

Therapie der Milchzahnkaries durch Tiefenfluoridierung

Die geringe Dicke des Zahnschmelzes und des Dentins bei den Milchzähnen, die die Milchzahnkaries so gefährlich und ihre Füllungstherapie so schwierig macht, lassen die Prävention der Milchzahnkaries durch gezielte, in ihrer Wirkung abschätzbare Fluoridierungsmaßnahmen als wünschenswert und notwendig erscheinen. Aber auch eine länger wirksame Füllungstherapie der Milchzahnkaries setzt eine solche begleitende Fluoridierung voraus.

Einleitung

Durch die sogenannte Tiefenfluoridierung, die eine starke und langzeitige Remineralisation gerade auch in den Problemzonen auslöst, ist eine nichtinvasive oder auch schwach invasive Therapie der Karies möglich, und nicht nur ihre Prävention. Die Grundlage der Therapie ist die von uns entwickelte Remineralisationstheorie der Karies^{1,2}, anfangs Deckschichtentheorie genannt, die wir inzwischen soweit entwickelt haben, daß sich Daten über die Remineralisation, auch über ihr Überwiegen gegenüber der Demineralisation exakt angeben lassen.

Feinstruktur der Auflockerungszone des Zahnschmelzes

In Abb. 1 ist der Aufbau des Schmelzes im 1000 Å-Bereich (1 Å etwa 1 Atomdurchmesser) dargestellt, wie wir ihn nach röntgenographischen Daten von PERDOK³ aus Diffusionsmessungen mit radioaktiven Isotopen (Ca 40) erschlossen haben. Die Abbildung stellt einen winzigen Ausschnitt aus einem "Schmelzprisma" dar. Der Schmelz ist von keratinartigen Fasern (rot) durchzogen, an denen im Sinne einer Epitaxie die prismatischen Apatitkristalle von ca. 250 Å Länge und ca. 50 Å Stärke chemisch gebunden einseitig haften. Wir müssen annehmen, daß alle Apatitkriställchen des Schmelzes in dieser Weise

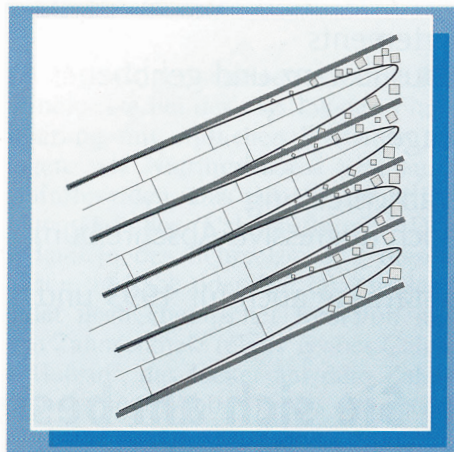


Abb. 1: Struktur der Auflockerungszone des Zahnschmelzes (stark schematisiert). Die Apatitkristalle haften epitaktisch an keratinartigen Fasern (rot). Die Säuren der Zahnbeläge diffundieren in die quellbaren Fasern und lösen den Apatit lateral an bzw. ab. Die entstehenden Poren (Ätztrichter) von rd. 100 Å Durchmesser und ca. 0,01mm Länge ändern ihr Volumen durch Demineralisation und Remineralisation.

mit den Keratinfasern verwachsen sind. Das bedeutet, daß bei der mittleren Stärke der Apatitkristalle von 50 Å der Abstand der Fasern ca. 100 Å (2 Apatitstärken) beträgt. Das saure Agens in den Zahnbelägen greift nach unseren Untersuchungen den Schmelz nicht etwa frontal an, sondern diffundiert in die quellbare Faser und löst den anhaftenden Apatit lateral von der Faser her an. Dadurch entstehen sehr schlanke Ätztrichter, deren Öffnungsdurchmesser maximal 100 Å beträgt. Bei längerem Angriff des sauren Agens bricht der Rand dieser Trichter zusammen. Die Tiefe dieser Ätztrichter haben wir zu etwa 10µ = 0,01 mm bestimmt. Die Ätz-



**Prof. Dr. Dr. med dent h.c.
Adolf Knappwost**

*Begründer der Remineralisationstheorie der Karies
klärte die kariesprophylaktischen Wirkung der Fluoride durch zahlreiche Experimentalarbeiten auf
Aufbau der Abt. für Physikalische Chemie und Zahnärztliche Werkstoffkunde der Universität Tübingen
Orca-Preisverleihung
Berufung in den wissenschaftlichen Gründungsrat der Kernforschungsanlage Jülich
Ordinariat für Physikalische Chemie mit Einrichtung einer Abteilung für zahnmedizinische Forschung der Universität Hamburg
Promotion zum Dr. med dent h.c. Universität Tübingen
Ehrenmitglied verschiedener stomatologischer Gesellschaften*

trichter sind extrem schlank und laufen spitz aus. Diese etwa 10µ starke Oberflächenzone des Schmelzes ist die Auflockerungszone. In ihr spielen sich mehr oder minder periodisch die Lösungs- und Remineralisationsprozesse ab, so daß in einer Remineralisationsphase unter Mitwirkung der Fasern als Kristallisationskeime eine physiologische Restitutio eintritt.

Die Remineralisation

Nach unserer Remineralisationstheorie tritt Remineralisation dann ein, wenn der Speichel in den Belägen mit den Apatit

aufbauenden Calcium-, Phosphat- und Hydroxyl- bzw. Fluorid-Ionen übersättigt ist. Im Speichel bleibt die Summe der Konzentrationen der Ca- und PO_4 -Ionen annähernd konstant, während die Konzentration der OH-Ionen, z.B. bei pH 4 im Interdentalraum, um den Faktor 1000 absinken kann. Die die Auflösung bzw. Remineralisation steuernden Ionen sind die OH-Ionen. Zum Glück können sie aber durch die strukturell gleichwertigen F-Ionen ersetzt werden.

Nach unseren Messungen liegt bei üblichen F-Konzentrationen des Speichels, also bei Trinkwasser-Fluorid-Gehalten um 0,2 bis 0,3 mg F pro Liter, der Grenz-pH des Speichels in den Belägen bei pH 5,5 (Kritischer pH der Remineralisation)⁴. Oberhalb des Grenzwerts tritt Remineralisation ein, unterhalb Auflösung. Sinkt der pH des Speichels in den Belägen unter diesen Wert, kann man zum Erreichen der Remineralisation den Mangel an OH-Ionen durch F-Ionen kompensieren. Der dann entstehende Remineralisationsapatit enthält deutlich höhere F-Gehalte.

Die kariesprophylaktische Wirkung der F-Ionen folgt allein diesem Schema, wie wir erstmals mit radioaktiven Phosphat gezeigt haben, und beruht nicht auf dem Austausch von OH-Ionen gegen F-Ionen im festen Apatit^{5,6}.

Bewertung der verschiedenen Fluoridierungsverfahren

Die Trinkwasserfluoridierung, oft als wirksame und erstrebenswerte Fluoridierungsmethode angesehen, schafft im Verein mit dem Fluoridgehalt der Nahrung nur F-Ionen-Konzentrationen des Speichels von etwa 10^{-5} Mol/l⁷, entsprechend einem OH-Ionen-Äquivalent von pH 9. Diese F-Konzentration kann höchstens das OH-Ionen-Defizit in dünnen Belägen der Glattflächen der Zähne kompensieren; für die Kompensation des OH-Ionen-Defizits in den oft dicken Belägen der Problemzonen, z.B. im Interdentalraum mit pH 4, reicht die perorale F-Aufnahme nicht aus, schon gar nicht durch fluoridiertes Speisesalz.

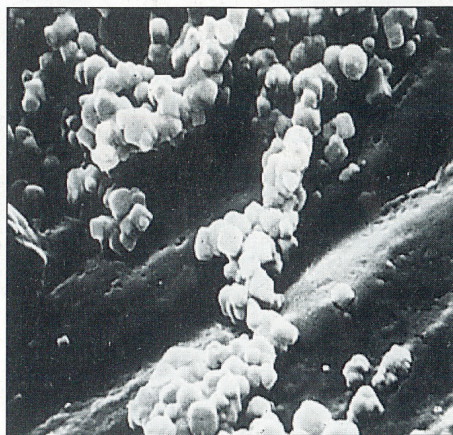


Abb. 2: Nach lokaler Fluoridierung: Entstandenes Calciumfluorid liegt in großen, kubischen Kristallen auf dem Schmelz.

Viel günstiger scheinen zunächst die Verhältnisse bei der sog. lokalen Fluoridierung mit einfachen Fluoriden zu liegen, wie Natriumfluorid oder auch Aminfluoriden. Das gilt aber nicht für schwerlösliches Calciumfluorid. Das Behandeln des Schmelzes mit diesen Salzen, in Lack oder Gel inkorporiert, bildet nach chemischer Reaktion mit dem Zahnschmelz relativ grobes Calciumfluorid⁸, das locker auf dem Zahnschmelz liegt (Abb. 2). Aus der geringen Löslichkeit des Calciumfluorids ergibt sich eine Sättigungskonzentration der F-Ionen von 10^{-3} Mol/l auf der Schmelzoberfläche. Sie würde für eine Kompensation des OH-Defizits bei pH 4 ausreichen. Da diese Calciumfluorid-Kriställchen aber ungebunden auf dem Schmelz liegen, gehen sie in sehr kurzer Zeit durch Abschwemmen bzw. durch Abrasion verloren. In die Auflockerungszone passen sie nicht hinein. Sie sind viel größer als die Weite der Ätztrichter der Auflockerungszone. Die Wirkung dieser Fluoridierungsmaßnahmen ist zu schwach und zu kurz, als daß sie merklich in das Remineralisationsgeschehen eingreifen könnten.

Die Tiefenfluoridierung

Unter Tiefenfluoridierung wird die chemische Ausfällung von höchst dispersen Calciumfluorid von nur 50 Å mittlerer Teilchengröße und erheblich

gesteigerter Löslichkeit in die Trichterporen der Auflockerungszone verstanden. Durch Behandeln des Schmelzes mit Natriumfluorid o.ä. tritt keine Tiefenfluoridierung ein. Praktisch erfolgt die Tiefenfluoridierung durch Touchieren des Zahnschmelzes mit einer schwachsauren Lösung von Magnesiumfluorosilikat und anschließender Touchierung des Schmelzes mit einer alkalischen Suspension von Kupfer-Calciumhydroxid. Dadurch zerfällt der Fluorosilikat-Komplex spontan, unter Bildung der submikroskopischen Calciumfluoridkriställchen und polymerisierender Kieselsäure. Die Calciumfluorid-Kriställchen liegen eingebettet und vor Abschwemmung geschützt in den Trichterporen in einem Kieselsäure-Gel und verbreiten langfristig (Größenordnung 1 Jahr) eine F-Ionen-Konzentration, die auch in Problemzonen zu einer sicheren Remineralisation führt. Dabei bildet sich ein deutlich an F angereicherter Remineralisationsapatit, der im Falle noch intakter Keratinfasern zu einer vollständigen Wiederherstellung führt.

War die Demineralisation aber schon so weit fortgeschritten, daß die Ränder der Ätztrichter weggelöst sind, ist der entstandene Defekt so groß, daß er die Größe der mittleren Wellenlänge des sichtbaren Lichtes (ca. 5000 Å) erreicht. So treten die bekannten kreidigen Flecken auf. Bei noch existierenden Keratinfasern erfolgt auch dann ein Anwachsen des Remineralisationsapatits an die Fasern. Das Verschwinden der kreidigen Flecken wird nach der Tiefenfluoridierung oft beobachtet.

Wie sich die Wirkung der Tiefenfluoridierung mit Schmelz-Versiegelungsgel und Kupfer-Calciumhydroxid von der lokalen Fluoridierung mit einem Fluoridierungspräparat auf Natriumfluorid- und Calciumfluorid-Basis unterscheidet, zeigt die Abb. 3a-c. Das Fluoridprofil im Bereich der Auflockerungszone wird dargestellt, nach Anwendung dieser beiden Fluoridierungsarten. Gegenüber nichtbehandeltem Schmelz zeigt sich mit dem Natriumfluorid-Calciumfluorid-Präparat kein merklicher Unterschied, quantitativer Ausdruck der mangelnden Wirkung.

Rolle der Kupfer-Ionen

Anorganische Kupfer-Verbindungen spielen in der Zahnmedizin z.B. als Zusatz zu Phosphazementen eine wichtige, z.Zt. leider wenig bekannte Rolle. Aktuell ist u.a. ihre Verwendung bei der Depotphorese mit Kupfer-Calciumhydroxid in der Endodontie. Nach den Untersuchungen von EFFINGER^{7,10} sind Cu-Ionen stark bakterizid, besonders gegenüber Anaerobiern. Zudem hemmen sie die proteolytische Aktivität der Keime stark. Besonders wichtig erscheint uns ihre Langzeitwirkung, die auf der katalytischen Oxidation des entstehenden Kupfersulfids beruht^{11,12}.

Wie wirksam Cu-Ionen gegen die Mikro-Organismen sind, die die Schmelz- und Dentin-Karies verursachen, geht aus den umfangreichen Erfahrungen der Zahnmedizin mit dem Kupfer-Amalgam hervor (REBEL¹³), das gerade in der Kinderzahnheilkunde vielfache Verwendung fand, jetzt aber wegen der merklichen Freisetzung von metallischem Quecksilber nicht mehr verwendet wird. In diesen Amalgamen ging das metallische Kupfer als unedle Komponente gegenüber Quecksilber in Lösung und bildete mit dem Speichel schwerlösliche basische Kupfersalze, die nicht nur den mit einer Kupfer-Amalgam-Füllung versehenen Zahn vor Karies bewahrten, sondern oft auch die Nachbarzähne. Die Cu-Ionen sistierten zudem die Dentin-Karies.

Heute muß wegen der Sensibilisierung der Bevölkerung darauf hingewiesen werden, daß Kupfer wie Eisen als Elemente zwar Schwermetalle sind, daß aber dem Kupfer als essentielles Spurenelement eine wichtige Rolle im Stoffwechsel zukommt, daß seine Konzentration im Serum etwa so hoch ist, wie die des Eisens, und daß es so wenig allergen ist wie das Eisen.

Die für die Tiefenfluoridierung verwendete Flüssigkeit enthält daher Kupferfluorosilikat. Beim für die Tiefenfluoridierung des Dentins bestimmten Dentin-Versiegelungsliquid liegt die Cu-Konzentration merklich höher.

Die Kombination der Wirkungen der Tiefenfluoridierung, nämlich der starken langzeitigen Remineralisation und

Fluoridgehalt des Schmelzes, dargestellt als F/Ca-Verhältnis in Abhängigkeit von der Tiefe, gewonnen durch fraktioniertes Abätzen des Schmelzes und Mikroanalyse des Lysats.

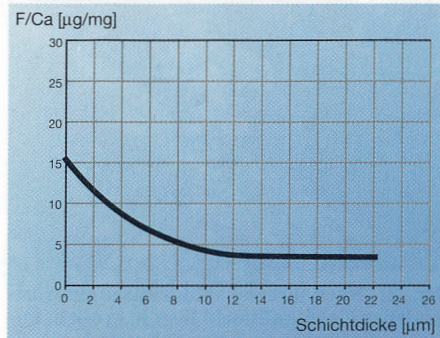


Abb. 3a: Der F-Gehalt steigt als Folge der Remineralisation durch den F-haltigen Speichel zur Schmelzoberfläche hin steil an. Der Tiefenbereich bis etwa $10\mu = 0,01\text{ mm}$ ist die Auflockerungszone des Schmelzes.

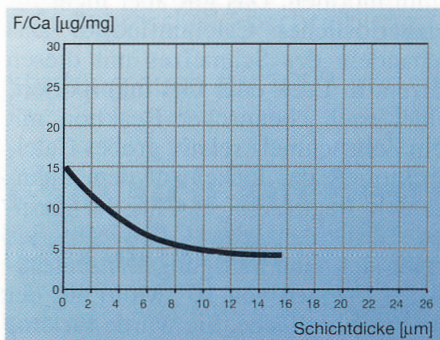


Abb. 3b: Nach Behandeln der Zähne mit einem Natriumfluorid/Calciumfluorid-Präparat zeigt sich gegenüber unbehandelten Zähnen kein Unterschied.

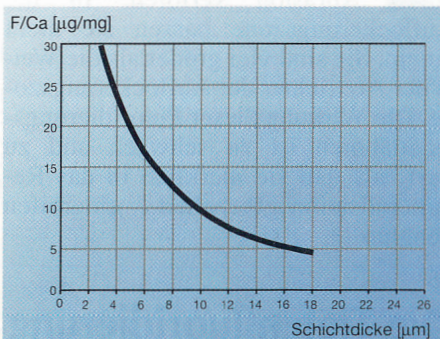


Abb. 3c: Nach Tiefenfluoridierung der Zähne steigt der F-Gehalt in der Auflockerungszone stark an, als Ausdruck der Füllung der Poren mit hochdispersum Calciumfluorid.

der Konservierung der Keratinfasern vor einem proteolytischen Angriff, verwirklicht eine weitgehend nichtinvasive oder, bei merklich fortgeschrittener Karies, eine reduziert invasive Therapie der Karies. Gerade bei den Milchzähnen ist eine Schonung von Zahnhartsubstanz **möglich** und die Pulpa wird weniger gefährdet.

Praktisches Vorgehen

Dieses ist gekennzeichnet durch Zurückhaltung bei der Entfernung von kariesverdächtigem Material, wenn dabei die Pulpa oder die Stabilität der Kavitätswände gefährdet ist. Man vertraue auf die Sistierung des kariösen Prozesses durch die Tiefenfluoridierung, insbesondere auch auf deren Kupfer-Wirkung. Das gilt auch für das Dentin, das statt mit Schmelz-Versiegelungsliquid mit dem kupferreicheren Dentin-Versiegelungsliquid behandelt wird. Sonst entsprechen unsere Vorschläge für die Behandlung der Milchzahnkaries im wesentlichen den Empfehlungen von BORUTTA in diesem Heft, der wir in ihrer Argumentation weitgehend folgen. Wir vermeiden aber möglichst Füllungen, wenn sie durch eine flache Exkavierung ersetzt werden können, die keine Retention von Speiseresten zuläßt und die nach gründlicher Touchierung mit Schmelz-Versiegelungsliquid dem Speichel eine Remineralisation und wenn auch nur bis zum Zustand der Caries sicca ermöglicht.

Wir behandeln noch verdächtiges Dentin mit Dentin-Versiegelungsliquid, wobei in Pulpennähe die gründliche Nachtouchierung mit einer Nachtouchierlösung (Calciumhydroxid hochdispers) wichtig ist. Zum Überdecken des Kavitätenbodens geben wir statt üblichem Calciumhydroxid, das nur eine mäßige Desinfektionskraft und eine geringe Fernwirkung hat Kupfer-Calciumhydroxid mit etwa 100-facher Desinfektionskraft den Vorzug¹⁹. Bei hauchdünnem Kavitätenboden ist eine Mischung von Calciumhydroxid hochdispers mit etwa 5 bis 10 Prozent Kupfer-Calciumhydroxid vorteilhaft, die auf der Anrührplatte quasihomogen angerührt wird.

Mineralische Fissurenversiegelung

Beispielhaft für die zurückhaltende Exkavierung möge unser Vorgehen bei der sog. Fissurenversiegelung beschrieben werden. Bei dem jetzt geübten, nicht nur von uns abgelehnten, besonders von W. BÜTTNER¹⁵ kritisiertem Verfahren, muß zur Retention der Kunststofffüllung nicht nur relativ viel Hartsubstanz geopfert werden, auch die physiologische Remineralisation durch den Speichel wird ausgeschaltet. Das Argu-

ment, daß vom Kunststoff abgegebenes Fluorid einen Kariesschutz darstelle, trifft nicht zu, da Fluorid nur mit den den Apatit aufbauenden Ionen des Speichels wirkt. Nach einer Studie von SIMON¹⁶ waren nach 15 Jahren rd. 70 % der Füllungen verloren gegangen und 26 % der Zähne war kariös.

Das lange Verfahren des Aufziehens und Abflachens der Fissur erscheint sinnvoller¹⁷. Wir empfehlen, die Fissur nur mäßig aufzuziehen, Retentionsstellen auszuschalten und eine gründliche Tiefenfluoridierung durchzuführen. Bei dieser "Mineralischen Fissurenversiegelung" hält das Kieselsäurekondensat das

hochdisperse Calciumfluorid langfristig fest und ermöglicht eine starke Remineralisation. Die Tiefenfluoridierung sollte jährlich wiederholt werden.

Literatur bei der Redaktion.

*Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. Dr. Adolf Knappwost
Direktor em. Abt. für Biophysikalische
Chemie und Zahnmedizinische For-
schung des Instituts für Physikalische
Chemie der Universität Hamburg
Bundesstr. 45
20196 Hamburg*