, die andere aus kurzen, weißen meist bogenförmigen Streifen.

Er stellt fest, daß die bräunlichen Streifen aus dem wechselnden Rhythmus bei der Verkalkung des neu gebildeten Schmelzes entstehen müssen:

Sie schienen die Spuren verschiedener Perioden der Schmelzbildung zu sein ... Ich kann nicht bestimmen, ob sie durch braune Färbung des Zahnknochens selbst, durch die Vereinigung paralleler Schatten von den Querstrichen der Schmelzfasern, oder durch diese beiden Umstände gemeinschaftlich entstehen.²⁵²

Die zweite Art von Zeichnung, die später als Hunter-Schreger-Streifen bezeichnet wird, wird nur bei schwächerer Vergrößerung über einem dunklen Untergrund sichtbar. Betrachtet er die Präparate bei sehr großer Vergrößerung im durchfallenden Licht, erkennt er an Stelle der o. a. Striche lediglich äußerst schwache, breite Bänder, die durch die zusammentreffenden Parallelschatten der Querstriche der Schmelzfasern gebildet werden.²⁵³

Im Jahre 1837 veröffentlicht Joseph LINDERER (1809 – 1878) seine Untersuchungen zu den Hunter-Schreger-Streifen und den Retzius-Linien, 1839 publiziert Theodor SCHWANN (1810 – 1882) seine Ergebnisse über die Entstehung der Zahnhartsubstanzen. Beide Autoren stammen aus der Berliner Schule um den

²⁵⁰ Hoole (1798) S. 115

²⁵¹ Retzius (1837) S. 538

²⁵² Retzius (1837) S. 539

²⁵³ Retzius (1837) S. 540

Physiologen und Begründer einer exakten naturwissenschaftlichen Medizin in Deutschland Johannes MÜLLER (1801 – 1858).

Theodor SCHWANN äußert sich in seinem Buch *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen*²⁵⁴ in einem gesonderten Kapitel über die mikroskopische Beschaffenheit der Zähne und des Zahnschmelzes.²⁵⁵

Seiner Ansicht nach besteht der Schmelz aus vier- oder sechseckigen Prismen, die senkrecht auf der eigentlichen Zahnschmelzsubstanz stehen und nach außen hin verlaufen.

Zur Auflösung der organischen Substanzen im Zahnschmelz legt er einen unreifen, aus einem Zahnsäckchen entnommenen Zahn in verdünnte Salzsäure. Es bleibt ein weiches Gebilde von der Form und Größe des ursprünglichen Schmelzes zurück. Bei genauerer Betrachtung findet er Prismen und folgert daraus, daß die Schmelzfasern entweder eine Verknöcherung der Prismen seien, oder daß die Prismen hohl sein müssen und in ihnen die organische Substanz abgelagert sei.

Aus einer Zahnarztfamilie stammend, erwirbt Joseph LINDERER²⁵⁶ neben seiner Praxistätigkeit eine Ausbildung im mikroskopischen Arbeiten bei MÜLLER, die er seinen odontologischen Untersuchungen dienstbar macht. Für seine Forschungsergebnisse erhält er später die Ehrendoktorwürde des Philadelphia Dental College.

Zusammen mit seinem Vater C. J. LINDERER ist er der erste deutsche Zahnarzt, der sich sehr genau und ausführlich mit mikroskopischen Studien beschäftigt.

Bei ihm findet sich auch eine gute Beschreibung zur damaligen Herstellungstechnik von Präparaten.²⁵⁷ Er fertigt von den Zähnen Durchschnitte an, indem er sie durch Feilen und Schleifen auf feinem Sandstein so dünn macht, daß sie nicht stärker als „Postpapier“ und biegsam sind. Weiterhin macht er Längs- und Querschnitte von Zähnen, um ihre Struktur in jeder Schnittrichtung untersuchen zu können.

²⁵⁴ Schwann (1910) S. 98-107

²⁵⁵ Schwann (1910) S. 99-102

²⁵⁶ Siehe auch Seite 34 in dieser Arbeit.

²⁵⁷ J. Linderer (1842) S. 167

Er beschäftigt sich mit der Struktur sowohl gesunder als auch kranker Zähne, da ihm die hierzu vorliegenden Arbeiten von FRAENKEL und RETZIUS nicht ausreichend erscheinen.²⁵⁸

Diese Untersuchung des Schmelzes²⁵⁹ gestaltet sich für ihn recht schwierig, da ihm nur primitive Mittel zur Verfügung stehen, um die härteste Schichte des menschlichen Körpers zur Untersuchung zu bearbeiten.

Ein weiterer Umstand macht ihm seine Forschertätigkeit nicht gerade leicht. Der zahnärztliche Stand war zu seiner Zeit in Deutschland noch nicht vollständig anerkannt und es gab nur wenige approbierte Zahnärzte. So wurden seine Leistungen kaum beachtet, was dazu führte, dass er sich nach einiger Zeit ganz aus der Forschung zurückzog.²⁶⁰

Alexander NASMYTH²⁶¹ (1789 – 1848), der einige Zeit als Assistent bei seinem älteren Bruder tätig war, kann mit OWEN und TOMES zusammen als Begründer der dentalen Histologie in Großbritannien angesehen werden.

NASMYTHS Untersuchungsergebnisse bezüglich der Schmelzstruktur decken sich nicht unbedingt mit denen seiner Zeitgenossen. RETZIUS und PURKINJE z. B. vertreten die Ansicht, der Schmelz bestehe aus Fasern, die vom Zentrum des Zahnes zur Peripherie hin verlaufen. NASMYTH hält dagegen, daß man diese Fasern im Transversalschnitt gut erkennen könne, im Längs- und Vertikalschnitt hingegen ein ganz anderes Bild entstünde:

This was an appearance of compartments or divisions of a semicircular form; the convexity of the semicircle or arch generally looking upwards towards the free external portion of the tooth.²⁶²

Der Anatom und Zoologe Richard OWEN (1804 – 1892) beschäftigt sich in seinem Werk *Odontography* eingehend mit der Histologie von Schmelz, Dentin und Zement. Er verwendet die noch heute üblichen Begriffe „*dentine*“, „*enamel*“ und „*cement*“, wobei der Begriff „*dentine*“ vermutlich sogar auf ihn zurückgeht, denn er schlägt ihn als Alternative zu der Bezeichnung Knochen oder Zahnknochen vor.

²⁵⁸ J. Linderer (1848) S. 3

²⁵⁹ J. Linderer (1848) S. 18-26

²⁶⁰ Tanneberger (1936) S. 10-12

²⁶¹ Siehe auch Seite 22f. in dieser Arbeit.

Wie schon John HUNTER und andere Autoren vor ihm sieht auch er den Schmelz als die härteste Substanz des menschlichen Körpers an, da in ihm härtende Salze in höchster Konzentration enthalten sind.

The enamel may be distinguished ... by its glistening, subtransparent substance, which is white or bluish-white by reflected light, but of a grey-brown colour when viewed, under the microscope, by transmitted light.²⁶³

Der Schmelz ist aufgebaut aus langen, schlanken, soliden prismatische Fasern, die, wenn sie mit Mureinsäure behandelt werden, in membranöse Tubuli zerfallen. Diese Tubuli enthalten nach OWEN die anorganische Substanz des einzelnen Prismas und dienen als Form, in die die Substanz während der Zahnentwicklung abgelagert wurde.²⁶⁴

Diese Schmelzfasern zeigen einen eigentümlich gebogenen Verlauf. Nahe der Kaufläche ziehen sie nahezu senkrecht zur Zahnoberfläche, am unteren Kronenteil verlaufen sie transversal. Sie ruhen in leichten aber regelmäßigen Vertiefungen auf der äußeren Dentinschicht der Krone. An dieser Stelle beschreibt OWEN die Schmelz-Dentin-Grenze, ohne sie zu benennen:

The enamel-fibres are directed at nearly right angles to the surface of the dentine, and their central or inner extremities rest in slight but regular depressions on the periphery of the coronal dentine.²⁶⁵

Er vermutet ebenso wie HUNTER, daß dieses Konstruktionsprinzip ausgelegt ist für Beständigkeit bei hoher mechanischer Belastung, findet jedoch heraus, daß es kein Schutzschild gegen die Einflüssen externer Zerstörung ist. Durch den geschwungenen, wellenförmigen Verlauf der prismatischen Fasern ergeben sich wellenförmige Kurvaturen, die z. T. parallel, z. T. auch gegenläufig verlaufen. Hierbei sind die Konkavitäten in der Regel zueinandergekehrt, wobei die kürzeren Fasern, die nicht das Äußere des Schmelzes erreichen, mit ihren dünner werdenden peripheren Fortsätzen an die längeren Fasern grenzen. Andere, kürzere Schmelzfasern, reichen von der äußeren Schmelzoberfläche in Richtung Dentin und scheinen in die Zwischenräume der längeren Fasern eingekellt zu sein.²⁶⁶ Es zeigt sich also, daß der Durchmesser der Schmelzfasern von der Peripherie zum Zentrum abnimmt.

²⁶² Nasmyth (1839) S. 11 f

²⁶³ Owen (1840) S. XXIII

²⁶⁴ Owen (1840) S. XXIV/ S. 464; Siehe hierzu auch Seite 38 in dieser Arbeit.

²⁶⁵ Owen (1840) S. XXV

²⁶⁶ Owen (1840) S. XXV

Die äußeren Enden haben bei entsprechender Vergrößerung ein honigwabenähnliches, hexagonales Aussehen:

When the extremities of the human enamel-fibres are examined with a magnifying power of 300 linear dimensions, by reflected light, they are seen to be co-adapted, like the cells of a honey-comb, and like these to be, for the most part, hexagonal.²⁶⁷

Jede einzelne Faser hat eine Dicke von ca. 1/5000 inch und weist feine, eng beieinander liegende „*transverse striae*“ auf. Im Schnitt von mehreren Fasern erkennt er im Licht zum einen bräunliche Wellen, zum anderen die Schmelzfasern kreuzende Linien, die parallel zur äußeren Schmelzoberfläche verlaufen. Diese Linien, die deutlicher in Transversalschnitten zu erkennen sind, setzt er in Relation zur Schmelzbildung und glaubt, sie zeigten die einzelnen Stufen der Schmelzentwicklung und ergäben die Rillen auf der äußeren Zahnoberfläche, von denen LEEUWENHOEK²⁶⁸ annahm, sie entstünden beim schrittweisen Zahndurchbruch.²⁶⁹ Bei diesen Linien kann es sich dementsprechend nur um die Retzius-Linien handeln.

In der Einleitung zu seiner *Odontography* bezieht er sich auch auf RETZIUS, der die oben erwähnten Rillen erstmals gezählt hat. Auch RETZIUS²⁷⁰ nennt LEEUWENHOEK als Entdecker dieser dünnen, transversalen Furchen auf der äußeren Schmelzoberfläche, die einen parallelen, wellenförmigen Verlauf zeigen. OWEN führt sie aber entgegen LEEUWENHOEKs Deutung auf die Bildung von „Schmelzfaser-Gürteln“ um die Zahnkrone zurück²⁷¹. Die Rillen finden sich zwar rund um die Krone, sind an der posterioren Oberfläche allerdings sehr undeutlich ausgebildet. Es wird deutlich, daß es sich bei den Schmelzfurchen um die später von PREISWERK²⁷² so genannten Perikymatien handelt, in denen die Retzius-Linien enden.

John TOMES geht in seinem Buch *A System of Dentistry* unter anderem näher auf die Histologie der Zähne, insbesondere der Streifenphänomene ein²⁷³, in dem er die Zahngewebe in Bezug auf Krankheiten betrachtet. Er stellt fest, daß nahezu

²⁶⁷ Owen (1840) S. XXVI

²⁶⁸ Hoole (1798) S. 115

²⁶⁹ Owen (1840) S. 465 f

²⁷⁰ Retzius (1837) S. 535ff.

²⁷¹ Owen (1840) S. XXVI

²⁷² Preiswerk (1895) S. 14

²⁷³ J. Tomes (1856) S. 239-284

jeder unter dem Mikroskop betrachtete Zahn unverkennbare Zeichen einer mangelhaften Organisation aufweist, was zu einer erhöhten Anfälligkeit für Erkrankungen führen kann, wenn dieser Zahn solch schädlichen Einflüssen ausgesetzt wird.²⁷⁴

Er begründet seine Untersuchungen an Zähnen mit Schmelzbildungsstörungen damit, daß diese zellulären Schmelzstrukturen in gesunden Zähnen weniger gut wahrnehmbar sind.

The enamel fibres are composed of a sheath containing a series of cells or masses; that in perfectly-developed enamel, the cells or masses and sheaths are so blended that but slight distinction of parts remains, but that in less perfectly tissue the component parts remain visible.²⁷⁵

TOMES beschäftigt sich ausführlich mit den transversalen Streifen im Schmelz, besonders mit der sie hervorrufenden Ursache.²⁷⁶ Er erkennt zwei Typen von Streifung.²⁷⁷ Zum einen in unregelmäßigem Abstand in Konturlinien angeordnete, z. T. auch fehlende, zum anderen sehr regelmäßige, der quergestreiften Muskulatur ähnliche Streifen. Er führt diese Untersuchungen bei starker Vergrößerung an gerade durchbrechenden Zähnen mit Schmelzbildungsstörungen durch.

... the one set [of lines] marking the course of the fibres, the other taking the direction of the transverse striae. The two sets of lines crossing each other at right angles leave interspaces approaching a square form. These interspaces are filled with granular masses, having the appearance of cells.²⁷⁸

Für ihn stellen die „*transverse striae*“ lediglich Resultate eines Schmelzentwicklungsfehlers dar.

Nach Säurebehandlung erhält er parallele, aus Scheiden zusammengesetzte Fasern, von denen jede eine Reihe von granulären Zellen oder Substanzen enthält. Dies führt seiner Ansicht nach zu der angesprochenen Ähnlichkeit mit Muskelfasern.

Wie schon an anderer Stelle dieser Arbeit erwähnt²⁷⁹, untersucht sein Sohn Charles TOMES als erster Forscher die Entwicklung des von seinem Vater 1849

²⁷⁴ J. Tomes (1861) S. 239

²⁷⁵ J. Tomes (1856) S. 104

²⁷⁶ J. Tomes (1856) S. 97-104

²⁷⁷ J. Tomes (1856) S. 103

²⁷⁸ J. Tomes (1856) S. 103

²⁷⁹ Siehe auch Seite 43f. in dieser Arbeit.

beschriebenen tubulären Schmelzes. Obwohl ihm bewusst ist, dass im Schmelz keine faserartigen Strukturen vorliegen, bezeichnet er in Ermangelung einer treffenderen Bezeichnung diese Tubuli als „Fasern“.²⁸⁰

Der Leipziger Sinnesphysiologe Johann CZERMÁK (1828 – 1873) beschäftigt sich in seiner 1850 unter KÖLLIKER verfaßten Dissertation²⁸¹ mit der mikroskopischen Anatomie der Zähne. Hierin geht er ausführlich auf die histologische Struktur des Zahnschmelzes ein und untersucht mit 400-facher Vergrößerung eingehend die optischen Phänomene und die Charakteristik der Schmelzprismen bei unterschiedlichen Schnitten und Lichtverhältnissen.

Auf der äußeren Schmelzoberfläche beschreibt er Furchen und Wülste, die rund um die Krone, gerade oder wellenförmig hin und her gebogen, in querer Richtung verlaufen.²⁸² Sie weisen keine Parallelität mit den Schmelzprismen oder irgendeine andere Regelmäßigkeit auf. CZERMÁK führt sie zurück auf Funktionsstörungen des Schmelzorgans während der Zahnentwicklung. Vorspringende Schmelzprismenbündel sorgen für eine erhabene innere und äußere Schmelzoberfläche.

Durch Behandlung einer Schmelzprobe mit verdünnter Salzsäure entdeckt er sowohl die Schmelzprismen als auch, wie schon NASMYTH²⁸³ und HUXLEY²⁸⁴ vor ihm, Querstreifen, die den animalen Muskelfasern ähneln und dabei ein recht unterschiedliches Verhalten zeigen. Sie sind einerseits sehr scharf und fein und liegen eng gedrängt, andererseits finden sich weiter getrennte, breitere und schattenähnlichere Streifen.²⁸⁵ CZERMÁK differenziert zwei Entstehungsmodi dieser Querstreifen: die enger zusammenliegenden Streifen sieht er als Ausdruck des schichtweisen Verbindungsprozesses der Schmelzprismen an, die weiter auseinanderliegenden scheinen ihm durch die variköse Beschaffenheit mancher Prismen bedingt zu sein.²⁸⁶

²⁸⁰ Boyde (1966) S. 88

²⁸¹ Czermák (1850) S. 295-322

²⁸² Czermák (1850) S. 295 f

²⁸³ Nasmyth (1839) S. 11f.

²⁸⁴ Huxley (1853) S. 152ff.

²⁸⁵ Czermák (1850) S. 298

²⁸⁶ Czermák (1850) S. 298

Er vermutet als erster Wissenschaftler eine Kittsubstanz zwischen den einzelnen Schmelzprismen, die er in ihrer Gesamtheit „*substantia adamantina dentium*“ nennt.²⁸⁷

Seine Untersuchungen der Prismenverlaufsrichtung ergeben zahlreiche verschiedene Variationen. Das periphere Prismenende kann mit dem zentralen entweder in der selben Querschnittsebene der Krone oder in ungleicher Höhe liegen. Dasselbe gilt für die Verlaufsrichtung der Prismen in der Längsschnittebene. Generell verlaufen aber alle Prismen steil nach außen und oben gerichtet und in der Spitze senkrecht. Sie ziehen jedoch in verschiedenster Weise von der inneren zur äußeren Oberfläche: gerade, gekrümmt, wellenförmig oder geknickt. Dabei steht das letzte periphere Ende immer gerade, häufig sogar senkrecht auf der äußeren Schmelzoberfläche. CZERMÁK stellt dabei fest, daß die Prismen gruppenweise immer den selben Verlauf aufweisen. Er ist sich aber nicht sicher, ob alle Prismen von der inneren zur äußeren Oberfläche ziehen, oder ob dazwischen auch kürzere Prismen vorhanden sind. Des weiteren vermutet er, daß die Größenunterschiede zwischen innerer und äußerer Schmelzoberfläche nicht allein durch das Dickenwachstum der Prismen Richtung Peripherie ausgeglichen werden, sondern daß es eventuell zu einer Vermehrung der Zwischensubstanz des Schmelzes zur Peripherie hin kommt.²⁸⁸

Bei Versuchen mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen entdeckt er ein System abwechselnd dunklerer und hellerer Streifen im Schmelz, die ähnlich der oben beschriebenen Wülstchen in querer Richtung rings um die Krone ziehen, aber breiter sind und sich öfters gabelförmig teilen.²⁸⁹ Er gewinnt den Eindruck, daß sie durch eine Struktur in tieferen Schmelzlagen hervorgerufen werden und vermutet einen Zusammenhang mit dem Prismenverlauf in tieferen Schmelzschichten. Die Prismen weisen regelmäßige Zickzackbewegungen auf, so daß die Lichtstrahlen in verschiedenen Winkeln auf die Seitenflächen der Prismen fallen können. Durch unterschiedliche Neigung der Prismenbewegung und ihre lagenweise Überkreuzung kommt es zu einer unterschiedlichen Reflexion der Lichtstrahlen. Das bedeutet auch, daß sich je nach Richtung des Prismenanschnitts im Längsschliff unterschiedliche Erscheinungen ergeben, denn je nach Biegung

²⁸⁷ Czermák (1850) S. 298 f

²⁸⁸ Czermák (1850) S. 298 f

²⁸⁹ Czermák (1850) S. 300

liegen manche Prismen in der Schliffebene und manche überkreuzen sich mit ihr. Durch den gruppenweise einheitlichen Prismenverlauf erkennt CZERMÁK am Längsschliff regelmäßig abwechselnde Schichten von quer oder längs geschnittenen Prismen, die bei auffallendem Licht helle und dunkle Streifen zeigen. Daraus folgert er, daß alle Reflexe, also auch die Retzius-Linien, abhängig sind von der Neigung der Prismen gegen auffallende Lichtstrahlen.²⁹⁰

Entgegen anderer Autoren verneint er ein natürliches Vorhandensein von Hohlräumen oder Kanälchen im Schmelz, die der Leitung von Ernährungsflüssigkeit dienen sollen. Im gesunden Schmelz liegen die Prismen so eng beieinander, daß sie keine Zwischenräume lassen. Hohlräume bilden sich seiner Ansicht nach nur während der ersten Schmelzablagerung in der Zahnentwicklung oder später zufälligerweise durch verschiedenen Ursachen, wie z. B. mechanische Einflüsse.²⁹¹

²⁹⁰ Czermák (1850) S. 302 f

²⁹¹ Czermák (1850) S. 303 f

3 SCHLUBBETRACHTUNGEN

Mit dem im 16. Jahrhundert erwachenden Interesse an genauerem Wissen über den menschlichen Körper beginnt der Prozeß der objektiveren Erforschung der Anatomie und der Zuwendung zu einer vermehrt naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise aller physiologischen Phänomene.

In diesem Zusammenhang werden auch odontologische Fragestellungen aufgeworfen, die EUSTACHIUS erstmals mittels praktischer Sektionsergebnisse und nicht mit Hilfe von Aberglaube und Volksmedizin zu klären versucht. Er schafft eine erste vorsichtige Verbindung zwischen traditionellen Lehren und seinen aktuellen Erkenntnissen, wobei er auf Grund fehlender optischer Hilfsmittel in der Unzulänglichkeit des Makroskopischen gefangen bleibt.

Erst nach der Entwicklung einfacher optischer Vergrößerungshilfen werden genauere histologische Untersuchungen der Zahnhartsubstanzen und Entdeckungen im Bereich der histologischen Abläufe während der Embryonalphase der Zähne möglich. Dabei hat sich im Laufe dieser Studie gezeigt, daß die Geschichte der Zahnhistologie eng mit der Geschichte des Mikroskops verbunden ist.

Die praktische Anwendung der Mikroskopie bleibt allerdings LEEUWENHOEK (ab 1678), der als Pionier der odontologischen Histologie gilt, vorbehalten. Die von ihm aufgezeigten neuen Möglichkeiten der histologischen Forschung werden nach seinem Tod zunächst nicht weiterverfolgt. Erst im Jahre 1835 greift PURKINJE sie wieder auf.

Zwischenzeitlich kommt der Franzose HÉRISSANT 1754 und 1758 in seinen Studien über den Ursprung des Zahnschmelzes, die er zum Teil nur mit einer vierfachen Lupe durchführt, als erster zu genaueren Erkenntnissen über die Entstehung des Schmelzorgans, die dann in entsprechend korrigierter Form die Grundlage für die Forschungen PURKINJES und seines Schülers RASCHKOW²⁹² über die Entstehung der Milchzähne bilden sollten.

Selbst John HUNTER, der als Wegbereiter der weiteren odontologischen Forschung gilt, bedient sich nicht des Mikroskops, sondern nur zweier optimal zueinander passender Linsen. Dennoch liefert er zahlreiche neue

²⁹² Raschkow (1835) S. 2ff.

Forschungsansätze. So erbringt er erstmals den experimentellen Beweis, daß die Zahnschmelzsubstanz nicht mit der Knochenmaterie identisch ist²⁹³. Weiterhin wird durch seine Ergebnisse die Diskussion über die verschiedenen Theorien zur Entstehung des Zahnschmelzes entfacht.

Erst in den unter PURKINJE durchgeführten Untersuchungen FRAENKELS und RASCHKOWS (1835) wird das Mikroskop konsequent als Hilfsmittel systematischer Forschung eingesetzt.

Im deutschen Sprachraum werden die Forschungen auf dem Gebiet der Histogenese und Histologie des Zahnschmelzes zunächst im wesentlichen von der Breslauer Schule um PURKINJE und seine Doktoranden FRAENKEL und RASCHKOW, später auch von WALDEYER, bestimmt. Weitere Forschungsansätze gehen von der Berliner Schule um MÜLLER, SCHWANN und LINDERER und von dem Würzburger Kreis von KÖLLIKER und LENT aus.

Im englischen Sprachraum bestimmen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts OWEN und NASMYTH die Forschungen, während HUXLEY und John und Charles TOMES in der zweiten Hälfte dieses Säkulums den Fortschritt in der odontologischen Forschung maßgeblich beeinflussen.

Die englischen Forscher übernehmen die Grundvorstellungen der Histogenese und Histologie von KÖLLIKER und WALDEYER, wobei in bestimmten Teilaspekten durchaus auch ein Informationsfluß in umgekehrter Richtung erfolgt. So kommt z. B. KÖLLIKER²⁹⁴ 1863 nur durch die Forschungen HUXLEYS²⁹⁵ zu der Überzeugung, daß sämtliche Zellen des Schmelzorgans epithelialen Ursprungs seien.

Seit den Forschungen RASCHKOWS (1835) und NASMYTH (1839) werden in der Literatur zwei Membranen erwähnt, die unter den Forschern heftige Diskussionen entfachten. RASCHKOW erkennt ein Häutchen zwischen Pulpa und Schmelzorgan und bezeichnet es als „*Membrana praeformativa*“²⁹⁶, dessen Existenz 1864 von WALDEYER²⁹⁷ jedoch abgelehnt wird. Dennoch ist dieser Begriff in der damaligen

²⁹³ Hunter (1778) S. 34f/ 37f; Siehe hierzu auch Seite 52f. in dieser Arbeit.

²⁹⁴ Kölliker (1863) S. 457

²⁹⁵ Huxley (1853) S. 153/ 164

²⁹⁶ Raschkow (1835) S. 5f.

²⁹⁷ Waldeyer (1865) S. 182

Fachliteratur überall präsent, denn es gibt um die Mitte des 19. Jahrhunderts kaum einen Forscher, der die beiden lateinischen Dissertationen aus der Schule PURKINJES seinen Untersuchungen nicht zugrunde legt.

NASMYTH²⁹⁸, dem sowohl die Arbeiten PURKINJES als auch MÜLLERS und RETZIUS vertraut sind, berichtet im Jahre 1839 vor der *Royal Society* über ein Gewebe, das heute nach KÖLLIKER²⁹⁹ als „Schmelzoberhäutchen“ oder nach WALDEYER als „*Cuticula dentis*“ bezeichnet wird. NASMYTH nennt es „*Capsular investment of the enamel*“. WALDEYER³⁰⁰ erkennt 1864 in diesem Schmelzoberhäutchen ein Überbleibsel des äußeren Schmelzepithels. Nach HUXLEY³⁰¹ ist es aus der *Membrana praeformativa* entstanden, von der alle drei Zahnhartgewebe ausgehen sollen. LINDERER³⁰² konnte trotz intensiver Bemühungen dieses Häutchen an menschlichen Zähnen nie nachweisen. KÖLLIKERS Deutung, wonach das Schmelzoberhäutchen als Endprodukt der schmelzbildenden Zellen anzusehen ist, bleibt lange Zeit gültig. Die Erörterung über Art und Ursprung dieses Gewebes ist auch heute noch nicht abgeschlossen.

Weiterhin wird die Frage der Entstehung des Zahnschmelzes im Schrifttum des 19. Jahrhunderts kontrovers diskutiert. Die ersten Vorstellungen über dessen Histogenese liegen weit zurück. EUSTACHIUS³⁰³ deutet als erster die Existenz der sogenannten Umwandlungstheorie an. RAU³⁰⁴ erwähnt in seiner Dissertation 1694 erstmals die Sekretionstheorie, wonach der „*Succus dentificus*“ zwischen den Zahnmembranlamellen koaguliert. HÉRISSANT³⁰⁵ und HUNTER³⁰⁶ greifen in ihren diesbezüglichen Untersuchungen auf diese Hypothese zurück.

Es bleibt hierbei strittig, ob der Schmelz durch Ausscheidung bzw. Sekretion aus den Ameloblasten entsteht, wie dies John TOMES, BLAKE, BELL, ROSENTHAL, LINDERER und LENT annehmen, oder ob sich der Zahnschmelz aus einer direkten

²⁹⁸ Nasmyth (1839) S. 113f.

²⁹⁹ Kölliker (1852) S. 373

³⁰⁰ Waldeyer (1864) S. 294

³⁰¹ Huxley (1853) S. 158

³⁰² J. Linderer (1851) S. 50

³⁰³ Eustachius (1563) Kap. XVII

³⁰⁴ Rau (1694) S. 186ff

³⁰⁵ Hérissant (1754) S. 429

³⁰⁶ Hunter (1778) S. 95

Umwandlung der Ameloblasten in eine Grundsubstanz bildet, was NASMYTH, OWEN, SCHWANN, RASCHKOW und WALDEYER glauben.³⁰⁷

Zusätzlich zu den beiden führenden Hypothesen entwickelt HUXLEY³⁰⁸ 1853 seine sogenannte „Ablagerungstheorie“, nach der der Schmelz durch Ablagerung kalkhaltiger Substanzen entsteht. Man erkennt allerdings unschwer, daß die Idee HUXLEYS nur einen Verquickungsversuch der Sekretions- mit der Umwandlungstheorie darstellt.

Mit der „modifizierten Ausscheidungstheorie“ KÖLLIKERS³⁰⁹, die eine direkte Schmelzentstehung als geformte Masse durch eine sekretionsähnliche Metamorphose postuliert, ist 1867 eine Deutung gefunden worden, die sich vom letzten Drittel des 19. Jahrhunderts ab mehr und mehr durchsetzen sollte und auch heute noch weitgehend Gültigkeit besitzt.

Anhand der vorliegenden Arbeit wird die Problematik der Forschung zur Zahntwicklung und –histologie im 18. Und 19. Jahrhundert deutlich.

Ein wesentliches Hindernis für das gegenseitige Verständnis der Forschungsergebnisse stellt das Fehlen von Reproduktionsmöglichkeiten bei der Herstellung histologischer Präparate dar. Der Grund liegt darin, daß im 18. Jahrhundert und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die technischen Möglichkeiten der Aufbereitungs- und Dünnschlifftechnik, die erst seit FRAENKEL und RETZIUS (1835 bzw. 1837) kultiviert wird, im Verhältnis zur komplizierten Materie der odontologischen Histologie und Histogenese noch zu ungenügend entwickelt sind, so daß man kaum für andere Wissenschaftler nachvollziehbare Ergebnisse erhält.

Des weiteren wird das Vorgehen bei histologischen Untersuchungen häufig gar nicht oder nur oberflächlich und ungenau beschrieben, zuweilen findet sich auch kein Verweis auf das Untersuchungsmaterial oder zur Verfügung stehende optische Hilfsmittel. So ist es zum Teil kaum möglich herauszufinden, welche tatsächliche histologische Struktur der Beschreibung zu Grunde liegen könnte, um Rückschlüsse zu ziehen auf die Verlässlichkeit bzw. Richtigkeit der damaligen Angaben. Als Beispiel hierfür ist unter anderem LEEUWENHOEK anzuführen, bei

³⁰⁷ Siehe hierzu auch Kapitel 2. 2. 2 und 2. 2. 3 in dieser Arbeit.

³⁰⁸ Huxley (1853) S. 163

³⁰⁹ Kölliker (⁵1867) S. 385

dessen Ausführungen nicht deutlich wird, ob es sich bei dem von ihm untersuchten Material um Schmelz, Dentin oder Knochen handelt.³¹⁰ Hinzu kommt eine hohe Anzahl von Artefakten oder optischen Täuschungen, bedingt durch mangelnde Erfahrung mit Gewebsreaktionen auf bestimmte Chemikalien oder Unerfahrenheit im Umgang mit dem Mikroskop.³¹¹ Beides wird meist als zu der entsprechenden histologischen Struktur gehörig gedeutet.

Weiterhin führt unterschiedliches, nicht näher bezeichnetes Untersuchungsmaterial zu nicht untereinander vergleichbaren Ergebnissen. Dadurch und durch die Tatsache, daß immer neue Bezeichnungen für dieselben Strukturen gefunden werden, so daß keine einheitliche Nomenklatur besteht, werden zahlreiche voneinander abweichende Theorien begünstigt.³¹² So existieren z. B. auch zahlreiche Entstehungsmechanismen der Zahnhartsubstanzen, da nahezu jeder Wissenschaftler andere „Bildungsorgane“ und Zellen, die an ihrer Entwicklung beteiligt sein sollen, benennt.³¹³

Außerdem können die Forscher ihren Veröffentlichungen zu deren Illustration lediglich Zeichnungen beifügen, die fast nie Angaben über den verwendeten Maßstab enthalten und so Anlaß zu falscher Interpretation geben. Erst im Jahre 1897 führt der in Braunschweig tätige Zahnarzt Otto WALKHOFF³¹⁴ (1860 – 1934) die Mikrophotographie zur Bilddarstellung in die mikroskopische Anatomie der Zähne ein und ersetzt damit die bis dahin angewandte Holzschnitt-Technik. Weiterhin erfolgen nun konsequentere Angabe des Abbildungsmaßstabes, was zu einer zunehmenden Nachprüfbarkeit der Ergebnisse führt.

Letztlich erfahren die Forschungsergebnisse von Zahnmedizinern wie zum Beispiel LINDERER³¹⁵ in Deutschland nicht den ihnen aus heutiger Sicht gebührenden Grad der Anerkennung, da Zahnärzte zur damaligen Zeit noch nicht als vollwertige Wissenschaftler angesehen sind.

Mit den damaligen optischen Geräten erreicht die zahnärztliche Histologie Mitte des 19. Jahrhunderts ihre lichtoptische Grenze. Durch die Erfindung erster achromatischer Instrumente und das Hintereinanderschrauben achromatischer

³¹⁰ Siehe hierzu auch Seite 11 in dieser Arbeit.

³¹¹ Siehe hierzu auch Seite 54f. in dieser Arbeit.

³¹² Siehe hierzu auch Seite 79 in dieser Arbeit (Ausführungen über die Membrana praeformativa).

³¹³ Siehe hierzu auch Kapitel 2. 2. 2 und 2. 2. 3 über die Schmelzbildungstheorien.

³¹⁴ Walkhoff (1897) S. 6

Objektive bis zu einer 1200fachen Vergrößerung wird die wissenschaftliche Mikroskopie entscheidend vorangetrieben.³¹⁶ Ein weiterer großer Fortschritt ist die Erfindung der Immersionssysteme durch den italienischen Optiker und Astronom Giovanni Battista AMICI (1786 – 1863).³¹⁷ Die Luftschicht zwischen Präparat und Objektiv, die starke Lichtverluste und mangelhafte Bildqualität bedingt, wird durch diese Verfahren beseitigt, was noch einmal zu einer wesentlichen Verbesserung der Abbildung führt.

Das Forschungsfeld der Histologie und Histogenese der Zahnhartsubstanzen ist so mannigfaltig, daß noch viele Jahrzehnte mit intensiver Forschung ausgefüllt wurden, bis der Physiker Ernst August Friedrich RUSKA (1906 –1988) 1927 das Elektronenmikroskop entwickelte, mit dem durch die wesentlich kleinere Wellenlänge der Elektronenstrahlen eine Auflösung von ca. 10 Å und eine bis zu 200.000fache Vergrößerung erzielt werden konnte, so daß der dentalen Forschung weiterreichende Möglichkeiten eröffnet wurden.³¹⁸ Hiermit ist erstmals eine einzelne optische Darstellung der letzten morphologischen Elemente des Zahnes möglich, die größtenteils unterhalb der Auflösungsvermögens des Lichtes liegen und daher im Lichtmikroskop nicht darstellbar waren. Heute hat die Elektronenmikroskopie in der Zahnheilkunde besonders in der Untersuchung der Frühstadien der Karies ihre Bedeutung.³¹⁹

NASMYTH, OWEN, RETZIUS, PURKINJE, KÖLLIKER, WALDEYER, VON EBNER, PREISWERK und viele andere Forscher gaben damals der Zahnhistologie durch gründliche Bearbeitung des gesamten Gebietes die breite wissenschaftliche Basis. Die Veröffentlichungen dieser Wissenschaftler haben bis heute einen maßgeblichen Einfluß auf die Histologie des Zahnes. So ergibt sich aus allen diesen Arbeiten die bis heute gültige Lehrmeinung, daß Prismen, interprismatische Substanz und Prismenscheiden als die eigentlichen Strukturelemente des Schmelzes angesehen werden müssen.³²⁰

³¹⁵ Siehe hierzu auch Seite 63 in dieser Arbeit.

³¹⁶ Helmcke (1960) S. 157

³¹⁷ Helmcke (1960) S. 157

³¹⁸ Helmcke (1960) S. 158

³¹⁹ Helmcke (1960) S. 166

³²⁰ Helmcke (1960) S. 158

Während des 20. Jahrhunderts bis heute ist kein Stillstand eingetreten. Es werden vor allem in den USA weitere umfassende Forschungen auf dem Gebiet der Zahnhistologie betrieben, wobei man sich nicht allein des Elektronen- und des Rasterelektronenmikroskops bedient, sondern auch biochemische und radiologische Verfahren zu Hilfe nimmt. Mit diesen Hilfsmitteln eröffnen sich den Wissenschaftlern immer neue Mikrostrukturen, so wie sich LEEUWENHOEK vor ca. 300 Jahren mit seinem Lichtmikroskop eine neue Welt erschlossen hat.

Doch überall dort, wo man heute klare Antworten erwartet, stellen sich immer wieder neue Probleme ein, deren Lösung trotz hervorragender Arbeiten bis heute noch aussteht. Immer noch ist kein allgemein anerkanntes einheitliches Bild vom histologischen Aufbau eines Zahnes und seiner Entwicklung vorhanden. Zu klären sind unter anderem noch Fragen zu der organischen Substanz des Schmelzes, den Prismenscheiden, der interprismatischen Substanz oder Kittsubstanz und der Schmelzentwicklung.

4 ANHANG

4. 1 Übersicht über die historischen Fachbegriffe

Damaliger Begriff	Forscher/ Datum	Definition/ Funktion	Heutiger Begriff	Seitenangabe
Dentinel tubules	LEEUWENHOEK (1696)	Struktur nahe der Zahnoberfläche	Schmelzprismen	13
Succus dentificus	RAU (1694)	Sekret aus Blut als Hauptbestandteil der Zahnhartsubstanz	aus heutiger Sicht unklar	16/ 17
Membrana glandulosa a) Memb. externa b) Memb. interna	RAU (1694)	Sekretion des Succus dentificus a) im Bereich der Schmelzkappe gelegen b) restliche Drüsenhülle	a) äußeres Schmelzepithel b) inneres Schmelzepithel	16/ 17
Involucrum externum	MALPIGHI (1686)	Schmelzkappe	aus heutiger Sicht unklar	17
Pulpy substance	HUNTER (1778)	Breiartige amorphe Vorstufe mit späterer Verknöcherung (Dentinbildung)	Zahnpapille	2-4; 12/ 13
Capsula (Kapsel)	HUNTER (1778) OWEN (1840)	Kapselartige Umhüllung des Zahnkeimes; Schmelzabsonderung Zementbildende Umhüllung des Zahnkeimes	Zahnsäckchen Zahnsäckchen	2-4; 12/ 13
Another pulpy substance	HUNTER (1778)	Gegenüber der Dentinmatrix gelegen; Schmelzabsonderung	Schmelzorgan	2-4; 12/ 13
Bone True bone	HUNTER (1778) BELL (1835)	Zahnknochen Dentin	Dentin Dentin	2-4; 12/ 13 14; 40
(Zahn)follikel	ARNOLD (1831) GOODSIR (1839) NASMYTH (1849)	Gesamtheit des Zahnkeimes Gesamtheit des Zahnkeimes Gesamtheit des Zahnkeimes	Zahnkeim Zahnkeim Zahnkeim	4-6 7/ 8 23/ 24

(Primitive) dental groove	GOODSIR (1839)	Rinne der Mundschleimhaut; Ort der Zahnkeimbildung	Zahnleiste	7/ 8
	WALDEYER (1864/ 1870)	Zahnrinne	Zahnleiste	9/ 10; 29/ 30
Secondary dental groove	GOODSIR (1839)	Ausgangspunkt für Ersatzzahnleiste	Ersatzzahnleiste	7/ 8
Shut cavity of reserve	GOODSIR (1839)	Ersatzzahnleiste	Ersatzzahnleiste	7/ 8
(Shut) sac (Sack)	GOODSIR (1839)	Umschließt den Zahnform annehmenden Follikel; dient seiner Ernährung	Zahnsäckchen im Glockenstadium	7/ 8
	BELL (1835)	Umschließt Zahnkeim; Sekretion der anorgan. Kristallinen Schicht bei Schmelzbildung	Zahnsäckchen	14; 40
	ROSENTHAL (1811)	Umschließt Zahnkeim; nicht an Schmelzbildung beteiligt	aus heutiger Sicht unklar	15
Zahnsäckchen	NASMYTH (1849)	Enthält Zahnkeim mit Dentin- und Zahnpulpa und die Schmelzpulpa	Zahnsäckchen	23/ 24
Papillae	GOODSIR (1839)	Zahnkeime in ihrer Gesamtheit	Zahnkeime	7/ 8
	NASMYTH (1849)	Zahnsäckchen	Zahnsäckchen	23/ 24
Cuticula dentis (Schmelzoberhäutchen)	WALDEYER (1864/ 1870)	Schmelzoberhäutchen; Reste des inneren und äußeren Schmelzepithels	Schmelzoberhäutchen	9/ 10; 29/ 30
Organon adamantinae Schmelzorgan Enamel organ	RASCHKOW (1835)	Inneres des Zahnfollikels, bestehend aus Schmelzpulpa und Schmelzmembran; Schmelzbildung	Schmelzorgan	15-18; 44
	KÖLLIKER (1863/ 67)			28/ 29
	TOMES, CH. (1876)			10/ 11
	LINDERER, J. (1842)			18/ 19
	NASMYTH (1849)			23/ 24
HUXLEY (1853)	Kleine Menge weißlichen Grundgewebes zwischen Zahnkeim und Zahnsäckchen	Schmelzretikulum	24-26	
Schmelzmembran Membrana adamantina	WALDEYER (164/ 1870)	Inneres Schmelzepithel	Inneres Schmelzepithel	9/ 10; 29/ 30

	RASCHKOW (1835)	Seidenartige Zellschicht aus dünnen senkrechten Fasern	Inneres Schmelzepithel	15-18; 44
	KÖLLIKER (1863/ 67)	Schmelzhaut auf der Innenseite des Schmelzorgans	Inneres Schmelzepithel	28/ 29
Nasmyth's membrane	HUXLEY (1853)	Dünne Membran, unter der sich die Enden der Schmelzprismen befinden	aus heutiger Sicht unklar	24-26
Stratum intermedium	WALDEYER	Zwischen Schmelzpulpa und innerem Schmelzepithel gelegene Zellschicht	Stratum intermedium	9/ 10; 29/ 30
Schmelzpulpa	RASCHKOW (1835)	Sternartige Parenchymsubstanz im Inneren des Schmelzorgans	Schmelzretikulum	15-18
Schmelzhaut	LINDERER, J. (1842)	Parallel verlaufende Fasern, senkrecht zur Pulpaoberfläche; Absonderung der Schmelzfaser	Inneres Schmelzepithel	18/ 19
Sternzellenschicht (Stellate reticulum)	NASMYTH (1849)	Abgeflachte dreieckige Zellen im Zentrum des Schmelzorgans, verbunden durch dünne Filamente	Schmelzretikulum	23/ 24
Inneres Schmelzepithel	KÖLLIKER (1863/ 67)	Schmale, dicht angeordnete Zellkörper mit Kontakt zum Zahnkeim	Inneres Schmelzepithel	28/ 29
Äußeres Schmelzepithel	KÖLLIKER (1863/ 67)	Ovale Zellen, die mantelartig die Sternzellenschicht umschließen	Äußeres Schmelzepithel	28/ 29
Corpus spongiosum	KÖLLIKER (1863/ 67)	Inneres des Schmelzorgans	Schmelzretikulum	28/ 29
Schmelzpulpa	TOMES, CH. (1876/ 77)	Gesamtheit des Schmelzorgans	Schmelzorgan	27/ 28
Ameloblasten	TOMES, CH. (1876/ 77)	Schmelzzellen	Ameloblasten	27/ 28
Fissurae	FRAENKEL (1835)	Blattartige Strukturen, die von Schmelz-Dentin-Grenze in Schmelz einstrahlen	Schmelzbüschel	45
Transverse striae	OWEN (1840)	Die Schmelzfasern kreuzende Linien mit parallelem Verlauf zur äußeren Schmelzoberfläche	Retzius-Linien	52
	TOMES, J. (1856)	Resultate eines Schmelzentwicklungsfehlers		53
Membrana praeformativa	RASCHKOW (1835)	Dünnes Häutchen zwischen Pulpa und Schmelzorgan; erste Bildung von Zahnhartsubstanz	Inneres Schmelzepithel	15-18/ 44 18/ 19

	LINDERER, J. (1842)	Abgrenzung des peripheren Teils der Pulpa vom inneren Bereich; Bildung von Zahnmark und Zahnschmelz	aus heutiger Sicht unklar	
	OWEN (1840)	Dünne transparente Membran, die als erste die härtenden Salze aufnimmt	aus heutiger Sicht unklar	21-23; 50
	HUXLEY (1853)	Strukturlose Membran als Grenzlinie zwischen Schmelzzellen im Schmelzorgan und Schmelzprismen; im jungen Zahn über Pulpaoberfläche, nach Beginn der Kalzifikation nur noch im ossifizierten Teil nachweisbar; Bildungsorgan aller drei Hartgewebe	Basalmembran des inneren Schmelzepithels (Membranula praeformativa)	24-26
	TOMES, J. (1856)	Zwischen Schmelzpulpa und Schmelz gelegene Trennschicht von Schmelzfasern und Schmelzorgan; Bildung des Schmelzoberhäutchens	Inneres Schmelzepithel ?	26/ 27
	TOMES, CH. (1876/ 77)	Grenzzone zwischen Schmelzzellen und Schmelzprismen; Beteiligung an Schmelzbildung	aus heutiger Sicht unklar	27/ 28

4. 2 Übersicht über die verschiedenen Schmelzbildungstheorien

Forscher	Theorie	Datum der Publikation	Besonderheiten	Seitenangabe
EUSTACHIUS	Umwandlungstheorie	1563	Umwandlung der Schmelzsubstanz in eine harte, glänzende Schale	16
MALPIGHI	Sekretionstheorie	1686	Schmelzbildung durch verknöchernden Saft	16
RAU	Sekretionstheorie	1694	Drüsen sezernieren einen „Succus dentificus“	16/ 17
HÉRISSANT	Sekretionstheorie	1754	Sich verfestigende Flüssigkeit wird aus Vesikeln oder Drüsen auf Schmelzoberfläche getropft	18
NASMYTH	Umwandlungstheorie	1842	Schmelzhärtung durch Einlagerung von Kalksalzen	31
OWEN	Umwandlungstheorie	1840	Schmelzhärtung durch Einlagerung von Kalksalzen; Umwandlung der Zellflüssigkeit in feste Salzkristallstruktur	21/ 22; 31
SCHWANN	Umwandlungstheorie	1839	Direkte Verkalkung der prismatischen Zellen der Schmelzmembran	20; 31
RASCHKOW	Umwandlungstheorie	1835	Entstehung der Schmelzprismen durch Verkalkung der Epithelzellen der Schmelzmembran; Einlagerung mineralischer Substanzen	16/ 17; 31
HUXLEY	Ablagerungstheorie	1853	Modifizierte Sekretionstheorie; Ablagerung kalkhaltiger Substanzen	24/ 25; 32
TOMES, JOHN	Sekretionstheorie	1856/ 1859	Keine Verkalkung der Schmelzzellen selbst	26/ 27; 33
TOMES, CHARLES	Umwandlungstheorie	1876/ 1877	„wirkliche Metamorphose“, d. h. Umwandlung des organ. Vorgebildeten Gewebes unter Einlagerung von Kalksalzen	27/ 28; 33/ 34

	Sekretionstheorie	1898	Kalzifikation des Plasmas des Tomesschen Fortsatzes	
HUNTER	Sekretionstheorie	1778	Schmelzabsonderung aus Drüsen der „pulpy substance“ und der „capsula“ mit anschließender Kristallisation	12
BLAKE	Sekretionstheorie	1800	Schmelzablagerung aus Membran des Zahnsäckchens mit Auskristallisation	13
BELL	Sekretionstheorie	1835	Flüssigkeitssekretion aus Zahnsäckchen, die zu Schmelz kristallisiert	14
ROSENTHAL	Sekretionstheorie	1811	Sack um Zahnkeim lagert Schmelzmasse als Deposition auf Knochenmasse ab	15
LINDERER, JOSEPH	Sekretionstheorie	1842	Sekretion von Schmelzfasern aus der Schmelzhaut, die sich durch Kristallisation verfestigt	18
LENT	Sekretionstheorie	1856/ 57	Schmelzorgan sekretiert Schmelz, der kondensiert und kalkhaltige Salze aufnimmt	35
KÖLLIKER	Umwandlungstheorie	1863	Direkte Verknöcherung des inneren Schmelzepithels	34
	modifizierte Sekretionstheorie	1867	Ständige Sekretion durch inneres Schmelzepithel; Aushärtung durch Säfte aus Dentin zur Vermehrung des Kalkgehaltes	
WALDEYER	Umwandlungstheorie	1864	Direkte Verkalkung der Zylinderepithelzellen des inneren Schmelzepithels	35/ 36

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Geschichte der Erkenntnisentwicklung auf den Gebieten der Histologie und Histogenese des Zahnschmelzes in Abhängigkeit vom jeweiligen Stand der optischen Untersuchungstechniken. Der Untersuchungszeitraum umfasst das 16. bis 19. Jahrhundert.

In der vormikroskopischen Ära des 16. und 17. Jahrhunderts beginnt mit EUSTACHIUS, MALPIGHI und RAU der Prozeß der objektiven Erforschung der Zahnhartgewebsstrukturen und ihrer Entstehung.

MALPIGHI inauguriert die Sekretionstheorie der Schmelzentstehung mittels eines verknöchernden Saftes, bei EUSTACHIUS findet sich erstmals die Erwähnung der Umwandlungstheorie. Diese Postulate bilden die Grundlage für die spätere Diskussion, ob die Zahnhartsubstanzen aus glandulären Gewebsäquivalenten sezerniert, bzw. durch Ausscheidung aus den Ameloblasten entstehen, wie J. TOMES, BLAKE, BELL, ROSENTHAL, LINDERER und LENT annahmen, oder durch direkte Umwandlung der Ameloblasten in eine Grundsubstanz gebildet werden, wie NASMYTH, OWEN, SCHWANN, RASCHKOW und WALDEYER behaupteten.

Mit der Entwicklung optischer Vergrößerungshilfen, vor allem durch LEEUWENHOEK, werden genauere histologische Untersuchungen der Zahnhartsubstanzen und Entdeckungen im Bereich der histologischen Abläufe während der Embryonalphase der Zähne möglich. Allerdings wird das Mikroskop erst in den Untersuchungen PURKINJES und seines Schülers RASCHKOW konsequent als Hilfsmittel eingesetzt. Mit diesen Forschungen geht auch eine Standardisierung der feingeweblichen Untersuchungstechniken einher. Die Erkenntnisse RASCHKOWS hinsichtlich der Membrana praeformativa und NASMYTHS bezüglich des Schmelzoberhäutchens entfachen heftige Diskussionen im In- und Ausland. Die Erörterung über Art und Ursprung dieses Gewebes ist bis heute noch nicht abgeschlossen.

NASMYTH, OWEN, RETZIUS, PURKINJE, KÖLLIKER, WALDEYER, VON EBNER, PREISWERK und zahlreiche andere Forscher gaben der Zahnhistologie durch Bearbeitung des gesamten Gebietes aus unterschiedlichen Blickwinkeln die breite

wissenschaftliche Basis. Es zeigte sich, daß die Veröffentlichungen zum Teil bis heute einen maßgeblichen Einfluß auf die Histologie des Zahnes gehabt haben.

Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der dentalen Histologie und Histogenese ist auch im 20. Jahrhundert noch nicht abgeschlossen, da durch Kombination von Elektronenmikroskop und anderen biochemischen und radiologischen Untersuchungsverfahren noch vielfältige Forschungsmöglichkeiten gegeben sind.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. ARNOLD, Fr.: Kurze Angaben einiger anatomischer Beobachtungen. In: Medicinisch-chirurgische Zeitung 2 (1831), S. 236-239
2. BELL, Thomas: The anatomy, physiology, and diseases of the teeth. London 21835
3. BLAKE, Robert: Über die Struktur und die Entwicklung der Zähne beim Menschen und bei einigen Tieren. In: Reil's Archiv für die Physiologie 4 (1800), S. 314-338
4. BLAKE, Robert: An essay on the structure and formation of the teeth in man and various animals. Dublin 1801
5. BOYDE, A.: The history of „enamel fibres“. In: British dental journal 121 (1966), S. 85-89
6. BUNYAN, John: The history of the microscope. In: British dental journal 121 (1966), S. 55-58
7. CAMPBELL, J. Menzies: John Hunter. An address given to the dental students of the university of St. Andrews. 1952
8. CHADAREVIAN, Soraya de: Sehen und Aufzeichnen in der Botanik des 19. Jahrhunderts. In: Der Entzug der Bilder. Hrsg. von Michael Wetzell und Herta Wolf. München 1994, S. 121-144.
9. COHEN, R. A.: The development of dental histology in Britain. In: British dental journal 19 (1966), S. 59-71
10. COPE, Zachary: Sir John Tomes. A pioneer of British dentistry. London 1961

11. CZERMÁK, Johann: Beiträge zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Zähne. In: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. Leipzig 1850, S. 295-322
12. DEJUNG, Christof: Sehen – Begreifen – Verändern. Eine kleine Geschichte der Mikroskopie. In: Bulletin, Magazin der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich 269 (1998), S. 6-11
13. EBNER, Victor von: Strittige Fragen über den Bau des Zahnschmelzes. In: Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse 3. Bd. 99 (1890), S. 57-104
14. EBNER, Victor von: Entwicklung des Zahngewebes. In: Scheff's Handbuch für Zahnheilkunde. Bd. 1. Hrsg. von Julius Scheff. Wien/ Leipzig ³1909, S. 275-309
15. EBNER, Victor von: Histologie der Zähne mit Einschluß der Histogenese. In: Scheff's Handbuch der Zahnheilkunde. Bd. 1. Hrsg. von Julius Scheff. Wien/ Leipzig ⁴1922, S. 209-262
16. EUSTACHIUS, Bartholomaeus: Libellus de dentibus. Venedig 1563. Neudruck Wien-Insbruck 1951
17. FRAENKEL, Meyer: De penitiori dentium humanorum structura observationes. Med. Diss. Breslau 1835
18. GLASSTONE, Shirley: The concept of tooth development during the seventeenth, eighteenth and nineteenth centuries. In: Bulletin of the history of dentistry 13/ 1 (1965), S. 15-54
19. GOODSIR, John: On the origin and development of the pulps and sacs of the human teeth. In: Medical surgery journal. 51 (1839), S. 1-38

20. HAVERS, Clopton: Some observation of the teeth. In: *Osteologia nova or some new observations of the bones*. London 1691, S. 78-88
21. HELMCKE, J.-G.: Bau und Struktur der Zahnhartsubstanzen. Ergebnisse licht-, polarisations- und elektronenmikroskopischer Forschung. In: *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 15 (1960), S. 155-168
22. HERRISSANT, Francois David H.: Nouvelle recherches sur la formation de l'émail des dents, et sur celle des gencives. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris 1754, S. 429-434
23. HERRISSANT, Francois David H.: Eclaircissemens sur l'ossification. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*. Paris 1758, S. 322-336
24. HIRE, Philippe de la: Sur les dents. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Année 1699*. Paris 1702, S. 41-43
25. HOFFMANN-AXTHELM, Walter: *Die Geschichte der Zahnheilkunde*. Berlin 1985
26. HOOLE, Samuel (Hrsg.): *The selected works of Antony van Leeuwenhoek*. Bd. 1. London 1798
27. HUGHES, A.: Studies in the history of microscopy. The influence of achromatism. In: *Journal of the Royal microscopic society* 75 (1955), S. 1-22
28. HUNTER, John: *The natural history of the human teeth*. 2 Bde. London, 1778. Reprinted as a special edition for the classics of medicine library. Alabama, 1980
29. HUXLEY, Henry: On the development of the teeth, and on the nature and import of Nasmyth's „Persistent Capsule“. In: *Quarterly Journal of microscopical science* 1 (1853), S. 149-164

30. KÖLLIKER, Albert: Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen. 2 Bde. Leipzig 1852
31. KÖLLIKER, Albert: Die Entwicklung des Zahnsäckchens der Wiederkäuer. In: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie 12 (1863), S. 455-460
32. KÖLLIKER, Albert: Handbuch der Gewebelehre des Menschen. Hrsg. von W. Engelmann. Leipzig ⁵1867
33. KÖLLIKER, Albert: Grundriß der Entwicklungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. Leipzig 1880
34. LEEUWENHOEK, Anthony van: Microscopical observations of the structure of teeth and other bones. In: Philosophical transactions 140 (1678), S. 1002
35. LEGROS, Charles; Magitot, Emile: Origine et formation du follicule dentaire chez les mammifères. In: Journal d'anatomie et de la physiologie 9 (1874), S. 449-503
36. LENT, Eduard: Über die Entwicklung des Zahnbeins und des Schmelzes. In: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie 6 (1855), S. 121-134
37. LENT, Eduard: On the development of the dentine and enamel. In: British journal of dental science 2 (1856-57), S. 319-324; S. 350-353
38. LINDERER, C. J.; Linderer, Joseph: Handbuch der Zahnheilkunde. Bd. 1. Berlin ²1842
39. LINDERER, Joseph: Handbuch der Zahnheilkunde. Bd. 4. Berlin ²1848
40. LINDERER, Joseph: Die Zahnheilkunde nach ihrem neuesten Standpunkte. Erlangen 1851

41. MALPIGHI, Marcello: *Anatomes plantarum idea*. In: *Opera omnia*. London 1686
42. MÜLLER, Johannes: *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Bd. 2. Koblenz 1840, S. 775
43. NASMYTH, Alexander: *Report on a paper on the cellular structure of the ivory, enamel, and pulp of the teeth*. Reprinted by the British Association for the Advancement of Science. London 1839
44. NASMYTH, Alexander: *Three memoirs on the development and structure of the teeth and epithelium*. London 1842
45. NASMYTH, Alexander: *Researches on the development, structure, and diseases of the teeth*. London 1849
46. OWEN, Robert: *Odontography; or a treatise on the comparative anatomy of the teeth*. 2 Bde. London 1840-45
47. PREISWERK, Gustav: *Beiträge zur Kenntnis der Schmelzstruktur bei Säugethieren mit besonderer Berücksichtigung der Ungulaten*. Med. Diss. Basel 1895
48. RASCHKOW, Isaak: *Meletemata circa mammalium dentium evolutionem*. Med. Diss. Breslau 1835
49. RAU, Johannes Jakobus: *De ortu et regeneratione dentium*. Med. Diss. Leiden 1694
50. RETZIUS, Anders Adolph: *Bemerkungen über den inneren Bau der Zähne, mit besonderer Rücksicht auf den im Zahnknochen vorkommenden Röhrenbau*. In: *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*. Hrsg. von Johannes Müller. Berlin 1837, S. 486-566

51. ROSENTHAL, Friedrich: Über die Schmelzbildung der Zähne. In: Archiv für die Physiologie 10 (1811), S. 319-325
52. SCHREGER, D.: Beitrag zur Geschichte der Zähne. In: Beiträge zur Zergliederungskunst 1 (1800), S. 1-7
53. SCHWANN, Theodor: Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen. Berlin 1839. [Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Bd. 176. Leipzig 1910]
54. TANNEBERGER, Helmut: Die Ärztesfamilie Linderer und ihre Verdienste um die Zahnheilkunde. Med. Diss. Düsseldorf 1936
55. TOMES, Charles: A manual of dental anatomy. London 1876
56. TOMES, Charles: Die Anatomie des Menschen und der Wirbeltiere sowie deren Histologie und Entwicklung. Übersetzt und bearbeitet von Ludwig Hollaender. Berlin 1877
57. TOMES, Charles: A manual of dental anatomy, human and comparative. London⁵ 1898
58. TOMES, John: On certain conditions of the dental tissues. In: Quarterly journal of microscopical science 4 (1856), S. 97-104
59. TOMES, John: A system of dental surgery. London 1859
60. TOMES, John: Ein System der Zahnheilkunde. Leipzig 1861
61. TOPPAY, Wolfgang: Die Entwicklung und die feinere Struktur der Zähne in der deutschen medizinischen Literatur von 1780-1880. Med. Diss. Fankfurt a. M. 1953

62. VESAL, Andreas: De humani corporis fabrica libri septem. Lib. I „De dentibus“. Basel 1543. Neudruck Brüssel 1964
63. WALDEYER, Wilhelm: Untersuchungen über die Entwicklung der Zähne. In: Königsberger medicinische Jahrbücher 4 (1864), S. 236-299
64. WALDEYER, Wilhelm: Über die Entwicklung der Zähne. Teil 2. In: Zeitschrift für rationelle Medicin. 3. Reihe, Bd. 24 (1865), S. 169-213
65. WALDEYER, Wilhelm: Structure and development of the teeth. In: Manual of human and comparative histology. Hrsg. von S. Stricker. London 1870-73, S. 463-496
66. WALKHOFF, Otto: Beiträge zum feineren Bau des Schmelzes und zur Entwicklung des Zahnbeines. Med. Diss. Erlangen 1897

7 DANKSAGUNG

Im Rahmen dieser Promotion bedanke ich mich herzlich bei Frau Professor Doktor Irmgard Müller für die offene und freundliche Annahme meines Promotionsthemas und ihre zahlreichen konstruktiven Anregungen und Hilfestellungen.

Meinem Kollegen Dr. Klaus Musebrink und seiner Ehefrau Angelika danke ich für ihr Verständnis und ihre Unterstützung durch fortwährende Motivation und fachliche Ratschläge.

Erwähnen möchte ich auch Frau Bovensmann und Herrn Wirtz von der Fernleihstelle der Stadt- und Landesbibliothek Dortmund für ihr großes Engagement bei der zum Teil sehr schwierigen Auffindung und Beschaffung der benötigten Literatur.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir mit großer persönlicher und finanzieller Unterstützung das Studium der Zahnmedizin ermöglicht und mich mit viel Geduld, Einfühlungsvermögen und Vertrauen in meine Fähigkeiten durch die Promotion begleitet haben.

8 LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Nina Eckardt
 Geboren: 18. 09. 1971 in Dortmund
 Familienstand: ledig

Schulbildung

1977 – 1981 Grundschule in Witten
 1981 – 1990 Albert-Martmöller-Gymnasium in
 Witten
 Abschluß: Abitur

Studium

1990 – 1993 Studium der Fächer Anglistik, kath.
 Theologie, Pädagogik an der Ruhr-
 Universität Bochum
 Oktober 1993 Immatrikulation im Fach
 Zahnmedizin an der Universität
 Witten/ Herdecke
 Oktober 1994 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
 an der Universität Witten/ Herdecke
 März 1996 Zahnärztliche Vorprüfung an der
 Universität Witten/ Herdecke
 Dezember 1998 Staatsexamen an der Universität
 Witten/ Herdecke

Berufliche Daten

Januar 1999 – Februar 2001 Vorbereitungsassistentin bei Dr. med.
 dent. Klaus Musebrink in Dortmund
 Seit April 2001 Niedergelassen in
 Gemeinschaftspraxis mit Dr. med.
 dent. Klaus Musebrink in Dortmund