

OORSPRONKELIJKE BIJDRAGEN

NACHAHMUNG DER MINERALISATION DES ZAHNSCHMELZES UND DES DENTINS

Thema von Vorträgen, gehalten in Kiel im September 1921,
in Wien im November 1921, in Utrecht im März 1922
und in Kopenhagen im Mai 1922

VON

VIGGO ANDRESEN,

Zahnarzt, Orthodontist in Kopenhagen.

Während die meisten Forscher darüber einig sind, das Dentin als ein vitales, reaktionsfähiges Gewebe zu betrachten, gibt es noch grosse Dissenzen bezüglich der Vitalität des Zahnschmelzes. Wenn man aber den Schmelz von einem kolloid-chemischen Standpunkte aus betrachtet, werden die Verhältnisse zwar nicht einfacher, man wird aber dadurch nach und nach zu einer Lösung der Frage kommen.

Der Schmelz sowie auch das Dentin mögen nämlich in frischem Zustande als Gelen (zwar von verschiedener Art) mit Mineralniederschlägen betrachtet werden und sind als solche, wie kolloide Substanzen in gequollenem Zustande, fortwährend Veränderungen unterworfen durch die Einwirkung der Flüssigkeiten, an welche sie direkt oder indirekt grenzen, Saliva und Blutserum.

Man braucht nur daran zu erinnern, dass der Schmelz sowie das Dentin in vital-kolloidalem Zustande bis zu einem gewissen Grade elastische Gewebe sind, während sie in „alterndem“ kristallinischem eingetrocknetem Zustande oder nur von der normalen Diffusion oder Zirkulation ausgeschaltet, die in devitalisierten Zähnen, sehr spröde sind und leicht Risse und Sprünge zeigen, wenn sie nicht gerade frakturie-

ren. (Die Vitalität ist doch nicht derartig, dass Sprünge ausheilen können, was von einigen Autoren behauptet wird. — J. Linderer: Die Zahnheilkunde, Erlangen 1851, Seite 80, Kapitel: Schmelzcallus. — Ernst Moser: Ueber Diffusionsvorgänge in der harten Zahnschmelzsubstanz. Zahnärztliche Rundschau Nr. 2; 1922).

In dieser Verbindung wäre an die Vitalität, das „Altern und den Tod (Kristallisation) der Kolloiden mit Einbüßung der Elastizität und Quellungsfähigkeit zu erinnern. Beispiele: Kautschuk-Bindegewebe.

In dem vital-kolloiden Zustande des Schmelzes sind die Kristalloiden wahrscheinlich auch in der kolloiden Form vorhanden, was aus verschiedenen Erscheinungen und Änderungen der Eigenschaften des Schmelzes in verschiedenen Stadien der Bildung des Lebens und nach dem Tode oder Extraktion der Zähne hervorgeht.

Es gibt wahrscheinlich kein spezifisches Schmelzmolekül von absolut konstanter Konstitution. Es gibt wohl vielmehr zwei differenzierte Moleküle — erstens eins organischer Natur und zweitens ein anorganisches. Es ist z. B. ein grosser Unterschied im Aussehen des Schmelzes der sich in verschiedenen Stadien der Entwicklung befindlichen Zähne eines Kindercraniums — vom fayenceähnlichen durch porzellanernen der permanenten Keime und Zähne bis glasigen Aussehens des Milchzahnschmelzes. Dieser Unterschied kommt wahrscheinlich daher, dass das anorganische Schmelz-Molekülformula sich ändert von einer mehr phosphorsauren in eine mehr kalziumhaltige Verbindung. Dieses könnte auf folgendem beruhen. Giesst man ein wenig Wasser auf Monokalziumphosphat, so bildet sich eine Lösung, die mehr Phosphorsäure enthält als im Monophosphat gegenwärtig sein soll, und es bildet sich ein Bodensatz, der jedenfalls Dikalziumphosphat enthält. Durch Wasseraufgiessen kann aber das Diphosphat in Tri- und das Triphosphat in eine noch basischere Verbindung geändert werden.¹⁾

¹⁾ Rindell: Die Löslichkeit einiger Kalkphosphate; Helsingfors 1899.

Man muss auch daran denken, dass die Zusammensetzung des Schmelzmoleküls davon abhängig ist, dass die verschiedenen Eiweissstoffe unter anderen Stoffen Kalkphosphat und -karbonat in verschiedenen Verhältnissen auflösen, indem die Untersuchungen von Pauli und Samec¹⁾ vieles in dieser Richtung erklärt haben.

Danach kann man in Verbindung mit anderen kolloiden Eigenschaften der Eiweissstoffen z. B. der elektiven Adsorptionsfähigkeit und Niederreißen der Kalksalze bei der Koagulation die Bedeutung der normalen Eigenschaften der Muttersubstanz des Schmelzes für deren Bildung ersehen.

Noch muss die Wasseraustreibung von Gallerte durch Trikalziumphosphat erwähnt werden und weiter, dass die verschiedenen Kalzium-Phosphat-Gelatinen beim Wasserverlust sich verschieden verhalten, indem Liesegang²⁾ über Niederschläge zwischen Chlorkalzium einerseits und Trikaliumphosphat, Fluornatrium, Soda, Natronhydrat andererseits folgendes schreibt: „Beim Eintrocknen werden sie weniger sichtbar, weil ihr Brechungsvermögen demjenigen der Gelatine ähnlich ist. Beim Anfeuchten nimmt ihre Trübigkeit wieder zu.“ Und Seite 48: „Auch die ungemein festen Membranen, welche man beim Uebereinanderschichten konzentrierter Lösungen von Chlorkalzium und Trikaliumphosphat erhält, können mit der Zeit einen fast glasartigen Charakter annehmen.“

Ohne auf die Einzelheiten der Histogenese des Schmelzes einzugehen, kann man die Schmelzbildung kurz als einen auf biologischen Diffusionen beruhenden kolloid-chemischen Prozess bezeichnen, der durch die stete Anreicherung der gelatinoide Grundsubstanz mit anorganischem Material als Niederschlägen von Kristalloiden in einem Kolloid gekennzeichnet ist. Die kolloid-chemischen Gesetze sind aber noch lange nicht durchgeforscht. Das Thema enthält deshalb viele

¹⁾ Siehe darüber Bechhold: Die Kolloide in Biologie und Medizin. 1920, Seite 291, Ossifikationsprozesse, etc.

²⁾ Liesegang: Kolloidchemie des Lebens 1909, Seite 70.

Probleme und ist sehr mühsam zu bearbeiten. Die verschiedenen Stadien dieser Mineralisation der präformierten Grundsubstanz lassen sich, zwar nur grob, nachahmen.

Und ebenso wie die Mineralisation des Schmelzes sich nach der Eruption des Zahnes fortsetzt, indem der Schmelz bei normaler Salivation durch Diffusion von Salivamineralien gedichtet, gehärtet — nach Pickerill „sklerotisiert“ werden kann, ist es durch künstliche Mittel möglich, auch diese posteruptive Mineralisation nachzuahmen.

Auch die salivatorische Remineralisation bei caries incipiens, die von vielen Zahnärzten konstatiert und von mehreren Autoren bestätigt worden ist, lässt sich in verschiedener Weise nachahmen.

Ueber den Stoffwechsel im Schmelz haben viele Autoren geschrieben. Lassen wir hier eine zufällige Auswahl von Zitaten folgen:

Dr. Feiler — Breslau schreibt: ¹⁾ „Wir sind im Gegensatz zu diesem, wir möchten sagen, materialistischen Standpunkte (dass der Schmelz ein totes Gewebe sei), im Verein mit Morgenstern, Boedeker, Euler, Fischer und anderen Autoren der Meinung, dass Schmelz und Dentin den gleichen Stoffwechselforgängen unterworfen sind...“ und später: „Aus unseren mikroskopischen Präparaten scheint sich uns das Vorhandensein eines Kalkstoffwechsels sowohl im Schmelz als auch im Dentin mit Notwendigkeit zu ergeben.“ — Weiter: „Und wir halten es auch nicht für ausgeschlossen, dass die Kalksalze des Speichels nach den Gesetzen der Diffusion in den Schmelz eindringen und hier assimiliert werden können.“

Machen wir einen kleinen Sprung rückwärts, so zeigt es sich, dass man schon früher an einen Stoffwechsel sogar im Schmelze gedacht hat. C. J. Linderer sen. und Joseph Linderer schreiben folgendes ²⁾ Seite 199: „Einige führen an,

¹⁾ Feiler Beiträge zum Stoffwechsel der Zähne. Deutsche Monatschrift f. Zahnheilk. 1913, Heft 9.

²⁾ C. J. Linderer sen. und Joseph Linderer: Hdb. der Zahnheilkunde. Berlin 1837.

dass im Schmelze zuweilen Flecken entstehen, die von selbst wieder verschwinden." Weiter Seite 207: „Der Zahn besitzt also vermöge seiner unsichtbaren Porosität, wie ich gezeigt habe, die Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen." Weiter Seite 208: „Die Resorption geschieht ebenfalls nach den bei der Imbibition angegebenen Gesetzen, und unterscheidet sich von der Ernährung der Zähne dadurch, dass hier bei den Gefässen ein Durchdringen von innen nach aussen, Exosmose, bei jener aber ein Durchdringen von aussen in die Gefässe (Endosmose), stattfinden."

In einem späteren Lehrbuche schreibt J. Linderer Seite 88¹⁾ „*Der Zahnsaft besteht auch aus Teilen der Mundflüssigkeit...*; denn der Schmelz eines ausgezogenen Zahnes wird von der Mundflüssigkeit durchdrungen, und ich sehe keinen Grund, warum auch der noch lebendige vom Zahnsafte durchdrungene Schmelz ein Hindernis sein sollte. Von zersetzenden Flüssigkeiten (wahrscheinlich sind Säuren gemeint) will ich gar nicht reden." Weiter Seite 129: „Sodann stellte ich Untersuchungen über die Lebenstätigkeit der Zahnmasse an, sowohl in physiologischer als pathologischer Hinsicht, fand dabei sehr viel Neues und Wichtiges und kam zu dem Resultate: *dass die Zahnmasse, sowohl das Dentin als der Schmelz, ein eigentümlich organisierter Körper sei, mit verschiedenen Arten Saftgefässen, dass eine Säfteleitung daselbst stattfindet,... und auch eine Zuführung neuer Zahnschubstanz, Schmelz und Tierzahnkitt durch die Zahnsaftgefässe hindurch nachzuweisen ist.*"

Dieser hervorragende Forscher schreibt mit berechtigtem Stolze auf Seite 82: „Ich war der erste, der durch wirkliche unzweideutige Tatsachen den Beweis lieferte, dass eine ganz deutlich ausgesprochene Lebenstätigkeit in der Substanz der Zähne stattfindet..." Seine Beweise beruhen auf mikroskopischen Befunden, die durch teilweise vorzügliche Zeichnungen bestätigt werden.

¹⁾ J. Linderer: Die Zahnheilkunde. Erlangen 1851.

Es ist wahrscheinlich früher vieles über das Kapitel „Zahnleben“, wie J. Linderer es benennt, geschrieben worden, aber erst in den letzten Jahren sind zielbewusste Diffusionsversuche durch Schmelz und Dentin angestellt worden. Natürlich hat man sich auch Uebertreibungen der erzielten Resultate schuldig gemacht. Eckermann war der erste, der gründlichere Untersuchungen¹⁾ angestellt hat, womit er Beweise für meine schon 1918 inaugurierte Mineralisations-Prophylaktik und -Therapie²⁾ gefördert hat.

Von Autoren, die neuerdings über Diffusion Untersuchungen angestellt haben, sind mir leider augenblicklich nur Adrion³⁾ und Bauchwitz⁴⁾ bekannt.

Es gebührt besonders *Liesegang* das Verdienst, durch vielerlei Untersuchungen der merkwürdigen Erscheinungen der Diffusion und Niederschläge in Gelen viele biologischen Erscheinungen erklärt zu haben, die man früher nicht verstanden hat.⁵⁾

Mit dem Ziele vor Augen, eine effektive Caries-Prophylaktik und resp. Therapie auszuarbeiten, habe ich schon früher

1) Eckermann: Dental Caries in Relation to Oral Osmosis. Lund, 1919.

2) Viggo Andresen: Profylaktisk Mineralisation af Emaillen. Den norske Tandlaegeforenings Tidende. Januar 1919.

3) Walter Adrion: Experimentelle Untersuchungen über Diffusionsvorgänge in den harten Zahnschubstanzen. Deutsche M. f. Zahnheilk. November 1921, und Bauchwitz. 1)

4) Bauchwitz: Ueber Diffusions — Vorgänge in den harten Zahnschubstanzen. Zahnärztl. Rundschau, Nr. 41, 1921.

5) Liesegang: Kolloidchemie des Lebens 1909 und 1922.

Nachahmungen der Lebensvorgänge. Arch. f. Entwicklungsmechanik der Organismen. 1912.

Die Achate. 1915.

Spezielle Methoden der Diffusion in Gallerten. Hdb. d. Biologischen Arbeitsmethoden (Abderhalden) Abt. III B. Heft I. 1920.

Rhythmenbildung in der Natur. 51' Bericht der Senkenbergischen naturforschenden Gesellschaft, Heft 2. 1921. etc. etc.

Nachahmungen der verschiedenen Stadien der natürlichen Mineralisation und Remineralisation des Schmelzes teilweise nach den Diffusions-Methoden Liesegangs vorgenommen.¹⁾

Die experimentelle und praktische Möglichkeit solcher künstlichen Mineralisation wurde erwiesen teils an extrahierten Zähnen mit caries incipiens oder schwacher Decalcifizierung mittelst Säure, weiter an demineralisiertem Elfenbein und Knochen, an Gelatine-Präparaten und am noch weichen halbfertigen Schmelz von Zahnkeimen, teils in vivo bei caries incipiens und Schmelzmineralisations-Anomalien sowie nach künstlicher Demineralisation (an Versuchspatienten, die wegen orthodontischer Behandlung intakter Zähne extrahiert werden sollten). Der Unterschied zwischen demineralisiertem Elfenbein und Präparaten von remineralisiertem Elfenbein ist sehr beweiskräftig (Präparate). Ferner ist die Mineralisation des noch weichen Schmelzes in Zahnkeimen sehr deutlich durch das geringere Farbeaufnahmevermögen der mineralisierten Hälften gegenüber den nicht behandelten Hälften (Fig. 1). Auch die Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen ist verschieden.

Ein Punkt, der mich bei diesen Untersuchungen besonders interessiert hat sowohl biologisch, histologisch wie experimental, ist die Verteilung der organischen Substanz im Verhältnis zur anorganischen. In dieser Richtung habe ich besonders die Untersuchungen Liesegangs über die „Rhythmische Fällungen“, die bei Diffusionen in Gallerten entstehen können, studiert. Später wurde ich auf einen Aufsatz von Hatschek²⁾ über so zu sagen „anomale rhythmische Fällungen“ aufmerksam.

Die Erscheinungen der „rhythmischen Fällungen“ findet

1) Viggo Andresen: Mineralisation af Emailen. Den norske Tandlaegeforenings Tidende. Januar 1919.

Ueber Mineralisation und Remineralisation des Zahnschmelzes. Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1921; Heft 4—14.

2) Hatschek: Eine Reihe von „abnormen Liesegang'schen Schichtungen“. Kolloid-Zeitschrift. 5, 1920.

nach Liesegang u. a. eine Erklärung in rhythmischen Konzentrationsgefällen. Dr. Liesegang schreibt darüber folgendes ¹⁾:

„Zwei wässrige Lösungen: die eine von dem farblosen salpetersauren Silber, die andere von dem orangegefärbten doppelchromsauren Kali mögen zusammengegossen werden. Es entsteht sofort ein formloser roter Niederschlag des im Wasser unlöslichen Silberchromats. Bei einem zweiten Versuch werde in einem Reagensglas das doppelchromsaure Kali (Bichromat) mit soviel warmer Gelatinelösung gemischt, dass die Masse beim Abkühlen zu einer Gallerte erstarrt. Giesst man nun die Silberlösung (Silbernitrat) darüber, so kann sie sich nicht mehr regellos damit vermischen, sondern sie muss von der Oberfläche aus allmählich hineinziehen: Eindiffundieren. Das dauert gewöhnlich mehrere Tage. Auch hierbei bildet sich der unlösliche rote Körper. Da er in der Gallerte nicht zu Boden sinken kann, sollte man annehmen, er müsste ganz gleichmässig darin verteilt sein. Das ist auch zuweilen der Fall. Aber wenn man die richtigen Stärken (Konzentrationen) der Salzlösungen getroffen hat, dann tritt ein ganz anderer Effekt auf. Es wechseln streifenweise undurchsichtige rote Stellen mit farblosen klaren ab. Nur die ersteren enthalten Silberchromat, die letzteren sind frei davon. — Die Niederschlagsbildung ist also periodisch erfolgt.

Eine Theorie, welche *Wilhelm Ostwald* hierfür aufgestellt hat, gibt vorläufig noch die beste Auskunft, wo man den Uebergang zum Rhythmischen zu suchen hat. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, dass ihr mancherlei noch Schwierigkeit macht. Aber dies soll hier unbeachtet bleiben.

Es ist zweifellos, dass von Anfang bis zum Schluss die überschichtete Silbernitratlösung ganz kontinuierlich immer tiefer in die Gallerte hineindringt. Auch die eigentliche chemische Umsetzung, also die Bildung von Silberchromat erfolgt kontinuierlich. Aber nun kommt etwas, was bei dem Versuch in

¹⁾ Liesegang: Rhythmenbildung in der Natur.

Später erschien Liesegang: Kolloidchemie des Lebens (Biologische Diffusionen) 1922, worauf hingewiesen wird.



FIG. 1

Von drei Zahnkeimen vom Schwein wurden die drei Hälften mittelst verschiedener Präparate mineralisiert. Sämtliche Stücke wurden danach mit Fuchsinlösung gleichartig behandelt. Die mineralisierten Stücke zeigen bedeutend geringeres Färbungsvermögen und grössere Härte als die nicht behandelten.

Der Färbungsunterschied ist jedoch in der Reproduktion lange nicht so auffallend wie im demonstrierten präparat selbst, welches einen unzweideutigen Beweis für die Mineralisationstheorie ergibt.

der gewöhnlichen wässrigen Lösung gewöhnlich nicht bemerkt wird. Es kann nämlich Silberchromat entstehen, ohne dass sofort ein Niederschlag auftritt. Dies ist einer der wichtigsten Punkte in der ganzen Erörterung. Der neugebildete Stoff geht nicht sofort in die feste Form über. Zuerst bleibt er gelöst, und zwar viel konzentrierter gelöst, die dies für ihn das Normale ist. Man spricht hier von „übersättigter Lösung“. — In einer Gallerte kann sich diese viel besser halten, als in einer Flüssigkeit.

Geht bei dem kontinuierlichen Eindringen des Silbernitrats in die Gallerte die Bildung des Silberchromats immer weiter, so ist in einem gewissen Moment zuviel da, als dass es noch alles gelöst bleiben könnte. Nun muss also festes Silberchromat entstehen. Und es entsteht auch. Aber genau so, wie an der Wasserleitung plötzlich der ganze Tropfen abreisst, und nicht nur das, was als letztes hinzugekommen war, so scheidet sich auch hier, sobald es übersättigt gelöst war. Dies erfolgt ziemlich rasch; dann hört es auf. Denn es ist ja zunächst keine übersättigte Lösung von Silberchromat mehr da. Es muss sich erst wieder neues bilden.

Hier ist also das Diskontinuierliche. Wie sich daraus ein Rhythmus entwickeln kann, das soll an einigen schematischen Zeichnungen illustriert werden.

Es war also (Fig. 2) Silberlösung über die Gallerte geschichtet, welche Chromatlösung enthält (a.) Das Silber dringt nach unten und bildet Silberchromat, das aber vorläufig gelöst bleibt (b). Die Konzentration des Silberchromats wird allmählich so gross, dass sich etwas festes Silberchromat ausscheiden muss (c). Die Gegenwart dieses festen Silberchromats neben dem übersättigt gelösten veranlasst (durch Keimwirkung), dass sich sehr rasch das letztere ebenfalls ausscheidet. Und zwar geht dies zu dem zuerst festgewordenen (d). Das ist die Bildung der ersten Lage von festem rotem Silberchromat.

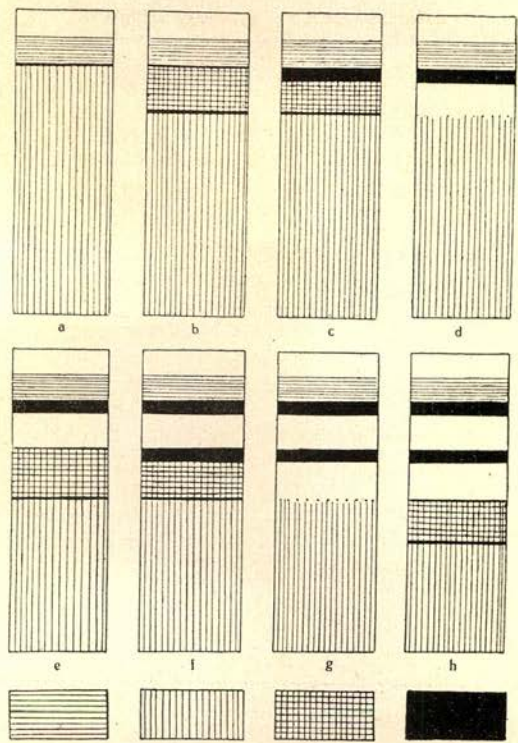
Unter ihr ist eine Zone, in welcher vorher gelöstes Silberchromat war. Jetzt ist sie frei davon. Diese Zone enthält auch

kein doppelt-chromsaurer Kali mehr. Denn es ist ja zur Bildung des Silberchromats verbraucht worden. Das Silbernitrat, welches ununterbrochen von oben nach unten diffundiert, findet also hier nichts mehr, womit es neues niederschlagbildendes geben könnte. Erst unterhalb dieser Zone ist dies möglich. In einer tieferen Region entsteht zuerst wieder (übersättigt) gelöstes Silberchromat (e). Es ist zu weit vom ersten Niederschlag entfernt, als dass dieser mit seiner Keimwirkung einen wesentlichen Einfluss darauf hätte. So kann es also in dieser Region zu einer gesonderten Ausscheidung kommen (f, g). Diese Vorgänge wiederholen sich nun immer wieder (h usw.), d. h. auf Zeiten der „Summation“ (b, e, h) folgen ruckweise Ausscheidungen.

Auch auf Glasplatten lassen sich derartige Versuche anstellen.“

Durch das Eindiffundieren z. B. von Kalziumnitrat oder Chloridlösung in Gallerte mit Natriumphosphat entsteht, je nach den Verhältnissen, nach der Bildung einer gewissen Menge des Kalziumphosphatniederschlages in der Gelatine eine Schicht, bestehend aus kolloidalem Trikalziumphosphat (siehe Fig. 3, die ca. 1,5 mm. breite Trübung unten), die durch Keimwirkung kondensiert wird, (wie man deutlich in Fig. 3 in den feinen Uebergängen zu den trüberen Schichten beobachtet). Durch die Kondensation bildet sich in der Gallerte eine Schicht, die dem Natriumphosphat entzogen ist, sodass bei weiterer Diffusion des Kalziumnitrats in dieser Schicht sich kein Kalziumphosphat bilden kann. Erst wenn das Kalziumsalz wieder auf seinem Diffusionswege phosphathaltige Gelatine erreicht, bildet sich eine neue Schicht u. s. w. Diese Erklärung weicht also darin ab, dass das sich gebildete Trikalziumphosphat als ein Kolloid in übersättigter Lösung zugegen ist und leicht durch Kondensation geändert wird.

Solche Erscheinungen (Fig. 4—5 A, B — 6 A und B) hängen aber unter anderen vom Hydratationsgrade des Gels ab und zeigen sich in den Strukturen vieler Gebilden in der



Silberlösung Gallerte mit Chromatlösung gelöstes Silberchromat festes Silberchromat

FIG. 2. Nach Liesegang.

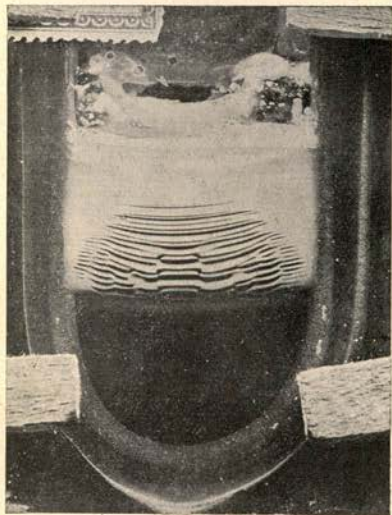


FIG. 3



Fig. 4



Fig. 5 A



Fig. 5 B



Fig. 6 A



Fig. 6 B

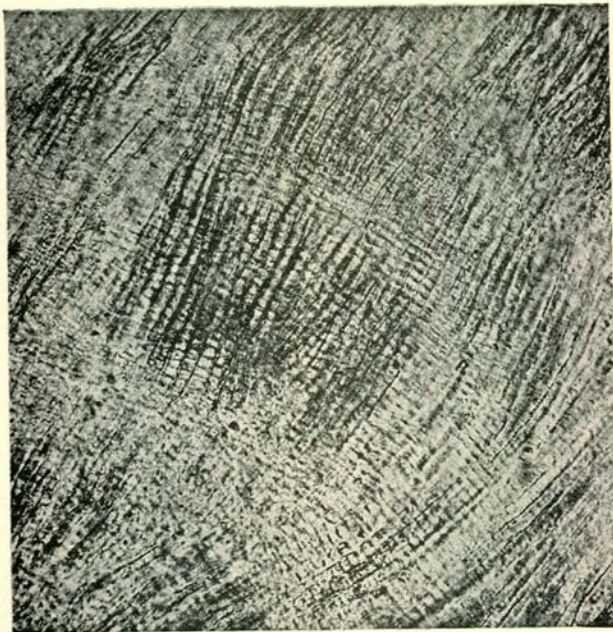


FIG. 7 A

Nach Walkhoff.

unbelebten und belebten Natur. Die Diffusion und Niederschläge in Gelen sind nicht nur vom Inhalt und von der Konzentration der Lösungen abhängig, sondern auch von der Art und Vorgeschichte der Gelen.

Kein Wunder denn, dass pathologische Faktoren im Organismus während der Bildung und Mineralisation des Dentins und des Schmelzes sich oft später geltend machen als histologische Struktureigentümlichkeiten, z. B. die bekannten Streifen von Retzius, die Querstreifung und mangelhafte Verkalkung des Schmelzes überhaupt. Fig. 7 A und B. Nach Walkhoff: Die Erdsalze in ihrer Bedeutung für die Zahnkaries. Berlin, 1913, sowie die Lamellenbildung des Dentins¹⁾ Fig. 8A B und C.

Diese Verhältnisse finden nun leicht ihre Erklärung durch Versuche, die ich angestellt habe, um dieses zu illustrieren und nachzuahmen. Fig. 3—6.

Ebenso wie die präruptive Mineralisation des Schmelzes von den physiologischen Zuständen des Gels und überhaupt von den kolloiden Verhältnissen im Zahnkeim abhängig ist und durch pathologische Veränderungen der Quantität und Qualität der Gewebesafte beeinflusst wird, so ist auch die posteruptive Mineralisation durch die Diffusion von Salivamineralien im höchsten Grade von der normalen oder mehr oder weniger pathologischen Salivation abhängig.

Deshalb muss die Lösung des Problems der künstlichen Mineralisation, um die fehlerhafte Schmelzbildung zu vervollkommen und die aussetzende Wirkung der „Mineralisations-Saliva“²⁾ zu ersetzen, eventuell auch diese selbst zu verbessern, als wesentlichstes Ziel meiner Arbeit präzisiert werden. Dieses Ziel scheint nach meinen bisherigen Versuchen und den Erfahrungen und Resultaten, die einige interessierten

¹⁾ Viggo Andresen: Die Querstreifung des Dentins. Deutsche Monatsschrift f. Zahnhlk. Heft 9, 1898.

²⁾ Viggo Andresen: Ueber die Wasserstoffionenkonzentration des Speichels. Ergbn. d. gesamten Zahnheilkunde. Sechster Jahrg.

Kollegen sowie ich selbst an Patienten erreicht habe, immer näher zu rücken.

Dr. Alfred Körbitz, Partenkirchen, hat zuerst in einer Diskussion darauf aufmerksam gemacht, dass das Präparat gegen Dentinhyparästhesie sich sehr wirksam gezeigt hat, sogar in Fällen, wo andere Medikation verfehlt war und schreibt die Wirkung einer Dichtung der durch Retraktio gingivae entblösten Dentinoberfläche zu.

Dr. C. Rumpel, Berlin, hat mir brieflich Mitteilung über günstige Resultate bei therapeutischer Applikation bei caries incipiens gemacht, und diese Mitteilung muss auch irgendwo anders veröffentlicht worden sein, denn Dr. Konneffke ^{*)} schreibt folgendes: C. Rumpel hat einen gewissen Erfolg der Andresen'schen Methodik zu bestätigen gewusst, und auch ich möchte ihr, ohne sie schon nachgeprüft zu haben, eine bestimmte Wahrscheinlichkeit nicht absprechen."

Dr. G. Lind, Amsterdam, teilte in der dem Vortrage folgenden Diskussion mit, dass das Mittel eine sehr günstige Wirkung habe, und berichtete über die Behandlung eines Patienten, welcher mit seiner Zahnpflege während orthodontischer Behandlung sehr säumlich gewesen sei und deshalb nach Entfernung der Apparate Schmelzflecken von caries incipiens hatte. Der Zustand der Zähne wurde vor der Behandlung von Kollegen kontrolliert, die auch das vorzügliche Resultat nach dem Gebrauch des Mineralisationspräparates begutachten konnten. Gleichzeitig betonte Dr. Lind die Bedeutung der Befolgung der Vorschrift bei der Herstellung des Präparats. Lind teilte einen unangenehmen Zufall mit, wo ein Knabe durch mangelhafte Trocknung des Pulvers seitens des Apothekers beim Oeffnen des Behälters den ganzen Inhalt ins Gesicht bekam, indem das sich entwickelnde Kohlendioxyd zu einer Art Explosion Anlass gab. Der Knabe bekam das

^{*)} Karl Ludwig Konneffke: Das chemische Moment der Kariesätiologie in seiner salivatorischen Bedeutung. D. M. f. Zahnheilk. Heft 20, 1921.

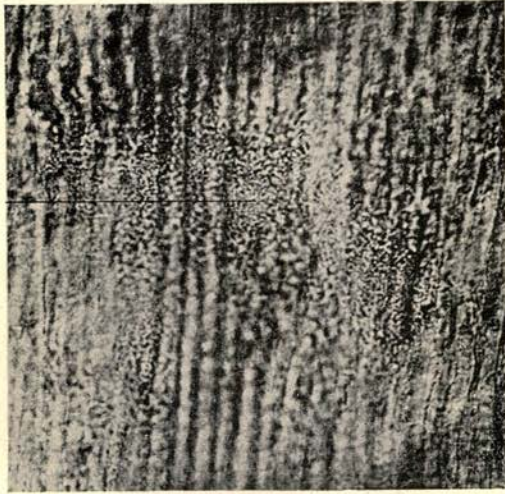


FIG. 7B

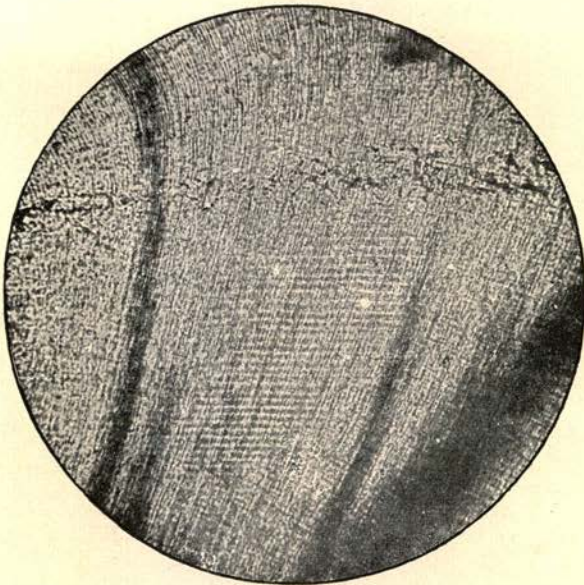


FIG. 8 A
Nach Walkhoff.

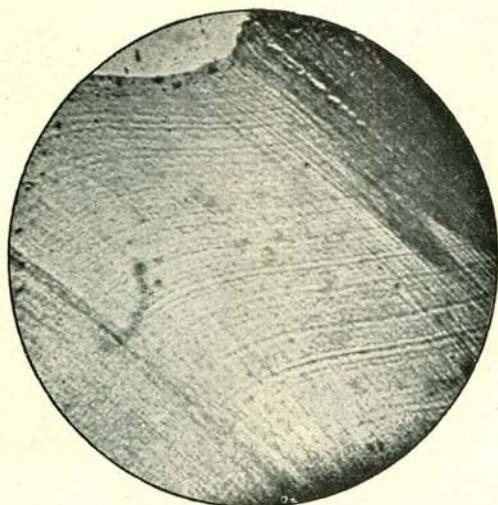


FIG. 8 B

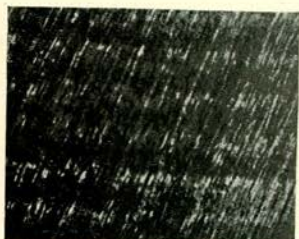


Fig. 8 C.
Nach Walkhoff.



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11 A.

Pulver in die Augen, die jedoch keinen Schaden erlitten. Die Herstellung geschieht deshalb am besten fabrikmässig.¹⁾

Dr. Lind hat mittlerweile seine Erfahrungen in einem Vortrag „Remineralisation of the Enamel and Dentine and its Prophylactic value against Caries Dentium“, gesammelt. Dieser im Monat Juli in London gehaltene Vortrag ist jedoch noch nicht veröffentlicht worden.

Prof. Römer, Leipzig, hat im Januar 1922 in Amsterdam einen Vortrag über die histologische Grundlage der Mineralisationstheorie gehalten, der leider auch noch nicht veröffentlicht worden ist.

Prof. Walkhoff, Würzburg, welcher feinste Mikropräparate der Schmelz- und Dentinbildung mittelst Ultraviol-Strahlen mikrophotographisch dargestellt hat, hat mir zur Benutzung für eine der Ausarbeitung harrenden Monographie über die Mineralisationstheorie solche Aufnahmen bereitwilligst überlassen.

Weiter haben sich viele Kollegen für den Gegenstand interessiert und sich bereit erklärt, sich damit praktisch oder wissenschaftlich zu beschäftigen.

Meinen dänischen Kollegen I. P. Bjerregaard und E. Kristiansen — Kopenhagen, Krogsgaard (Schweiz) und P. Simonsen (jetzt in Philadelphia), sowie auch Dr. Ivar Krohn, Kristiania, bin ich besonderen Dank schuldig für die interessenvolle Teilnahme als Zeugen bei experimenteller Behandlung von Patienten.

Wenn ich nun auch auf Grund meines vierjährigen Studiums und meiner früheren Untersuchungen behaupten muss, dass man in diesem Mittel (Rp. 1.) ein effektives Karies-Prophylaktikum hat, so gehen meine Bestrebungen doch stets daraufhin, die Zusammensetzung und die Technik zu vervoll-

¹⁾ Die Fabrikation ist vorläufig für Holland und einige andern Länder von den Suchywerken A. G., Liliengasse 1, Wien I, übernommen worden; für Deutschland von den Merz-Werken, Frankfurt a.M. — Rödelheim. Als Kennwort ist die Bezeichnung „Dentamo“ eingetragen worden.

kommen, um eine effektive Therapie mittelst eines Antikarrietikums auszubauen.

Da meine früheren Versuche mit demineralisiertem Elfenbein überhaupt keine strengen wissenschaftlichen Beweise für die geringere oder grössere Mineralisationsfähigkeit der verschiedenen gebrauchten Präparate abgeben, habe ich mich Diffusionsversuchen in Gallerte gründlicher zugewendet, um meine Theorie auszubilden. Um möglichst gleichzeitig die physiko-chemischen Verhältnisse der neugebildeten Stoffe aufzuklären, sind einige meiner neuesten Versuche auf der Reaktion zwischen den molären Verhältnissen der Stoffe aufgebaut. Zum Vergleich habe ich immer mein gewöhnliches Präparat (Rp. 1.) hinzugezogen, und dadurch habe ich nicht nur meinen Kollegen den Beweis für die Diffusionsmöglichkeit von Kalziumverbindungen und die Effektivität meiner verschiedenen Präparate für die Mineralisationstherapie dargelegt, sondern auch ein Mass für die besten Versuchsergebnisse eingeführt. — Die Resultate meiner neuesten Versuche gehen aus nachstehenden Notizen und Abbildungen hervor.

Versuchsanordnung für Abb. 3—6: 20 Gramm weiche Gelatine wurde 24 Stunden in 200 ccm 3 %iger Lösung von dreibasischem Natriumphosphat erweicht, vorsichtig geschmolzen (Wasserbad 90° C) und filtriert. Für Abb. 3 wurde eine Kasette aus zwei Glasplatten und einem u-förmig eingelegten Gummischlauch, mittelst Klammern fixiert, gemacht und mit Natriumphosphat-Gelatine ca. zur Hälfte gefüllt. Nach dem Erstarren (am nächsten Tage) wurde (aus Versehen eine nur) 3 %-ige Kalziumnitratlösung über die Gelatine geschichtet mit dem Resultat, dass sich nach 4 Tagen in der Flüssigkeit ein Niederschlag gebildet hatte, weil die Diffusion ja den Gesetzen der Osmose folgt und die Konzentration der Lösung gegenüber der Gallerte zu schwach war. Nun wurde (wie von vornherein beabsichtigt) eine 20 %-ige Kalziumnitratlösung verwendet. Nach weiteren 3 mal 24 Stunden wurde dann eine photographische Aufnahme

gemacht, Abb. 3. Es zeigt sich zuoberst (über der Gallerte) ein exogener Niederschlag (von der Verwendung der 3 %-igen Lösung herrührend). Unter der Grenzlinie der Gelatineoberfläche sieht man zunächst einen ziemlich homogenen Niederschlag von dreibasischem (?) Kalziumphosphat, welcher tiefer in Schichtungen mit niederschlagsfreien Gelatine-Zwischenschichten übergeht. Darunter sieht man dann eine unklare Zone in der Gelatine, und diese Zone, die aus kolloidalem Kalziumphosphat besteht, bildet sich zuerst und unterliegt, indem es sich abwärts zieht, fortwährend einer Verwandlung.

Diese Zone, die als „Kalkfänger“ funktioniert, wodurch die kolloiddisperse Fase durch Kondensation allmählich zu einer mehr grobdispersen transformiert wird, ist wahrscheinlich mit der aus „Calco-Globulin“ gebildeten präformierten Grundsubstanz des Schmelzes analog.

Versuchsordnung für Fig. 9—16:

Diffusionsversuche wurden vorgenommen in Reagensgläsern ca. halbgefüllt mit 10 % mittelharter Gelatine, indem in der Regel 10 ccm aq. ccm. über die Gelatine geschichtet wurde, wozu dann 1 g Pulver von je folgendem Recepte zugesetzt wurde.

Fig. 9. Rp. A. Prim. Kalziumphosphat Mol. 2 g 25
Kalziumkarbonat . . . „ 1 „ 5

Rp. B. Prim. Kalziumphosphat „ 1 „ 25
Kalziumkarbonat . . . „ 1 „ 10
(Keine Diffusion).

Rp. C. Prim. Kalziumphosphat Mol. 1 g 25
Kalziumcarb. „ 2 „ 20
(Keine Diffusion).

Rp. D. Prim. Kalziumphosphat „ 1 „ 25
Prim. Natriumcarb. . . „ 1 „ 8,4

(Phosphat war nicht trocken genug, wurde deshalb nicht versucht.

Fig. 10. Rp. E. Prim. Kalziumphosphat Mol. 1 g 25
 Prim. Natriumcarb. „ 2 „ 16,8
 (Braust am stärksten und am längsten).

Rp. F. Kalziumchlorid Mol. 1 g 11
 Prim. Natriumcarb. „ 2 „ 16,8
 (Nicht geprüft).

Fig. 11. Rp. 1. Acid. tartaric. 28
 tinct. benzoës q.s.
 (wird gemischt und getrocknet)
 Kalziumcarb.
 Secund. Kalziumphosphat
 Magnesiumcarb.
 Kochsalz aa 10
 Prim. Natriumcarb. 35
 Geschmackskorrigens q.s.

Rp. 2. Kalziumchlorid Mol. 1 g 11
 Prim. Natriumcarb. „ 2 „ 16,8
 Secund. Kalziumphosphat „ 10
 Magnesiumcarb. basisch „ 10
 (Kein Diffusions-Niederschlag).

Rp. 3. Prim. Kalziumphosphat „ 1 „ 25
 Prim. Natriumcarb. „ 2 „ 16,8
 Kalziumcarb. „ 2 „ 20
 (Körner-Keime).

Rp. 4. Prim. Kalziumphosphat Mol. 1 „ 25
 Prim. Natriumcarb. „ 2 „ 16,8
 Kalziumcarb. „ 2 „ 20
 Magnesiumcarb. basisch „ 20
 (Kein Niederschlag).

Rp. E zeigt unbedingt das grösste Diffusions- und Mineralisationsvermögen in dieser Serie.



Fig. 11B



Fig. 12A



Fig. 12 B



Fig. 13



Fig. 14 A



Fig. 14B



Fig. 14C



Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17
(unflu)

f (obur)



Fig. 18

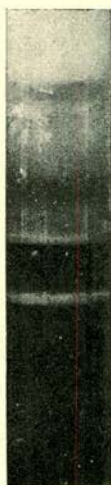


Fig. 19

- Fig. 12. Rp. 24 A. Prim. Kalziumphosphat g 5
 2 % Tragacanthlösung ccm 50
 25 % Ammoniaklösung „ 5
- Fig. 13. Rp. B. Wie 24A nur
 25 % Ammoniaklösung „ 3
- Fig. 14A, B, C, Rp. 27 Methylalkohol
 Prim. Kalziumphosphat
 Ammoniaklösung bis Umschlag von
 Phenolphthalein.
- Fig. 15. Rp. 3/10 21.
 10 % Gelatine
 10 % Lösung von Prim. Kalziumphosphat.
- Fig. 16. Rp. Gesättigte Lösung von Prim. Kalzium-
 phosphat.
 (ca. 1—10)
- Fig. 17—18—19. Rp. Natriumbisilicatlösung und gesättigte
 Lösung von Prim. Kalziumphosphat nach
 einander auf die Gelatine geschichtet.
 In Fig. 17 zuerst Wasserglas, in Fig. 18 zuerst Phosphat.
 In Fig. 19 beide Lösungen, welche ein Kolloid bilden.

Weitere Erklärungen zu den Figuren.

Fig. 3. Dadurch, dass die Gelatine so lange Zeit (24 Stunden) ausgeweicht wird, geschieht eine Hydratation, welche eine Bedingung für die Bildung der „rhythmischen Niederschläge“ ist. Das Präparat ist eine grobe Nachahmung der Schichtbildung im Dentin (Fig. 8 A, B, C). Diese Schichtbildung beruht voraussichtlich auf kolloiden Aenderungen der präformierten Grundsubstanz während pathologischer Zustände des Organismus analog der Hydratation der Gelatine.

Fig. 4—6. Diese Präparate sollen analog mit Fig. 3 die

Bildung von quergestreiftem Schmelz (Fig. 7A) und körnigem Schmelz mit schlecht differenzierten Prismen (Fig. 7B) nachahmen. Zubereitung der Gelatine wie für Fig. 3. Die Gelatine ist überschichtet in Fig. 4 mit 10 % Kalziumnitrat, in Fig. 5 mit 20 % Kalziumnitrat und in Fig. 6 mit 5 % Natriumchlorid und 5 % Kalziumchlorid. Die Präparate wurden am 4. September 1921 angesetzt, am 7. September photographiert, am 17. Sept. mit 4 % Formalin behandelt und neue Photographien (Fig. 5B und 6B) aufgenommen. In Fig. 5B sieht man, dass durch „Altern“ eine Kondensation stattgefunden hat und in Fig. 6B sind zwei Schichten wegen Verflüssigung der Gelatine (durch Bakterien) auf den Boden gesunken.

Fig. 9 1 grm. Rp. A und 10 ccm 2 ‰ Traganthlösung. Am 3 Okt. angesetzt, am 7. Okt. photographiert, am 27. Novemb. sieht man feine Körner ca. 2,5 cm tief in der Gelatine niedergeschlagen.

Fig. 10. Rp. E — wie voriges, feine sphärische Körner ca. 4 cm tief;

Fig. 11A Rp. 1, angesetzt am 2. Okt. wie vorige photo. 7. Okt. (Formalin).

Fig. 11B. phot. 17. Nov. — 27. Nov. ist der Niederschlag ca. 2,7 cm tief und bildet nun grössere sternförmige Kristalle.

Fig. 12A. Rp. A24 angesetzt wie vorige. 1. Okt. Nach 4 Stunden 6 mm Kolloidbildung, 7. Okt. phot. Bemerke eigentümliche, feine unregelmässig gewundene Fäden (Formalin). Fig. 12B phot. 17. Nov. — 27. Nov. sieht man 1 cm unter der Oberfläche die Fäden, darunter 12 cm unregelmässig geformte Körner.

Fig. 13. Rp. 24 B. Angesetzt 1. Okt. Bemerke, dass eine

unbedeutende Aenderung der Wasserstoffionenkonzentration einen bedeutenden Einfluss hat. (Vergleiche Rp. mit vorigem). Nach 5 Stunden 5 mm tief, feine sphärische Körner. 7. Okt. phot. (Formalin), 27. Nov. ca. 4,5 cm tief, Körner.

Fig. 14A, B, C. Methylalkohol löst nur wenig prim. Kalziumphosphat. Die Wirkung ist die Bildung eines Kolloids in der Gelatine, früher oder später beginnt eine Kondensation mit Membranbildung.

Fig. 15. 3. Okt. 21, Gelatine mit prim. Kalziumphosphatlösung gemischt (oberste weisse Schicht) über die gewöhnliche Gelatine geschichtet. 7. Okt. phot. ca. 1,7 cm tiefen Niederschlag von feinen Körnern (Formalin). 27. Nov. ist das Glas bis zum Boden ca. 6,5 cm tief mit feinen Körnern (Dikalziumphosphat?) dicht gefüllt.

Fig. 16. 1. Okt. Gesättigte Lösung von prim. Kalziumphosphat über die Gelatine geschichtet. 7. Okt. phot. ca. 2,5 cm tiefer Niederschlag von feinen Körnern (Formalin). 27. Nov. ist das Glas bis zum Boden ca. 6,5 cm gefüllt.

Fig. 17. 20. Okt. 21 9,30 Uhr wurde Gelatine mit Natriumwasserglas 35 Gr. überschichtet. 11,15 Uhr mit prim. Kalziumphosphatlösung umgetauscht. 1 Uhr wieder Umtauschung, es haben sich schon ca. 4 mm tiefe Niederschläge gebildet. 4 Uhr erneute Umtauschung etc. etc. Anfangs Dez. phot.

Fig. 18. wie vorige, es wurde aber mit der prim. Phosphatlösung angefangen.

Fig. 19. 20. Okt. Ueber die Gelatine wurde zuerst ca. 2 ccm Wasserglas (1—9) geschichtet, dahinein wurde ca. 2 ccm Lösung von prim. Kalziumphosphat gegossen, es bildete sich ein Kolloid über der Gelatine, von welchem doch etwas sich in molekulardispersem Zustande vorfindet oder hinübergehen kann und so diffundierbar werden. In der Gelatine hineindif-

fundiert bildet es wieder ein Kolloid, welches wieder Veränderungen unterworfen ist. 1. Dez. phot. Es haben sich moosartig geformte „osmotische Gewächse“ gebildet, kolloide Schichten und Membranen.

Es scheint nicht ausgeschlossen, dass man durch weitere Experimente mit Silikaten Resultate erzielen könnte. Ich weiss, dass Prof. Schröder, Berlin, Versteinerungsversuche in dieser Richtung gemacht hat.

Ausser diesen Versuchen habe ich verschiedene Reihen von Experimenten ausgeführt, zum Teil um die Wirkung verschiedener Zusätze, z. B. Chlorkalzium und vor allem prim. Kalziumphosphat, welches eine vorzügliche Mineralisationsfähigkeit gezeigt hat, teilweise um die Muzinwirkung des Speichels nachzuahmen, zu probieren. In letztgenannter Richtung habe ich versucht, die Weinsäure in Rp. 1 zu inkludieren durch Behandlung mit Traganth, Gummi arabic., Milch oder Gelatine, die schon früher als ein Stoff in Betracht gezogen ist, der in dieser Richtung geprüft werden dürfte. Es zeigte sich, dass in allen diesen Serien nur der Gelatinezusatz die angestrebte Wirkung hatte. Die Formel meines Präparates zum therapeutischen Gebrauch als Anticarieticum lautet demnach wie folgt:

Rp. acid. tartaric	gram	448
solut. gelatin. alb. 10 %	„	50
m. et ad.		
phosphat. calcic. praecip.		
carb. calcic. praecip.		
hydratocarb. magnesic. ana	„	160
m. et sic.		
adde		
chlreti natric.	„	160
bicarb. natric.	„	560

Die theoretische Begründung dieser Verbesserung liegt teils darin, dass die Weinsäurekörner in eine Hülle von Gela-

tine inkludiert werden, wodurch das Präparat haltbar wird, die Reaktion beim Gebrauch retardiert wird, die Carbaminsäurereaktion zwischen den Aminogruppen der Gelatinemolekülen und der sich entwickelnden Kohlensäure zur Erhöhung der Löslichkeit der Mineralbestandteile möglich wird, sowie der Einfluss der Gelatine selbst auf die Löslichkeit besonders des Phosphats zur Geltung kommt. Auch verleiht die Gelatine der Lösung des Pulvers eine gewisse Viskosität, welche zudem dem zu schnellen Freiwerden des Kohlendioxydes vorbeugt.

Als eine Hinzufügung zu meinem Vortrage kann ich mitteilen, dass ich trotzdem diese Präparate die Einführung einer effektiven Karies-Prophylaktik und Therapie bedeutet, mich die langwierige therapeutische Applikation, die sehr mühsam und zeitraubend ist, veranlasst hat, andere Mittel und Wege, deren es verschiedene gibt, zu versuchen, um eine spontane Remineralisation bei caries incipiens zu erreichen.

Ich schlage deshalb vor, mit klebenden Pflasterchen von Gelatinekomposition oder ähnlichem oder mit Mineralisationszementen Versuche anzustellen, und ich kann hinzufügen, dass meine ersten Versuche mit Zusatz von Kalziumphosphat zu gewöhnlichem gut klebendem Zement schon vielversprechend waren und dass ich nächstens über diese Versuche gelegentlich der 100sten Versammlung deutscher Naturforscher zu berichten gedenke.

Resumé:

Trotz allen bisher existierenden Zahnpflegmitteln ist die Zahnkaries in steter und rapider Steigung in der kulturellen Menschheit.

Angeregt durch diese Negativität, dass die wissenschaftliche Zahnheilkunde bis dahin kein effektives Karies-Prophylaktikum, (von einem-Therapeutikum nicht zu reden), angegeben hat, habe ich meine Untersuchungen angefangen, um das Problem in Fluss zu bringen und habe dadurch meine Mineralisations-Theorie aufgebaut.

Dadurch, dass ich, in Uebereinstimmung mit der Biologie, den Schmelz, seine Bildung, prae- und posteruptive Mineralisation (resp. salivatorische Remineralisation) von einem kolloid-chemischen Standpunkte aus betrachtet habe, ist es mir gelungen, die Grundlage nicht allein für eine effektive Prophylaktik, sondern vielmehr für eine Karies-Therapie auszubauen, und zudem habe ich neue Wege für die Kariesforschung angedeutet.

Die Schmelz-Mineralisations-Präparate, die hier besprochen und empfohlen sind, zeugen für die Möglichkeit, dass die Zahnheilkunde in der Zukunft bedeutende Fortschritte in der Bekämpfung der Caries machen wird; es sind aber immer noch so viele Aufgaben zu lösen, dass alle interessierten Zahnärzte und Biologen an den Fortschritten der Kariesforschung arbeiten müssen.
