

2. Amelogenesis und Zahnschmelz

Die Substantia adamantina (Zahnschmelz) ist ein vollständig zellfreies Hartmaterial, welches als ein kristallines Gefüge und als Produkt zellulärer Leistung, dem Kronenabschnitt des Dentins kappenartig aufsitzt.

Die Schmelzbildung selbst entsteht aus 3 gleichzeitig ablaufenden Prozessen. So bildet sich aus der Schmelzmatrix die härteste Substanz des menschlichen Organismus, welche nach der Eruption des Zahnes keinem aktiven Stoffwechsel mehr unterliegt.

2.1. Zahnentwicklung

Die Zahnentwicklung beginnt in den ersten Wochen der Embryonalperiode. Nach der Gastrulation induziert das Ektomesenchym in dem darüber liegenden Epithel der Mundhöhle eine verstärkte Mitoseaktivität. Gleichzeitig steigt die Kapillardichte im Mesenchym der zahnbildenden Region an (Slavkin 1974). Darauf erfolgt unmittelbar durch lokale Zellvermehrung im zweiten Embryonalmonat die Bildung der Zahnleiste. Geschichtetes Plattenepithel der Mundhöhlenschleimhaut senkt sich streifenförmig in der Gegend der zukünftigen Zahnreihen als Zahnleiste in die Tiefe (Geyer 1980). Durch lokale Zellvermehrung treten an der vestibulären Seite der Zahnleiste im Oberkiefer und Unterkiefer je 10 Zahnanlagen auf. Diese Zahnanlagen durchlaufen das knospen-, kappen- und glockenförmige Stadium. So entstehen beispielsweise in der 8. Woche die Anschwellungen der ersten Milchmolaren, und erst nach der 10. Embryonalwoche ist die Anlage für den zweiten Milchmolaren erkennbar (Stiefel 1987). Jede Zahnglocke entspricht bereits grob der Form des Zahnes, der später aus ihr hervorgehen wird. Je größer die Molarenanlagen werden, desto mehr Einfaltungen entwickeln sich im Glockenstadium zur Bildung des Höcker-Fissurenreliefs (Radlanski 1993). Im Kappenstadium differenzieren sich aus den Zellen des inneren Schmelzepithels die Ameloblasten. Die besondere Aktivität des inneren Schmelzepithels kommt auch in stoffwechselphysiologischen Untersuchungen zum Ausdruck (Töndury 1956, Hermann 1956, Lenz

1958, Pilz et al. 1980). Erwähnenswert sind ebenfalls Wechselbeziehungen zwischen innerem Schmelzepithel und Zahnpulpa. Das innere Schmelzepithel übt eine induzierende Wirkung auf die Zahnpulpa aus und initiiert die Odontoblastenbildung.

Die äußeren Zellen der Zahnpapille differenzieren sich zu Odontoblasten, welche Dentinmatrix ablagern. Dentin kann im Gegensatz zum Schmelz zeitlebens nachgebildet werden (Blechsmidt 1978, Suga 1983). Durch Tiefenwachstum werden die Ränder der Zahnglocke verlängert und bilden damit die Hertwigsche Epithelscheide. Auf diese Weise wird die Form für die Wurzelbildung der Zähne vorgegeben. Kennzeichnend für die Zahnentwicklung ist ihr periodisch wellenförmiger Verlauf, welcher zahlreiche strukturelle Eigentümlichkeiten des Schmelzes besser verstehen lässt.

2.1.1 Schmelzbildung

Die eigentliche Amelogenese setzt im Glockenstadium ein, jedoch erst nachdem sich ein schmaler Saum Dentinmatrix abgelagert und mineralisiert hat. Wir müssen bei der Schmelzbildung drei nebeneinander ablaufende Vorgänge erwähnen:

1. Bildung der Schmelzmatrix, wobei sich diese in eine Sekretionsphase und in eine Resorptionsphase unterteilt.
2. Mineralisation der Schmelzmatrix und
3. Schmelzreifung.

Bei der Sekretionsphase entstehen die Grundsubstanzen für die Schmelzmatrix. In der Resorptionsphase unterliegen Teile der Matrix der Einschmelzung, um die Mineralisation zu ermöglichen.

Am Anfang der Matrixsekretion verlängern sich die Ameloblasten, verlieren ihre Teilungsfähigkeit und nehmen den Charakter sezernierender Zellen an.

Die Ameloblasten, die jetzt einen Durchmesser von 7 Mikrometer erreicht haben, sind nicht mehr teilungsfähig und haben damit durch ihre Konstanz

die endgültige Anzahl der zu bildenden Schmelzprismen festgelegt (Stiefel 1987). So stimmt, obwohl jeder Ameloblast an mehreren Prismen beteiligt ist, die Gesamtzahl von Prismen und Ameloblasten überein.

Die sezernierenden Ameloblasten des Menschen besitzen eine charakteristische Gliederung. Im distalen (apikalen) Pol konzentrieren sich die an der Matrixproduktion beteiligten Zellorganellen. Hier sei kurz auf die Abgabe der Matrix eingegangen.

Palade-Granula auf den Oberflächen des Endoplasmatischen Retikulums synthetisieren Kohlenhydratkomponenten der Schmelzmatrix, aus denen Glykoproteine entstehen und zum Golgi-Apparat transportiert werden. Die Golgi Schläuche schnüren sich ab. So entstehen Vakuolen, die die Vorstufen der Schmelzmatrix enthalten (Frank u. Nalbandian 1967). Sie wandern in 20 bis 30 Minuten durch das Zytoplasma hindurch zum distalen Pol, um schließlich über den Tomes-Fortsatz ihren Inhalt in die Interzellulärsubstanz abzugeben (Schroeder 1982). So funktioniert der Ameloblast wie eine ekkrine Drüse und gibt tröpfchenweise die Schmelzmatrix ab. Durch zunehmende Schmelzablagerung bewegen sich zwangsläufig die Ameloblasten in Richtung auf das äußere Schmelzepithel zu. Dieser Weg verläuft leicht S-förmig, durchaus mit komplizierten Schwenkungen.

Der Beginn der Ablagerungen erfolgt zuerst in der Höckerregion und breitet sich von dort auf die gesamte Schmelz-Dentin-Grenze aus. Wenn der Schmelz seine vorgesehene Dicke erreicht hat, zieht der Ameloblast den Tomes-Fortsatz, eine kegelförmige Ausstülpung, ein und versiegt mit Ablagerung einer dünnen prismenfreien Schmelzlage.

2.2. Mineralisation und Reifung

Wir müssen die Entwicklung und Reifung der Zähne als einen biologischen Vorgang verstehen, der sich für den einzelnen Zahn über viele Jahre erstreckt. Diese Zeitspanne reicht von der Ausdifferenzierung der ursprünglich verhältnismäßig gleichförmigen Keimanlagen bis zum Abschluss der Schmelzmineralisation. Gerade während dieser Zeit kommt

es durch verschiedenste Faktoren zu einer Beeinflussung der Mikro- und Makrostruktur der Zähne.

2.2.1 Mineralisation

Die Mineralisation, als Imprägnierung einer organischen Matrix mit schwerlöslichen Calciumphosphaten zu verstehen, beginnt sofort nach der Matrixsekretion, wenn diese eine Breite von $0,1\mu\text{m}$ erreicht hat. In dieser ersten initialen Phase kommt es zur Bildung sogenannter Kristallkeime (Nukleation). Durch Zusammenfügen kleinster Bausteine, der Elementarzellen, zu einem Raumgitter mit geometrisch regelmäßiger Anordnung der Atome, entsteht ihre makroskopische Gestalt. Newesely (1965) fasst den Grundriss einer Elementarzelle als hexagonal auf. Diese Elementarzellen sind in Abständen von $0,687\text{ nm}$ aufeinandergepackt und ergeben die hexagonal prismatische Form. Die Kristalle wachsen durch Aufnahme gleichartiger Substanz (Epitaxie) oder durch Zusammenlagerung von mehreren Primärkristallen. Bei weiterer Vergrößerung stoßen sie mit Nachbarn zusammen und müssen von ihrer Idealform abweichen. Sie entstehen im Schmelz während der präeruptiven Reifung (Stiefel 1987). Zahlreiche dieser Kristallkeime wachsen rasch in die Länge und bilden auffällig lange und äußerst dünne Nadeln bzw. Plättchen. Mit Hilfe der Elektronenbeugung konnten sie als Apatit identifiziert werden (Frank und Nalbandian 1967). Sie sind etwa $1,5\ \mu\text{m}$ dick, besitzen aber bereits die Länge eines reifen Kristallits. Unmittelbar nach ihrer Entstehung beginnen die Kristalle nach bisheriger Ansicht weitere Ionen anzulagern und in die Dicke zu wachsen. Eine Zusammenlagerung mehrerer dieser dünnen Nadeln wird für wahrscheinlich gehalten (Höhling 1966, Höhling et al. 1982, Stiefel und Binus 1991).

Während dieser ersten Phase (primäre Schmelzreifung) werden etwa 25% des anorganischen Gehaltes des vollständig mineralisierten Schmelzes erreicht.

Im weiteren Abstand von $0,5$ bis $1\mu\text{m}$ folgt eine zweite Mineralisationsphase (sekundäre Schmelzreifung). In dieser herrscht Kristallwachstum vor, wodurch es zur Vergrößerung der einzelnen

Kristallite kommt. Damit erhöht sich der Grad der Mineralisationsdichte (auf 86 %).

Der Transport der Mineralionen zum Fällungsort erfolgt intrazellulär (in geringem Maße) als auch extrazellulär. Mit Hilfe der Autoradiographie konnte der intrazelluläre Transfer von Calcium mit Hilfe spezieller Vesikel durch das Zytoplasma der Ameloblasten bewiesen werden (Nagai und Frank 1975).

Auch Bawden (1982) verfolgte mit anderen Untersuchungsmethoden die Bereitstellung der mineralisationsentscheidenden Ionen (Calcium, Phosphat, Fluor). Erwähnung findet hierbei das Schmelzorgan als entscheidender Regulator, der die Ionen quantitativ und qualitativ kontrolliert und beeinflusst. So gelangen beispielsweise Phosphat-Ionen durch die extrazelluläre Flüssigkeit an ihren Reaktionsort, ohne einer zellulären Beeinflussung zu unterliegen. Phosphat-Gruppen können auch in Metabolite integriert zum Mineralisationsort gelangen und dort enzymatisch abgespalten werden (Heyden und Arwill 1971).

2.2.2 Präeruptive Schmelzreifung

Zusammenfassenderweise sind bei der Amelogenese drei Reifungsphasen zu unterscheiden: die primäre, sekundäre und tertiäre Schmelzreifung.

Die primäre und sekundäre Schmelzreifung, auch als erste und zweite Mineralisation bezeichnet, sind dem Begriff präeruptive Schmelzreifung unterzuordnen.

Während der ersten Reifungsphase erfolgt durch Entzug organischer Substanzen der abgelagerten Schmelzmatrix die Kristallkeimbildung. Unter der zweiten Reifungsphase werden eine Reihe von Prozessen verstanden, die das kristalline Gefüge Schmelz entstehen lassen. Diese Prozesse betreffen das Wachstum der Schmelzkristalle, den Verlauf der Verdichtung und Erhärtung des mineralisierenden Gefüges, die selektive Änderung in der Zusammensetzung der Schmelzmatrix, die Volumenschrumpfung von organischer Matrix und den Verlust von Wasser

sowie die mit diesen Prozessen untergehenden Zellaktivitäten im Schmelzorgan.

Die Schmelzkristalle erlangen während der sekundären Schmelzreifung ihre endgültige Größe (80 nm breit, 1000 nm lang). Die Matrix selber kann nie gänzlich verdrängt werden. Sie bewirkt eine verbleibende Porosität der Mineralsubstanz (Stiefel 1987).

Zahnschmelz erhält in der präeruptiven Reifungsphase etwa 65 bis 75 % seines Mineralanteils. Die endgültigen Werte nach der tertiären Schmelzreifung betragen etwa 92 % für temporäre, 98 % für permanente Zähne (Schmidt 1982).

Von der Schmelzdentingrenze im koronalen Bereich ausgehend, breitet sich die Schmelzverdichtung zentrifugal aus und erreicht die Oberfläche des dann in seiner endgültigen Dicke gebildeten Schmelzes cuspidal / inzisal zuerst. Die unmittelbar der Schmelzdentingrenze aufliegenden Schmelzanteile gelangen als erste in dieses hohe Reifestadium.

Entlang der Schmelzdentingrenze entsteht eine schmale Zone prismenfreien Schmelzes, da die Ameloblasten zu diesem Zeitpunkt erst etwas verzögert ihre Tomes-Fortsätze entwickeln.

Mit Hilfe von Mikroindruck-Härtemessungen ließ sich folgendes eindeutig nachweisen: Obwohl dieser Bereich als erster mineralisiert wird und rasch ausreift, bleibt er im Endstadium die weichste Schicht des gesamten Schmelzanteils (Stiefel 1987).

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass Zunahme und Ausbreitung der Mineralisationsdichte von Kristallwachstum und Abnahme des Matrixvolumens sowie einer Änderung der Matrixzusammensetzung begleitet sind.

Während die ursprünglich dünnen und schmalen Schmelzkristalle durch weitere Aufnahme von Mineralionen in die sich bildenden Kristallgitter an Größe zunehmen, nimmt der wässrige und organische Gehalt des Schmelzes ab (Cooper 1968, Angmar-Mansson 1970). Gleichzeitig vermindert sich die Prolin- und Histidinkonzentration (Eastoe 1963). Durch das Wachstum der Kristalle werden allmählich die Fugen und Spalträume

an den Prismengrenzen und zwischen den Kristallen ausgefüllt. Dadurch kommt es im Endstadium zu unregelmäßig geformten Resträumen. Um diese mit anorganischem Material aufzufüllen, müssen die wachsenden Kristalle von ihrer gesetzmäßigen Form abweichen, weil bestimmte Räume von Nachbarn bereits besetzt sind. Diese unregelmäßig strukturierten Kristalle (es handelt sich um den größten Teil des Schmelzes) werden dann als Kristallite bezeichnet (Stiefel 1987).

Zusammenfassend sei noch einmal erwähnt, dass Matrixbildung mit initialer Mineralisationsphase und Reifungsprozesse gleichzeitig oder alternierend ablaufen.

Da die Ultrastruktur und die Zellaktivität der menschlichen Ameloblasten während der verschiedenen Phasen der Schmelzbildung erst wenig untersucht worden sind, sei es erlaubt, Theorien über die Art, in der hier die Schmelzbildung von den Ameloblasten gesteuert wird, zu erwähnen.

Nach Osborn (1970), sowie Stiefel (1987) ist es wahrscheinlich, dass der Ameloblast beim Menschen während der gesamten Schmelzbildungsphase gleichzeitig sekretorisch und resorbierend aktiv ist. Es wird angenommen, dass die Ameloblasten an verschiedenen Flächen ihres Tomesschen Fortsatzes unterschiedliche Tätigkeiten ausführen. Die einen Areale sezernieren, andere resorbieren. So üben die Ameloblasten (dreidimensional gesehen) an mehreren in Bildung begriffenen Prismen mit ihren Fortsatzflächen an jüngeren Prismenenden Matrixsekretion und an benachbarten, aber wenig älteren Prismen Matrixresorption aus, welche schließlich in mineralisierende Vorgänge mündet (Stiefel 1987).

Bei den gut untersuchten Nagetieren (Rodentia) sind die beiden Funktionen zeitlich getrennt. Nach Beendigung der Matrixbildung entfalten sie ausschließlich resorbierende Aktivität und erscheinen strukturell dann als verkürzte Zellen (Schroeder 1992, 1993).

2.2.3 Posteruptive Schmelzreifung

Die posteruptive (tertiäre) Schmelzreifung läuft nach dem Durchbruch des Zahnes ab, da die sekundäre Schmelzreifung bis zur Zahneruption den Zahnschmelz nicht zum mineralisierten Endzustand führt.

Der posteruptive Reifungsprozess ist somit durch Vorgänge charakterisiert, die die Zahnoberfläche in ihrer Qualität verbessern. In die Oberfläche werden über die Deckschicht aus dem Speichel vor allem Phosphat-, Kalzium- und Fluorionen aufgenommen. In der Folge der dabei ablaufenden physikalisch-chemischen Vorgänge kommt es nach Künzel (1979) zu schrittweisen quantitativen wie qualitativen Veränderungen:

- geringer Wassergehalt (Abnahme des Schmelzliquors)
- Rückgang des Karbonat-, Ziträt- und Laktatgehaltes
- Anstieg von Stickstoff (Protein), Fluor, Eisen und Blei
- Permeabilitätseinschränkung für die verschiedensten

Moleküle

- verminderte Reaktionsfähigkeit mit Säuren, infolge Absättigung freier Valenzen der mineralischen und organischen Fraktionen
- geringere Kariesanfälligkeit

Der Reifungsprozess vollzieht sich nicht kontinuierlich, sondern wird von den sich wandelnden Milieubedingungen des Zahnes beeinflusst. So nimmt der Mineralgehalt des Schmelzes postnatal um weitere 20 % zu und gelangt in ein Endstadium.

2.3. Schmelzstruktur

Durchlichtmikroskopische Untersuchungsergebnisse von der Schmelzstruktur hat erstmals Retzius (1835) vorgelegt (s. auch Kreter und Pantke 1979). Die größte strukturelle Untereinheit des Schmelzes ist das licht- und elektronenoptisch darstellbare Schmelzprisma.

Schmelzprismen sind aus Apatitkristallen zusammengesetzte "Stäbe", welche als nur zum Teil deutlich abgegrenzt definiert werden. Ihr Verlauf von der Schmelzzementgrenze bis dicht unter die Schmelzoberfläche ist bogenförmig, im Bereich der Höcker spiralförmig (Gustafson 1945, Osborn 1968). Der Schmelz erhält durch den bogigen Verlauf eine höhere Elastizität und beugt dadurch der Bruchgefahr vor (Stiefel 1987).

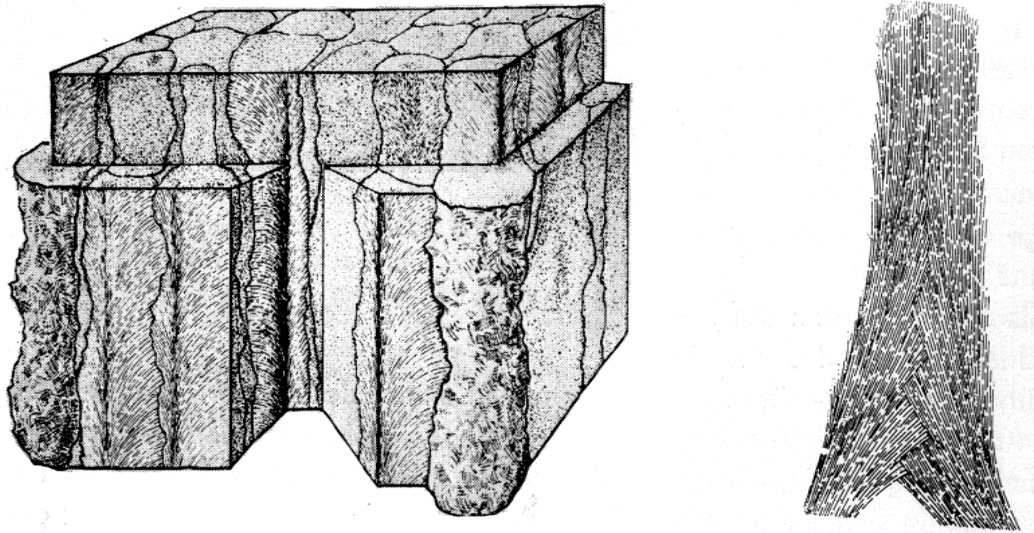


Abb. 1:

Links: Blockdiagramm von ineinander verzahnten Prismen. Die Kristallite (kleine Punkte und Striche) an der Prismengrenze besitzen größere Anstellwinkel zur Peripherie. Im Prismenzentrum verlaufen sie in Achsenrichtung (Meckel et al. 1965)

Rechts: Verzahnung der Kristallite an der Prismengrenze ohne zwischengelagerte organische Substanz (Helmcke et al. 1963)..

Schmelzprismen treten in verschiedenen Strukturen auf. Meckel et al. (1965) berichteten zusammenfassend über die ultrastrukturelle Form der Schmelzprismen. Sie bezeichneten querschnittene Prismen, welche in ihrer Form an Schlüssellocher erinnern, als "key-hole-configuration". Genau diesen Prismentyp bezeichnete Boyde (1965) als "Vogelschwinger-Typ", der seiner Meinung nach als häufigste Form anzutreffen sei. Dieser Auffassung widersprechen Swancar et al. (1970), die sich für den Pferdehuftyp als häufigste Schmelzprismenform aussprechen (Schroeder 1976, Winkler 1984). Der Pferdehuftyp (Hufeisentyp) zeigt einen arkadenförmigen Querschnitt, bei dem die

einzelnen Prismen nicht gegeneinander versetzt sind, sondern in einer Reihe übereinander liegen (Meckel et al. 1965, Swancar et al. 1970).

Schließlich haben Glimcher et al. (1965) einen zylindrischen, dritten Typ beschrieben, wobei die einzelnen Prismen auf Lücke liegen, so dass ein äußerst enger Verbund zustande kommt.

Die Zahl der Prismen pro 1 mm^2 variiert von koronal nach zervikal. Fosse (1964, 1968) konnte zeigen, dass auf 1 mm^2 Zahnoberfläche etwa 20.000 - 30.000 Prismen zulaufen, die Schmelzdentingrenze aber eine etwa 10 % höhere Schmelzprismendichte enthält.

Apatitkristalle im Schmelz weisen eine hexagonale Stab-Form auf, wobei das Volumen etwa 200 mal größer ist als das der Dentinapatitkristalle.

Die Gesamtheit der Kristalle ist in eine strukturlose organische Matrix eingebettet, die im ausgereiften Schmelz nur 1 bis 2 % des Volumens einnimmt (Angmar-Mansson 1970).

Die Apatitkristalle verlaufen im Prismenzentrum in Achsenrichtung, annähernd parallel zum Prismenverlauf. Zu den Prismengrenzen hin vergrößert sich ihr Neigungswinkel.

Nach Winkler (1984) konnte der mit 73 Grad angegebene Neigungswinkel der Kristalle zur Prismenlängsachse in der Mehrzahl der Fälle bestätigt werden, doch lassen sich auch wesentlich höhere Winkel, bis 90 Grad, nachweisen.

2.3.1 Makro- und Mikrostruktur

Die Kronenform des Zahnes ist genetisch bestimmt. Sie kann lediglich während des Bildungsvorganges beeinflusst werden. Mikroskopisch gibt es zahlreiche spezifische Strukturmerkmale des Schmelzes. Sie treten an der Schmelzdentingrenze im gesamten Schmelzmantel sowie auch nur an der Schmelzoberfläche auf.

Strukturen, die von der Schmelzdentingrenze in den Schmelz einstrahlen, sind Schmelzbüschel und Schmelzlamellen. Sie bestehen aus organischer Substanz ohne Mineralanteil. Die präeruptiv während der Amelogenese entstehenden Lamellen müssen jedoch von den prä- und posteruptiv

entstehenden Schmelzsprüngen unterschieden werden. Erwähnenswert sind sogenannte Prismenquerstreifen im peripheren Schmelz. Nach Meyer (1958) kann man so viele Querstreifen zählen, wie ein Prisma Tage zu seiner Bildung braucht.

Im gesamten Schmelzbereich finden sich periodisch Retzius-Linien, zurückzuführen auf Mineralisationsunterschiede während der Amelogenese. Nach Osborn (1971) schwankt der Abstand von Linie zu Linie zwischen 4 und 150 μm . Retziusstreifen beruhen häufiger auf einer Hypomineralisation als auf einer Hypermineralisation (Gustafson und Gustafson 1967).

Von struktureller Bedeutung aller temporären Zähne ist die Neonatallinie, die Grenze zwischen prä- und postnatal gebildetem Schmelz. Sie stellt entwicklungsgeschichtlich und ontogenetisch die erste Retziuslinie im laktalen Zahn dar. Im pränatal entstandenen Schmelz kommen keine Retziuslinien vor. Sie tauchen chronologisch erst nach der Neonatallinie auf.

Erreichen die Retzius-Linien die Schmelzoberfläche, so finden sich an deren Mündungsstellen Vertiefungen (Imbrikationslinien = „Wellentäler“). Sie sind durch degenerative Reaktionen der Ameloblasten entstanden, die in einem Zeitraum von Stunden bis mehreren Tagen weniger Schmelz gebildet haben oder sogar vorzeitig die Amelogenese völlig einstellten und zugrunde gingen. Zwischen den Phasen verminderter Schmelzablagerung sind die benachbarten Ameloblasten zur orthologischen Hartgewebsbildung fähig. Dabei entstehen oberflächliche Substanzüberschüsse auf der Schmelzoberfläche (= aufgeworfene Anteile = „Wellenberge“). Dieses zirkulär verlaufende wellenförmige Relief bildet in seiner Gesamtheit ein waschbrettähnliches Oberflächenmuster, die Perikymatien. In einem Abstand von 30-100 μm folgen einzelne Perikymatien aufeinander (Scott et al. 1949, Kröncke 1966). Sie glätten sich durch Abrasionen. Nach Pedersen und Scott (1951) findet sich bei Fünfzigjährigen lediglich noch in 10-15 % aller Zähne ein Perikymatienmuster.

2.4. Zahnoberfläche

Die im vorstehenden Kapitel aufgeführten Makro- und Mikrostrukturen sind, wie schon erwähnt, entwicklungsgeschichtlich bedingt. Sie werden während ihrer Funktionsperiode durch exogene und endogene Faktoren überlagert und variiert.

2.4.1 Die Zahnoberfläche beeinflussende Faktoren

Aufgrund von Wechselwirkungen zwischen der Schmelzoberfläche und ihrer Umgebung sind einzelne Faktorenkomplexe hervorzuheben, die sowohl die Strukturen der Schmelzoberfläche als auch deren chemische Zusammensetzung beeinflussen und in gewissen Grenzen verändern können.

Aufzuführen sind:

1. Zahnoberhäutchen
2. weiße Beläge (Materia alba)
3. Speichel
4. Plaque
5. Zahnstein

Schüle (1962) unterscheidet:

1. das primäre ZOH = Ameloblastenkutikula
2. das sekundäre ZOH = Epithelkutikula
3. das tertiäre ZOH = erworbenes ZOH = Pellikel

Unterschiedliche Auffassungen manifestieren bestehende Unklarheiten über die genaue Genese.

Büttner et al. (1965) sahen das ZOH als bakterielles Gebilde, Gustafson (1945) erläuterte das ZOH als farbige Prismenhülle. Schüle (1962) unterteilte die Cuticula dentis (Schmelz- oder Zahnoberhäutchen) nach genetischen Gesichtspunkten in die Adamantoblastenkutikula, die

Epithelkutikula und das exogene Zahnoberhäutchen. Während die beiden ersten Bildungen in der Funktionsperiode des Zahnes bald durch Abnutzung verschwinden, wird die exogen entstehende Membran ständig neu gebildet, bei Beschädigungen rasch ersetzt. Das Zahnoberhäutchen stellt einen Schutz für die Schmelzoberfläche dar. Es ist in gewissem Grad widerstandsfähig gegen Säuren, Alkalien und enzymatische Einflüsse. Obwohl es im Mittel nur 1-5 µm dick ist, kann es zusätzlich auch gegen leichte mechanische Einwirkungen schützen. Daher werden bei der in dieser Arbeit vorliegenden Fragestellung geringere Kräfte nicht immer Veränderungen auf der Schmelzoberfläche hinterlassen. In der Regel muss die organische Membran mechanisch lädiert sein, wenn sich auf der Mineralfläche Spuren manifestieren. Im Nachhinein sind Kratzer und Rillen bereits nach kürzester Zeit ebenfalls vom erworbenen Zahnoberhäutchen wieder bedeckt. Bei der Beurteilung von Usuren usw. ist zu berücksichtigen, dass sowohl am unreifen als auch am völlig maturierten Schmelz zur Nivellierung des Kratzerpatterns stets wieder die weichere und elastische Membran abgetragen oder zerstört werden muss, man also nicht auf die absoluten Kräfte rückschließen kann, die für das Entstehen von Beschädigungen der Mineraloberfläche nötig sind.

2.5. Substanzverluste der Zahnoberfläche

Im Laufe seiner Gebrauchsperiode ist sowohl das temporäre als auch das permanente Gebiss ständigen Veränderungen unterworfen.

Diese Zahnhartsubstanzverluste sind individuell unterschiedlich. Im Milchgebiss treten Abnutzungsvorgänge sehr bald nach dem Durchbruch der Zähne ein, beginnend mit initialen Kratzern bis hin zu Prismenfrakturen und enden im Extrem mit dem sichtbaren Verlust ganzer Schmelzareale (Arlt 1995, Mannerberg 1960).

2.5.1 Mechanisch bedingte Verluste

Die physiologische Substanzverminderung an den Kauflächen, den Schneidekanten und an den Seitenflächen der Zahnkrone wird als Abrasio

dentis bezeichnet. Es gibt horizontale und vertikale Abrasionen sowie verschiedene Arten des Abrasionsgeschehens, wie Demastikation, Attrition und artifizielle Abrasion.

Die Vielzahl der unterschiedlichen Ansichten zur Abrasio dentis sind erwähnenswert. Wannemacher (1941) führte die dentale Abrasion auf die Schleifkraft der Nahrung und ihre Verunreinigung zurück. Wild (1950) machte den direkten Kontakt der Zähne während des Kauvorganges für das Entstehen der Abrasionen verantwortlich. Im Gegensatz dazu sahen Hildebrandt (1940) und Jankelson et al. (1953) die Ursache der Schliiffacetten an den Zähnen im Gegeneinanderreiben der Zähne unabhängig vom Kontakt.

Die Abrasio beginnt bereits in den ersten Nutzungsphasen des Milchgebisses. Am Beispiel der bleibenden Schneidezähne zeigt sich diese Veränderung noch deutlicher. Aus dem anfangs wellenförmigen, meist dreigezackten Margo incisalis entsteht, sobald er mit dem Antagonisten in Kontakt tritt, die geradlinige Schneidekante, die sich schließlich in der weiteren Gebrauchsperiode bis zur "Abrasionspfanne" umbilden kann. Diese "Abrasionspfanne" ist gekennzeichnet durch das fehlende Positiv-Negativ-Verhältnis der antagonistischen Schliiffacetten. Beide Abrasionsflächen zeigen muldenförmige Vertiefungen (Birke, 1965).

Erwähnenswert sind zahlreiche Gründe, die das Abrasionsgeschehen als nützlichen Vorgang kennzeichnen. Wannemacher (1941) hält die Abrasion für die Kompensation des kontinuierlichen Zahndurchbruchs für notwendig. Durch die Verkürzung der Zahnkronen kommt es zum Belastungsausgleich zwischen dem extraalveolären und dem intraalveolären Teil des Zahnes und zur Verminderung der ungünstigen horizontalen Kaudruckkomponenten.

Bemerkenswert ist, dass die Kariesfrequenz bei starken horizontalen Abrasionen niedrig ist. Die Karies verliert ihre Prädilektionsstellen in den Fissuren (Schumacher 1983).

Besonders im Milchgebiss sind artifizielle Abrasionen von immenser Bedeutung. Substanzverluste, die durch Gegenstände verursacht werden, sind häufig anzutreffen.

2.5.2 Mikrosubstanzverluste (Kratzer u.a.)

Morphologische Mikrosubstanzverluste, die sich Kinder selbst beibringen können, sind Grübchen, Mulden, Rillen, Furchen, Risse, Schrammen, Schürfungen, Prismenfrakturen, Kratzer und Krater. Sie sind makroskopisch meist unsichtbar, lassen sich jedoch licht- und rasterelektronenmikroskopisch darstellen. Beim Zähneputzen, durch scharfkantiges Spielzeug oder zweckentfremdete Gegenstände können solche Oberflächenveränderungen unbeabsichtigt entstehen. Die Morphologie dieser Läsionen ist vielgestaltig. Sie reicht von langen dünnen, über die Zahnoberfläche ziehenden bis zu kurzen, nur unter starker Vergrößerung sichtbaren Einkerbungen. Auf die Entstehungsursachen geht die Vielzahl der angeführten Benennungen zurück.

Eine Beziehung zwischen hoher Kratzerzahl und Abrasionsgrad zeigen zahlreiche Untersuchungen. Wannemacher (1941) beschrieb Abrasionen, die auf die Schleifkraft der Nahrung zurückzuführen sind. Weitere Ursachen für die Kratzerentstehung sind u.a. Bewegungen der Zähne innerhalb der Zahnreihe und der Kontakt zum okkludierenden Antagonisten.

Bei oberflächlichen Mikrosubstanzverlusten kommt es gelegentlich zur Freilegung von Schmelzprismen. Die meisten verlustbedingten Defekte sind durch Einebnung, Abrasion oder Mineraleinlagerungen reparabel. Aufgrund von Remineralisationsvorgängen entstehen jedoch keine kariösen Veränderungen am Kratzergrund (Oppenheim, 1967).

Gegen kleine mechanische Insulte wird der Schmelz durch den Speichel oder die organischen Auflagerungen geschützt (Wolf und Neuwirt 1941).

Natürlicherweise entstandene muldenförmige Grübchen oder sogenannte "focal holes" werden als entwicklungsbedingte Irregularitäten (Hypoplasien) angesehen. Sie weisen in REM-Untersuchungen einen Durchmesser von 0,1 - 0,5 μm auf (Ingram und Fejerskov, 1986; Holmen et al. 1984).