

Ruppersberg, Klaus; Hain, Julia

## **Die Wiederentdeckung der Wöhlk-Probe für Unterricht und Ausbildung. Ein roter Farbstoff zeigt semiquantitativ Lactose in Milchprodukten. Der geheimnisvolle lachsrote Farbstoff und Möglichkeiten seiner Entstehung**

*formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:*

*formally revised edition of the original source in:*

*Chemie in unserer Zeit 51 (2017) 2, S. 106-111*



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /  
Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-288194  
10.25656/01:28819

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-288194>

<https://doi.org/10.25656/01:28819>

### **Nutzungsbedingungen**

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### **Terms of use**

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

### **Kontakt / Contact:**

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

# Die Wiederentdeckung der Wöhlk-Probe für Unterricht und Ausbildung

Ein roter Farbstoff zeigt semiquantitativ Lactose in Milchprodukten  
Der geheimnisvolle lachsrote Farbstoff und Möglichkeiten seiner Entstehung

Klaus Ruppertsberg, Julia Hain

## Zusammenfassung:

Die Wöhlk-Probe ist eine Nachweisreaktion für Lactose und Maltose aus dem Jahre 1904. Sie wurde zunächst klinisch für die Analyse von zuckerhaltigem Urin verwendet. Im Schulunterricht kann sie auf einfache Weise den Lactosegehalt von Milchprodukten zeigen; dies ist insofern interessant, da viele Menschen mit einer Unverträglichkeit auf Milchzucker reagieren und mit der Nachweisreaktion erkennen, welche Milchprodukte viel oder wenig Lactose enthalten. Der genaue Reaktionsmechanismus der Wöhlk-Reaktion (ähnlich: Umikoff-Reaktion, Wöhlk-Malfatti-Nachweis, Fearon's Test) ist trotz vieler Bemühungen noch unbekannt.

## Abstract:

Woehlk's test is a detection reaction for lactose and maltose from 1904. It was first used clinically for the analysis of sugars in urine. In science education the test can show in a simple way the lactose content of dairy products. This is interesting because many people react intolerant to lactose and can hereby recognize which dairy products contain a lot or a little lactose. The exact reaction mechanism of Woehlk reaction (similarly: Umikoff reaction, Woehlk-Malfatti-proof, Fearon's test) is still unknown despite many efforts.

## Einleitung

Wie kann man im Chemieunterricht den Lactosegehalt von Milchprodukten anschaulich, überzeugend und mit einfachen Mitteln sichtbar machen? Hierzu eignet sich hervorragend die fast in Vergessenheit geratene Wöhlk-Probe, die im Jahr 1904 von ihrem Entdecker Alfred Wöhlk an der Pharmazeutischen Lehranstalt Kopenhagen beschrieben wurde. Allerdings hüllt sich damals wie heute der lachsrote Farbstoff in ein scheinbar unlösbares Geheimnis, denn er lässt sich nicht mit organischen Lösungsmitteln ausschütteln und konnte bislang noch nicht sicher identifiziert werden.

## Das Experiment

Die Wöhlk-Reaktion ist eine Nachweisreaktion auf Lactose und Maltose [1]. Sie fand zunächst Anwendung in klinischen und ärztlichen Laboratorien, nämlich um eine gefährliche Schwangerschaftsdiabetes von einem vergleichsweise harmlosen Milchstau zu unterscheiden. Da die in Frage kommenden Zucker Glucose und Lactose beide auf Fehling- oder Benedict-Reagenz positiv reagieren, war man froh, die Lactose durch eine leuchtende lachsrote Färbung (damals "Krapp-Farbe" genannt) nachweisen zu können [2].

Bis in die 1960er Jahre hinein, teilweise darüber hinaus, wurden in Arztlaboren hierzu 5 mL Urin mit Ammoniaklösung und einigen Tropfen Kalilauge im Wasserbad erhitzt. Eine Rotfärbung zeigte Lactose (aber auch Maltose) an. [3, 4, 5]. In vielen Kliniklaboratorien wurde diese Methode schon ab 1950 wieder abgeschafft, da sie durch andere reduzierende Zucker gestört wird und zuverlässigere spektroskopische Methoden zur Verfügung standen [6].

Im Schulexperiment ist die Wöhlk-Probe hingegen hervorragend einsetzbar, sehr anschaulich, kostengünstig und nicht zuletzt durch die ästhetischen Farben hochmotivierend.

Es gibt verschiedene Varianten der Durchführung. Die ursprüngliche, von Alfred Wöhlk selbst beschriebene Variante, funktioniert mit "0,7–0,5 g Milchzucker in einem schmalen Reagensglas (sic!) in 10 cc 10-prozentigem Ammoniak" bzw. 20%iger Ammoniaklösung, sofern dasselbe Volumen flüssiger Milch zugegeben wird [1].

Eine Verbesserung von Zeitablauf und Genauigkeit brachte ab 1905 eine Variante von Hans Malfatti (1864–1945, Rovereto und Innsbruck): "Zu zirka 5 cm<sup>3</sup> (1/4 Epruvette voll) des zu untersuchenden Harns fügt man etwa die Hälfte seines Volumens starke Ammoniakflüssigkeit und etwa fünf Tropfen Kalilauge, worauf man das Ganze in ein heißes, aber nicht siedendes Wasserbad einstellt und die oft schon nach fünf Minuten auftretende, allmählich sich verstärkende Rotfärbung beobachtet" [7].

Es gibt auch noch Varianten mit Temperaturangaben bis von 80°C [4] oder mit 25%iger Ammoniaklösung und 20%iger Kalilauge [2]; je höher die Temperatur ist und je konzentrierter die Laugen sind, desto größer ist die Gefahr, dass die Reaktion in eine unkontrollierte Maillard-Reaktion oder wässrige Karamellisierung läuft, was an einer unschönen Braunfärbung erkennbar wird.

Im Schulunterricht sind aus Sicherheitsgründen immer möglichst niedrige Konzentrationen von Laugen zu bevorzugen, um unnötige Risiken zu vermeiden.

Wie bei vielen alten Nachweisreaktionen der medizinischen Laborchemie ist der genaue Mechanismus der Wöhlk-Malfatti-Reaktion, wie sie eigentlich heißen müsste, nicht bekannt. Wie sich zeigt, ist der Mechanismus auch nicht einfach zu klären; es ist aber einen Versuch wert, ein wenig Licht in das Dunkel zu bringen.

Eine sehr verwandte Nachweisreaktion ist der Fearon-Test aus dem Jahr 1942 (benannt nach William Robert Fearon, 1882–1959, Universität Dublin), der sich in Irland, Großbritannien und

USA großer Beliebtheit erfreute [8]; hier wird allerdings Methylammoniumchlorid (anstelle von Ammoniak) verwendet und über der Brennerflamme für 30 Sekunden aufgekocht, wobei die Gefahr des Siedeverzuges besteht.

### **Alfred Wöhlk war nicht der Einzige, der Ammoniaklösung mit Milchzucker erhitzte**

Beim Recherchieren fiel auf, dass es noch weitere Namen gibt, die sich mit der Reaktion von Lactose und Ammoniaklösungen in Verbindung bringen lassen, sogar noch früher als Alfred Wöhlk. Er war zwar der erste, der die Reaktion von reinen Zuckerlösungen mit Ammoniaklösung beschrieben hat, aber schon 1896 wurde die Reaktion von Milch mit Ammoniak durch Nersess Umikoff und 1900 durch N. Sieber alias Nadina Ziber-Shumova, beide in St. Petersburg, sowie 1896 durch Marchetti in Florenz untersucht und publiziert [9, 10, 11].

Umikoff und Sieber untersuchten vor allem Muttermilch, die Ammen für das kaiserliche Findelhaus in St. Petersburg abliefern. Bei Umikoff stand 1896 sicherlich der Aspekt der Qualitätskontrolle im Vordergrund, während Sieber vier Jahre später systematische Untersuchungen des als "violett" bezeichneten Farbstoffes publizierte.

Muttermilch enthält außer Lactose über 130 verschiedene Oligosaccharide [12], zudem nimmt der Lactosegehalt nach dem Beginn der Milchabgabe (Laktation) zu und steigert sich bis zum fünften Laktationsmonat, von Umikoff und Sieber missverständlich als "Alter der Milch" bezeichnet. Aus dem "Alter der Milch" und dem damit korrelierenden Lactosegehalt, ggf. aber auch anderer Saccharide, erklärt sich die zunehmend tiefere Farbgebung bei Muttermilch, welche die Autoren aber eher als brombeerrot denn als violett bezeichnen würden.

### **Die Natur des lachsroten Farbstoffs bleibt geheimnisvoll**

Bei der Suche nach weiteren Details für einen Reaktionsmechanismus der Wöhlk-Reaktion ließen sich in Deutschland und Österreich mehrere Publikationen [13, 14, 15, 16] finden, die den lachsroten Farbstoff einer "Pyrrolrot-Reaktion" zusprechen. Bei der genaueren Recherche ließ sich aber kein Hinweis auf das Vorhandensein von Pyrrol finden. Eventuell sollte die Bezeichnung Pyrrolrot auf einen bekannten Farbstoff hinweisen, der ähnlich aussieht, ohne eine direkte chemische Klassifizierung vorzunehmen.

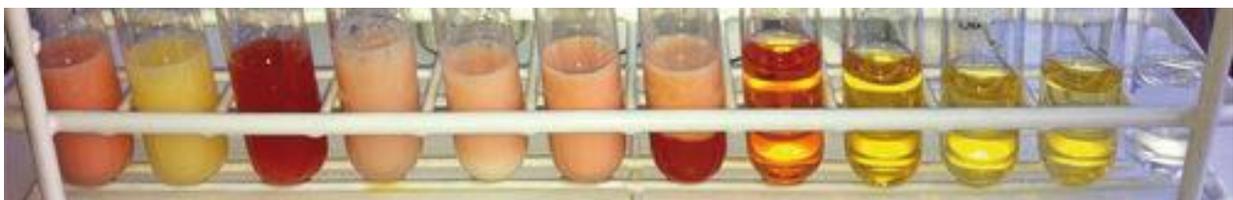
Vielleicht liegt auch eine Verwechslung mit einer Versuchsanleitung aus dem Lehrbuch von Gattermann und Wieland [17] vor, bei der Pyrrol aus Ammoniummucate hergestellt wird. Durch Abspaltung von Kohlenstoffdioxid entsteht aus der 1,6-Dicarbonsäure eine 1,4-Dicarbonsäure, aus der sich wie in Abb. 3 dargestellt das farblose Pyrrol bildet.

Die Reaktion setzt allerdings Temperaturen zwischen 170 und 300 °C voraus, während die Wöhlk-Probe bei nur 60 °C stattfindet und keine Kohlenstoffdioxidentwicklung zu beobachten ist.

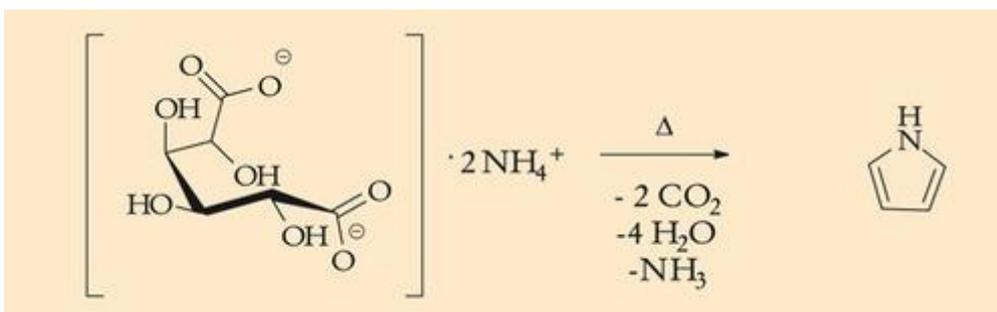
Schleimsäure (Mucinsäure) oder deren Salz Ammoniummucate lässt sich zwar aus Lactose herstellen, ansonsten gibt es aber keinen weiteren Zusammenhang zur Wöhlk-Probe. Schleimsäure kann auch deshalb kein Zwischenprodukt bei der Wöhlk-Reaktion sein, da sie mit Ammoniaklösung im Wasserbad nicht die geringste Farbänderung zeigte (siehe Abb. 1).



**Abb. 1:** Die Wöhlk-Probe funktioniert mit Lactose und Maltose, nicht aber mit Schleimsäure (ganz links) oder mit den Monomeren Glucose (mitte-rechts) und Galactose (ganz rechts).



**Abb. 2:** Wöhlk-Reaktionen verschiedener Milchprodukte und Referenzsubstanzen: Von links nach rechts befanden sich in den Reagenzgläsern jeweils 2 mL 1) Vollmilch, 2) lactosefreie Milch, 3) Buttermilch, 4) Kefir, 5) Naturjoghurt, 6) Kaffeesahne, 7) Saure Sahne; sowie als Referenz 2, 5%ige Lösungen von 8) Lactose, 9) Fructose, 10) Glucose, 11) Galactose, 12) Saccharose.



**Abb. 3:** Pyrrolsynthese aus Ammoniummucate nach [17]

Beim Nachforschen fanden sich leider weitere Fehler: "Das Disaccharid Lactose ... wird durch verdünnte Säuren zu Glucose und Galactose hydrolysiert" [18]. Lactose lässt sich – im Gegensatz zu Saccharose – aber gerade nicht durch Zugabe von schwachen Säuren hydrolysieren. Wäre dies der Fall, dann dürfte es beim Menschen keine Milchzuckerunverträglichkeit [19, 20] geben, weil dann die Lactose bereits durch die im Magen befindliche Salzsäure hydrolysiert würde.

Sie wird aber erst im Dünndarm enzymatisch hydrolysiert, sofern dort das Enzym vorhanden ist [21]. Der Grund liegt darin, dass die  $\beta$ -1,4-Bindung bei Lactose viel stärker ist als die  $\alpha$ ,  $\beta$ -1,2-Bindung bei Saccharose. Lactose lässt sich daher entweder mit dem Enzym  $\beta$ -Galactosidase (oft lapidar "Lactase" genannt) oder durch einstündiges Erhitzen bei 90 °C mit 1, 5 molarer Salzsäure hydrolysieren [21].

Weiterhin heißt es in Bezug auf die Wöhlk-Reaktion: "Galaktose wird durch Luftsauerstoff zu Schleimsäure (eine Dicarbonsäure) oxidiert (...)" [13]. Auch dies konnten die Autoren widerlegen: Führt man die Wöhlk-Probe unter inerter Atmosphäre mit entgasten Komponenten durch, ist kein Unterschied in der Farbgebung zu erkennen, Sauerstoff ist somit für die Reaktion nicht essenziell.

Führt man die Reaktion jedoch im wasserfreien Milieu durch (die wässrige Ammoniaklösung wird dabei durch methanolisches Ammoniak ersetzt), ist nach anfänglicher Schwerlöslichkeit der Lactose lediglich eine Gelbfärbung zu beobachten. Selbst nach einer längeren Reaktionszeit bleibt die markante rote Farbe aus. Wasser ist also anscheinend wichtig für die Reaktion.

### Auf welchem Wege könnte aus Lactose ein Chromophor entstehen?

Bei der Suche nach dem Mechanismus für die Wöhlk-Reaktion vermuten die Autoren, dass die Lactose (chemisch korrekt: 4-O-( $\beta$ -D-Galactopyranosyl)-D-glucofuranose) nicht hydrolysiert, sondern als Vollacetal vorliegt, bei dem der Ring des reduzierenden Zuckers im Gleichgewichtszustand zwischen zwei anomeren Formen temporär geöffnet ist (Abb. 4).

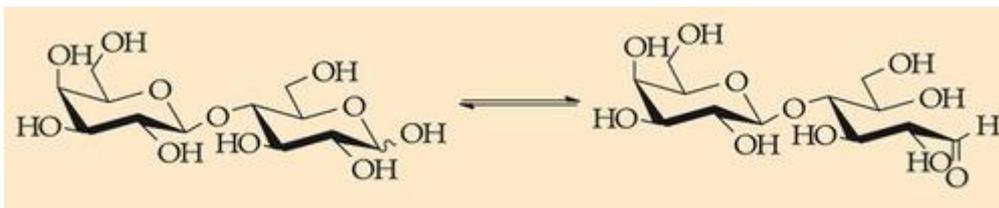
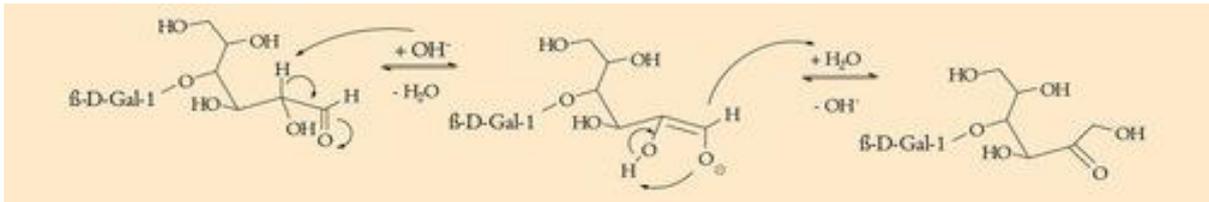


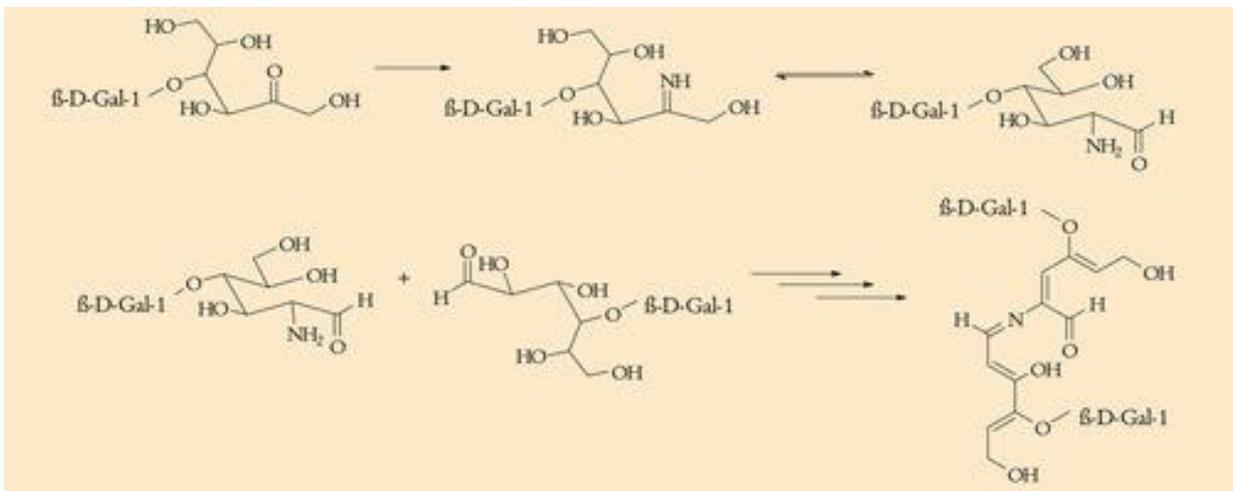
Abb. 4: Offenkettige Form der Lactose nach [18]

Durch eine Keto-Enol-Umlagerung am offenen Aldehyd-Ende des Disaccharids, auch Lobry-de-Bruyn-van-Ekenstein-Umlagerung genannt [22], entsteht eine Keto-Gruppe an C<sub>2</sub> (Abb. 5).



**Abb. 5:** Lobry-de-Bruyn-van-Ekenstein-Umlagerung von Lactose im alkalischen Milieu

Was nun folgt, ist hypothetisch und muss noch überprüft werden: Durch den Überschuss an  $\text{NH}_3$  kommt es zur Bildung eines Imins an der Keto-Gruppe des umgelagerten Zuckers. Dieses kann zu einem Aldehyd und einem sekundären Amin tautomerisieren, welches mit einer Aldehydgruppe eines weiteren Lactosemoleküls zu einem Imin kondensieren könnte. Durch Wasserabspaltung entstehen konjugierte Doppelbindungen, die durch ihr konjugiertes  $\pi$ -System ein Chromophor bilden (Abb. 6).



**Abb. 6:** Mögliche Entstehung eines Chromophors aus Lactose

## Was passiert, wenn man Lactose durch andere Zucker austauscht?

Durch weitere Untersuchungen haben die Autoren versucht, das Problem einzukreisen: Da der lachsrote Farbstoff mit reiner Galactose oder mit reiner Glucose oder mit einer 1:1-Mischung von Galactose und Glucose *nicht* entsteht (Abb. 7), ist die Unversehrtheit der 1, 4-glykosidischen Bindung im Lactosemolekül offenkundig essentiell.



**Abb. 7:** Wöhlk-Probe mit Lösungen von verschiedenen reinen Zuckern und Zucker-Gemischen, von links nach rechts: 1. Lactose, 2. Lactose mit HCl-Zugabe, nach 20 Min. neutralisiert, 3. Glucose, 4. Fructose, 5. Galactose, 6. Saccharose, 7. Saccharose mit HCl, nach 20 Min. neutralisiert, 8. Mannose, 9. Glucose und Galactose, 10. Glucose und Fructose.

Sowohl die Wöhlk-Probe als auch der Fearon-Test ergeben mit Maltose ebenfalls den schönen lachsroten Farbstoff. Es ist also gleichgültig, ob 4-*O*-( $\beta$ -D-Galactopyranosyl)-D-glucopyranose oder 4-*O*-( $\beta$ -D-Glucopyranosyl)-D-glucopyranose zur Reaktion kommt.

Interessant ist nun das Verhalten der Cellobiose, die wie Maltose aus zwei Molekülen Glucose zusammengesetzt ist, aber eine andere Verknüpfung aufweist. Sie heißt korrekt 4-*O*-( $\beta$ -D-Glucopyranosyl)- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose und zeigt in der Wöhlk-Probe eine dunkelgelbe bis orange Färbung. Eventuell konkurriert hier die Wöhlk-Reaktion mit der alkalischen Hydrolyse von Cellobiose, die bei derselben Temperatur, nämlich 60 °C durchgeführt werden kann [23]. (Anmerkung der Autoren: In späteren Tests zeigte sich, dass die Reaktion von Cellobiose identisch mit der von Lactose und Maltose ist; auch in Position 4 geschützte Glucosen zeigen dieselbe Reaktion [25].)

Nicht-reduzierende Disaccharide wie Saccharose und Trehalose zeigen in der Wöhlk-Probe keine Reaktion: Die Lösungen bleiben klar und farblos, ebenso wie bei der mitgetesteten Alkoholvariante Isomalt. Gentiobiose, obwohl reduzierendes Disaccharid, führt lediglich zu einer gelben Färbung. Reduzierende Monosaccharide zeigen in Nuancen unterschiedliche Gelbfärbungen. Erhöht man die Konzentration der eingesetzten Lactoselösungen im Bereich

von 0,1 bis 5%, tritt wie erwartet eine Farbvertiefung ein. Bei Zuckerkonzentrationen über 5% gibt es jedoch keine weitere Farbvertiefung (Abb. 8).

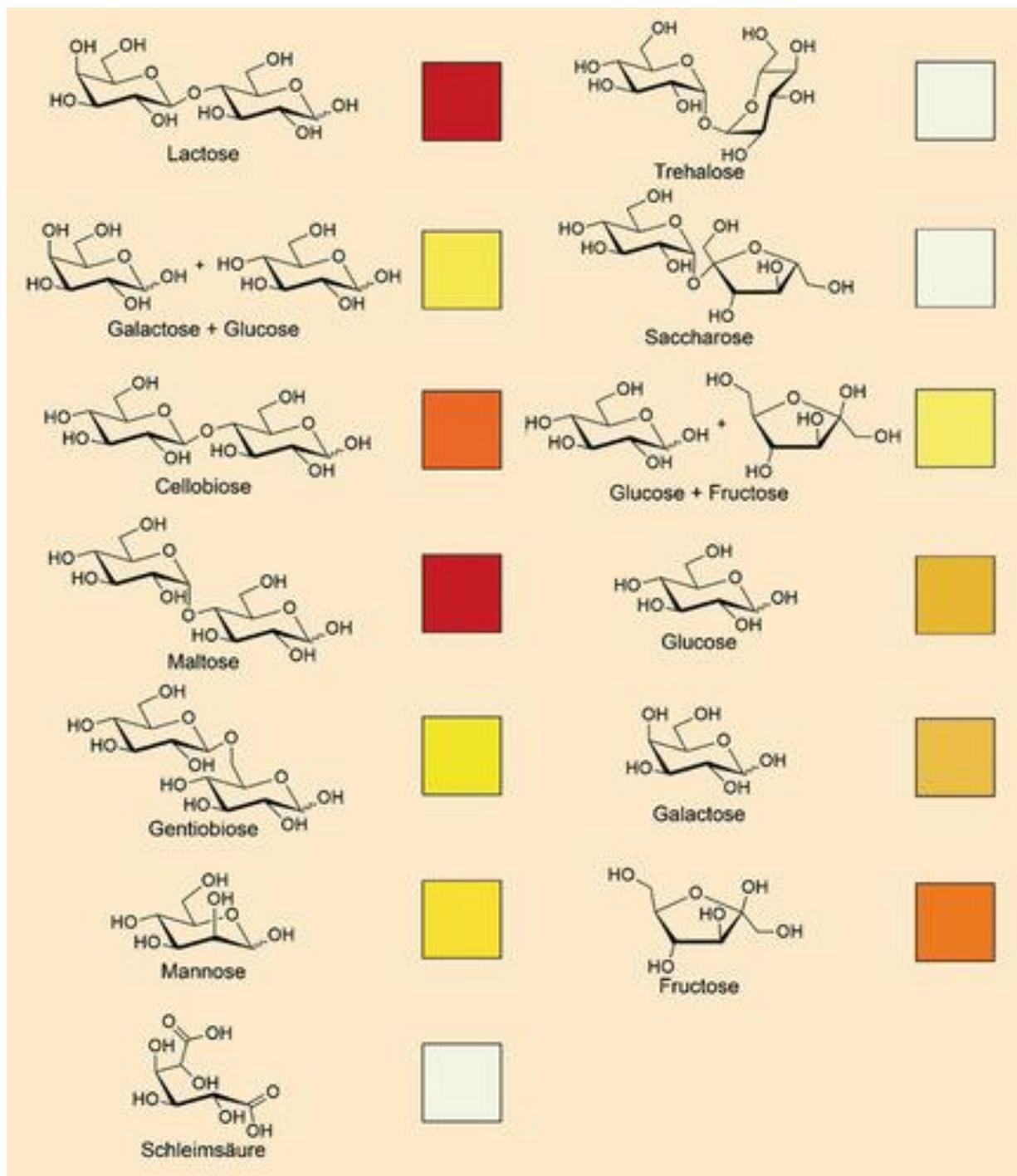


Abb. 8: Farbreaktion diverser Kohlenhydrate mit Ammoniaklösung

## Was passiert, wenn man Ammoniak durch verschiedene Amine ersetzt?

Der Austausch von Ammoniak durch andere stickstoffhaltige Verbindungen führt bei der Wöhlk-Probe zu interessanten Varianten, die ebenfalls Hinweise auf den Reaktionsmechanismus liefern können (Abb. 9). Auf den ersten Blick ist ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Art des Amins und einer positiven Wöhlk-Probe nicht zu finden, es ist aber auffällig, dass immer ein Stickstoffatom mit mindestens zwei Wasserstoffatomen und mit gegebenenfalls elektronenschiebenden Substituenten vorhanden sein müssen, so dass ein gutes Nucleophil entsteht. Eine Ausnahme von dieser Regel ist Piperidin.

<chem>N</chem> Methylamin		<chem>CCN</chem> Ethylamin	
<chem>CN(C)C</chem> Dimethylamin		<chem>NCCN</chem> Ethylendiamin	
<chem>Nc1ccccc1</chem> Anilin		<chem>NCC1=CC=CC=C1</chem> Benzylamin	
<chem>NN</chem> Hydrazin		<chem>Nc1ccccc1NN</chem> Phenylhydrazin	
<chem>C1CCNCC1</chem> Piperidin		<chem>NCC(=O)O</chem> Glycin	
<chem>NC(=O)N</chem> Harnstoff			

Abb. 9: Farbreaktion stickstoffhaltiger Verbindungen mit Lactose

Mit Benzylamin ergibt sich ein blutroter Farbstoff, der sich mit Diethylether oder Chloroform ausschütteln lässt. Mit Glycin ergab sich im Kontrollexperiment keine Färbung, Fearon hingegen beschreibt lachsrot, führt es aber auf eine Decarboxylierung der Aminosäure zurück. Weiterhin beschreibt Fearon eine lachsrote Farbe bei der Reaktion mit 2-Hydroxyethylamin [8].

Wöhlk selbst war auch schon über die Natur des Farbstoffes ratlos: "Worauf die Bildung der roten Farbe beruht, ist eine Frage, die schwierig zu beantworten ist, da sich der Farbstoff ... nicht ausschütteln lässt und beim Zusatz von Säuren zersetzt wird" [1].

Bei chromatografischen Untersuchungen an der Universität Bristol wurde ein außerordentlich komplexes Gemisch (“an exceedingly complex mixture”) aus der Reaktion von Lactose und Ammoniaklösung gefunden [24]. Dies könnte einem nun fast den Mut nehmen, weiter zu forschen. Dennoch glauben die Autoren, dass die Struktur des lachsroten Farbstoffes aufgeklärt werden wird.

### Kasten:

#### **Alfred Wöhlk (1868–1949)**

Alfred Wöhlk (Schreibweise auch englisch: Woehlk oder dänisch: Wøhlk) war ein dänischer Chemiker, Apotheker und Pharmazeut. Er wurde am 25.7.1868 in Frederikshavn als achtes von 11 Kindern der Eheleute Carl Andreas Nicolai Wöhlk und Clara Wilhelmine Knutzen geboren. Nach seinem Studium und anschließender Arbeit an der Pharmazeutischen Lehranstalt Kopenhagen war er von 1910 bis zu seinem Tod am 2.3.1949 Leiter der Trianglen-Apotheke, die auch heute noch in der Nordre Frihavnsgade 3, 2100 Kopenhagen besteht (Abb. K1, K3).



**Abb. K1:** Alfred Wöhlk (links) und Mitarbeiter vor der Trianglen-Apotheke in Kopenhagen

Bevor er ab seinem 43. Lebensjahr die Trianglen-Apotheke leitete, arbeitete Alfred Wöhlk an der Pharmazeutischen Lehranstalt Kopenhagen, wo er in deutscher Sprache publizierte und zum Beispiel ein Herstellungsverfahren für Acrylsäure aus Glycerin erfand oder ein Nachweisverfahren für Lactose und Maltose beschrieb, das vielen Pharmaziestudenten als

Wöhlk-Probe oder Wöhlk-Test bekannt ist. Im Krankenhauslabor haben spektrometrische Methoden die Wöhlk-Probe ersetzt, aber sie eignet sich hervorragend, um im Schulexperiment den Gehalt von Lactose in Milchprodukten sichtbar zu machen (siehe Abb. K4).



**Abb. K2:** Magnyl = Acetylsalicylsäure plus Magnesiumoxid

Alfred Wöhlk wurde auch bekannt durch "Magnyl", einem dänischen Konkurrenzprodukt zu Aspirin®, bei dem die Acetylsalicylsäure durch Magnesiumoxid neutralisiert wurde (siehe Abb. K2). Weiterhin war er aktiv bei der Dänischen Pharmazeutischen Gesellschaft (Danmarks Farmaceutiske Selskab), wo er regelmäßig Vorträge hielt. Er wurde 80 Jahre alt und würde am 25.7.2018 seinen 150. Geburtstag feiern.



**Abb. K3:** Historisches Rezept-Kuvert aus der Triangeln-Apotheke

(Text und Bilder wurden zusammengefasst aus persönlichen Unterlagen von Poul Nissen, Triangeln Apotheke Kopenhagen, durch Klaus Ruppersberg, IPN Kiel)

Für die Überlassung der Fotos und die biografischen Angaben bedanken wir uns ganz herzlich bei Herrn Apotheker Poul Nissen, dem gegenwärtigen Leiter der Triangeln-Apotheke in Kopenhagen.



**Abb. K4:** Die Wöhlk-Probe als anschauliches und kostengünstiges Schulexperiment

## Literatur:

- [1] A. Wöhlk, Fresenius' J. Anal. Chem., 1904, 43, 670–679.
- [2] W. Proske, F. Walter, Reagenzglasversuche zur Chemie der Kohlenhydrate, MNU-Tagung Bremerhaven 2013, siehe auch [http://www.fachreferent-chemie.de/wp-content/uploads/Kohlenhydrate-Reagenzglasversuche2\\_FW141113\\_CvD2.pdf](http://www.fachreferent-chemie.de/wp-content/uploads/Kohlenhydrate-Reagenzglasversuche2_FW141113_CvD2.pdf), zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [3] Siegfried GmbH, Das Labor des Arztes, Säckingen, 1962, S. 30.
- [4] G. Ahrens, Die Urinanalyse, Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1966, S.35f.
- [5] W. Teichmann, Untersuchungen von Harn und Konkrementen, VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1980, S.41.
- [6] D-Glucose und verwandte Verbindungen in Medizin und Biologie, (Hrsg.: H. Bartelheimer, W. Heyde und W. Thorn), Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1966, S.690–691.
- [7] H. Malfatti, Centralblatt für die Krankheiten der Harn- und Sexualorgane, Thieme, Leipzig, 1905, 68–71, siehe auch: <https://archive.org/details/centralblattfrd03unkngoog>, zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [8] W.R. Fearon, Analyst, 1942, 67, 130–132.
- [9] N. Umikoff, Jahrb. Kinderheilk., 1896, 356–359.
- [10] N. Sieber, Hoppe-Seyler's Zeitschrift fuer physiologische Chemie, 1900, 30, 101–106.
- [11] Marchetti, Richard Maly's Jahresbericht über die Fortschritte der Thier-Chemie, 1897, 266.
- [12] P. McVeagh und J. Brand Miller, J. Paediatr. Child Health, 1997, 33, 281–286.
- [13] [www.axel-schunk.de/experiment/edm1211.html](http://www.axel-schunk.de/experiment/edm1211.html), zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [14] [www.boeck.chemie.uni-rostock.de/fileadmin/MathNat\\_Chemie\\_Boeck/Vorlesungsfolien/Praktikum/Folien/2014\\_P\\_7\\_folie.pdf](http://www.boeck.chemie.uni-rostock.de/fileadmin/MathNat_Chemie_Boeck/Vorlesungsfolien/Praktikum/Folien/2014_P_7_folie.pdf), S.10, zuletzt abgerufen am 13.7.2015.
- [15] <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/131/s40.pdf>, zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [16] P. Grob, Einfache Schulversuche zur Lebensmittelchemie, Aulis Verlag, Köln, 2000, S.65–66.
- [17] L. Gattermann und T. Wieland, Die Praxis des organischen Chemikers, Berlin, 1982, S. 644.
- [18] F. Bukatsch und W. Glöckner, Exp. Schulchemie Band 6.1, Aulis Deubner Köln, 1975, S.124.
- [19] <http://www.spektrum.de/news/die-milch-revolution/1203870>, zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [20] F. Höffeler, Biol. Unserer Zeit, 2009, 39, 378–387.
- [21] A. Töpel, Chemie und Physik der Milch, Behr's Verlag Hamburg, 2004, S.98.
- [22] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lobry-de-Bruyn-Alberda-van-Ekenstein-Umlagerung>, zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [23] <https://de.wikipedia.org/wiki/Cellobiose>, zuletzt abgerufen am 12.7.2016.
- [24] L. Hough, J. Jones und E. Richards, J. Chem. Soc., 1953, 2005–2009.
- [25] K. Ruppertsberg, Nachweis von Lactose (und Maltose) im Kontext Schule: Aminbasierte Farbreaktionen als Kohlenhydratnachweise, Flensburg, 2021, DOI: 10.25656/01:28446

## Die Autoren:



Klaus Roppersberg, Jahrgang 1959, hat sein Studium der Chemie und Biologie an der Albertus Magnus-Universität in Köln 1986 mit dem 1. Staatsexamen abgeschlossen.

Nach dem 2. Staatsexamen in Bensheim an der Bergstraße war er 24 Jahre lang Lehrer an verschiedenen Schulformen, zuletzt als Fachbereichsleiter Chemie an der Domschule in Schleswig. Seit August 2014 ist er an das Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (Abt. Chemie-didaktik – Prof. Dr. Ilka Parchmann) in Kiel abgeordnet.



Julia Hain, Jahrgang 1990, hat ihr Studium der Chemie 2014 mit dem Master of Science abgeschlossen und arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin unter Leitung von Prof. Dr. Thisbe K. Lindhorst am Otto-Diels-Institut für Organische Chemie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

## Dank

Für freundliche Beratung, Unterstützung und hilfreiche Diskussion bedanken wir uns ganz herzlich bei Dr. Oksana Sereda, Prof. Dr. Thisbe K. Lindhorst, beide CAU Kiel, bei Prof. Dr. Petra Mischnick, TU Braunschweig und Prof. Dr. Lothar Jaenicke, Köln.