



Elisabeth Hahn, \*1994  
Anna Victoria Behr, \*1992  
Halle/Saale

Schule:  
Elisabeth-Gymnasium,  
Halle/Saale

Eingang der Arbeit:  
Juli 2009

Zur Veröffentlichung angenommen:  
Oktober 2009

## Den Vitaminen auf der Spur

### Entwicklung und Bau eines Lichtstiftes für fotometrische Messungen

Für die einfache Bestimmung des Vitamin C-Gehaltes von Obst oder Gemüse entwickelten wir einen Lichtstift. Dieser besteht aus einer Küvette mit einer Iod haltigen Schicht. Die Entfärbung der Iod-Schicht wird über fotometrische Messungen elektrisch registriert. An verschiedenen Beispielen zeigen wir die Anwendung des Lichtstiftes.

#### 1 Einleitung

Unser Immunsystem wird durch die immer stärker werdende Beanspruchung unserer Umwelt auf lange Sicht belastet. Um dem entgegen zu wirken, sollte man täglich die empfohlene Menge Vitamin C zu sich nehmen (bis zu 100 mg für Erwachsene [9]). Obst und Gemüse sind wichtige Vitamin C Lieferanten der täglichen Nahrung. Doch wie hoch ist ihr Vitamin C Gehalt wirklich? Wie viel dieses lebensnotwendigen Stoffes haben sie durch unsachgemäße Behandlung bereits verloren? Eine schnelle, unkomplizierte Überprüfung des Vitamin C Gehaltes von Lebensmitteln wäre daher sinnvoll.

In unserem Schülerlabor haben wir das Titrationsverfahren mit einer Iodlösung und Stärke als Indikator für die Vitamin C Bestimmung kennengelernt. Da wir dieses Verfahren als zu aufwendig empfanden und auch nicht praktisch anwendbar für eine Vor-Ort-Untersuchung von Lebensmitteln ist,

nahmen wir uns vor, eine schnellere und effizientere Methode zur Bestimmung von Ascorbinsäure zu entwickeln.

#### 2 Grundlagen

##### 2.1 Vitamin C

Ascorbinsäure, auch Vitamin C genannt, ist ein weißes, kristallines Pulver, welches einen leicht säuerlichen Geschmack besitzt. Es ist gut wasserlöslich. In Stoffen wie Diethylether, Benzin oder Fett dagegen löst es sich nicht. Als Pulver ist Vitamin C resistent gegen Licht, Wärme und Luft. Ascorbinsäure ist ein gutes Reduktionsmittel, d. h. es gibt Elektronen ab und vermindert somit andere Stoffe, z. B. freie Radikale.

In Lebensmitteln wie Früchten, Gemüse und verschiedenen Kohlarten ist ein sehr hoher Anteil an Vitamin C nachweisbar. In Fleisch-, Fisch- und Milchprodukten ist es jedoch kaum vorhanden, wird jedoch als Konservierungsmittel oft zugesetzt.

Ascorbinsäure ist ein essenzieller Stoff d.h. der ist für Menschen und Tiere lebensnotwendig, sie können ihn jedoch nicht selber produzieren. Deshalb ist eine tägliche Zufuhr von Vitamin C lebensnotwendig. Bei einem Vitamin C Mangel kann die tödliche Krankheit Skorbut auftreten. Die Anzeichen sind neben Zahnfleischblutungen und starker Müdigkeit auch die Schwächung des Immunsystems durch Infektionskrankheiten [3].

Bei der Herstellung von Ascorbinsäure wird auf das Verfahren des Chemikers Tadeus Reichstein (1897-1996) zurückgegriffen. Dabei wird D-Glukose durch ein chemisch-biochemisches Verfahren zu Sorbit reduziert. Im weiteren Verlauf wird es durch Zugabe von Sorbose-Bakterien zu Kohlenhydrat-L-Sorbose oxidiert. Anschließend folgt eine weitere Oxidation der Sorbose mit Aceton. Eine letztendliche Abspaltung des Acetons und eine Wasserabspaltung lässt das Vitamin C entstehen [3].

Vitamin C verhindert Mangelkrankheiten wie Skorbut und stärkt das Immunsystem. Des Weiteren ist das Vitamin C ein gutes Mittel gegen Stress und Müdigkeit, steigert die Konzentration und fördert einen gesunden Schlaf. Es wird auch als Konservierungsmittel eingesetzt, da es die oxidative Braunverfärbung und die Verwesung verhindert [3].

## 2.2 Titration mit Farbindikator

Das wohl bekannteste Verfahren zur Bestimmung einer unbekanntes Konzentration ist die Titration mit Hilfe eines Indikators. Um die Konzentration eines Stoffes zu ermitteln, bedarf es einer Titrationslösung mit bekannter Konzentration. Diese ist die Maßlösung. Die Maßlösung wird nun in eine skalierte Bürette gefüllt und die Probelösung in einem Titrierkolben vorgelegt. Nun wird die Maßlösung tropfenweise aus der Bürette gelassen und die Probelösung umgeschwenkt. Dies wird solange durchgeführt, bis die Farbe des Indikators vollständig und anhaltend umschlägt. Für den Vitamin C Nachweis verwendeten wir eine Jod-Maßlösung und versetzten die Probelösung mit Vitamin C mit einer verdünnten Stärkelösung. Der Farbumschlag erfolgte von farblos (Probelösung) zu blau-violett (typische Farbe von Jod in Verbindung mit Stärke).

Der Umschlagspunkt gibt den Äquivalenzpunkt an. Bei dieser Farbveränderung ist der zu untersuchende Stoff umgesetzt. Das bedeutet, dass an diesem Punkt die Stoffmengen der beiden Stoffe gleich sind.

Um die Konzentration des Stoffes ermitteln zu können, muss das verbrauchte Volumen der Maßlösung an der Bürette abgelesen werden. Durch stöchiometrische Umrechnung gelangt man nun zu der Konzentration des zu untersuchenden Stoffes.

## 2.3 Gelatine

Gummibären, Götterspeise, Tortenguss – dies sind Nahrungsmittel, welche aus Gelatine (lat.: gelare = erstarren, steif) bestehen. Die aus Haut (in Europa meistens Schweineschwarte) und Knochen von Tieren hergestellte Gelatine besteht zu ca. 84–90% aus Eiweiß (Proteinen), ca. 1–2% aus Mineralsalzen und 8–12% aus Wasser. Durch ein aufwendiges Verfahren (Säuberung, Extraktion, Erhitzung) wird es zu einem gelblichen Pulver verarbeitet, welches, in kleinen Tüten abgepackt, in jedem Supermarkt zu kaufen ist.

Aber nicht nur in der Lebensmittelindustrie findet Gelatine Verwendung. Auch in der Pharmaindustrie wird es genutzt, z. B. bestehen viele Kapseln oder Zäpfchen aus Gelatine. Außerdem ist es ein guter Ersatz für Blutplasma [8].

## 3. Vorüberlegungen zur Messtechnik

Grundlage für die fotometrischen Messungen bildet das Lambert-Beersche Gesetz, das den Zusammenhang zwischen Extinktion bzw. Intensität und Konzentration des gefärbten Stoffes beschreibt [1]:

$$E_{\lambda} = -\lg \frac{I_1}{I_0} = \epsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d$$

Mit  $E$  = Extinktion;  $I_1$  = Intensität des resultierenden Lichtes;  $I_0$  = Intensität des einfallenden Lichtes;  $\epsilon$  = Extinktionskoeffizient;  $c$  = Konzentration;  $d$  = Schichtdicke.

Abb. 1 zeigt das Prinzip der fotometrischen Messung: Lichtquelle und

Sensor sind gegenüberliegend angeordnet und werden von der zu untersuchenden Lösung getrennt. Das Licht gelangt durch die Probe und wird von dem Sensor aufgenommen.

Je dunkler die Lösung ist, desto weniger Licht trifft auf den Sensor. Diese Versuchsanordnung ist nur für die Untersuchung von Lösungen geeignet. Festkörper können damit nicht untersucht werden. Wir überlegten uns einen Versuchsaufbau, mit dem man auch die Farbänderungen von Oberflächen feststellen kann. Dabei wollten wir eine kleine flexible Messanordnung entwickeln, die neben der Anwendung in Lösungen (z. B. für die Erkennung des Titrationsendpunktes) auch zur Untersuchung von Feststoffen und als Sensor für direkte Messungen in der Probe geeignet sein sollte.

Wir modifizierten das grundlegende Prinzip der Fotometrie in der Weise, dass die Lichtquelle und der Sensor nebeneinander angeordnet und durch eine lichtundurchlässige Wand getrennt werden. (siehe Abb. 2) Beide liegen oberhalb des zu untersuchenden Stoffes. Die Lichtquelle strahlt das Licht auf die Oberfläche, welche je nach Farbton das Licht unterschiedlich stark absorbiert. Je dunkler der Farbton ist, desto mehr Licht wird von der Schicht aufgenommen und demzufolge wird vom Sensor weniger Intensität gemessen.

Diese Anordnung ist für feste Oberflächen und für Flüssigkeiten geeignet. Die verschiedenen Entwicklungsstufen unseres Lichtstiftes, der auf dem beschriebenen Prinzip basiert, sind im folgenden Kapitel beschrieben.

## 4 Entwicklung des Lichtstiftes

### 4.1 Messanordnung

Zunächst überlegten wir uns einen Versuchsaufbau entsprechend dem Prinzip der Reflexionsmessung in Abb. 2. Für eine einfache Handhabung integrierten wir die Lichtquelle und den Lichtsensor in ein lichtundurchlässiges Kunststoffrohr (siehe Abb. 3).

Als Lichtquelle wählten wir eine weiße LED, um möglichst das gesamte Lichtspektrum auf die Probe zu senden. Gegenüber einer herkömmlichen Glühlampe als Lichtquelle hat die LED den

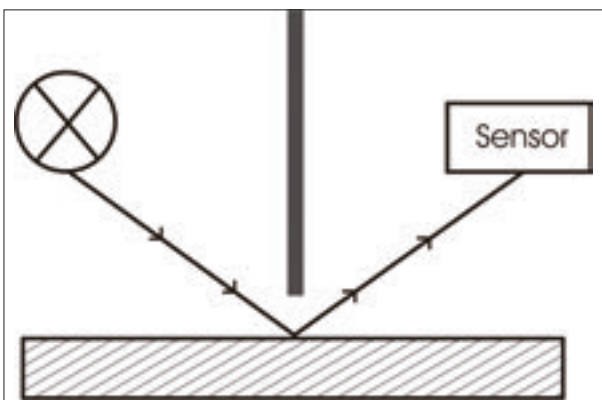


Abb. 2: Prinzip der Reflexionsmessung



Abb. 1: Prinzip der fotometrischen Messung

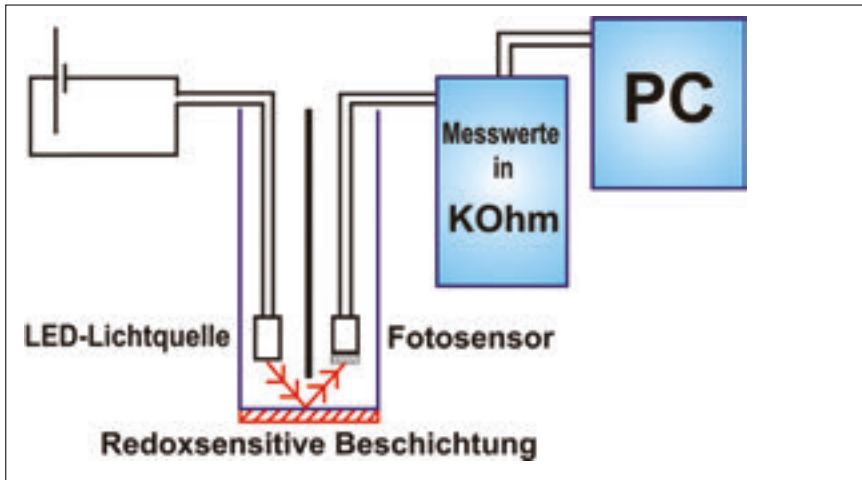


Abb. 3: Prinzip des fotometrischen Lichtstiftes

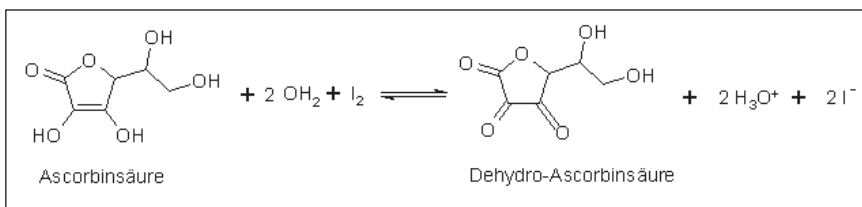


Abb. 4: Reaktion des Iods mit Ascorbinsäure [15]

Vorteil, dass keine Erwärmung der Umgebung stattfindet, wodurch die Messergebnisse verfälscht werden könnten. Als Lichtsensor diente ein empfindlicher Fotowiderstand von Conrad Electronic. LED und Sensor klebten wir auf ein Pappstück und fixierten diese Baugruppe in dem Kunststoffrohr.

Die LED wird von einer außerhalb des Lichtstiftes befindlichen Batterie betrieben. Der Fotosensor ist direkt mit dem Messgerät verbunden. Dieses sendet die gemessenen Widerstandswerte automatisch an den Computer.

Wir testeten den Lichtstift für die Messung an festen Oberflächen, z. B. zur Registrierung der Farbänderung von Bananenschalen. Hierzu wird der Lichtstift direkt auf den zu untersuchenden Stoff aufgesetzt, die Messung gestartet und die Farbveränderung registriert.

#### 4.2 Direkte Messung in Flüssigkeiten

Um direkt in Flüssigkeiten messen zu können, brauchten wir eine Methode, um die Elektronik im Lichtstift zu schützen: Wir befestigten daher ein Probengläschen um den Lichtstift, damit dieser wasserresistent ist.

Nun brauchten wir noch einen Indikator, der in Abhängigkeit vom Vitamin C Ge-

halt die Farbe ändert. Angeregt von der Titration griffen wir auf eine Iod-Lösung zurück. Iod reagiert mit Ascorbinsäure unter Bildung von Hydronium-Ionen und Iodid-Ionen zu Dehydro-Ascorbinsäure (siehe Abb. 4).

Um das Iod auf dem Probengläschen fixieren zu können, nutzten wir das oft in der Küche angewandte Haftmittel Gelatine. Dazu lösten wir die Gelatine im heißen Wasserbad auf und entnahmen einige Tropfen. Diese vermischten wir mit einer kleinen Menge Iodlösung und ließen die Mischung auf dem Boden des Probengläschens in eine starre Schicht erkalten.

Während dieser Vermischung von Iod und Gelatine stellten wir fest, dass nicht jede Gelatinesorte für unseren Versuch geeignet ist. Einige davon reagierten bereits beim Erhitzen der Gelatinelösung mit dem Iod und entfärbten langsam die braune Lösung, sodass kein einheitlicher Ausgangszustand auf den Probengläschen hergestellt werden konnte.

Damit war uns klar, dass einige der Inhaltsstoffe dieser Gelatinesorten vom Iod oxidiert werden. Folglich waren diese Gelatinechargen, z. B. „K Classic“ von Kaufland und „RUF“ von Edeka für unseren weiteren Einsatz ausgeschlossen.

Nach mehreren Testversuchen stellten wir fest, dass die Gelatine von „Dr. Oetker“ für unsere Methode die beste Verbindung mit Iod darstellt, da sie innerhalb kürzester Zeit erstarrte und das Iod nicht entfärbte. Zur Erhöhung der Messempfindlichkeit setzten wir der Iodlösung Stärke zu, so dass sich eine stärkere Farbänderung ergab, da die Iod-Stärke-Komplexe dunkelblau bis schwarz gefärbt sind. Dadurch konnten wir eine stärkere Änderung der Lichtintensität erzielen.

#### 4.3 Prototyp des Lichtstiftes

Unser Lichtstift (Durchmesser: 12 mm; Länge: 120 mm) war so ausgelegt, dass Standard-Probengläschen aus dem Labor (Durchmesser: 27 mm; Länge: 57 mm) genutzt werden konnten. Auf den Boden des Probengläschens wurde die Iod-Gelatine-Schicht fixiert. Der gewölbte Boden der Probengläschen erschien anfangs als eine gute Beschichtungsunterlage zum Zentrieren der Iod-Gelatinelösung, da sich diese Lösung in der Wölbung ansammeln konnte. Nach ein paar Testläufen stellte sich jedoch heraus, dass der Boden eine ungleichmäßig dicke Schicht erzeugte, was zu Schwankungen bei den Messergebnissen führte.

Die Nachteile des Prototyps behoben wir mit unserem miniaturisierten Lichtstift. Im Vergleich zum Prototyp nutzten wir eine kleinere Leuchtdiode und einen kleineren Fotosensor, welche wir ebenfalls mit Heißkleber auf einem Pappstück fixierten. Danach wurde diese Apparatur in eine passend präparierte Filzstiftöhle (Durchmesser: 5 mm, Länge: 55 mm) eingepresst. Die elektrischen Anschlusskabel wurden ebenfalls mit Heißkleber befestigt.

Anstelle der Probengläschen konnten wir nun kleine Küvetten nutzen, die einen klar geschliffenen, ebenen Boden aufweisen. Abb. 5 zeigt den Lichtstift in einem solchen Probengläschen, welches am Boden beschichtet ist.

Mit dem miniaturisierten Lichtstift können wir nun direkt in Proben messen, z. B. in Obst oder Gemüse, um den Vitamin C Gehalt direkt angezeigt zu bekommen.

#### 4.4 Beschichtungstechniken

Wichtiger Punkt für weitere Versuche war es zu klären, wie die Iod-Gelatine-Schicht aufgebracht wird.

Die ersten Gläschen beschichteten wir per Hand, indem wir tropfenweise die heiße Iod-Gelatine-Lösung auf die Oberfläche gaben. Jedoch erzeugte dies eine ungleichmäßige Dicke der Schicht, welche selbst durch Glattstreichen aufgrund des zügigen Aushärtens nur schwer zu beheben war. Deshalb musste eine andere Methode zur gleichmäßigen Beschichtung entwickelt werden. Im Internet stießen wir auf die Methode „Spin Coating“ (dt. Rotationsbeschichtung) [10]. Beim „Spin Coating“ wird auf einem Untergrund (Substrat bzw. Wafer), in unserem Falle die Küvetten, der

aufzutragende Stoff gegeben. Für unser Experiment wird dabei die zuvor hergestellte Iod-Gelatine-Schicht angewendet. Das Substrat wird nun auf einem Motor befestigt und beim Anschalten des Antriebes in eine Kreisbewegung versetzt. Für den Antrieb nutzten wir einen Motor aus einem alten Kassettenrekorder.

Durch die entstehende Fliehkraft wird der aufgetragene Stoff nach außen gedrückt, und es entsteht eine gleichmäßige Schicht auf dem Substrat. Die Dicke der Beschichtung ist abhängig von drei Faktoren:

- Der Viskosität [= Maß für die Zähflüssigkeit eines Stoffes]: diese ist abhängig von der Temperatur der Iod-Gelatinelösung. Daher hielten wir die Lösung im kochenden Wasserbad bzw. in einem Babykostwärmer auf konstanter Temperatur.
- Der Beschichtungszeit: Nach einigen Sekunden Rotation stellt sich eine gleichmäßige, konstante Schicht ein
- Der Drehgeschwindigkeit: Die optimale Drehgeschwindigkeit ermittelten wir mit Hilfe eines Netzteils, mit dem die Spannungszufuhr stufenweise reguliert werden kann.

War die Rotation zu langsam (Spannung 3 V) konnte die Schicht nur schwer abgetragen werden. Bei zu hoher Drehgeschwindigkeit (Spannung 12 V) war der Film zu dünn. Dieser konnte nur

schlecht verwendet werden, da die Lichtdurchlässigkeit zu hoch war.

Mit Drehgeschwindigkeiten bei mittlerer Spannung von 9 V (ideal für kleine Mengen Vitamin C) und bei 6 V (größere Mengen Vitamin C) erzielten wir die besten Ergebnisse. Abb. 7 zeigt Küvetten, die unterschiedlich beschichtet wurden.

### 4.5 Rezeptur der Beschichtungs-lösung:

Die optimale Rezeptur für die Beschichtung haben wir wie folgt ermittelt:

- 10 ml 0,1 mol/l I<sub>2</sub> (gelöst in KI-Lösung)
- 5 ml 1%ige frisch hergestellte Stärkelösung
- 3 g Gelatine

Die Gelatine wird in die resultierenden 15 ml Lösung gegeben und 5 min quellen gelassen. Anschließend wird die Lösung im Wasserbad erwärmt.

Die Beschichtungslösung ließ sich gut mit einer Spritze dosieren. Ein Tropfen genügte, um eine gleichmäßige Beschichtung des Bodens der Küvette zu erreichen. Nach dem Spin Coating vergingen noch 10 min, ehe die Iod-Gelatine-Schicht ausgehärtet und einsatzbereit war.

### 4.6 Fehlerbetrachtungen

Um optimale Bedingungen für die Messungen zu erzielen, ist es wichtig, stets dieselben Lichtverhältnisse zu schaffen, weil Schwankungen des Lichteinfallens die Messergebnisse verfälschen.

Außerdem müssen die Proben immer eine konstante Temperatur haben, da der Sensorwiderstand zu steigen beginnt, sobald die Temperatur der Probe zu niedrig ist. Proben aus dem Kühlschrank müssen deshalb vor der Messung auf Raumtemperatur erwärmt werden.

Sobald die beschichteten Küvetten länger als eine Woche gelagert werden, verhärtet sich zunehmend die Iod-Gelatine-Schicht. Deshalb benötigt diese dann einen gewisse Zeit zum Aufquellen. Dadurch entstehen unterschiedliche Anfangswerte und die Messung verzögert sich. Wir fanden heraus, dass es besser ist, vor der Messung das Aufquellen der Schicht in Wasser geschehen zu lassen. Dabei bleibt das Iod beständig.



Abb. 5: Versuchsaufbau mit miniaturisiertem Lichtstift

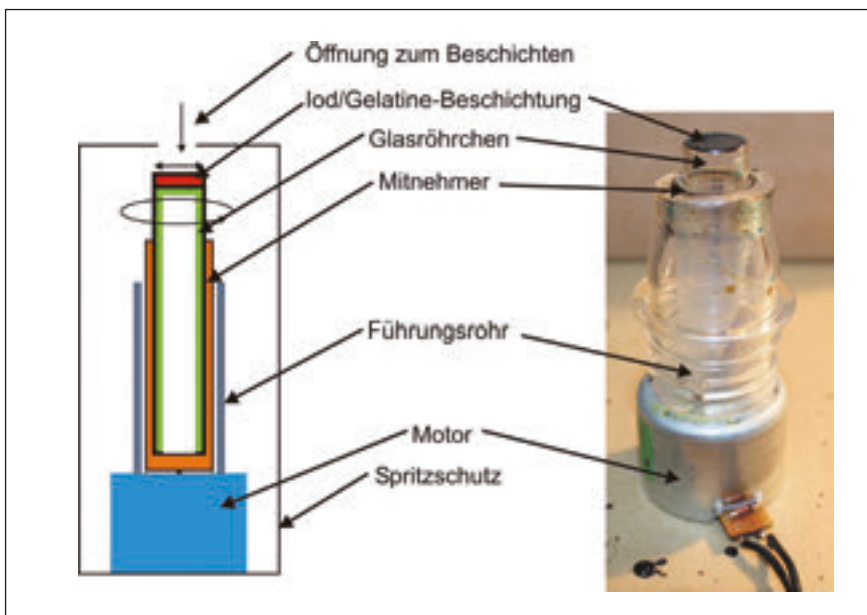


Abb. 6: Prinzip des Spin Coating-Verfahrens (links) und technische Umsetzung (rechts)

Der Lichtstift wird erst anschließend in die Probe getaucht und die Messung gestartet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Erste Versuche

Unsere Versuchsanordnung testeten wir an Bananenschalen. Hierzu schälten wir eine Banane und schnitten ein Stück der inneren Schale heraus.

Mit unserem Lichtstift konnte die Farbveränderung von Gelb nach Braun gemessen werden. Innerhalb von wenigen Minuten wurde bereits eine deutliche Verfärbung festgestellt. In einem weiteren Versuch wurde die Bananenschale mit einer Vitamin C Lösung (4 Tropfen, 1%ige Lösung) versetzt. Die Schale verfärbte sich deutlich langsamer. In Abb. 8 sind die zugehörigen Messungen dargestellt. Dargestellt ist die zeitliche Änderung des Sensorwiderstandes. Von einer braunen Bananenschale wird viel Licht absorbiert, sodass weniger Licht auf den Fotosensor trifft. Der Widerstand steigt steil an und flacht im weiteren Verlauf ab.

Erklärbar ist dieser Kurvenverlauf mit einem logarithmischen Zusammenhang zwischen der Intensität und der Konzentration, wie er auch im Lambert-Beer'schen Gesetz beschrieben wird.

Daher ist es für unsere Anordnung wichtig, mit einer dünnen Iod-Gelatine-Schicht zu arbeiten, um bereits geringste Änderungen, die durch das Vitamin C verursacht werden, am Lichtstift zu erkennen. Im Vergleich dazu wird bei einer mit Vitamin C zugesetzten Bananenschale mehr Licht reflektiert. Während mit dem bloßen Auge noch keine Farbänderung zu sehen war, konnte mit dem Fotosensor

schon ein höherer Widerstand gemessen werden. Das weist auf einen sehr empfindlichen Sensor hin, der schon geringste Verfärbungen feststellen kann.

### 5.2 Versuche mit Vitamin C Standardlösungen

Zunächst testeten wir unseren Lichtstift mit Ascorbinsäurelösungen unterschiedlicher Konzentration. Als erstes stellten wir eine 10%ige Lösung her (100 g Vitamin C Pulver in 1 l Wasser gelöst). Bei der nächsten Lösung wurden nur noch 10 g auf 1 l Wasser verwendet, sodass eine 1%ige Lösung entstand. Einen Teil dieser hergestellten Lösung verdünnten wir in einem Verhältnis von 1:10, um eine 0,1%ige Lösung zu erhalten. Von dieser entnahmen wir wieder einen Teil und verdünnten diesen ebenfalls in einem Verhältnis von 1:10 und erhielten eine 0,01%ige Lösung usw.

In Abb. 9 sind die zeitlichen Änderungen des gemessenen Widerstandes der verschiedenen Lösungen dargestellt. Zu erkennen ist, dass in der 0,01%igen Lösung trotz halbstündiger Reaktionszeit die Schicht kaum entfärbt wurde. Bei der 0,1%igen Lösung dagegen wurde das in der Gelatine-Schicht gebundene Iod bereits nach 25 min komplett umgesetzt. Die 1%ige Lösung benötigt einen Zeitraum von ca. 9 min, die 10%ige Lösung bedarf nur noch 3 min zur vollständigen Reaktion des Iods in der Schicht.

Je höher also die Konzentration an Ascorbinsäure ist, umso weniger Zeit wird zur vollständigen Reaktion des Iods benötigt. Wir wiederholten die Versuche mit den verschiedenen konzentrierten Lösungen mehrmals, um den typischen Verlauf der Kurven zu überprüfen. Diese waren jedoch fast deckungsgleich.

## 5.3 Versuche mit realen Proben

### 5.3.1 Orangensäfte

Da wir bereits den Vitamin C Gehalt in Fruchtsäften mit Hilfe des Titrations-Verfahrens im Labor bestimmt hatten, wollten wir nun mit unserem Lichtstift diese Versuche wiederholen. Als Proben wurden 2 verschiedene Orangensäfte ausgewählt. Die erste Probe, ein Orangensaft von „Vita-fit“ (Lidl), enthält laut Angabe auf der Packung einen Vitamin C-Gehalt von 35 mg / 100 ml. Auf der Packung des zweiten Saftes („Glockengold“ von Edeka) wurde

keine Angabe über den Vitamin C-Gehalt gemacht. Dennoch nehmen wir an, dass eine geringe Menge Ascorbinsäure vorhanden sein muss.

In Abb. 10 ist zu erkennen, dass beide Proben die Schicht selbst nach 50 min noch nicht vollständig entfärbten. Somit zeigt sich, dass die selbst hergestellte Standardlösungen von > 1% einen unrealistisch hohen Ascorbinsäuregehalt enthalten, der wichtige Messbereich ist < 0,1%.

Trotz alledem nimmt der Widerstand bei dem Saft mit Vitamin C deutlich schneller ab und ist nach ungefähr 50 min bereits um ca. 13 kOhm gesunken. Die Probe mit wenig Vitamin C verringerte sich dagegen nach dieser Zeit nur um 8 kOhm.

### 5.3.2 Versuche mit Früchten und Gemüse

Als erste Testsubstanz wählten wir eine Kiwi, da sie mit 100 mg / 100 g sehr reich an Vitamin C ist. Des Weiteren wurde eine Limette untersucht, da sie zu den Zitrusfrüchten gehört und daher auch einen hohen Ascorbinsäuregehalt aufweist (ungefähr 50 mg / 100 g). Zusätzlich testeten wir ein Stück Gurke, welche nur Spuren von Vitamin C enthält. Zunächst teilten wir die zu untersuchende Probe und tauchten den Lichtstift direkt hinein. Wie erwartet, gab es bei der Gurke keine deutliche Widerstandsverringering.

Der Startwert hat sich während der Messung nicht verändert. Zur besseren Vergleichbarkeit der Widerstandsänderung verschiedener Proben ist die Veränderung zum jeweiligen Ausgangswert nachfolgend in % angegeben. Bei der Limette fiel der Widerstand insgesamt um 7 % ab. Kiwi verursachte die größte Verminderung des Widerstandes um bis zu 20 %. (Siehe Abb. 11)

### 5.3.3 Aspirin

Wir analysierten zwei verschiedene Aspirin-Sorten, wobei eine Sorte Vitamin C haltig war (Aspirin Plus C). Die Aspirin-tablette lösten wir in 50 ml Wasser und tauchten unseren Lichtstift mit Küvette in die Lösung. In Abb. 12 kann man erkennen, dass Acetylsalicylsäure alleine die Iod-Schicht nicht entfärben konnte. Nur die Aspirin-Tablette mit Vitamin C Zusatz bewirkte eine typische Entfärbung des Iods. Die Schwankungen der Kurve des Aspirins mit Vitamin C sind so zu

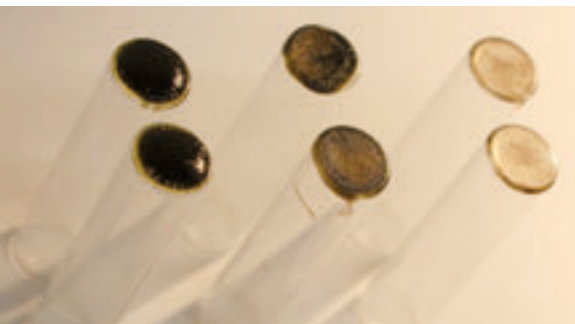


Abb. 7: Die Ergebnisse unterschiedlicher Beschichtungstechniken: Handbeschichtung (links), optimale Schichtdicke mit Spin Coating (mitte) und zu dünne Schichtdicke bei zu hoher Drehzahl (rechts)

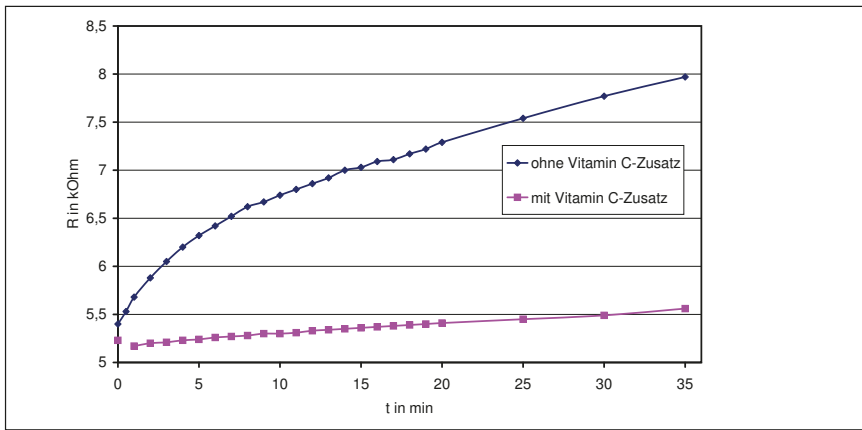


Abb. 8. Vergleich der Verfärbung von Bananenschale mit und ohne Vitamin C-Zusatz

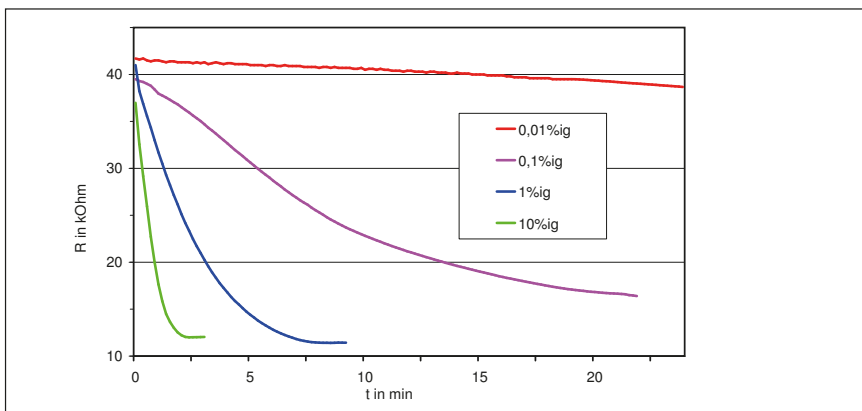


Abb. 9: Widerstandsänderung am Lichtstift für Vitamin C-Standardlösungen verschiedener Konzentration

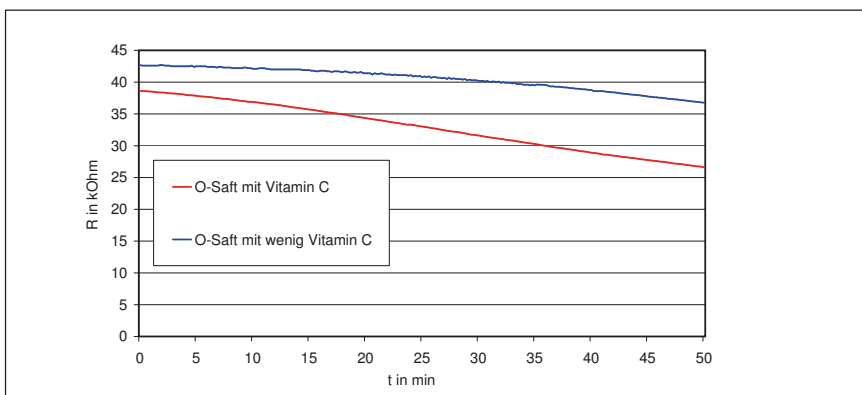


Abb. 10: Widerstandsänderungen am Lichtstift bei Orangensaft mit und ohne Vitamin C

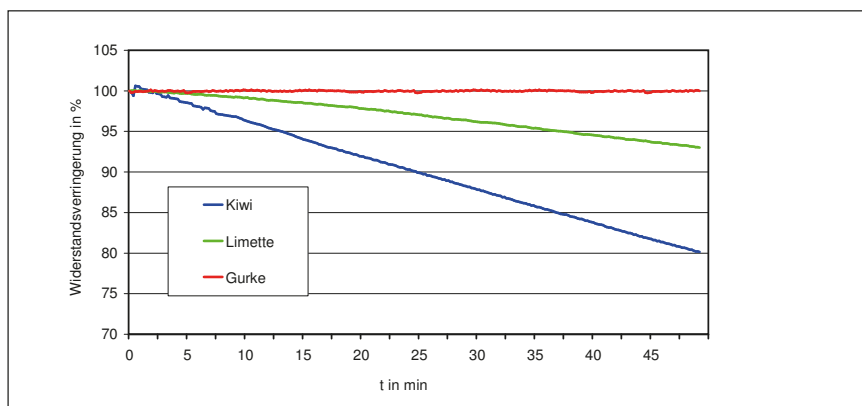


Abb. 11: Widerstandsänderung am Lichtstift für Kiwi, Limette und Gurke

erklären, dass sich durch Auflösen der Brausetablette sehr viele Gasblasen bildeten. Diese sammelten sich an der Iod-Gelatine-Schicht und reflektierten das Licht der LED unterschiedlich. Die gezeigte Trendlinie zeigt dabei die mittlere Verringerung des Widerstandes an.

### 5.3.4 Weiterführende Untersuchungen

Um einen Zusammenhang zwischen dem Ascorbinsäuregehalt und dem Alter des zu untersuchenden Stoffes zu ermitteln, verglichen wir eine Kiwi, welche 4 Wochen lang gelagert wurde, mit einer frisch gekauften Kiwi (Abb. 13).

Es konnte festgestellt werden, dass die Widerstandsverringering fast identisch verläuft, sich also der Vitamin C-Gehalt in der Frucht nicht geändert hat. Das bedeutet, dass bei der Lagerung keine Luft und damit kein Luftsauerstoff durch die Schale diffundiert ist, der mit der Ascorbinsäure reagieren kann. Die Schale schützt also das Obst vor der Oxidation.

Jetzt wollten wir auch feststellen, wie die Ascorbinsäure in der Kiwi verteilt ist. Wir untersuchten die Kiwi daraufhin an prägnanten Stellen, z. B. an der weißen Fruchtachse und dem grünen Fruchtfleisch. Im Ergebnis konnten wir feststellen, dass die weiße Fruchtachse nur eine sehr geringe Widerstandsverringering aufweist. Somit ist dort nur ein sehr geringer Anteil Vitamin C vorhanden. Das Vitamin C ist im grünen Fruchtfleisch vorzufinden. Um den Versuch mit der Kiwi, auch an anderen Früchten zu testen, untersuchten wir eine Grapefruit. Jedoch wurde die Messung verfeinert, indem wir zusätzlich zum Fruchtfleisch auch die innere und die äußere Schale untersuchten (Abb. 14).

Man kann erkennen, dass im Fruchtfleisch im Vergleich zur Schale am wenigsten Ascorbinsäure enthalten ist, da der Widerstand sich am langsamsten verändert hat. Die innere Schale zeigt in diesem Experiment den höchsten Vitamin C Gehalt. Die Iod-Gelatine entfärbte sich am schnellsten. Die äußere Schale zeigt nach einer kurzen Verzögerung einen steilen Abfall. Diese Verzögerung wird wahrscheinlich durch die wachsartige Deckschicht verursacht. Letztendlich lässt sich daraus schließen, dass in der Schale mehr Vitamin C enthalten ist als im Fruchtfleisch. Wir schlussfolgern daraus, dass

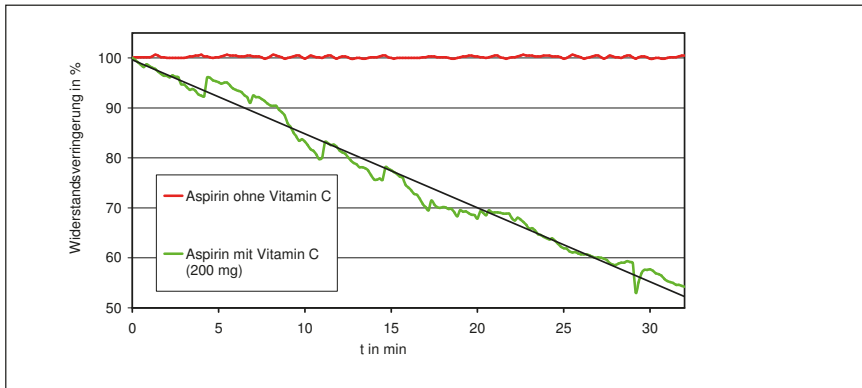


Abb. 12: Widerstandsänderung am Lichtstift für Aspirin mit und ohne Vitamin C

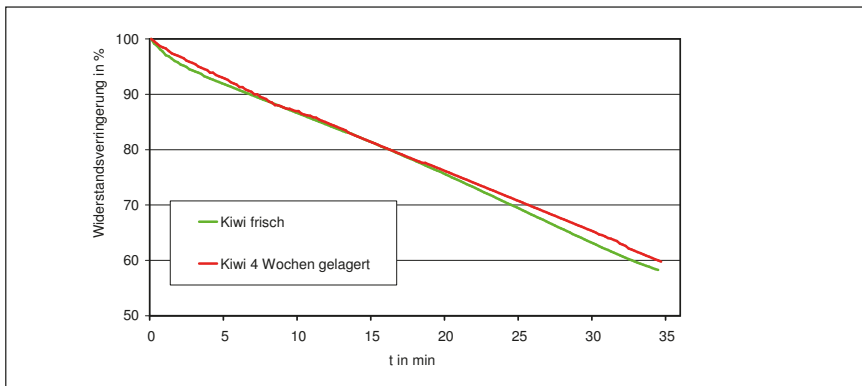


Abb. 13: Widerstandsänderung am Lichtstift für eine frische Kiwi und eine vier Wochen alte Kiwi

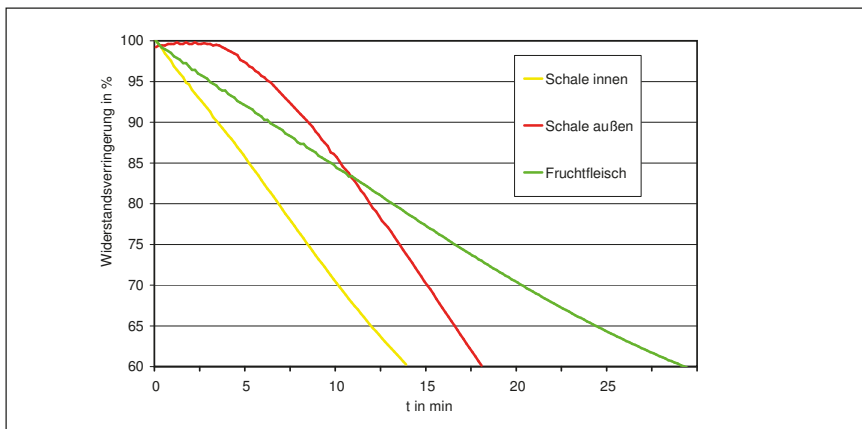


Abb. 14: Widerstandsänderung am Lichtstift für Schale und Fruchtfleisch von Grapefruit

sich das meiste Vitamin C unter der Schale befindet und sich die Frucht damit vor äußeren Einflüssen schützen will.

## 6 Überlegungen zur Kalibrierung

Eine Kalibrierung des Verfahrens ist notwendig, um den Zusammenhang zwischen der elektrischen Messung der Widerstandsänderung und der Konzentration an Vitamin C herzustellen. Zunächst wurde eine Testlösung mit bekannter Vitamin C Konzentration hergestellt. Danach wurde die Zeit gemessen, die benötigt wird, damit sich die Iod-Gelatine-Schicht entfärbt.

Dies kann im Fall von niedrigen Konzentrationen jedoch sehr lange dauern. Daher ist es besser, den mathematischen Anstieg der Widerstandsänderung zur Kalibrierung des Messverfahrens heranzuziehen. Hierzu nahmen wir uns den ersten linearen Bereich der abfallenden Kurven der Vitamin C Standardlösungen vor. Diesen Bereich werteten wir über die mathematische Gleichung

$$y = -m \cdot x + n$$

aus und ermittelten den Anstieg  $m$ . Je größer  $m$ , umso größer ist die Konzen-

tration des gemessenen Vitamin C. So erhielten wir eine wie in Abb. 15 gezeigte typische Kalibrierfunktion.

Bei der Kalibrierung werden folgende Punkte mit berücksichtigt:

- Lichtstärke und Farbspektrum der Leuchtdiode
- Empfindlichkeit des Fotowiderstandes
- Abstand zwischen der Iod-Gelatine-Schicht und dem Fotosensor sowie der LED
- Stärke der Iod-Gelatine-Schicht
- Reflexionsverluste an der Glasoberfläche
- Die Parameter des Lambert-Beerschen Gesetzes und schließlich
- Die Konzentration des Vitamin C

Damit können wir in einem einzigen Schritt das gesamte Verfahren kalibrieren.

Die aus den Anstiegen erhaltene Kalibrierfunktion zeigt eine nichtlineare Funktion. Diese Logarithmus-Kurve wird durch das Lambert-Beersche Gesetz bestimmt, in welchem die Intensität und die Konzentration logarithmisch verknüpft sind.

Die Kurve zeigt den Idealverlauf einer Kalibrierung, wir haben dabei den Mittelwert aus mehreren Messungen verwendet. In der Praxis kann sich die Kalibrierfunktion jedoch durch viele Parameter verschieben. Ein Beispiel hierfür ist die Schichtdicke der Gelatine, die sich im Lauf der Lagerung verändert.

Um die Kalibrierung zu bestätigen, wären noch vergleichende Untersuchungen mit dem Titrationsverfahren erforderlich. Um das Umrechnen der Kalibrierfunktion und die Bedienbarkeit zu erleichtern, automatisierten wir den Messprozess mit Hilfe des Computers. Dafür übertrugen wir die Daten in den PC und programmierten ein Makro zum Einlesen in Excel. Für die Umrechnung in den Vitamin C Gehalt, hinterlegten wir die Kalibrierfunktion ins Excel Programm.

## 7 Weiterentwicklung des Lichtstiftes

Für eine punktgenaue Messung entwickelten wir den miniaturisierten Lichtstift weiter, indem wir ihn weiter verkleinerten. Da die Größe des Fotosensors und der LED nicht weiter verändert werden konnte, mussten wir uns eine Alternative überlegen. Wir verwendeten zwei

Lichtleitkabel gleicher Länge. Die Enden wurden gemeinsam jeweils in zwei lichtundurchlässige Kunststoffhüllen fixiert (siehe Abb. 16a). Eine Hülle dient als Adapter zum Anschluss an unseren miniaturisierten Lichtstift. Die Hülle am anderen Ende schützt vor äußeren Lichteinflüssen bei der Messung (siehe Abb. 16b).

Ein Lichtleitkabel wird direkt vor die Lichtquelle gesetzt und leitet das Licht direkt auf die zu untersuchende Probe. Das reflektierte Licht der Probe wird nun vom anderen Lichtleitkabel aufgenommen und an den Fotosensor übermittelt.

Um in Lösungen messen zu können, wollten wir unsere Iod-Gelatine-Beschichtung beibehalten. Wir wählten dafür sogenannte „Mini-Küvetten“, die wir nach unserem üblichen Verfahren beschichteten.

### 8 Zusammenfassung

Wir haben einen Lichtstift entwickelt, der die direkte Messung von Vitamin C Konzentrationen in Lösungen und auf festen Oberflächen ermöglicht. Im Gegensatz zur Titration beruht unser Prinzip auf der Messung der Zeit bis zur völligen oder anstiegsdefinierten Abtragung der Iod-Gelatine-Schicht.

Im Verlauf unserer Versuche entwickelten wir einen sehr kleinen und schnell-einsetzbaren Lichtstift mit Hilfe von Lichtleitkabeln. Durch die geringe Größe gelingt eine punktgenaue Messung. Da unser Lichtstift Farbänderung misst, könnte er auch für andere Tests

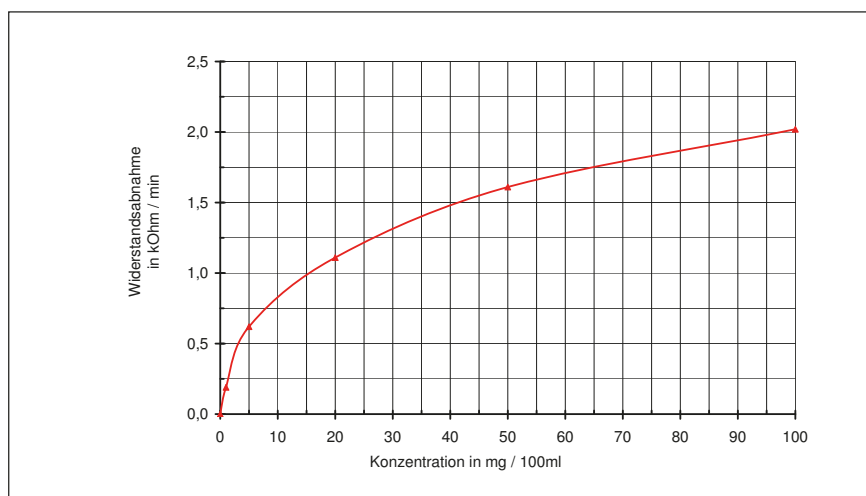


Abb. 15: Kalibrierfunktion

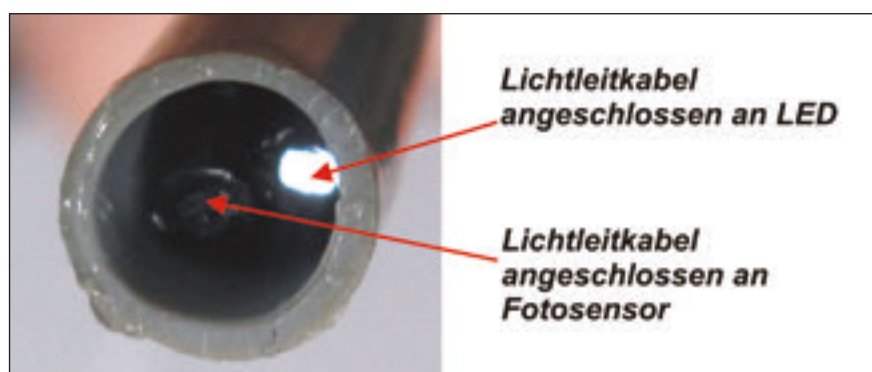


Abb. 16: Lichtleitkabel fixiert in einem Kunststoffrohr

genutzt werden: So könnte z. B. der pH-Wert ermittelt werden. Hierzu wird der Lichtstift in eine unbeschichtete Küvette gegeben und in die zu untersuchende Lösung mit Indikator gegeben.

Der Lichtstift misst nun den Widerstand, der je nach Farbe des Indikator unterschiedlich hoch ist. Nun kann jedem pH-Wert ein Widerstand zugeordnet werden.

### Danksagung

Wir bedanken uns bei der Firma ECH Elektrochemie Halle GmbH, da sie uns die Vorversuche zur Titration im Schülerlabor ermöglichte.

Außerdem gilt ein großes Dankeschön unseren Eltern sowie unseren Chemielehrerinnen Frau Kreiling und Frau Mathejczyk für die Ratschläge zur Anfertigung der Arbeit.

### Literatur:

- [1] <http://www.wikipedia.de/>
- [2] [http://www.welt.de/welt\\_print/article2921930/Granataepfel-sind-gut-fuer-die-Gefaesse.html](http://www.welt.de/welt_print/article2921930/Granataepfel-sind-gut-fuer-die-Gefaesse.html)
- [3] [http://www.seilnacht.com/Chemie/ch\\_ascor.html](http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_ascor.html)
- [4] <http://www.seilnacht.com/Lexikon/Titratio.htm>
- [5] <http://www.chemienet.info/7-titr.html>
- [6] <http://www.parmentier.de/gelatine/herstellung.htm>
- [7] <http://www.gesundheit.de/ernaehrung/lebensmittel/gelatine/index.html>
- [8] <http://www.halal-gelatine.de/lexikon/g/gelatine.htm>
- [9] [http://www.heilfastenkur.de/Vitamin\\_C.shtml](http://www.heilfastenkur.de/Vitamin_C.shtml)
- [10] [http://www.ece.gatech.edu/research/labs/vc/packaging/theory/spin\\_theory.html](http://www.ece.gatech.edu/research/labs/vc/packaging/theory/spin_theory.html)
- [11] <http://www.chempage.de/lexi/lexiascorbins.jpg>
- [12] <http://www.naturheilpraxis-hollmann.de/VitaminCHochdosisP.gif>
- [13] Babara Arndt, uvm. : Chemie – Stoffe, Reaktionen, Umwelt; Cornelsen, Volk und Wissen Verlag; 1. Auflage; 2004; S.256
- [14] Werner Eisner, uvm.: Elemente - Chemie II; Ernst Klett Verlag; 1. Auflage; 2000; S. 380
- [15] Weinbergcampus e.V.: Praktikumsanleitung zur Titration von Ascorbinsäure; 2008