

Ein Mund voll Chemie

Der Beitrag »Ein Mund voll Chemie« greift ein Thema auf, das vielfältige Möglichkeiten zur Erarbeitung oder Anwendung fachspezifischer und fachübergreifender Fragestellungen und Inhalte bietet. Ausgehend von der Entstehung von Karies werden Schutzmechanismen sowie die Diskussion um verschiedene Zahnfüllungen erläutert und experimentell veranschaulicht. Möglichkeiten zur unterrichtlichen Aufarbeitung werden ebenfalls vorgestellt. Abschließend erfolgt eine Einordnung in die Konzeption Chemie im Kontext.

1 Ein Mund voll Chemie – ein Thema für den Chemieunterricht?

Die Thematik »Ein Mund voll Chemie« bietet zahlreiche Anknüpfungspunkte für eine Behandlung im traditionellen, fachsystematisch orientierten Unterrichtsgang. Sie erfüllt zudem alle Kriterien eines kontextorientierten Unterrichts [vgl. 1, 2]: Ausgehend von für Schülerinnen und Schüler relevanten Fragestellungen (z. B. »Wie entsteht Karies?«, »Sind Amalgamfüllungen gesundheitsschädlich?«) werden grundlegende chemische Konzepte erarbeitet oder angewandt. Die Lernenden erkennen, dass sie bestimmte Fragestellungen wie »Löst sich Quecksilber aus Zahnfüllungen?« nur mit Hilfe grundlegender Fachkenntnisse fundiert diskutieren können. Dieses Fachwissen bleibt somit nicht an unterrichtsspezifischen Beispielen verhaftet (»träges Wissen«, [vgl. 3]), sondern wird auch auf authentische Fragestellungen anwendbar. Die Forderung nach einer deutlich stärkeren Ausrichtung des Unterrichts auf den Erwerb anwendbaren Wissens hat in jüngster Zeit durch die PISA-Ergebnisse [4] neuen Aufschwung bekommen.

Abbildung 1 veranschaulicht mögliche Bezüge zwischen alltagsrelevanten Fragestellungen dieser Thematik und daran zu erarbeitenden fachlichen Inhalten. Auf Grund der Komplexität und Vielfalt der fachlichen Inhalte bietet sich diese Thematik vorrangig zur

Ausgangsfragen	Fachinhalte
Wie entsteht Karies?	→ Kohlenhydrate, Säurebildung, Säure-Base-Reaktionen
Welche Schutzmechanismen gibt es?	→ Pufferwirkung, Remineralisierung, Fluorierung
Was passiert mit Amalgam im Mund?	→ Kontaktkorrosion, Sauerstoffkorrosion, Spannungsreihe der Metalle
Welche Alternativen sind geeignet?	→ Kunststoffe

Abb. 1. Verknüpfung von Fragen mit Fachinhalten.

Wiederholung und Anwendung erworbener Kenntnisse etwa aus den Bereichen der organischen Chemie oder der Elektrochemie an. So haben die Schülerinnen und Schüler beispielsweise die Möglichkeit, Hypothesen über Korrosionsvorgänge an Zahnfüllungen aufzustellen und selbst experimentell zu überprüfen. Hier werden nicht nur grundlegende Begriffe und Kenntnisse, sondern ebenfalls experimentelle Fertigkeiten geübt bzw. überprüft. Auch die Diskussion über alternative Zahnfüllungen bietet vielfältige Möglichkeiten zum situierten und eigenständigen Lernen [vgl. 5]. Auf der Basis eigener Recherchen (z. B. im Internet oder durch Gespräche mit Zahnärzten) können Anforderungen an Werkstoffe gestellt werden. Darauf aufbauend können eigene Untersuchungen und Prüfungen geplant und durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler lernen dabei die Notwendigkeit vielfältiger Perspektiven [vgl. 5] und Maßstäbe für die Entwicklung und Beurteilung von Zahnfüllungen kennen. Auch der Forderung nach fachübergreifenden Bezügen wird in dieser Einheit Rechnung getragen: Die Zusammensetzung der Mundflora, die Verdauungsprozesse im Mund sowie die Entstehung von Karies bieten sich für eine fachübergreifende Behandlung mit der Biologie an. Da in der Sekundarstufe II die Kurswahlen verschieden sind, kann an dieser Stelle auf die Methode der »Expertenbildung« zurückgegriffen werden. Diese kann u. a. durch den Einsatz eines Gruppenpuzzles umgesetzt werden.

Eine mögliche Schwierigkeit ergibt sich durch den Umgang mit Zähnen oder Speichel. Hier bietet jedoch eine arbeitsteilige Vorgehensweise die Möglichkeit, je nach Interesse der Lernenden individuell experimentelle oder theoretische Schwerpunkte zu setzen. Ausgehend von den genannten Ausgangsfragen wollen wir im Folgenden Ansatzpunkte für die Gestaltung einer Einheit »Ein Mund voll Chemie« vorstellen.

2 Der Karies auf der Spur

Bereits 1889 hat der amerikanische Arzt Miller eine Hypothese zur Entstehung von Karies aufgestellt, die auch heute noch Bestand hat: »Die Zahnkaries ist ein chemisch-parasitärer Vorgang, bestehend aus zwei deutlich ausgeprägten Stadien, der Entkalkung respektive der Erweichung des Gewebes und der Auflösung des erweichten Rückstandes...« [6].

Karies greift vorwiegend den Zahnschmelz an, obwohl dies die härteste im menschlichen Organismus gebildete Substanz mit einem mineralisierten Anteil von 96 bis 98% ist. Mineralsalze (vornehmlich Calciumphosphate, Hydroxylapatit) sind hier als Kristallite in ein Netz organischer Verbindungen eingelagert. Unter dem Zahnschmelz befindet sich das Dentin, das

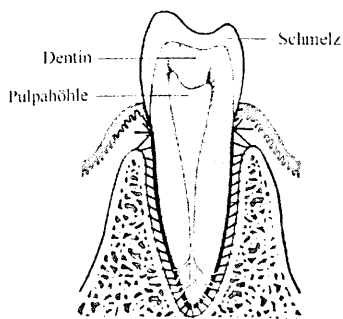


Abb. 2. Aufbau eines Zahns [6]

weniger mineralisiert und deshalb auch nicht so hart und spröde ist. Es ähnelt in seiner Zusammensetzung dem Aufbau des menschlichen Skelettes. Im Inneren des Zahns liegt schließlich die Pulpahöhle (Zahnmark), in dem sich die Nervenenden befinden, die den stechenden Schmerz beim Bohren weiterleiten. Abbildung 2 zeigt den Zahnaufbau.

Der erste Schritt der Entstehung von Karies ist die biochemische Produktion von Säuren durch Mikroorganismen, die zur Erweichung des Zahnschmelzes führen. Diese Erweichung des Zahns kann im Experiment gezeigt werden:

Versuch 1: Demineralisation des Zahns

Geräte und Chemikalien: 50-ml-Becherglas, Reagenzglas, Trockenschrank, Tropfpipette, extrahierter und möglichst schon desinfizierter Zahn, verdünnte Ammoniak-Lösung, $c(\text{NH}_3) = 2 \text{ mol/L}$, Ammoniumoxalat, Milchsäure, $w(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 45 \%$, Phosphorsäure, $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 30 \%$.

Durchführung: Der Zahn wird desinfiziert, indem man ihn für einige Minuten in kochendes Wasser legt. Dieser wird dann für ca. 20 Minuten in die Milchsäure gelegt und anschließend im Trockenschrank getrocknet. Die in der Milchsäure gelösten Calcium-Ionen kann man in ammoniakalischer Oxalat-Lösung nachweisen. Alternativ kann der Zahn auch durch die Phosphorsäure geätzt werden, da hier der Calciumnachweis bereits nach ca. 1 Minute gelingt.

Beobachtung und Auswertung: Der getrocknete Zahn hat weißliche Flecken bekommen, die die Erweichung des Schmelzes anzeigen. Diese Flecken sind sichere Vorboten der Karies. Des Weiteren hat sich die Oberflächenbeschaffenheit des Zahns verändert, er fühlt sich rau und stumpf an. Diese Veränderungen zeigt Abbildung 3.

Durch Einwirkung von Milchsäure, Essigsäure oder Apfelsäure auf die Schmelzoberfläche löst die Säure eine mehr oder weniger gleichmäßige Schicht, indem Hydroxylapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ in Lösung gebracht wird. Das Hydroxylapatit wird durch Milchsäure vorwiegend zu Calciumdihydrogenphosphat $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ abgebaut. Im Gegensatz dazu wird bei der Einwirkung der Phos-

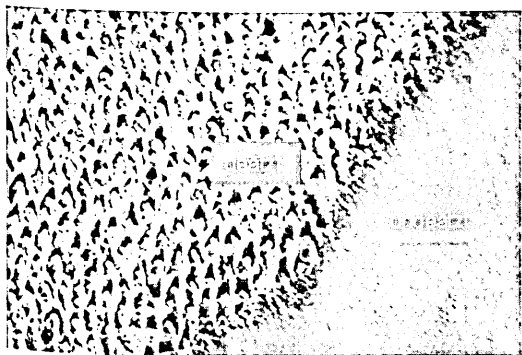


Abb. 3. Oberflächenbeschaffenheit eines mit Phosphorsäure geätzten Zahns [7]

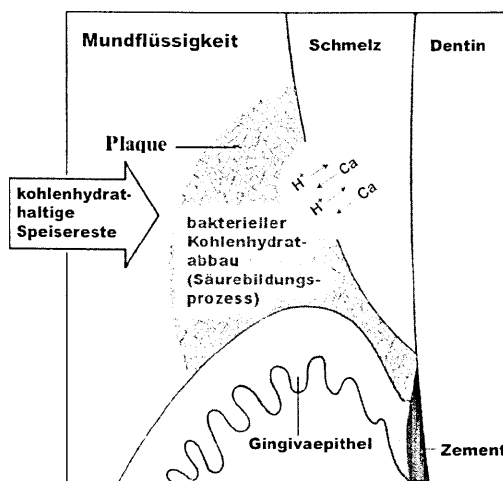


Abb. 4. Entstehung von Karies (Nolden 1985)

phorsäure auf den Hydroxylapatit vorwiegend Calciumhydrogenphosphat gebildet [8].

Die Calcium-Ionen werden jeweils als Calciumoxalat gefällt und man erkennt einen weißen Niederschlag: $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$

Warum wird diese Demineralisierung insbesondere durch kohlenhydrathaltige, oftmals säurefreie Speisen verursacht? Bereits Aristoteles war aufgefallen, dass der häufige Verzehr von süßen Feigen schadhafte Zähne zur Folge hat. Der Zusammenhang zwischen Karieshäufigkeit und Verzehr von Kohlenhydraten ergibt sich durch mikrobielle Stoffwechselforgänge: Kohlenhydrate werden durch Gärung abgebaut, wobei im Wesentlichen Milchsäure entsteht, die dann, wie oben beschrieben, Teile des Zahns auflöst und demineralisiert (Abb. 4). Für den Gärungsprozess sind vor allem die Bakterien *Mutans-Streptokokken* und *Laktobazillen* verantwortlich [9].

Ein demineralisierter, weicher Zahn ist empfindlich für weitere Bakterien, die die eigentliche Karies, die Zahnfäule, auslösen.

Die Wirkung dieser Mikroorganismen im Mund – und damit indirekt deren Existenz – kann man ebenfalls experimentell nachweisen.

Versuch 2: Nachweis der Wirkung der oralen Mikroorganismen
Geräte und Chemikalien: Petrischale, Traubenzucker, Trockenschrank, Speichel, Kirschkerne o. Ä., Universalindikator.

Durchführung: Der Speichelfluss wird angeregt, indem man den Kirschkerne kurze Zeit lutscht. Im Anschluss daran werden 5 ml Speichel entnommen und in eine Petrischale gegeben. Zu dem Speichel fügt man 5 g Traubenzucker sowie einige Tropfen Universalindikator-Lösung hinzu, notiert den pH-Wert und stellt diese Lösung für 48 Stunden bei 37 °C (Körpertemperatur) in den Trockenschrank. Die Petrischale wird mit einer zweiten Schale fest verschlossen, sodass kein Kontakt mit der Lösung bestehen kann. Die Veränderungen des pH-Wertes werden an Hand des Farbverlaufs verfolgt, ohne dass die Schale wieder geöffnet wird.

Beobachtung und Auswertung: Der pH-Wert ändert sich zunächst nicht, erst nach 48 Stunden kann man eine deutliche Absenkung des pH-Wertes von 7,5 auf 4 feststellen. Diese Absenkung des pH-Wertes findet so langsam statt, weil das System »Speichel« abgepuffert ist und die Mikroorganismen sich in der Wärme erst vermehren müssen.

Bereits ab einem pH-Wert von 5,5 geht man davon aus, dass der Zahn geschädigt wird und die Demineralisation des Zahns stattfindet. Im Mund befinden sich die Mikroorganismen, die für den Abbau der Kohlenhydrate verantwortlich sind.

3 Kariesprophylaxe

3.1 Körpereigene Schutzmechanismen

Der menschliche Körper selbst verfügt über Schutzmechanismen, die die Zähne vor einem Kariesbefall schützen sollen. Vor allem der körpereigene Speichel schützt die Zähne vor dem Kariesbefall. Der Speichel besteht zu 99,5 % aus Wasser, in dem die Kalium-, Natrium-, Calcium-, Phosphat- und Hydrogencarbonat-Ionen und weitere Spurenelemente gelöst sind. Die genaue Zusammensetzung des Speichels hängt von verschiedenen Faktoren wie der Tageszeit, dem Gesundheitszustand, der Nahrungszusammensetzung u. a. ab. Aufgrund der im Speichel gelösten Mineralien trägt der Speichel während des ganzen Lebens zur Zahngesundheit bei. Treten in Folge des Säureangriffs demineralisierte Stellen im Zahnschmelz auf, so erfolgt eine Remineralisation dieser Stellen durch die im Speichel gelösten Ionen. Hierbei diffundieren Calcium-, Phosphat-, Magnesium-, Fluorid-Ionen und verschiedene Spurenelemente in den oberflächlichen Zahnschmelz. Es kommt zu einer Zunahme der Oberflächenhärte und zu einer Abnahme der Permeabilität. Das Ergebnis ist eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber »Kariesattacken« [10].

Der Speichel ist mit Calcium- und Phosphat-Ionen gesättigt, wobei spezifische Proteine verhindern, dass die Mineralsalze im Mund ausfallen. Wenn dies beispielsweise in der Zahnplaque doch geschieht, ist Zahnsteinbildung die Folge.

Experimentell kann man das Löslichkeitsprodukt des Calciumphosphats exemplarisch untersuchen.

Versuch 3: Überschreitung des Löslichkeitsproduktes beim Speichel
Geräte und Chemikalien: Trichter, Filterpapier, Speichel, Kirschkerne, Reagenzgläser, 2 kleine Bechergläser, Calciumchlorid-Hexahydrat.

Durchführung: Mit dem Kirschkerne wird die Speichelproduktion angeregt, dieser wird anschließend in einem kleinen Becherglas gesammelt. Im Anschluss daran wird der Speichel filtriert, um etwaige Schwebstoffe, die z. B. aus Speiseresten bestehen können, aus dem Speichel zu entfernen. Es werden drei Reagenzgläser gefüllt, wobei sich in dem einen Wasser und in den beiden anderen Speichel befindet. In das Reagenzglas mit Speichel und in das Reagenzglas mit Wasser wird jeweils 0,2 g Calciumchlorid (eine Spatelspitze) gegeben.

Beobachtung und Auswertung: Man gibt eine Spatelspitze Calciumchlorid in das Reagenzglas mit Wasser, um zu zeigen, dass sich das Salz problemlos löst. Gibt man die Spatelspitze in das Reagenzglas mit Speichel, so beobachtet man, dass sich das Salz ebenfalls löst. Allerdings beobachtet man gleichzeitig einen kristallinen Niederschlag, der die Lösung trübt. Das Calciumphosphat fällt kristallin aus, weil das Löslichkeitsprodukt bei der Zugabe der zusätzlichen Calcium-Ionen überschritten wird.

Der Speichel übernimmt eine weitere Schutzfunktion für die Zähne, denn durch die ständige Produktion von Speichel, die vor allem beim Essen angeregt wird, tritt ein stetiger Verdünnungseffekt auf. Diese Schutzwirkung erfordert allerdings eine ausreichende Produktion von Speichel. Wenn die Speichelflussrate herabgesetzt ist, ist das Kariesrisiko deutlich erhöht. Von einer normalen Speichelflussrate spricht man, wenn ca. 1 ml Speichel pro Minute produziert wird [9].

Ebenso besteht aufgrund der bereits angesprochenen Pufferkapazität des Speichels eine Schutzwirkung, die wiederum experimentell untersucht werden kann. Da einige Schüler ein Gefühl von Ekel empfinden könnten, wäre es möglich, den folgenden Versuch ausschließlich mit Speichelerersatzflüssigkeit durchzuführen.

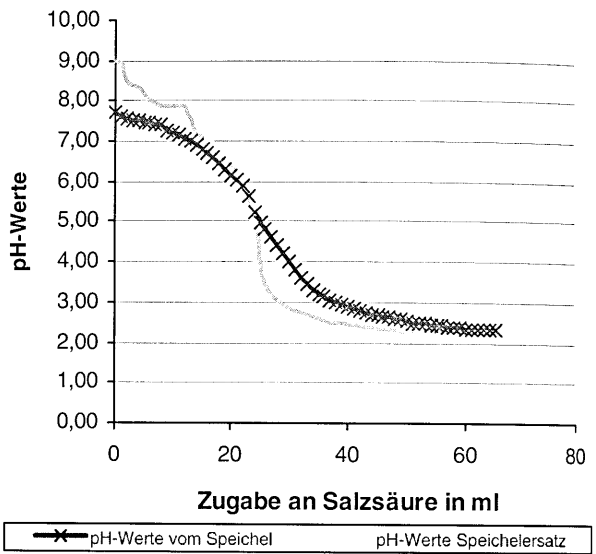


Abb. 5. Titration von Speichel mit Salzsäure $c(\text{HCl}) = 0,01 \text{ mol/l}$

Versuch 4: Nachweis der Pufferkapazität des Speichels bzw. des Speichelersatzes

Geräte und Chemikalien: Bürette, Erlenmeyerkolben, Becherglas, Rührfisch, Rührer, pH-Meter, Kirschkerne, Kaliumchlorid, Natriumhydrogencarbonat, Salzsäure, $c(\text{HCl}) = 0,01 \text{ mol/L}$.

Durchführung: Im Vergleich wird die Pufferkapazität von künstlichem und natürlichem Speichel ermittelt. Während der künstliche Speichel angesetzt wird, indem man 1,57 g Kaliumchlorid und 1,18 g Natriumhydrogencarbonat in 1 l Wasser löst, gewinnt man den natürlichen Speichel, indem man den Speichelfluss mit einem Kirschkerne anregt und den Speichel in einem Becherglas sammelt. Es werden jeweils gleiche Volumina an Speichel bzw. Speichelerersatz vorgelegt und gegen Salzsäure titriert. Der Verlauf des pH-Wertes wird mit dem pH-Meter verfolgt.

Beobachtung und Auswertung: Aus dem Kurvenverlauf (Abb. 5) wird deutlich, dass das System »Speichel« gut gepuffert ist. Trotz einer kontinuierlichen Zugabe von Salzsäure verändert sich der pH-Wert anfänglich nur gering. Die Titrationskurve des Speichelersatzes weist eine ähnliche Charakteristik auf. Hieraus wird deutlich, dass vor allem Hydrogencarbonat-Ionen für die Pufferkapazität des Speichels verantwortlich sind. Im natürlichen Speichel befinden sich vor allem Calciumhydrogencarbonat-Ionen, die unter Freisetzung von Kohlendioxid und Wasser bei Säureeintrag abgebaut werden können.

3.2 Kariesprophylaxe durch aktive Zahnpflege

Die Kariesprophylaxe kann verbessert werden, indem man die Zähne mechanisch mit der Zahnbürste von Plaque befreit (Abb. 6). In der sich natürlich bildenden Plaque ist die Konzentration an Mikroorganismen besonders hoch; durch deren Entfernung wird der Abbau der Kohlenhydrate substanziell verlangsamt.

Auch durch das Kauen eines Kaugummis erfolgt eine mechanische Reinigung. Zuckergefreie Kaugummis haben weiterhin den Effekt, dass sie den Speichelfluss anregen und damit zusätzlich einen Verdünnungseffekt hervorrufen.

Weiterhin können die Zähne aktiv gegen eine Demineralisation geschützt werden, indem eine Fluorierung der Zähne vorgenommen wird. Diese Schutzwirkung wird durch das folgende Experiment demonstriert.

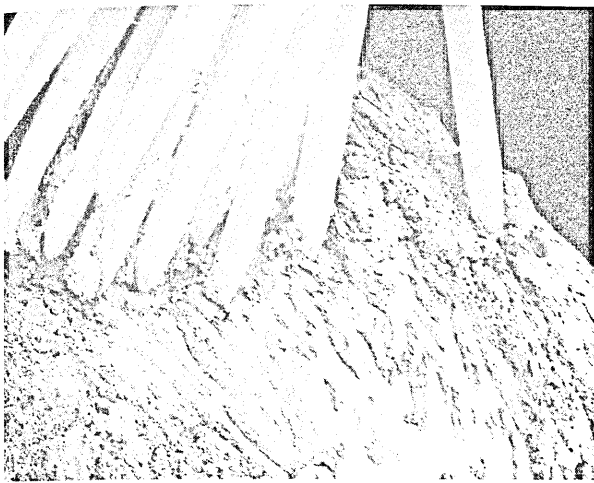


Abb. 6. Entfernung der Plaque durch die Zahnbürste [11]

Versuch 5: Fluoridierung und Remineralisation der Zähne
Geräte und Chemikalien: gezogener und desinfizierter Zahn, Elmex Gelee*, Trockenschrank, Reagenzglas, Glasschale, Phosphorsäure, $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 30\%$.

Durchführung: Der Zahn, den man von einem Zahnarzt bekommen kann, wird über Nacht einseitig in Elmex Gelee* eingelegt (Abb. 7). Anschließend wird der Zahn in Phosphorsäure gegeben. Nach einer Minute nimmt man den Zahn aus der Säure und trocknet ihn im Trockenschrank. Anschließend legt man den Zahn mit der rauhen, fleckigen Seite erneut über Nacht in das Gelee, um zu zeigen, dass die Zahnpflegeprodukte die Zähne auch remineralisieren können.

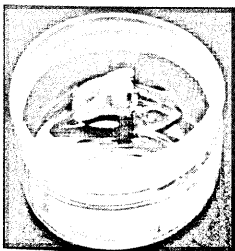
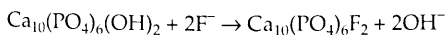


Abb. 7. Fluoridierung eines Zahns

Beobachtung und Auswertung: Nach der Ätzung in der Phosphorsäure beobachtet man an dem Zahn unterschiedliche Ätzbilder: Die fluoridierte Seite ist glatt und zahnfarben, die unfluorierte Seite ist rau geworden und hat weiße Flecken bekommen. Ursache für die unterschiedlichen Erscheinungsbilder ist die veränderte Struktur des Zahns nach der Fluoridierung: Die Hydroxyl-Ionen werden im Apatit durch die Fluorid-Ionen ersetzt:



Der gebildete Fluoroapatit ist wesentlich resistenter gegenüber Säuren als Hydroxylapatit.

Nachdem der Zahn über Nacht mit der rauhen, fleckigen Seite in dem Gelee gelegen hat, stellt man fest, dass die weißlichen Flecken verschwunden sind und der Zahn sich nicht mehr so rau anfühlt. Der Zahn ist durch die in dem Gelee gelösten Mineralien remineralisiert worden.

In vielen Zahnpflegeprodukten sind Aminfluoride enthalten. Diese besitzen eine besondere Molekülstruktur: Das Fluorid-Ion ist an einen organischen Fettsäureaminrest gebunden. Aminfluoride haben somit einen hydrophoben Anteil, die nicht polare Kohlenwasserstoffkette. Dagegen ist der »Aminkopf« mit dem Fluorid-Ion hydrophil. Solche Moleküle reagieren tensidähnlich, sie setzen die Oberflächenspannung des Speichels herab und bilden eine homogene molekulare Schicht auf den oralen Oberflächen. Diese Schicht wird weniger leicht von den oralen Flüssigkeiten weggespült, so dass der Wirkstoff über einen längeren Zeitraum verfügbar ist.

Bei den anorganischen Fluoriden übernimmt das Gegen-Ion Natrium keine Transportfunktion, hier verteilt sich das Fluorid statistisch in der Mundhöhle (Produktinformation ELMEX).

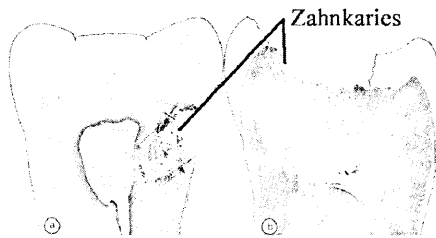


Abb. 8. Kariöser Zahn

3.3 Die zahnärztliche Versorgung der Karies: Füllungen in der Diskussion

Wenn ein Zahn von Karies befallen ist, hilft nur noch das mechanische Entfernen durch den Diamantbohrer des Zahnarztes. Die entstandenen Löcher müssen anschließend gefüllt werden (Abb. 8). Bis Anfang der neunziger Jahre war es fast selbstverständlich, dass Füllungen im Seitenzahnbereich mit Amalgamen gelegt wurden. Heute verdrängen Kunststofffüllungen die Amalgamfüllungen mehr und mehr.

Welche Anforderungen stellen wir an Zahnfüllungen? Eine Grundvoraussetzung ist die hohe Bioverträglichkeit des Materials. Daneben muss es ähnliche Eigenschaften aufweisen wie der natürliche Apatit. Das Füllmaterial muss ausreichend fest sein, damit durch die Belastungen beim Kauen die äußere Form nicht verloren geht. Des Weiteren muss der Werkstoff den Bedingungen im Mundmilieu lange standhalten, d. h. eine große Resistenz gegenüber Säuren aufweisen. Nicht unwichtig ist ferner, dass der Zahnarzt das Material relativ einfach verarbeiten und spaltenfrei in die Füllung einfügen kann. In Spalten zwischen Zahn und Füllung können anderenfalls Bakterien eindringen, die zur Bildung einer Sekundärkaries führen. Aus ästhetischen Gründen ist es schließlich vorteilhaft, wenn das Material eine natürliche Zahnfarbe aufweist. Letztlich sollte der Preis der Füllung in einem vertretbaren Rahmen bleiben [12].

3.3.1 Amalgamfüllungen

Gerade die Bioverträglichkeit wurde bei den Amalgamfüllungen in den 80er- und 90er-Jahren in Zweifel gezogen, diese Diskussion hält bis heute an. Zeitungszitate wie »Amalgamfüllungen sind Giftmüll im Mund« (Nord West Zeitung Oldenburg, 3.11.90) haben Patienten verunsichert und nicht zu einer sachlichen Erörterung dieser Frage geführt.

Amalgame, die im Mund eingesetzt werden, sind Legierungen aus Zinn, Silber, Kupfer und Quecksilber. Nachdem die Füllung in den aufgebohrten Zahn (Kavität) eingebracht wurde, härtet sie durch eine Kombination aus Diffusions- und Ausscheidungsprozessen aus. Das Quecksilber wird dabei in einer festen Quecksilber-Silber-Phase gebunden. In älteren Amalgamen, die heute nicht mehr zugelassen sind, bildete sich außerdem eine Quecksilber-Zinn-Phase, die so genannte Gamma-2-Phase. Sie war durch den hohen Anteil von Zinn korrosionsanfällig. Bei modernen Amalgamen wird durch einen höheren Kupferanteil erreicht, dass

sich anstelle der Gamma-2-Phase eine korrosionsbeständigere Bronzephase ausbildet.

Die Vorteile des Amalgams liegen in einer ähnlichen Abriebbeständigkeit, wie sie der natürliche Zahn aufweist. Das Material verfügt ferner über eine sehr hohe Festigkeit und damit über eine lange Lebensdauer. Selbst eine gewisse Korrosionsanfälligkeit der Füllung ist durchaus von Nutzen, denn sie sorgt dafür, dass sich der feine Spalt, der sich zwischen der Füllung und dem Zahn beim Einbringen der Füllung bilden kann, mit Oxidationsprodukten wie z. B. Zinnoxid füllt und somit eine Sekundärkaries vermieden wird. Diese Oxidschicht, die sich auch auf der Oberfläche bildet, sorgt darüber hinaus dafür, dass die Oxidation von Edelmetallen an der Oberfläche reduziert wird. Nachteilig ist zunächst nur die Farbe der Amalgamfüllung. Es bleibt weiterhin zu untersuchen, ob aufgrund der Toxizität des Quecksilbers von einer Verwendung von Amalgamen Abstand zu nehmen ist [12].

Eine Abschätzung der Toxizität von Amalgamfüllungen erfordert die genauere Betrachtung der Bedingungen in der Mundhöhle. Eine Füllung kommt einerseits in Kontakt mit dem Zahn, und andererseits mit dem Speichel, hier kommt es jeweils zu Wechselwirkungen, wobei es sich im Wesentlichen um elektrochemische Vorgänge handelt [13].

3.3.1.1 Korrosionsvorgänge an Amalgamfüllungen

Das Erscheinungsbild der Amalgamfüllung verändert sich im Laufe der Zeit, da sie elektrochemisch korrodiert wird. Die meisten Korrosionsvorgänge sind auf die Legierungsbestandteile Zinn und Kupfer zurückzuführen, da diese Metalle aufgrund der Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe leichter oxidiert werden können. Dennoch bleibt der Substanzverlust auf lange Sicht minimal, da sich immer wieder neue Deckschichten ausbilden. Diese Passivierungsschicht wird allerdings durch Chloride, die sich im Speichel befinden, destabilisiert. Darüber hinaus verarmen die oberflächennahen Schichten im Laufe der Zeit an korrosionsfähigen Bestandteilen, denn unter den gegebenen Bedingungen in der Mundhöhle haben die Elemente Silber und Quecksilber eine thermodynamisch geringe Tendenz, oxidiert zu werden. Um erkennen zu können, wie groß die Tendenz der Metalle in der Amalgamfüllung ist, oxidiert zu werden und in Lösung zu gehen, bestimmt man das Potenzial. Verglichen wird das Potenzial der Amalgamfüllung mit den

Metall	Potenzial vs. Ag/AgCl-Elektrode [V]	Potenzial vs. NHE [V]
Aluminium	-0,68 ansteigend	-0,446
Eisen	-0,27	0,036
Blechlöffel	0,025	0,259
Silberlöffel	0,124	0,358
Gold	0,21	0,444
Zahngold	0,11	0,344
Amalgam	-0,180	0,054

Tab. 1.

Potenzialen anderer Metalle, die vielleicht ebenso in die Mundhöhle eingebracht werden könnten und mit einer Amalgamfüllung ein galvanisches Element ausbilden können.

Versuch 6: Bestimmung der Potenziale von Metallen in künstlichem Speichel

Geräte und Chemikalien: 2 Bechergläser (100 ml), Stromschlüssel, Voltmeter, Kabel, Goldblech, Amalgamfüllung, Zahngold, Aluminiumfolie, Blechlöffel, Silberlöffel, Krokodilklemmen, künstlicher Speichel (KCl, NaHCO₃), Kaliumchlorid-Lösung, $c(\text{KCl}) = 1 \text{ molL}^{-1}$, und Kaliumnitrat, $c(\text{KNO}_3) = 1 \text{ molL}^{-1}$.
Durchführung: Der künstliche Speichel wird angesetzt (vgl. Versuch 4) und es werden die Potentialdifferenzen, die sich zwischen der Silber/Silberchlorid-Elektrode und den verschiedenen Metallen ergeben, mit der nebenstehenden Versuchsanordnung gemessen (Abb. 9). Die Silber/Silberchlorid-Elektrode kann, falls sie in der Schule nicht vorhanden ist, leicht selbst hergestellt werden und für weitere Potentialmessungen benutzt werden [vgl. 14]. Die Amalgamperle kann man von einem Zahnarzt bekommen. Das Goldplättchen für die Füllung erhält man ggf. vom Zahnlabor, oder es existieren extrahierte Zähne, die eine Goldarbeit (z. B. Krone) aufweisen. Die Metalle tauchen jeweils in den künstlichen Speichel ein. Es ist bei der Versuchsanordnung darauf zu achten, dass die Krokodilklemmen nicht in Kontakt mit der Lösung kommen, da sich sonst ein Mischpotenzial einstellen würde.

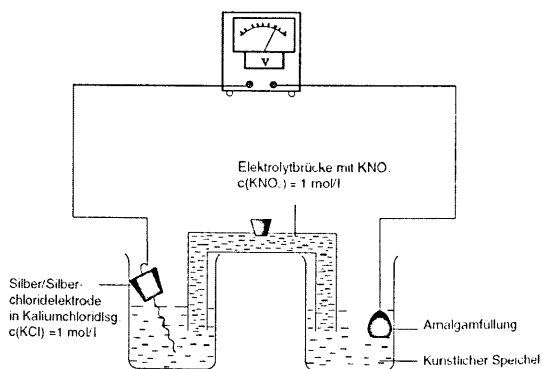


Abb. 9. Versuchsaufbau zur Messung der Potenziale

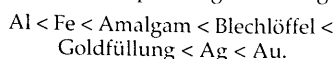
Beobachtung und Auswertung: Man misst eine Potentialdifferenz zwischen der Amalgamfüllung und der Silber/Silberchlorid-Elektrode von $-0,154 \text{ V}$. Die Silber/Silberchlorid-Elektrode weist gegenüber der Normalwasserstoffelektrode NHE ein Normalpotenzial von $0,234 \text{ V}$ aus, weshalb sich nach Umrechnung auf NHE ein Wert von $0,081 \text{ V}$ (Lit.: $0,1 \text{ V}$ bis $0,15 \text{ V}$) [15] ergibt.

Wird die Amalgamfüllung durch ein Zahngoldplättchen ersetzt, so ergibt sich gegen die Silber/Silberchlorid-Elektrode eine Spannung von $0,107 \text{ V}$. Dementsprechend ergibt sich gegen die Normalwasserstoffelektrode eine Spannung von $0,341 \text{ V}$ (Lit.: $0,35 \text{ V}$) [15].

Im Anschluss an die Untersuchung der dentalen Werkstoffe können weitere Metalle bzw. metallische Gegenstände, die u. U. in die Mundhöhle eingebracht werden, untersucht werden. Für Aluminiumfolie, Eisen, Silberlöffel, Blechlöffel und Gold ergeben sich folgende Potenziale:

Das Potenzial des Zahngoldes ist somit deutlich geringer als das Potenzial des reinen Goldes, was darauf zurückzuführen ist, dass in der Goldfüllung auch unedle Legierungsbestandteile enthalten sind und sich folglich ein Mischpotenzial einstellt. Eine Goldlegierung, die im Mund eingesetzt wird, hat z. B. folgende Zusammensetzung (Angaben laut DEGUSSA): Au = 73,8 %, Ag = 9,2 %, Pt = 9 %, Cu = 4,4 %, Zn = 2,0 %, In = 1,5 %, Ir = 0,1 %.

Bei Aluminium stellt sich kein konstantes Potenzial ein, da chemische Reaktionen an der Oberfläche stattfinden und sich deshalb die konstante elektrochemische Doppelschicht nicht ausbilden kann. Die äußere Oxidschicht wird von den in dem künstlichen Speichel enthaltenen Chlorid-Ionen ständig zersetzt. Letztendlich lässt sich eine Reihung der Potenziale aufstellen, die mit der elektrochemischen Spannungsreihe vergleichbar ist:



Die Korrosionsvorgänge an den Amalgamfüllungen können folglich durch einen direkten Kontakt der Füllungen mit elektrochemisch edleren Metallen wie zum Beispiel einer Goldkrone entstehen.

Aber auch innerhalb der Amalgamfüllung können sich Lokalelemente ausbilden, wenn beim Einbringen der Füllung keine homogene Legierung entsteht. Bilden sich in der Füllung eng nebeneinander zwei Arten von »Körnern« unterschiedlicher Legierungszusammensetzung aus, so weisen diese Körner ein unterschiedliches elektrochemisches Potenzial auf und bilden zusammen mit dem Speichel eine galvanische Zelle.

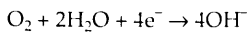
Das elektrochemisch unedlere Metall wird in der galvanischen Zelle oxidiert – bei der Amalgamfüllung gehen vorwiegend Zinn oder Kupfer in Lösung. Diese Auflösung ist bei dieser Füllung allerdings so gering, dass man die Metalle nasschemisch nicht nachweisen kann. An der Kathode findet entsprechend die Reduktion statt und grundsätzlich könnten zwei Reaktionspartner reduziert werden: Entweder werden Wasserstoff-Ionen zu elementarem Wasserstoff reduziert oder der im Elektrolyten gelöste Sauerstoff wird umgesetzt.

Versuch 7: Nachweis der Kathodenreaktion

Geräte und Chemikalien: Becherglas (100 ml), Gold-elektrode, Aluminiumfolie, Amalgamperle, Kabel, Tropfpipette, Phenolphthalein-Lösung, künstlicher Speichel (vgl. Versuch 4), Salzsäure, $c(\text{HCl}) = 0,01 \text{ molL}^{-1}$.

Durchführung: Man gibt den künstlichen Speichel in das Becherglas und fügt einige Tropfen Phenolphthalein hinzu. Um die entstandene Rotfärbung des Indikators rückgängig zu machen, tropft man die Salzsäure so lange zu der Lösung, bis die Färbung gerade verschwunden ist. Die beiden Elektroden (Gold- und Aluminiumelektrode) werden nun in die Elektrolytlösung gehalten und kurzgeschlossen.

Beobachtung und Auswertung: Es zeigt sich schon nach einer kurzen Reaktionszeit eine violette Verfärbung der Lösung. Die Verfärbung des Indikators beginnt an der Grenzfläche zwischen Luft, Goldelektrode und Elektrolyten. Im Anschluss daran überzieht sich die gesamte Elektrode mit einer violetten Schicht. Dieser Versuchsverlauf deutet auf die Sauerstoffkorrosion hin, denn gerade an dieser Dreiphasengrenze ist die Sauerstoffkonzentration, nicht aber die Konzentration an Wasserstoff-Ionen besonders hoch. Die Versuchsergebnisse geben einen eindeutigen Hinweis auf die Sauerstoffkorrosion:



Wiederholt man den obigen Versuch, indem man die Aluminiumfolie durch eine Amalgamperle ersetzt, so müsste sich in diesem Fall ebenso an dem Goldplättchen eine Violett-färbung zeigen. Jedoch stellt man auch nach 24 Stunden noch keine Verfärbung an der Dreiphasengrenze fest. Die Reaktionsrate und damit auch die Auflösung des Amalgams verläuft so langsam, dass man die Bildung von OH^- -Ionen an der Kathode nicht chemisch nachweisen kann.

Zur Beurteilung eines möglichen Gefährdungspotenzials der Amalgamfüllungen reicht die Ermittlung der Spannungsdifferenz nicht aus; entscheidend ist vielmehr, ob es tatsächlich zu einem Auflösungsvorgang und damit zur Ausbildung eines Stromflusses kommt. Die Stromstärke hängt nicht nur von der Potenzialdifferenz, sondern auch von der Größe des Widerstandes zwischen zwei Halbzellen ab.

Versuch 8: Ermittlung des Kurzschlussstroms zwischen einer Amalgam- und einer Goldfüllung

Geräte und Chemikalien: A/D-Wandler mit Rechner, regelbarer Widerstand, Kabel, Krokodilklemmen, Becherglas (100 ml), künstlicher Speichel, Aluminiumfolie, Goldplättchen, Amalgamfüllung.

Durchführung: Die beiden Füllungen werden über einen regelbaren Widerstand leitend so miteinander verbunden, dass der Kontakt zwischen den beiden Füllungen jederzeit getrennt werden kann. Der Widerstand wird auf $10 \text{ k}\Omega$ eingestellt. Mit dem Rechner wird der Spannungsverlauf aufgezeichnet. Im Anschluss kann mit dem Ohmschen Gesetz auf die Stromstärke zurückgerechnet werden (Abb. 10).

Beobachtung und Auswertung: Die Versuchsergebnisse (Abb. 11) zeigen den typischen Verlauf für solche Kurzschlussströme. Vor dem eigentlichen Kurzschluss zeichnet das Messgerät das Eigenrauschen der Messanordnung auf. Bei dem Kurzschluss kann man einen Anstieg des Stroms bis auf $15,2 \mu\text{A}$ feststellen. Im Anschluss an diese Stromspitze nimmt

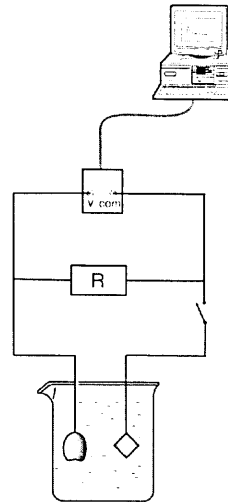


Abb. 10.

Versuchsaufbau zur Ermittlung von Kurzschlussströmen

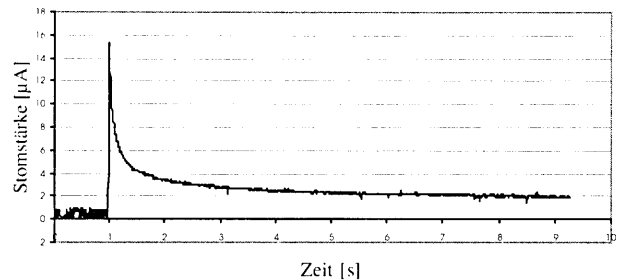


Abb. 11. Kurzschlussstrom Amalgam/Gold

die Stromstärke kontinuierlich ab, bis sie einen konstanten Wert erreicht. Für die Stromstärke sind die Reaktionen in der elektrochemischen Doppelschicht entscheidend. Unter dieser Doppelschicht versteht man die wenige Ionen starke, durch Ladungsverschiebungen hervorgerufene elektrisch geladene Schicht, die die Elektrode direkt umgibt. Die Goldelektrode ist vor dem Kurzschluss von Sauerstoffmolekülen umgeben. Sobald die Sauerstoffmoleküle, die sich beim Kurzschluss in der sich bildenden Doppelschicht befinden, reduziert sind, müssen weitere Sauerstoffmoleküle nachdiffundieren. Da dieser Diffusionsprozess eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, führt dies zu einer Verringerung der gemessenen Stromstärke. An der Anode laufen ebenfalls Diffusionsprozesse ab, die zu einem Abfall der Stromstärke führen.

Nach der Stromspitze nähert sich die Stromstärke einem konstanten Wert, in unserem Fall ergibt sich ein Wert von $2 \mu\text{A}$. Da die Amalgamfüllung in dieser galvanischen Zelle die Anode darstellt, müssen hier die Metallionen in Lösung gehen.

Die gemessenen Stromspitzen führen bei manchen Patienten zu einem Schmerzempfinden. Auch deshalb ist darauf zu achten, dass sich Amalgamfüllungen und Goldkronen nicht direkt berühren [16].

3.3.1.2 Der Biss auf Stanniolpapier – dem Schmerz auf der Spur

Sind die Stromstärken der galvanischen Ströme größer, so empfindet jeder einen stechenden Schmerz. Diese galvanischen Ströme entstehen, wenn man mit einer metallischen Füllung auf eine Aluminiumfolie beißt, die vielleicht noch an einem Stück Schokolade haftet. Die Stromspitzen sind so groß, dass die Reizschwelle der Nervenenden überschritten wird. Die Kurzschlussströme zwischen der Aluminiumfolie und der Goldfüllung werden mit der gleichen Versuchsanordnung von Versuch 8 durchgeführt, nur wird die Amalgamperle durch Aluminiumfolie ersetzt (Abb. 12).

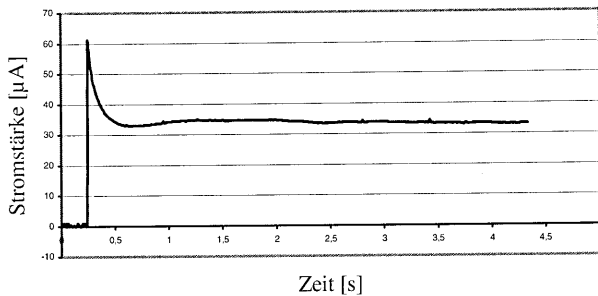


Abb. 12. Kurzschlussstrom Gold /Alufolie

3.3.1.3 Ströme zwischen Füllungen, die sich nicht berühren

Zwischen zwei verschiedenen Füllungen, die sich nicht berühren, fließen aufgrund des hohen Widerstandes zwischen den Füllungen nur sehr geringe Ströme. Der Stromfluss beträgt nur 0,06 µA [17].

Die elektrochemische Auflösung von Teilen der Amalgamfüllung ist also wesentlich höher, wenn die Füllung in direktem metallischen Kontakt zu edleren Füllungen steht.

Neben der Kontaktkorrosion können sich in den Amalgamfüllungen selbst Lokalelemente ausbilden. Ein Spalt in der Füllung kann schon ein solches Lokalelement darstellen (Abb. 13). Durch die unterschiedliche Sauerstoffkonzentration bildet sich dieses Lokalelement aus. An der Oberfläche ist die Sauerstoffkonzentration groß, da hier ständig ein Austausch der Speichelflüssigkeit stattfindet. In dem Spalt hingegen bleibt die Elektrolytflüssigkeit konstant und verarmt mit der Zeit an Sauerstoff. Aufgrund der unterschiedlichen Sauerstoffkonzentration ergeben sich zwischen der Oberfläche und dem Spalt unterschiedliche Potenziale. An der Oberfläche bildet sich die Kathode aus, an der die Sauerstoffkorrosion stattfindet, und in dem Spalt gehen Metallionen in Lösung, so dass der Spalt mit der Zeit immer tiefer wird. Um dieses Phänomen zu verhindern, werden die Amalgamfüllungen poliert.

Die öffentliche Diskussion um Amalgamfüllungen hat zu einer verstärkten Erforschung anderer möglicher Zahnfüllungen geführt, beispielsweise den Kunststoffcomposites. Auch hier gilt es, die Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen.

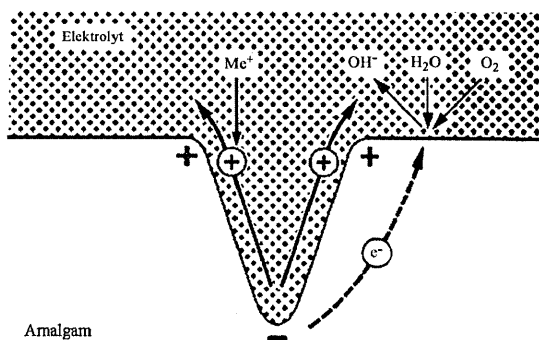


Abb. 13. Die Entstehung der Spaltkorrosion [18]

3.3.2 Kunststoffe im Mund

Der Wunsch nach Alternativen zu den Amalgamfüllungen ist bereits sehr alt. Die ersten Kunststofffüllungen (Composite) wurden bereits 1962 hergestellt. Zur Herstellung eines Composites sind zwei wesentliche Bestandteile nötig: Ein Monomer bzw. Polymer und ein Füllstoff. Bei der Verwendung von Monomeren ist es weiterhin wichtig, dass ein Polymerisations-Initiatorsystem zugeführt wird, damit die Polymerisation gestartet werden kann. Weitere Bestandteile der Zahncomposites sind Stabilisatoren, Farbstoffe, Pigmente und Haftvermittler zwischen dem Füllstoff und dem Polymer. Man verwendete 1962 als Monomer das Methylmethacrylat (MMA). Mit diesem Monomer gelang es zwar, eine zahnfarbene Zahnfüllung herzustellen, aber ihre Verarbeitung war sehr schwierig. Sie waren nicht genügend abriebfest und nach kurzer Tragdauer traten Verfärbungen auf. Die Füllstoffe, die man einsetzte, um den Zahnfüllungen eine Festigkeit zu verleihen, waren ungeeignet. Das eingesetzte Quarzmehl wies eine zu große Korngröße auf, so dass man die Füllungen nicht polieren konnte, ohne sie zu beschädigen. Aber die grundsätzliche Idee bei der Herstellung von Zahncomposites ist bis heute gleich geblieben.

Es gibt bei der Herstellung von Zahnrestorationen aus Kunststoff noch weitere Probleme. So ist die Tatsache, dass die Polymerisation von Composite-Füllungsmaterialien auf Methacrylbasis unter Volumenkontraktion abläuft, streng genommen der limitierende Faktor. Wenn die Zahncomposites sich beim Aushärten zusammenziehen, entstehen an den Rändern der Füllungen kleine Spalte, in die sich Bakterien einnisten. In Folge dessen bildet sich dann unter der Füllung eine Sekundärkaries aus.

Die Ursache für den Polymerisationsschrumpf ist, dass sich bei der Polymerisationsreaktion der Abstand zwischen den Monomermolekülen verringert. (Vgl. Abb. 14)

Niedermolekulare Monomere wie z. B. Methylmethacrylat zeigen wegen des hohen Doppelbindungsanteils pro Volumen einen größeren Schrumpf als höhermolekulare Monomere. Dies ist neben der Tatsache, dass sie schneller polymerisieren, einer der Gründe, warum diese Monomere bei den Kunststofffüllungen eingesetzt werden [19].

Im Folgenden wird ein Modellexperiment zur Herstellung einer »Kunststofffüllung« beschrieben, das allerdings im Gegensatz zum Verfahren des Zahnarztes auf einer thermischen Polymerisation und nicht auf einer photochemischen beruht.

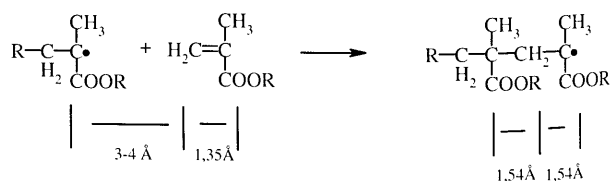


Abb. 14. Reaktionsmechanismus zur radikalischen Polymerisation, Vergleich der Bindungslängen

Versuch 9: Herstellen einer »Zahnfüllung«

Geräte und Chemikalien: Reagenzglas, Magnetrührer mit Rührfisch, Becherglas (500 ml) mit Wasser, Spatel, Waage, Pipette, z. B. Kugelschreiberspitze (als Zahnersatz), Trockenschrank, Mikrofüller (Aerosil[®], DEGUSSA), Methacrylsäuremethylester, Benzoylperoxid.

Durchführung: Man wiegt 0,1 g Benzoylperoxid ab und legt dieses im Reagenzglas vor. Anschließend werden 5 ml Methacrylsäuremethylester hinzugefügt und das Reagenzglas in das 90 °C heiße Wasserbad gestellt.

Die Reaktionslösung wird solange im Wasserbad erwärmt, bis diese nach ca. 15 Min. viskos geworden ist. Diese Reaktionslösung überführt man in ein kleines Becherglas und fügt zu der warmen Reaktionslösung den Mikrofüller hinzu. Dieser löst sich anfangs recht gut in dem Methacrylsäuremethylester. Es wird soviel Mikrofüller hinzugefügt, bis das Polymer plastisch ist und sich gut in das »Zahnloch« (z. B. Kugelschreiberspitze) einbringen lässt. Nachdem der Composite in die Kugelschreiberspitze eingebracht wurde, wird diese Spitze in den Trockenschrank (90 °C) gelegt, um dort komplett auszuhärten.

Beobachtung und Interpretation: Mit Polymethylmethacrylat (PMMA) wurde ein amorpher Thermoplast hergestellt. Methacrylsäuremethylester ist ein Ethen-Derivat, das nach dem Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation reagiert. Bei dieser Reaktion kann man gut den Polymerisations-schrumpf feststellen, der zu großen Problemen bei der Haftung der Composites führt. Aus den unten dargestellten Abständen ergibt sich eine deutliche Schrumpfung.

4 Zusammenfassung

Die Behandlung des Themas »Ein Mund voll Chemie« bietet im Chemieunterricht zum einen die Möglichkeit, für die Schülerinnen und Schüler relevante Fragestellungen aufzugreifen und zu bearbeiten. Zum anderen ist diese Thematik gerade auf Grund ihrer Komplexität hervorragend geeignet, um zuvor erworbene Kenntnisse in einem neuen Zusammenhang erneut anzuwenden und zu üben. Abbildung 15 verdeutlicht eine entsprechende Einbettung in die Konzeption *Chemie im Kontext*.

Die Schülerinnen und Schüler können dabei den Nutzen, aber auch die Grenzen dieser Fachkenntnisse erkennen: Die chemische Grundlage allein ist keineswegs ausreichend, um wirklich beurteilen zu können, welche Zahnfüllung die geeignetste ist; selbstverständlich benötigt man für eine umfassende Beurteilung tatsächlicher Gefährdungspotenziale der Amalgamfüllung weitere Recherchen und Betrachtungen, etwa zum Verbleib von Quecksilber im Körper [20]. Hier bieten sich u. U. fachübergreifende Projekte mit

der Biologie an. Die Schülerinnen und Schüler sind allerdings nach einer entsprechenden Unterrichtssequenz bereits in der Lage, einseitige Darstellungen in den Medien kritisch zu reflektieren und zu beurteilen.

Dank

Wir danken Herrn Dr. dent. JENS SCHLÜTER, Herrn ULLRICH HÜBNER und Herrn Prof. Dr. JÜRGEN GEISGERSTORFER für die fachkundige Unterstützung dieser Arbeit sowie Herrn Prof. Dr. WALTER JANSEN für die konstruktive Diskussion.

Literatur

- [1] I. PARCHMANN – R. DEMUTH, et al.: Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. – Praxis der Naturwissenschaften – Chemie **50** (2001) 2–7.
- [2] I. PARCHMANN – B. RALLE, et al.: Chemie im Kontext – eine Konzeption zum Aufbau und zur Aktivierung fachsystematischer Strukturen in lebensweltlichen Kontexten. – MNU **53** (3) (2000) 132–136.
- [3] A. RENKL: Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. – Psychologische Rundschau **47** (1996) 78–92.
- [4] J. BAUMERT – et al.: PISA 2000. – Opladen: Leske + Budrich 2001.
- [5] H. MANDL – H. GRUBER – et al.: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. – Information und Lernen mit Multimedia. L. J. Issing and P. Klimsa. – Weinheim, Beltz (1995).
- [6] R. NOLDEN: Zahnerhaltungskunde. – Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1985.
- [7] Vivadent Informations-CD Vivadent: Entwicklerspiel.
- [8] GMELIN: System Nr. 28, Ca. (1961) 1142–1158.
- [9] G. DAVID: CRT bacteria – Dokumentation. – Publikation Vivadent, 1999.
- [10] R. LEHMANN: Ökologie der Mundhöhle. – Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1991.
- [11] H. SIEGER: Seid verschlungen, Millionen. Geo, (6) (1995) 137.
- [12] P. ALBERT – K. DERMANN – H. RENTSCH: Amalgam und die Alternativen. – Chemie in unserer Zeit **34** (5) (2000) 300–305.
- [13] M. MAREK: Interaction between dental amalgams and the oral environment. – Adv Dent Res, (6) (1992) 100–109.
- [14] W. JANSEN: Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich 2. Band 6 Elektrochemie. – Köln: Aulis Verlag Deubner & Co, (1994).
- [15] R. MARXKORS – H. MEINERS: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. 4. Auflage. – München: Hanser Verlag (1993).

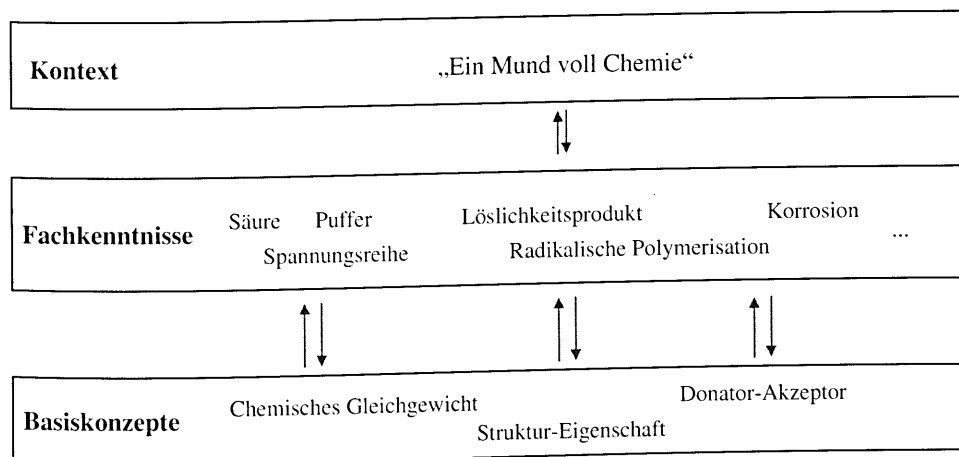


Abb. 15. Chemie im Kontext

- [16] D. LUKAS: Elektrische Strommessungen und Erkrankungen der menschlichen Mundschleimhaut. – Deutsche zahnärztliche Zeitung **36** (1981) 144–147.
- [17] D. LUKAS: Über die Messung von Spannungen und Kurzschlussströmen an zahnärztlichen Metallen. – Deutsche zahnärztliche Zeitung **28** (1973) 394–405.
- [18] F. GASSER – H. U. KÜNZI: Metalle im Mund. Quintessenz Verlags-GmbH, (1984).
- [19] U. SALZ: Der gefüllte Zahn – ein komplexes Verbundsystem. – Ivoclar-Vivadent Report, (1992).
- [20] H. MARQUARDT (Hrsg.): Lehrbuch der Toxikologie. – Mannheim, BI Wissenschaftsverlag (1994).

HENDRIK VENNEMANN, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, Didaktik der Chemie, Postfach 2503, 26111 Oldenburg, venne@hrz2.uni-oldenburg.de, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr. WALTER JANSEN.
Prof. Dr. ILKA PARCHMANN, Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) Kiel, Olshausenstr. 62, 24098 Kiel, parchmann@ipn.uni-kiel.de, ist stellvertretende Abteilungsleiterin in der Abteilung Didaktik der Chemie am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und ist bekannt durch ihre Arbeiten auf dem Gebiet »Chemie im Kontext«.

JUTTA LUMER – FRIEDERIKE PICARD

Aufbau und Struktur von Proteinen und Nukleinsäuren

Eine Concept-Mapping-Aufgabe

Vorgestellt wird eine praxiserprobte Concept-Mapping-Aufgabe, die hilft, das Basiswissen zu Aufbau und Struktur von Proteinen und Nukleinsäuren sowohl zu (re)aktivieren und zu festigen als auch Fehlvorstellungen zu korrigieren.

1 Einführung

Befragt man Oberstufenschüler oder Biologiestudienanfänger nach ihren Grundkenntnissen zum Aufbau und zur Struktur der Stoffe Proteine und DNA sind Verwechslungen wie z. B. »Nukleinsäuren bestehen aus einer Aminogruppe und einem Rest« nicht selten [1, 2]. Es zeigt sich darüber hinaus, dass das Grundlagenwissen fehlt, um die molekularen Prozesse, bei denen diese Moleküle die Hauptrolle spielen – allen voran Transkription und Translation – verstehen und in Grundzügen richtig schildern zu können [2, 3].

Dies aber bedeutet in der Konsequenz, dass somit auch die Wissensbasis fehlt, aktuelle Diskussionen im Bereich Bio- bzw. Gentechnologie fundiert verfolgen zu können. Gerade dies wäre aber im Hinblick auf die allseits geforderte naturwissenschaftliche Allgemeinbildung (scientific literacy vgl. dazu [4, 5]) wünschenswert.

So ist das Ziel der hier geschilderten Concept-Mapping-Aufgabe »das Übel bei der Wurzel zu fassen«: Sie hilft den Lernenden ihr Vorwissen im Bereich Proteine und Nukleinsäuren zu aktivieren und zu ordnen, den sinnvollen Gebrauch der dazugehörigen Begriffe einzuüben und nicht zuletzt bestehende Fehlvorstellungen,

wie z. B. Verwechslungen, aufzuspüren und zu bereinigen.

2 Concept-Mapping

In den letzten rund 15 Jahren sind international eine Reihe von Publikationen erschienen, denen zufolge sich so genannte Concept-Mapping-Verfahren als hilfreiche Instrumente erwiesen haben, die wesentlichen Informationen eines Sachinhaltes zu erkennen, zusammenzufassen und zu verknüpfen und dadurch das sinnvolle Lernen von Begriffen und ihren Beziehungen zu fördern (z. B. [6, 7]). Mapping-Verfahren orientieren sich an den Theorien des semantischen Gedächtnisses. Diesen zufolge entspricht die Netzdarstellung von Begriffsinhalten am besten dem gegenwärtigen Wissen darüber, wie Begriffsinhalte im menschlichen Gedächtnis gespeichert sind [8]. Diesen Vorstellungen folgend, stehen die Knotenpunkte eines Netzes für Begriffe, die Netzmaschen für die gerichteten Relationen, die sie verbinden. So werden aus zwei oder mehreren Begriffen mit den sie verknüpfenden Relationen Aussagen hergestellt (vgl. Abb. 1 und 2). So unterstützt die grafische Darstellung von Inhalten in Form von Netzen den Aufbau von Wissensstrukturen. Hat der Lernende solche aufgebaut und ist er in der Lage neu zu verarbeitende Informationen zu integrieren, bedeutet dies, er hat verstanden. Einordnen und Behalten von neuem Wissen bereitet nur dann wenige Schwierigkeiten, wenn Neues an Vorhandenes angeknüpft werden kann.