

Vorwissenschaftliche Arbeit

# **Zucker in ausgewählten Cola-Produkten**

*Welche Zuckerarten sind in ausgewählten  
Cola-Produkten enthalten?*

*Nina Hochmeister*

Klasse: 8C

Betreuerin: Mag. Nicolette Langer

Februar 2016

Realgymnasium der Albertus-Magnus-Schule

Semperstraße 45, 1180 Wien

## Kurzfassung

Die folgende vorwissenschaftliche Arbeit ist dem Bereich der Lebensmittelchemie zuzuordnen, denn sie beleuchtet das Thema *Zucker in ausgewählten Cola-Produkten* chemisch. Da in der Liste der Inhaltsstoffe nur die Bezeichnung *Zucker* aufscheint, lautet die Leitfrage, die es in dieser Arbeit zu beantworten gilt: *Welche Zuckerarten sind in ausgewählten Cola-Produkten enthalten?* Bei den zu untersuchenden Proben handelt es sich um die Produkte Coca-Cola<sup>®</sup>, Coca-Cola Life<sup>®</sup>, Coca-Cola Light<sup>®</sup> und Coca-Cola Zero<sup>®</sup>.

Die Arbeit behandelt kurz die Marke Coca-Cola<sup>®</sup>. Danach legt sie ihre Aufmerksamkeit auf das theoretische Basiswissen über Süßungsmittel im Allgemeinen, wobei besonders auf die Gruppe der Kohlenhydrate eingegangen wird. Der Hauptteil beschäftigt sich zuerst mit der Theorie und dann der Praxis verschiedenster chemischer Analysemethoden, die zur Beantwortung der Leitfrage notwendig waren. Als Analysetechniken kamen sowohl qualitative - z.B. Dünnschichtchromatografie - als auch quantitative Versuchsmethoden - z.B. Titration - zum Einsatz.

Mit den angewendeten Analysemethoden konnte qualitativ Fructose, Glucose und Saccharose in Coca-Cola<sup>®</sup> und quantitativ Fructose und Glucose in Coca-Cola<sup>®</sup> und Coca-Cola Life<sup>®</sup> nachgewiesen werden. Bei Coca-Cola Light<sup>®</sup> und Coca-Cola Zero<sup>®</sup> standen die Ergebnisse im Einklang mit den Herstellerangaben.

## Vorwort

Mein großes Interesse an den Naturwissenschaften und mein starker Forschungsdrang haben dazu geführt, dass ich diese Arbeit im Bereich der Chemie verfasse. Aufgrund meiner Vorliebe für Experimente bin ich im Bereich der Lebensmittelchemie gelandet. Bei weiteren Forschungen stieß ich auf das neue Coca-Cola Stevia<sup>®</sup>, wodurch meine Neugierde für das Erforschen verschiedener Zuckerarten in Coca-Cola<sup>®</sup>-Produkten geweckt wurde.

Besonderen Dank möchte ich meiner Betreuerin Nicolette Langer aussprechen, die mich nicht nur beim Verfassen dieser Arbeit immer unterstützt hat, sondern auch meine prinzipielle Vorliebe für Chemie entdeckt und mich mit allen Mitteln gefördert und gefordert hat.

Meiner Familie danke ich für die fortwährende Unterstützung. Alle ermunterten mich zur raschen Fertigstellung der Arbeit. Hierbei haben meine Mutter Karin und meine Großmutter Monika besonderen Dank wegen ihrer großartigen Leistung als Korrekturleserinnen verdient.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	6
1.1	Gründungsgeschichte von Coca-Cola® .....	7
1.2	Süßungsmittel .....	8
1.2.1	Definition und Übersicht.....	8
1.2.2	Theoretisches Basiswissen über Kohlenhydrate .....	9
1.2.3	Theoretisches Basiswissen über Süßstoffe.....	15
1.3	Theorie der Analysemethoden .....	18
1.3.1	Entfärben der Coca-Cola®-Produkte mit Aktivkohle.....	18
1.3.2	Die Fehling Probe .....	19
1.3.3	Zuckerbestimmung nach Rebelein .....	20
1.3.4	Qualitativer Nachweis von Cyclamat.....	21
1.3.5	Dünnschichtchromatografie .....	22
1.3.6	Nachweis von Aspartam mittels Ninhydrin Reagenz.....	23
2	Material und Methoden .....	25
2.1	Entfärben der Coca-Cola®-Produkte mit Aktivkohle .....	25
2.2	Zuckernachweis mittels Fehling-Reagenzien .....	26
2.3	Zuckernachweis nach Rebelein .....	27
2.4	Qualitativer Nachweis von Cyclamat .....	28
2.5	Nachweis von Aspartam mittels Dünnschichtchromatografie .....	29
2.6	Nachweis von Aspartam mittels Filterpapier und Ninhydrin-Reagenz.....	30
2.7	Nachweis bestimmter Zuckerarten mittels Dünnschichtchromatografie .....	31
2.8	Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Stevia .....	32
3	Ergebnisse .....	33
3.1	Die Fehling Probe .....	33

3.2	Quantitative Zuckerbestimmung nach Rebelein .....	33
3.3	Qualitativer Nachweis von Cyclamat .....	34
3.4	Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Aspartam.....	34
3.5	Nachweis von Aspartam auf Filterpapier.....	35
3.6	Nachweis bestimmter Zuckerarten mittels Dünnschichtchromatografie .....	35
3.7	Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Stevia .....	36
4	Resümee .....	37
	Literaturverzeichnis .....	39
	Abbildungsverzeichnis .....	42
	Tabellenverzeichnis .....	43

# 1 Einleitung

Heutzutage wird es für Verbraucher immer schwieriger, den Durchblick bei den Inhaltsstoffen der Lebensmittel zu bewahren. Viele Stoffe werden nur noch mit Hilfe der E-Nummer angegeben, sodass des Öfteren die Frage aufkommt, woraus das Produkt letztendlich besteht.

Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende vorwissenschaftliche Arbeit mit der Überprüfung der Zuckerarten in ausgewählten Coca-Cola®-Produkten mithilfe qualitativer und quantitativer chemischer Analysemethoden. Das Anliegen dieser Arbeit ist die Beantwortung der folgenden Leitfrage: *Welche Zuckerarten sind in ausgewählten Cola-Produkten enthalten?*

Im ersten Teil der Arbeit wird nach einem kurzen Exkurs über die Gründungsgeschichte der Coca-Cola® Company auf das Großkapitel der Süßungsmittel eingegangen, wobei die Kohlenhydrate und die Süßstoffe, die bei den Versuchen vorkommen, genauer beleuchtet werden. Hierbei galt das Werk von Charles E. Mortimer und Ullrich Müller mit dem Titel „Chemie. Basiswissen der Chemie“ als wichtige Grundlage.<sup>1</sup> Weiters wird im ersten Kapitel die Theorie der verwendeten Analysemethoden genauer erläutert. Der Inhalt des zweiten Kapitels befasst sich mit der Durchführung und dem benötigten Material der Experimente. Der dritte Teil behandelt die sachliche Schilderung der Ergebnisse der einzelnen Versuche. Ausgewertet und gedeutet werden diese im Schlusskapitel.

In der vorliegenden Arbeit wird nicht auf den gesundheitlichen Aspekt des Verzehrs von Zucker und Süßstoffen bzw. von Coca-Cola®-Produkten eingegangen. Eine umfassende Behandlung dieses Themas würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Alle Versuche wurden in einem Schullabor durchgeführt und sollten bestimmte Zuckerarten in den ausgewählten Coca-Cola®-Produkten Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero® nachweisen.

---

<sup>1</sup> Vgl. Mortimer; Müller, Chemie, S. 607 f.

Die Experimente zum Entfärben der Coca-Cola®-Produkte und zum Nachweis von Zucker mittels der Fehling-Probe wurden gemäß der Vorschrift von Isabelle Kuhn an der Philipps-Universität Marburg ausgeführt.<sup>2</sup> Auch die theoretischen Grundlagen dieser Experimente beziehen sich auf Kuhns Arbeit. Der theoretische Teil der Zuckerbestimmung nach Rebelein nimmt auf die Angabe der Getränkeanalytik der C. Schliessmann Kellerei-Chemie GmbH Bezug.<sup>3</sup> Die Anweisungen für die praktische Durchführung beruhen auf der Instruktion „Zuckerbestimmung (Glucose, Fructose) nach Rebelein“.<sup>4</sup> Das theoretische Grundwissen und die Vorschriften für die Versuche der Nachweisreaktionen von Aspartam mit Hilfe von Ninhydrin und Cyclamat basieren auf dem Werk von Marion Fritsch<sup>5</sup> und der wissenschaftlichen Hausarbeit von Ina Böckler zum Thema „Diätische Lebensmittel“<sup>6</sup>. Für die Zuckerartenbestimmung mittels Dünnschichtchromatografie wurde die Anleitung von Hans Joachim Bader herangezogen.<sup>7</sup>

## 1.1 Gründungsgeschichte von Coca-Cola®

Am 8. Mai 1886 entwickelte der Arzt und Apotheker Dr. John S. Pemberton in Atlanta einen Sirup aus Kräutern, wie z.B. Kokapflanze und Kolanuss, welcher als Heilmittel gegen Müdigkeit, Schwäche und Kopfschmerzen fungieren sollte. Verdünnt mit Wasser ergab dies aber einen beliebten Durstlöscher, der schon bald über die Grenzen von Atlanta bekannt wurde. Ohne es zu wollen, wurde somit das nun weltweit bekannte und beliebte Erfrischungsgetränk Coca-Cola® *erfunden*. Durch einen Zufall, bei dem ein Angestellter den Sirup mit Sodawasser anstelle von gewöhnlichem Wasser verdünnt hatte, entdeckte man die noch erfrischendere Wirkung. Ab diesem Moment wurde Coca-Cola® nur mehr mit kohlenensäurehaltigem Wasser hergestellt. Seit damals hat sich die Herstellungsart nicht mehr geändert und die genaue Mischung ist bis heute noch ein gehü-

---

<sup>2</sup> Vgl. Kuhn, Entfärben von Cola und Diät Cola, Nachweis von Zucker, S. 1 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Schliessmann, Bestimmung des Zuckers nach Dr. Rebelein, S. 3.

<sup>4</sup> Vgl. Zuckerbestimmung (Glucose, Fructose) nach Rebelein, S. 1.

<sup>5</sup> Vgl. Fritsch, Ausarbeitung des Experimentalvortrags in Organischer Chemie zum Thema Zucker, S. 16 f.

<sup>6</sup> Vgl. Böckler, Diätische Lebensmittel, S. 251.

<sup>7</sup> Vgl. Bader, Zeitgemäßer Chemieunterricht, S. 62.

tetes Geheimnis. Den großen Durchbruch erzielte allerdings der Unternehmer Asa Chandler durch hervorragende Vermarktung im ganzen Land, nachdem er alle Rechte der Originalrezeptur um 2.300 Dollar erworben hatte.<sup>8</sup>

## 1.2 Süßungsmittel

In diesem Kapitel wird ein genauerer Blick auf jene Kohlenhydrate und Süßstoffe geworfen, welche mittels der für diese Arbeit relevanten Experimente nachgewiesen werden sollten.

### 1.2.1 Definition und Übersicht<sup>9</sup>

Unter dem Begriff Süßungsmittel versteht man Lebensmittelzusatzstoffe, die dazu dienen, dass Lebensmittel einen süßen Geschmack erhalten oder die als Tafelsüßen verwendet werden.<sup>10</sup> Dabei wird zwischen zwei Gruppen unterschieden: Es existiert die Gruppe der Zuckeraustauschstoffe, die abermals in Kohlenhydrate und Zuckeralkohole einzuteilen sind. Weil Zuckeraustauschstoffe vor allem zur Körperbildung von Produkten dienen, sind sie auch unter dem Namen *bulk sweeteners* bekannt.<sup>11</sup> Dem gegenüber steht die Gruppe der Süßstoffe, die ein weiteres Mal in natürliche und künstliche unterteilt werden (siehe Abb. 1). Die besondere Eigenschaft, weshalb Zuckeraustauschstoffe und Süßstoffe gerne in Lebensmitteln und Tafelsüßen verwendet werden, liegt in ihrer geringen Energiedichte. Eine Bewertung all dieser Süßungsmittel in Bezug auf die Gesundheit liefert die Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde, kurz EFSA genannt.<sup>12</sup> Derzeit sind in der Europäischen Union sechs Zuckeralkohole und sieben Süßstoffe offiziell zugelassen, von denen Stoffe wie Acesulfam K, Aspartam, Cyclamat und Saccharin in Österreich am häufigsten eingesetzt werden.<sup>13</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. Fischer, Wachstum durch Mergers & Acquisitions- mit Fallbeispiel Coca-Cola / Römerquelle, S. 58.

<sup>9</sup> Vgl. Rech, Flavourprofil eines mit Rebaudiosid A optimierten, zuckerreduzierten Zitrone-Erfrischungsgetränkes, S. 8.

<sup>10</sup> Vgl. Richtlinie 94/35/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates, S. 1.

<sup>11</sup> Vgl. Baltes; Matissek, Lebensmittelchemie, S. 238.

<sup>12</sup> Vgl. <http://www.efsa.europa.eu/de/about/howwework> (Zugriff: 23.10.2015).

<sup>13</sup> Vgl. Österreichische Gesellschaft für Ernährung, 2014 (Zugriff: 3.8.2015).

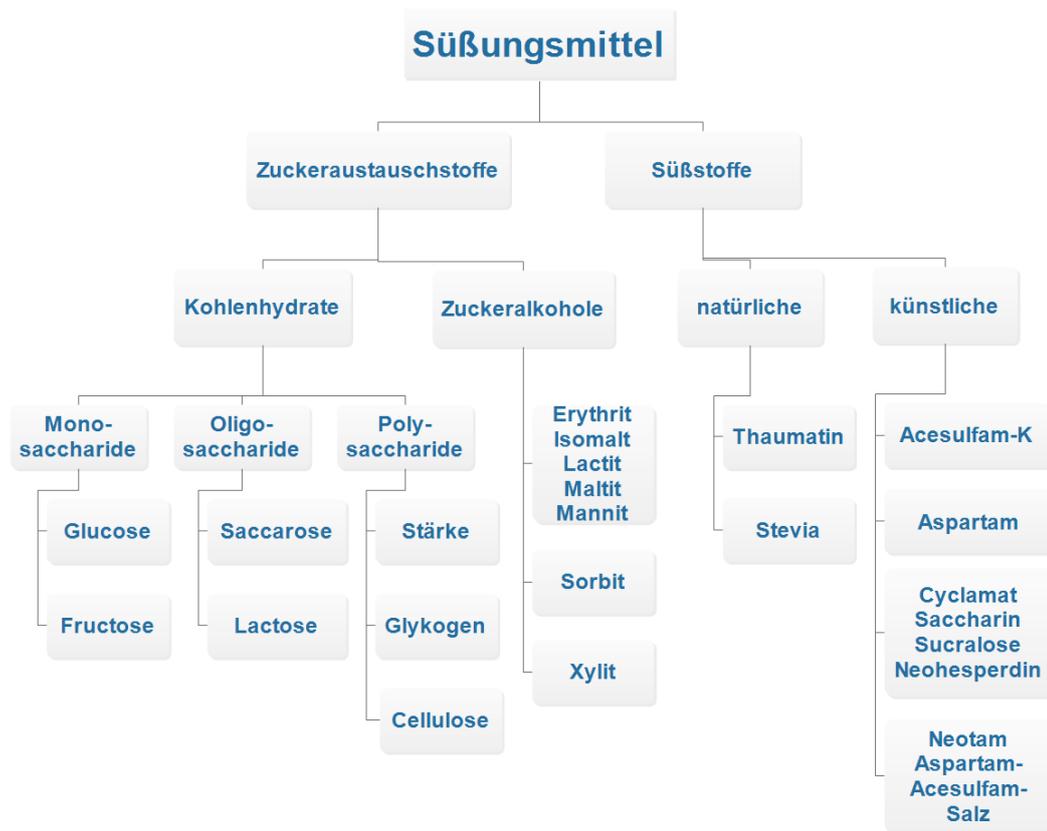
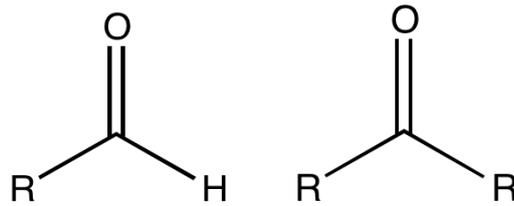


Abbildung 1: Einteilung der Süßungsmittel

### 1.2.2 Theoretisches Basiswissen über Kohlenhydrate

Unter Kohlenhydraten versteht man die Naturstoffe Zucker, Stärke und Cellulose. Sie sind unter anderem auch unter dem Namen Saccharide, vom lateinischen *saccharum* für Zucker, bekannt. Aus der Bezeichnung Kohlenhydrate geht hervor, dass die meisten Stoffe aus Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasser bestehen, die der Summenformel  $C_x(H_2O)_y$  folgen. Jedoch beinhaltet die Struktur keine Wassermoleküle, sondern Hydroxylaldehyde und Hydroxyketone. Ein Keton besteht aus einer Carbonylgruppe, die mit zwei variablen organischen Resten verbunden ist. Wird ein Rest durch ein Wasserstoffatom ausgetauscht, entsteht ein Aldehyd (siehe Abb. 2).<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Vgl. Mortimer; Müller, Chemie, S. 607 f.



*Abbildung 2: Struktur eines Aldehyds und eines Ketons (von links). R sind verschiedene Organylgruppen, die sich von H unterscheiden*

Prinzipiell unterscheidet man zwischen drei Gruppen der Kohlenhydrate:

- 1) Monosaccharide, auch Einfachzucker genannt;
- 2) Oligosaccharide, die aus mindestens zwei bis maximal acht Monosacchariden bestehen;
- 3) Polysaccharide, die aus mehr als acht Monosacchariden aufgebaut sind;

Stärke und Cellulose sind den Polysacchariden zuzuordnen, wohingegen Zucker entweder aus Mono- oder Oligosacchariden aufgebaut ist. Diese werden oft mit einem Trivialnamen, der auf –ose endet, benannt.<sup>15</sup>

### **1.2.2.1 Monosaccharide**

Monosaccharide kann man als Produkte der Oxidation mehrwertiger Alkohole ansehen. Diese bestehen aus einer Kohlenstoffkette, die aus drei bis sechs Kohlenstoffatomen aufgebaut ist. Je nachdem, ob sie eine Aldehyd- oder eine Keto-Gruppe besitzen, spricht man von Aldosen oder Ketosen (siehe Abb. 3). Die übrigen Kohlenstoffatome besitzen jeweils eine Hydroxy-Gruppe. Je nach der Anzahl der Kohlenstoffatome wird zwischen Triosen, Tetrosen, Pentosen und Hexosen unterschieden. Hinzugefügt wird noch das Präfix Aldo- bzw. Keto-. So wird ein Monosaccharid, das aus fünf Kohlenstoffatomen besteht und eine Aldehyd-Gruppe besitzt, Aldopentose genannt (siehe Abb. 4).<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. Ebd. S. 607.

<sup>16</sup> Vgl. Ebd. S. 607.

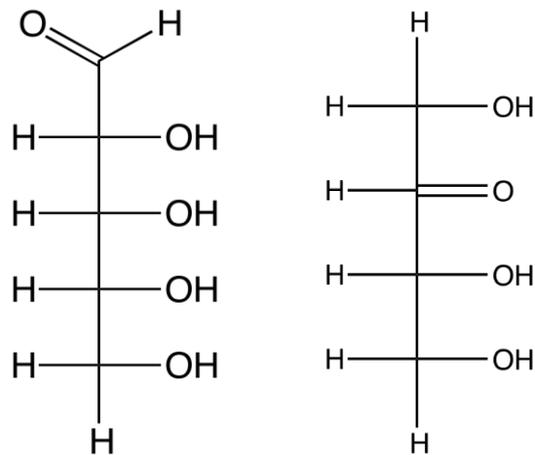


Abbildung 3: Strukturformel der Monosaccharide einer Aldose und einer Ketose (von links)

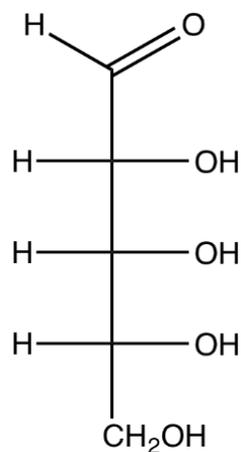


Abbildung 4: Strukturformel einer Aldopentose

*In Aldohexosen sind vier asymmetrisch substituierte Kohlenstoff-Atome vorhanden. Demnach existieren  $2^4 = 16$  Stereoisomere = 8 Enantiomerenpaare. Bei Ketohexosen sind es drei asymmetrisch substituierte Kohlenstoff-Atome und somit  $2^3 = 8$  Stereoisomere = 4 Enantiomerenpaare. Die R/S- Nomenklatur zur Bezeichnung von Stereoisomeren wird bei Sacchariden wenig benutzt; vielmehr wird für jedes Diastereomere ein Trivialname verwendet und jedes der beiden Enantiomere wird mit den Präfixen D- oder L- bezeichnet [...].<sup>17</sup>*

Zu erwähnen ist, dass die Anzahl der Stereoisomere aus der Formel  $2^n$  hervorgeht. Hierbei steht n für die Anzahl der asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatome. Bei jedem asymmetrisch substituiertem C-Atom liegt ein Chiralitätszentrum vor. Außerdem sind immer genau zwei Stereoisomere zueinander enantiomer. Ob es eine D- oder eine L-

<sup>17</sup> Ebd. S. 607.

Form ist, hängt von dem asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatom ab, welches am entferntesten von der Carbonyl-Gruppe liegt. Wenn dieses nun dieselbe Konfiguration wie das asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatom des D-Glyceinaldehyds (die OH-Gruppe nach rechts schauend in der Fischerprojektion) vorweist, bekommt das Enantiomer des Zuckers den Namen mit dem Präfix D (vom lateinischen *dexter* für rechts). Zeigt die OH-Gruppe in der Fischerprojektion nach links, bezeichnet man dieses mit dem Präfix L (vom lateinischen *laevus* für links). Somit kann man das passende Präfix einfach aus der Fischerprojektion herauslesen (siehe Abb. 5).<sup>18</sup>

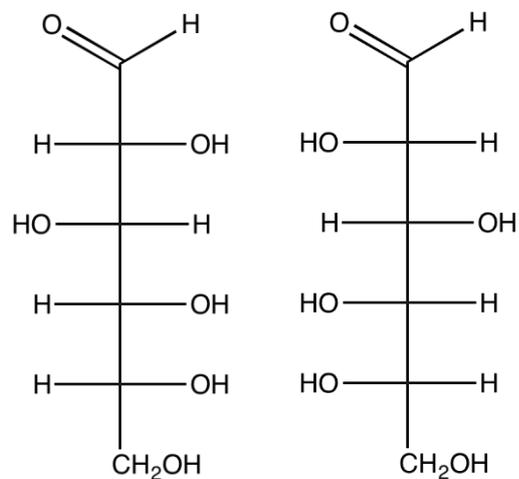


Abbildung 5: Vergleich zwischen D-Glukose (links) und L-Glukose (rechts)

Monosaccharide kommen sowohl in Kettenform als auch in Ringform vor, die in Lösung miteinander im Gleichgewicht vorzufinden sind. Wenn die OH-Gruppe am fünften Kohlenstoffatom an die Carbonyl-Gruppe angehängt wird, entsteht ein Ringschluss. Dabei verbindet sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff, wodurch eine Hydroxy-Gruppe und eine Ether-Gruppe aufgebaut werden. Durch das neu entstandene Chiralitätszentrum am ersten C-Atom werden auch zwei neue Diastereomere geschaffen. In  $\alpha$ - oder  $\beta$ - unterschieden werden sie als Anomere bezeichnet. Je nachdem in welche Richtung die neu gebildete Hydroxy-Gruppe ausgerichtet ist, werden sie folgendermaßen benannt: Stimmt sie mit der Richtung der Nachbargruppe überein, wird die Bezeichnung  $\alpha$ - ver-

<sup>18</sup> Vgl. Ebd. S. 607.

wendet. Zeigt sie in die Gegenrichtung, wird  $\beta$ - als Präfix eingesetzt. Wird bei einer Ke-  
tose ein Fünfeck gebildet, wird das Wort –furan- vor die Endung –ose gefügt, entsteht  
jedoch ein Sechseck, so wird das Wort –pyran- eingefügt.<sup>19</sup>

Zu den wichtigsten Monosacchariden zählen D-Glucose, D-Fructose, D-Galactose und D-  
Ribose, deren Enantiomere (jene mit dem Präfix L-) in der Natur nicht existieren. Die  
organisch-chemische Verbindung mit dem größten Vorkommen auf der Erde ist die D-  
Glucose, welche vielfältig gebunden vorkommt.<sup>20</sup> Sie fungiert als Baustein von unzähli-  
gen Di-, Oligo- und Polysacchariden, so auch von Saccharose bis hin zu Cellulose und  
Stärke. Glucose gehört der Gruppe der Aldosen an, wird oft auch Dextrose oder Trau-  
benzucker genannt, wirkt reduzierend und bildet süß schmeckende, geruch- und farb-  
lose Kristalle. Sie ist das biosynthetische Produkt der Photosynthese und kommt in fast  
allen süßen Früchten vor.<sup>21</sup> Bei der D- Fructose findet man die Carboxylgruppe am zwei-  
ten C-Atom und sie ist deshalb eine Ketose. Da sie in fast allen Früchten vorkommt, wird  
sie auch Fruchtzucker genannt. Sie wirkt ebenfalls reduzierend und besteht aus farb-  
und geruchlosen, leicht wasserlöslichen, sehr süß schmeckenden Kristallen. Gemeinsam  
mit der D-Glucose baut sie Saccharose auf, besitzt aber ihre 1,2-fache Süßkraft und wird  
so oft zur Reduzierung des Nahrungsenergiewertes in Speisen und Getränken genutzt.<sup>22</sup>

### 1.2.2.2 Oligosaccharide

Unter Oligosaccharide versteht man den Zusammenschluss von bis zu acht Monosac-  
chariden. Die einfachste Form sind die Disaccharide, die aus zwei Monosacchariden be-  
stehen. Je nach der Anzahl der Monosaccharide, die eine Verbindung eingehen, wird die  
Silbe Di-, Tri, Tetra-, usw. vor das Wort Saccharide gestellt (siehe Abb. 6). Der Zusam-  
menschluss entsteht, indem ein Wassermolekül abgespalten und so eine Ethergruppe  
gebildet wird. Ein Oligosaccharid kann auch aus unterschiedlichen Monosacchariden be-  
stehen. Drei der wichtigsten Disaccharide sind Saccharose,  $\alpha$ -Maltose und  $\beta$ -Lactose.<sup>23</sup>

---

<sup>19</sup> Vgl. Ebd. S. 608.

<sup>20</sup> Vgl. Baltes; Matissek, Lebensmittelchemie, S. 124 ff.

<sup>21</sup> Vgl. Schwedt, Zuckersüße Chemie, S. 99.

<sup>22</sup> Vgl. Ebd. S. 106f.

<sup>23</sup> Vgl. Mortimer; Müller, Chemie S. 608.

Das wichtigste Süßungsmittel in unserer Nahrung ist Saccharose, auch unter Rohr- bzw. Rübenzucker bekannt. Wie aus den Beinamen schon herauszulesen ist, weisen vor allem Zuckerrüben, Zuckerrohr und Ahornsafte Saccharose auf. Optisch ist sie linksdrehend, nicht reduzierbar und gut in Wasser, jedoch weniger gut in Alkohol löslich.<sup>24</sup> Bei ihrer Spaltung, auch Invertierung genannt, kommt es zu einem Gemisch, das im Verhältnis 1:1 aus Glucose und Fructose besteht. Dieses Produkt wird als Invertzucker bezeichnet.<sup>25</sup>

Die reduzierende  $\beta$ -Lactose ist Bestandteil der Milch vieler Säugetiere und wird deshalb auch Milchzucker genannt.<sup>26</sup> Sie wird aus Lab- und Sauermolke gewonnen. Das Disaccharid wird aus Glucose und Galaktose aufgebaut, bildet schwach süßlich schmeckende farblose Kristalle und hat in etwa denselben Nährwert wie Saccharose.<sup>27</sup>

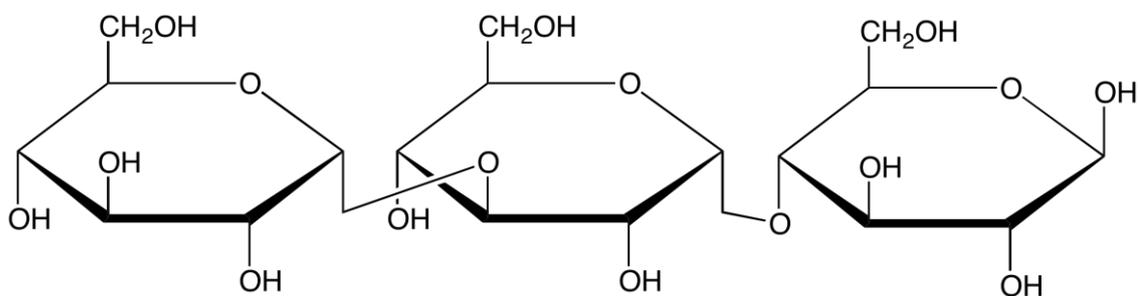


Abbildung 6: Struktur eines Oligosaccharides (Trisaccharid)

### 1.2.2.3 Polysaccharide

Polysaccharide werden auch oft Mehrfachzucker genannt und bestehen aus einer großen Anzahl von Monosacchariden, die durch Polykondensation verbunden werden. Dies ist eine Kondensationsreaktion, bei der Monomere, vom griechischen *monos* für einzel und *méros* für Teil, in Polymere, vom griechischen *poly* für viel und *méros* für Teil, umgewandelt werden. Die wichtigsten Vertreter der Polysaccharide sind Stärke, Glykogen und Cellulose. Diese bestehen aus D-Glucose-Molekülen und besitzen die allgemeine Strukturformel  $(C_6H_{10}O_5)_x$ .<sup>28</sup>

<sup>24</sup> Vgl. Ebd. S. 108.

<sup>25</sup> Vgl. Baltés; Matissek, Lebensmittelchemie, S. 149.

<sup>26</sup> Vgl. Ebd. S. 150.

<sup>27</sup> Vgl. Schwedt, Zuckersüße Chemie, S. 109.

<sup>28</sup> Vgl. Mortimer; Müller, Chemie, S. 609.

### 1.2.3 Theoretisches Basiswissen über Süßstoffe

Anders als bei der Verwendung von Zuckeraustauschstoffen, bei der neben dem Süßgeschmack noch weitere funktionelle Eigenschaften wichtig sind, werden Süßstoffe dann herangezogen, wenn Süßungsmittel keine andere Funktion als die des Süßens besitzen sollen. Wegen ihrer großen Süßkraft werden Süßstoffe immer nur in geringen Konzentrationen eingesetzt. Deshalb bezeichnet man sie auch als *intense sweeteners*.

Jeder Zusatzstoff und somit auch alle Süßstoffe besitzen einen gewissen ADI-Wert.

*Die Abkürzung steht für "acceptable daily intake", was etwa als "duldbare tägliche Aufnahme" übersetzt werden kann. Der ADI-Wert gibt die Menge eines Stoffes an, die über die gesamte Lebenszeit täglich gegessen werden kann, ohne dass dadurch gesundheitliche Gefahren zu erwarten wären.<sup>29</sup>*

Angegeben wird der Wert in der Maßeinheit Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag. Seit 55 Jahren wird dieser Wert auch angewandt, um Rückstände von Pestiziden und tiermedizinischen Substanzen in Lebensmitteln sowie auch Lebensmittelzusatzstoffen nachzuweisen.<sup>30</sup>

Es gibt einen Code für Zusatzstoffe, anhand dessen jeder Stoff unabhängig von der Landessprache identifiziert werden kann: die sogenannte E-Nummer, wobei E für Europa steht. Sie bestätigt, dass der betroffene Stoff von der Europäischen Union in Folge des Zulassungsverfahrens auf vier Fakten geprüft wurde: Es wird untersucht, ob er gesundheitlich unbedenklich sowie technologisch notwendig ist, ob er zur Täuschung der Konsumenten verwendet wird und letztendlich den genau festgelegten Reinheitsanforderungen der EU entspricht.<sup>31</sup>

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden nun jene Stoffe näher betrachtet, die in einem Schullabor mit Hilfe von Experimenten in den zu untersuchenden Proben nachgewiesen werden können.

---

<sup>29</sup> [www.zusatzstoffe-online.de/information/681.doku.html](http://www.zusatzstoffe-online.de/information/681.doku.html) (Zugriff: 2.9.2015).

<sup>30</sup> Vgl. Benford, The Acceptable Daily Intake, S. 39.

<sup>31</sup> Vgl. [www.zusatzstoffe-online.de/information/673.doku.html](http://www.zusatzstoffe-online.de/information/673.doku.html) (Zugriff: 2.9.2015).

### 1.2.3.1 Aspartam

Der Süßstoff Aspartam ist ein in der Mitte der 1960er Jahre entdecktes Dipeptid und besteht aus den Aminosäuren L-Asparaginsäure und L-Phenylalanin. Es handelt sich um ein synthetisch hergestelltes Molekül, das die Summenformel  $C_{14}H_{18}N_2O_5$  besitzt und ein geruchloses, weißes Pulver ist. In Getränken darf die Konzentration von Aspartam bis zu 600 mg pro Liter betragen.<sup>32</sup>

Aspartam setzt bei längeren Lagerungen in wässrigen Lösungen oder beim Kochen Phenylalanin frei. Dies ist nur bedenklich für an Phenylketonurie erkrankte Menschen. Zum Kochen ist es außerdem ungeeignet, da es durch hydrolytische Spaltung seine Süßkraft verliert. Im Vergleich zu Saccharose besitzt es eine 200-fache Süßkraft und der ADI Wert liegt bei 40 mg/Kg Körpergewicht pro Tag.<sup>33</sup>

In 90 Ländern ist Aspartam als Lebensmittelzusatz erlaubt und wird in rund 6000 Lebensmitteln wie zum Beispiel in Limonaden, Desserts, Kaugummi oder Joghurt verwendet. Diese Popularität lässt sich unter anderem auf den sehr zuckerähnlichen Geschmack zurückführen. Auch die Bezeichnung NutraSweet oder AminoSweet ist gebräuchlich. In Österreich ist dieser Süßstoff seit 1981 offiziell mit der E-nummer 951 zugelassen.<sup>34</sup>

### 1.2.3.2 Cyclamat

Im Jahr 1944 wurde der synthetische Süßstoff Cyclamat entdeckt. Er besitzt die E-Nummer 952, ist in etwa 45-mal so süß wie Saccharose und hat einen ADI Wert von 11 mg/Kg Körpergewicht pro Tag. Bei größeren Mengen von Cyclamat kommt es zu einem bitteren bis metallischen Nebengeschmack, weshalb es meistens mit anderen Süßstoffen wie zum Beispiel mit Saccharin im Verhältnis von 1:10 gemischt wird.<sup>35</sup>

Bei dieser Mischung kommt es zu einem synergistischen Effekt, sodass das Gemisch eine größere Süßkraft besitzt als die Summe der Süßkraftanteile der darin vorhandenen Sub-

---

<sup>32</sup> Vgl. Rosenplenter; Nöhle, Handbuch Süßungsmittel, S. 468 ff.

<sup>33</sup> Vgl. Baltes; Matissek, Lebensmittelchemie, S. 243.

<sup>34</sup> Vgl. [www.aspartam.at/](http://www.aspartam.at/) (Zugriff: 27.8.2015).

<sup>35</sup> Vgl. Schwedt, Zuckersüße Chemie, S. 140.

stanzen. Am häufigsten kommt das Salz Natriumcyclamat zum Einsatz, welches entweder aus blättchenförmigen, farblosen, geruchslosen Kristallen aufgebaut wird oder aus einem weißen kristallinen Pulver besteht.<sup>36</sup>

Unter dem Begriff Cyclamat versteht man allgemein die Salze der Cyclohexylsulfaminsäure Natriumcyclamat und Kalziumcyclamat, die aus Amidosulfonsäure und Cyclohexylamin hergestellt werden. Der Süßstoff darf bis maximal 250 g/l in energiereduzierten Getränken Verwendung finden.<sup>37</sup>

Cyclamat wird auch unter dem Namen Assugrin verkauft, ist hitzeresistent und somit zum Backen und Kochen geeignet. Im Vergleich zu Saccharose hat es die schwächste Süßintensität von allen in der EU zugelassenen Süßstoffen.<sup>38</sup>

### 1.2.3.3 Stevia

Die Pflanze *Stevia rebaudiana*, oft kurz Stevia genannt, wurde 1899 in Paraguay, Argentinien, von dem Schweizer Naturforscher Dr. Moises Bertoni zum ersten Mal beschrieben. Diese Pflanze enthält natürliche Süßstoffe, die unter dem Begriff Steviolglykoside zusammengefasst werden.<sup>39</sup> Während des Prozesses der Photosynthese werden diese Stoffe gebildet und in den Blättern gespeichert, wodurch diese süßlich schmecken. Das Süßungsmittel ist kalorienfrei, schonend zu den Zähnen und auch für Diabetiker geeignet, da sie keinen Einfluss auf den Blutzucker oder auf die Insulinsekretion hat und somit zu keiner Erhöhung des glykämischen Index<sup>40</sup> führt. Unter den Steviolglykosiden ist Steviosid der bekannteste Vertreter.<sup>41</sup> Es besitzt die E-Nummer 960, ist 150-mal so süß wie Saccharose und hat einen ADI Wert von 4 mg/Kg Körpergewicht pro Tag.<sup>42</sup>

---

<sup>36</sup> Vgl. Rosenplenter; Nöhle, Handbuch Süßungsmittel, S. 488 f.

<sup>37</sup> Vgl. Rech, Flavourprofil eines mit Rebaudiosid A optimierten, zuckerreduzierten Zitrone-Erfrischungsgetränkes, S. 13.

<sup>38</sup> Vgl. Hutterer, Fit in Organik, S. 155.

<sup>39</sup> Vgl. Kienle, Stevia rebaudiana, der Zucker des 21. Jahrhunderts, S. 10.

<sup>40</sup> Der glykämische Index gibt die Auswirkung von kohlenhydrathaltigen Lebensmitteln auf den Blutzuckerspiegel an. Diabeteserkrankte sollten Speisen mit einem möglichst geringen glykämischen Index zu sich nehmen. Vgl. Wehling, Klinische Pharmakologie, S. 272.

<sup>41</sup> Vgl. Kienle, Stevia rebaudiana, der Zucker des 21. Jahrhunderts, S. 24.

<sup>42</sup> Vgl. Baltes; Matissek, Lebensmittelchemie, S. 243.

Eine weitere Eigenschaft ist seine Hitzeresistenz, weshalb Stevia zum Backen und Kochen geeignet ist. Da der Süßstoff leicht wasserlöslich ist, lässt er sich auch einfach verarbeiten.<sup>43</sup>

Am 1. April 2010 wurde ein Gutachten der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit mit dem Fazit, dass die Stevia-Pflanze gesundheitlich unbedenklich sei, publiziert.<sup>44</sup> Davor war in der Europäischen Union (EU), ausgenommen Frankreich, Stevia als Lebensmittel/-zusatzstoff verboten. Am 11. November 2011 wurde eine Verordnung der Europäischen Union veröffentlicht, wodurch die Verwendung von Steviolglykosiden ab 2. Dezember 2011 in bestimmten Lebensmitteln, wie z.B. Kaugummi oder Tafelsüßen, legalisiert wurde.<sup>45</sup>

## 1.3 Theorie der Analysemethoden

### 1.3.1 Entfärben der Coca-Cola®-Produkte mit Aktivkohle

Aktivkohle ist porös und besitzt große innere Oberflächen von bis zu 500 m<sup>2</sup> pro Kubikzentimeter, durch welche sie erhebliche Mengen organischer Stoffe, in diesem Fall Farbstoffe, adsorbieren kann.

Als Adsorption bezeichnet man die Anreicherung von flüssigen oder gasförmigen Stoffen an der Oberfläche von Festkörpern. Dabei spielen die Anziehungskräfte, genauer definiert als die Van-der-Waals-Kräfte<sup>46</sup>, eine bedeutende Rolle. Man nennt den adsorbierenden Feststoff Adsorbens und den zu adsorbierenden Stoff Adsorptiv. In diesem Versuch ist die Aktivkohle das Adsorbens, während die Farbstoffe der jeweiligen Coca-Cola®-Produkte als Adsorptiv dienen.<sup>47</sup>

---

<sup>43</sup> Vgl. Kienle, Stevia rebaudiana, Natürliche Süße im Behördenschwung, S. 62 ff.

<sup>44</sup> Vgl. Kienle, Stevia rebaudiana, der Zucker des 21. Jahrhunderts, S. 10.

<sup>45</sup> Vgl. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:295:0205:0211:DE:PDF> (Zugriff: 7.9.2015).

<sup>46</sup> Bei unpolaren Molekülen können durch die Bewegung der Elektronen in den Elektronenwolken kurzzeitig Dipole entstehen. Durch diese Ladungsverschiedenheit werden auch die benachbarten Moleküle kurzfristig zu Dipolen und ziehen einander an. Die Orientierung der Dipole ändert sich aber schnell wieder, sodass sie sich im zeitlichen Mittel aufheben und ein unpolares Molekül ohne permanente Dipole ergeben. Vgl. Mortimer; Müller, Chemie, S. 171.

<sup>47</sup> Vgl. [www.donau-carbon.com/getattachment/943783b7-783d-45ef-98de-392817d477da/aktivkohle.aspx](http://www.donau-carbon.com/getattachment/943783b7-783d-45ef-98de-392817d477da/aktivkohle.aspx) (Zugriff: 20.7.2015).

### 1.3.2 Die Fehling Probe

1850 wurden die Fehlingschen Lösungen Fehling I und Fehling II entwickelt, die ihren Namen ihrem Erfinder Hermann Ch. Fehling verdanken. Mit diesen können sowohl qualitativ als auch quantitativ reduzierende Zucker und Aldehyde nachgewiesen werden. Fehling I, eine Kupfer(II)-sulfat Lösung, und Fehling II, eine alkalische Kaliumnatriumtartarat Lösung, mischt man im Verhältnis 1:1. Dabei bilden die Kupfer(II)-Ionen mit den Tartarat-Ionen einen dunkelblauen Komplex (siehe Abb. 7). Die zu untersuchende Probe wird hinzugefügt. Handelt es sich dabei um eine Probe mit reduzierbarem Zucker, wird die Lösung dunkler und weist eine leichte Rotfärbung auf. Mittels kurzzeitigem Erhitzen fällt bei den Proben mit reduzierbarem Zucker ein roter Niederschlag aus Kupfer(I)-oxid deutlicher aus (siehe Abb. 8). Der Nachweis ist somit positiv. Bei den Lösungen ohne reduzierbarem Zucker ändert sich dagegen die Farbe nicht und bleibt somit dunkelblau.

48

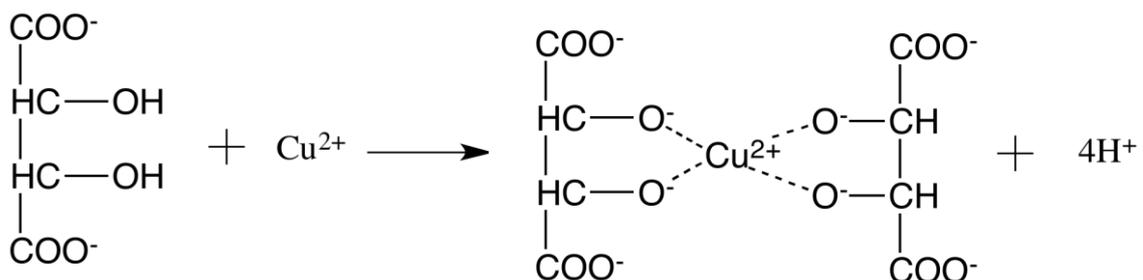


Abbildung 7: Reaktionsgleichung zur Bildung des Kupferkomplexes

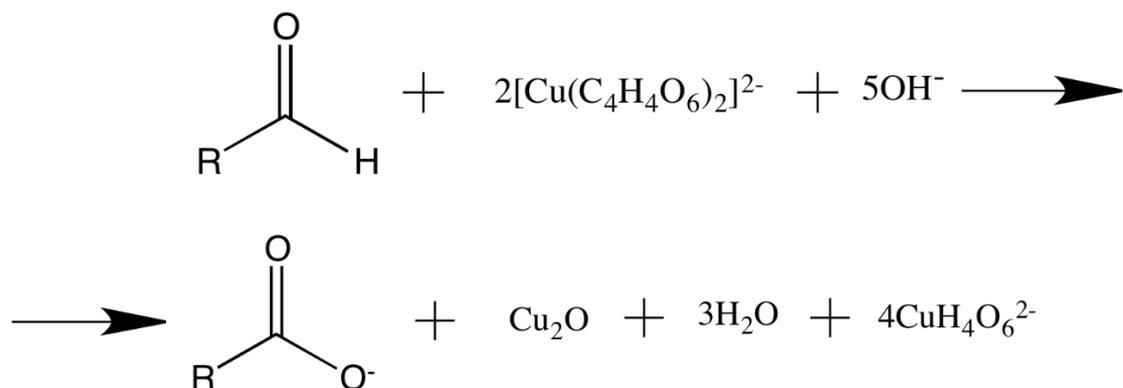


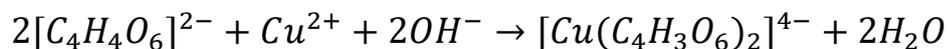
Abbildung 8: Reaktionsgleichung zur Bildung des roten Niederschlags

<sup>48</sup> Vgl. Schwedt, Zuckersüße Chemie, S. 95.

### 1.3.3 Zuckerbestimmung nach Rebelein

Für diese Bestimmung dient die Oxidation reduzierbarer Zuckerarten (Glucose, Fructose) mittels basischer Kupfer(II)-sulfatlösung als chemische Grundlage. Allgemein wird zweiwertiges Kupfer zu Kupferoxid reduziert und das noch vorhandene Kupfer wird mit Kaliumiodid umgesetzt. Zuletzt wird das überschüssige Iod mit Natriumthiosulfat rücktitriert. Insgesamt benötigt man sechs Lösungen (Kupfersulfatlösung, Seignettesalzlösung, Kaliumiodidlösung, Stärkelösung, Natriumthiosulfatlösung und Schwefelsäurelösung) und die zu untersuchende Probe.<sup>49</sup>

Anfangs wird der Kupfer(II)-sulfatlösung eine Seignettesalzlösung, ein Gemisch aus Kalium-Natriumtartrat und Natriumhydroxid, beigelegt. Das in dieser Lösung enthaltene Kalium-Natriumtartrat, bewirkt eine tiefblaue Komplexbildung des Kupfer(II)-Ions, so dass dieses in basischer Lösung in Lösung bleibt (siehe Abb. 9). Wären die Kupfer(II)-Ionen nicht im Komplex gebunden, würden sie gemeinsam mit den Hydroxidionen das schwerlöslich blaue Kupfer(II)-hydroxid bilden und die eigentliche Nachweisreaktion wäre nicht mehr durchführbar.<sup>50</sup>



*Abbildung 9: Reaktionsgleichung zur Entstehung des Kupfertartratkomplexes*

Durch das Beimischen einer Kaliumiodidlösung wird elementares Iod gebildet (siehe Abb. 10). Bei diesem Prozess spielt die Seignettesalzlösung durch ihr Natriumhydroxid eine wichtige Rolle. Die Aufgabe der nun hinzukommenden Schwefelsäure ist die Freisetzung der Kupfer(II)-Ionen aus dem Tartratkomplex. Diese nun freien Ionen bilden gemeinsam mit der Stärkelösung einen neuen tiefblauen Komplex. Bei der Rücktitration entsteht durch das Hinzufügen von Natriumthiosulfat das farblose Natriumiodid und Natriumtetrathionat (siehe Abb. 11).<sup>51</sup>

---

<sup>49</sup> Vgl. Schliessmann, Bestimmung des Zuckers nach Dr. Rebelein, S. 2.

<sup>50</sup> Vgl. [www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=32755](http://www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=32755) (Zugriff: 26.8.2015).

<sup>51</sup> Vgl. Ebd. (Zugriff: 26.8.2015).

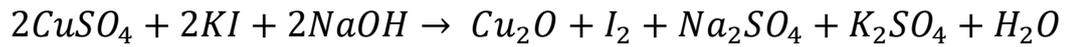


Abbildung 10: Reaktionsgleichung zur Bildung von elementarem Iod

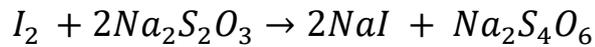


Abbildung 11: Reaktionsgleichung der Rücktitration

### 1.3.4 Qualitativer Nachweis von Cyclamat

Der Cyclamat-Nachweis wird über eine Freisetzung von Schwefelsäure aus dem Molekül geführt. Diese wird bei anwesenden Barium-Ionen zum schwerlöslichen Bariumsulfat umgewandelt, welches als weißer Niederschlag ausfällt.

Aus dem Cyclamat-Molekül wird die Schwefelsäure mit Hilfe eines Nitrosyl-Kations freigesetzt, welches aus der hinzugegebenen Natriumnitrit-Lösung wie folgt entsteht:

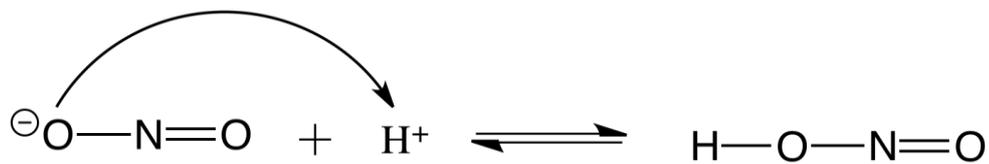


Abbildung 12: Reaktion zur Bildung der salpetrigen Säure

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen, dass dabei Natriumnitrit (1) protonisiert wird und die gebildete salpetrige Säure (2) unter Wasserabspaltung zu einem Nitrosyl-Kation (3) reagiert.

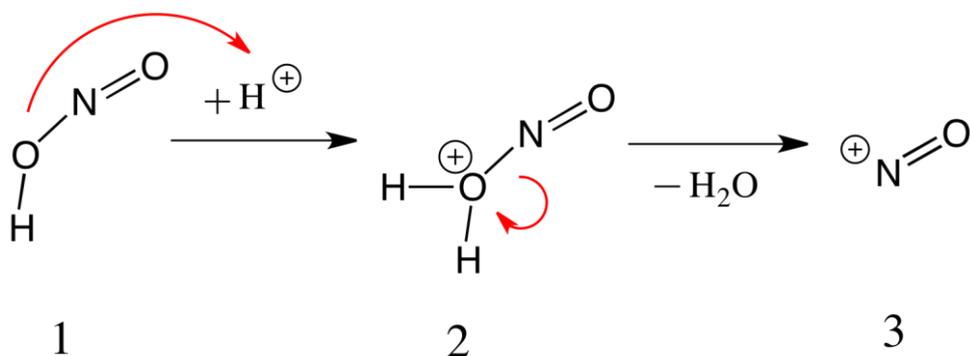


Abbildung 13: Reaktionsverlauf zur Bildung von einem Nitrosyl-Kation

Aus dem Cyclamat wird in saurer Lösung die Cyclohexylaminosulfonsäure gebildet, die mit dem Nitrosyl-Kation reagiert. Das so entstandene Molekül setzt mit Hilfe eines Wassermoleküls Schwefelsäure frei (siehe Abb. 14).

Diese dissoziiert mit Wasser und reagiert mit den Barium-Ionen, die sich in der Lösung befinden, zu Bariumsulfat in Form eines weißen Niederschlages (siehe Abb. 15). Ist ein weißer Niederschlag sichtbar, fällt die Nachweisreaktion von Cyclamat positiv aus.<sup>52</sup>

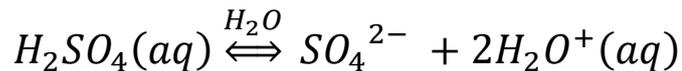


Abbildung 14: Gleichung der Reaktion von  $H_2SO_4$  mit Wasser

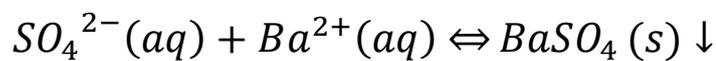


Abbildung 15: Gleichung der Reaktion von  $SO_4^{2-}$  mit  $Ba^{2+}$  zu Bariumsulfat

### 1.3.5 Dünnschichtchromatografie

Die Dünnschichtchromatografie, welche auch kurz DC genannt wird, gehört zu den flüssigchromatografischen Methoden, deren Ziel in der Auftrennung vermischter Substanzen besteht. Dieses Trennverfahren, das der qualitativen Analyse dient, funktioniert über eine rein physikalische Auftrennung. Bei einer Dünnschichtchromatografie sind zwei Phasen zu unterscheiden. Einerseits existiert eine stationäre Phase, auch feste Phase oder Trennschicht bezeichnet, die aus einer Platte mit einer feinkörnigen Pulverschicht besteht. Am häufigsten wird eine Kieselgel-Platte verwendet, da Kieselgel (ein Siliziumoxid) als Pulverschicht gut zu benutzen ist.<sup>53</sup>

Andererseits liegt eine mobile Phase vor, die auch als Laufmittel oder flüssige Phase benannt wird. Diese hat zwei Aufgabenbereiche zu erfüllen: Sie dient als Lösungsmittel der Substanz und als Kontrahent, um die Substanzen an Ort und Stelle zu halten, da sonst die gelösten Stoffe mit der Lauffront mitwandern würden.<sup>54</sup>

---

<sup>52</sup> Vgl. Böckler, Diätische Lebensmittel, S. 237 f.

<sup>53</sup> Vgl. Stadlbauer, Chromatographische Trennverfahren in der Organischen Chemie, S. 3.

<sup>54</sup> Vgl. Ebd. S. 4.

Wichtig für eine erfolgreiche Auftrennung ist, dass die Stoffe unterschiedlich gut im Laufmittel lösbar sind, um während des Trennverfahrens verschieden weite Strecken zurückzulegen. Zwei Arten von Trennprinzipien sind für den Vorgang verantwortlich: Unter dem Prinzip der Adsorption versteht man die Trennung an der Feststoffoberfläche bei der stationären Phase. Dabei ist zu beachten, dass die Substanzen, die in der mobilen Phase gelöst sind, je nach ihrer Polarität zurückgehalten werden. Daneben tritt das Prinzip der Verteilung in Kraft, bei dem es zu einer Trennung von zwei nichtmischbaren Flüssigkeiten kommt, wobei eine Lösung auf einem feinverteilten Träger fixiert ist.<sup>55</sup>

Da die Detektion ohne Hilfsmittel oft nicht durchführbar ist, wird die DC-Platte unter ultraviolettem Licht betrachtet, wo nichtfärbige Stoffe meist als dunkle Flecken sichtbar sind. Passiert dies nicht, gibt es noch die Möglichkeit, durch charakteristische chemische Vorgänge eine Färbung hervorzurufen, welche Derivatisierung genannt werden. Hierbei bewirkt das Aufsprühen von Nachweisreagenzien auf die DC-Platte die gewünschte Färbung.<sup>56</sup>

Um unterschiedlichste Dünnschichtchromatografien vergleichen zu können, gibt es den Retentionsfaktor, auch als  $R_f$ -Wert oder Rückhaltefaktor bezeichnet. Diesen Wert erhält man durch den Quotienten aus der Strecke, die die Substanz zurückgelegt hat, und dem Weg des Laufmittels, welches im besten Fall der Strecke von der Startlinie bis zur Ziellinie entspricht.<sup>57</sup> Somit ergibt sich folgende Formel:

$$R_f = \frac{\text{Weg der Probe}}{\text{Weg des Laufmittels}}$$

### 1.3.6 Nachweis von Aspartam mittels Ninhydrin Reagenz

Die Ninhydrin-Lösung dient allgemein dem Nachweis von primären Aminosäuren, Polypeptiden und Proteinen. Die Ninhydrin-Reaktion führt zur Ausbildung eines violetten Farbstoffes, dem sogenannten Ruhemanns-Purpur. Dieser Farbstoff entsteht, indem Ninhydrin, das Hydrat des 1,2,3-Indantrions, mit den Aminosäuren Asparaginsäure und Phenylalanin des Aspartams reagiert. Hierbei wird ein Immonium-Ion gebildet, welches

---

<sup>55</sup> Vgl. Ebd. S. 2.

<sup>56</sup> Vgl. Ebd. S. 9.

<sup>57</sup> Vgl. Ebd. S. 2.

unter Wasserabspaltung zu einer Schiff'schen Base<sup>58</sup> reagiert. Durch eine Decarboxylierungsreaktion zerfällt diese unter Abspaltung von CO<sub>2</sub>. Bei der Abspaltung eines Hydroxid-Ions entsteht durch Reaktion mit einem Wassermolekül ein Immonium-Ion. Dieses zerfällt in ein Aldehyd und ein primäres Amin. Eine weitere Kondensation der Amino-Gruppe des primären Amins mit der mittleren Carboxylgruppe eines Ninhydrin-Moleküls führt zur Bildung einer Schiff'schen Base. Durch eine Deprotonisierung des Amins wird die Bildung des Ruhemanns Purpurs vollendet. Bei dieser Reaktion wird somit neben dem Farbstoff auch noch ein Aldehyd und Kohlenstoffdioxid gebildet (siehe Abb. 16). Bei der einzigen natürlichen sekundären Aminosäure Prolin funktioniert der Nachweis hingegen nicht.<sup>59</sup>

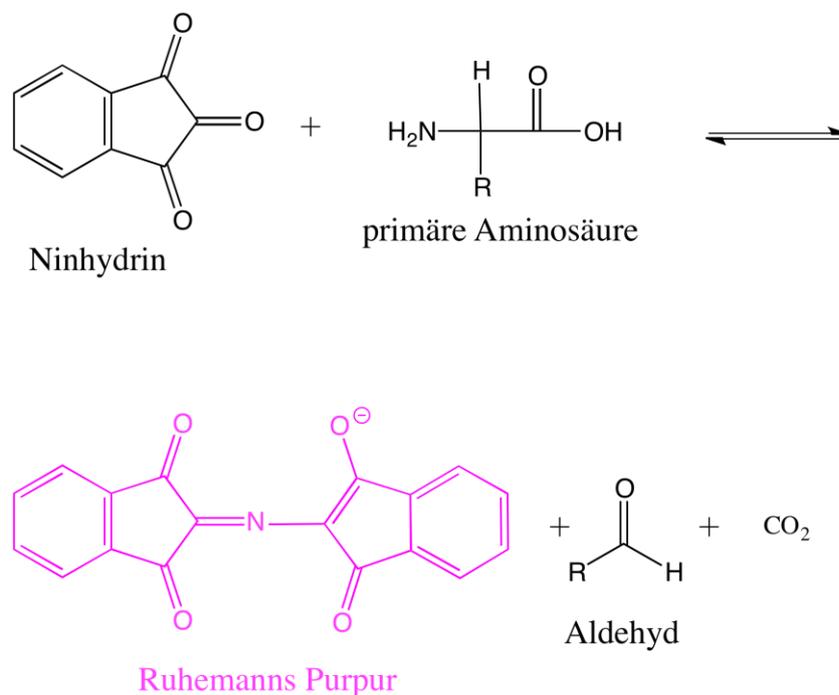


Abbildung 16: Reaktionsvorgang von Ninhydrin mit einer primären Aminosäure

<sup>58</sup> Eine Schiff'sche Base entsteht bei der Kondensation von Aldehyden und Ketonen mit primären Aminen. Sie besitzt die allgemeine Formel R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>-C=N-R<sub>3</sub>. Hierbei kann R<sub>3</sub> ein aliphatischer oder aromatischer Substituent sein. Vgl. [www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/schiff-sche-basen/10358](http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/schiff-sche-basen/10358) (Zugriff: 26.8.2015).

<sup>59</sup> Vgl. Böckler, Diätische Lebensmittel, S. 251 ff.

## 2 Material und Methoden

Die folgenden Versuche dienen sowohl qualitativen als auch quantitativen Analysen bestimmter Zuckerarten in ausgewählten Coca-Cola®-Produkten. Als Blindprobe fungiert destilliertes Wasser. Die agierenden Referenzlösungen sind Fructose, Glucose, Lactose, Maltose und Saccharose, die in destilliertem Wasser gelöst werden.

Da bei vielen Experimenten die Eigenfarbe der Coca-Cola®-Produkte störend ist, werden sie mittels Aktivkohle entfärbt und die entfärbten Lösungen als Proben verwendet. Bei manchen Experimenten beeinträchtigt die Kohlensäure die Versuche, welche deshalb durch längeres Rühren mit einem Rührfisch auf einer Magnetplatte ausgetrieben wird.

### 2.1 Entfärben der Coca-Cola®-Produkte mit Aktivkohle

*Tabelle 1: Entfärbung mit Aktivkohle - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben*

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
8	100 ml Erlenmeyerkolben	Coca-Cola®	Aktivkohle
4	magnetische Heizplatte	Coca-Cola Life®	
4	Rührfisch	Coca-Cola Light®	
1	Spatel	Coca-Cola Zero®	
4	Trichter		
4	Faltenfilter		
1	Messzylinder		

Zum Entfärben der Coca-Cola®-Produkte wiegt man jeweils 4 g der Aktivkohle in vier Erlenmeyerkolben ab. Dann werden 100 ml des jeweiligen Coca-Cola®-Produkts je Erlenmeyerkolben beigelegt. Nachdem die Mischungen ca. 15 Minuten erhitzt wurden, werden sie mit Hilfe von Faltenfiltern abfiltriert. Das Endprodukt ist eine klare Lösung.

## 2.2 Zuckernachweis mittels Fehling-Reagenzien

Tabelle 2: Die Fehling Probe - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
9	Reagenzglas	Coca-Cola®	Kupfersulfat
9	Pasteurpipette	Coca-Cola Life®	Kalium-Natrium-Tartrat
4	50 ml-Becherglas	Coca-Cola Light®	Natriumhydroxid
1	Spatel	Coca-Cola Zero®	
2	100 ml Erlenmeyerkolben	Fructose	
1	Bunsenbrenner	Glucose	
1	Holzklammer	Lactose	
2	Reagenzglasständer	Saccharose	

Der Fehlingnachweis setzt sich aus zwei Lösungen, Fehling I und Fehling II, zusammen. Für die erste Fehlingsche Lösung benötigt man 7 g Kupfersulfat, welches in 100 ml destilliertem Wasser aufgelöst wird. Für Fehling II löst man 35 g Kalium-Natrium-Tartrat und 10 g Natriumhydroxid in 100 ml destilliertem Wasser. Danach sind von jeder der beiden Lösungen 1 ml in alle Reagenzgläser einzufüllen. Hinzugefügt wird jeweils 1 ml des entfärbten Coca-Colas®, Coca-Cola Lifes®, Coca-Cola Lights® und Coca-Cola Zeros®. Nachdem von Vergleichs- und Blindproben jeweils 1 ml in ein Reagenzglas gegeben wurde, werden alle Reagenzgläser kurzzeitig in der Flamme eines Bunsenbrenners erhitzt.

## 2.3 Zuckernachweis nach Rebelein

Tabelle 3: Zuckernachweis nach Rebelein - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
6	100 ml Erlenmeyerkolben	Coca-Cola®	Kupfersulfat
1	Stativ	Coca-Cola Life®	Kalium-Natrium-Tartrat
1	50 ml Bürette	Coca-Cola Light®	Natriumhydroxid
1	Spatel	Coca-Cola Zero®	Schwefelsäure
1	Marmeladenglas	Glucose	Kaliumiodid
1	Heizplatte	Lactose	Stärkelösung
4	10 ml Pipette	Saccharose	Natriumthiosulfat
1	5 ml Pipette		
1	2 ml Pipette		
1-3	Siedesteine		
3	250 ml Messkolben		

Während die Stärkelösung, die Natriumthiosulfatlösung (0,05 mol/L) gemeinsam mit der 16-prozentigen Schwefelsäure schon vorbereitet waren, mussten die anderen zwei Lösungen selbst hergestellt werden: Für die 1,168 molare Kupfersulfatlösung wiegt man 8,388 g Kupfersulfat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ab, löst es in einem 250 ml Messkolben in destilliertem Wasser auf, fügt 2 ml Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dazu und füllt bis zur Marke mit Deionat auf. Für die Seignettesalzlösung werden 50 g Kalium-Natriumtartrat gemeinsam mit 16 g Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) in einem 250 ml Messkolben mit destilliertem Wasser aufgelöst. Die Kaliumiodidlösung wird hergestellt, indem man 75 g Kaliumiodid mit 25 ml  $\text{NaOH}$  in einem 250 ml Messkolben mischt.

Um den Nachweis zu führen legt man in einem Erlenmeyerkolben 10 ml der Kupfersulfatlösung, dann 5 ml der Seignettesalzlösung vor und fügt am Ende 2 ml der Probe, die man in Bezug auf den Zuckergehalt untersuchen möchte, hinzu. Der Kolben wird auf einer Heizplatte für ein bis zwei Minuten erwärmt und anschließend unter fließendem Wasser abgekühlt. Die restlichen Lösungen werden in folgender Reihenfolge hinzuge-

fügt: 10 ml der Kaliumiodid-Lösung, 10 ml der Schwefelsäure und 10 ml der Stärkelösung. Die Lösung ist nun schwarz bis tiefblau gefärbt und wird mittels Natriumthiosulfat titriert, bis sie rahmgelb ist.

Um den in der Probe enthaltenen Zuckergehalt zu berechnen, muss man einen Blindwert mit destilliertem Wasser als Probe bestimmen. Von diesem Wert werden die Volumina an verbrauchtem Natriumthiosulfat abgezogen. Der berechnete Wert gibt an, wie viel Gramm Zucker in einem Liter dieser Probe enthalten sind.

Da Coca-Cola® und Coca-Cola Life® einen zu hohen Anteil an Zucker pro Liter aufweisen, werden beide Produkte im Verhältnis 1:10 verdünnt. Beim Berechnen des Zuckergehalts müssen die abgelesenen Volumina des Verbrauchs an Natriumthiosulfat durch zehn dividiert werden, bevor der Betrag von der Blindprobe abgezogen werden kann.

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Titration wird eine Glucose-Lösung ( $c = 20 \text{ g/L}$ ) hergestellt: Es werden 2 g Glucose in 100 ml destilliertem Wasser aufgelöst.

## 2.4 Qualitativer Nachweis von Cyclamat

Tabelle 4: Nachweis von Cyclamat - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
6	Reagenzglas	Coca-Cola®	Salzsäure
8	Pasteurpipette	Coca-Cola Life®	Bariumchlorid
1	Spatel	Coca-Cola Light®	Natriumnitrit
2	Becherglas	Coca-Cola Zero®	
6	Universalindikator	Kandisin	
1	Waage		
2	Reagenzglasständer		

Hergestellt werden eine Bariumchlorid-Lösung und eine Natriumnitrit-Lösung, welche beide eine molare Konzentration von  $0,05 \text{ mol/L}$  aufweisen.

1 ml der Proben, in dem Fall die vier Coca-Cola®-Produkte, sind in jeweils ein Reagenzglas zu geben. Nun wird die Lösung mit 1 ml Salzsäure ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ) angesäuert. Ob ein

saures Milieu vorliegt, überprüft man mittels Universalindikator. Danach werden jeweils 3 ml von der Bariumchlorid-Lösung und von der Natriumnitrit-Lösung hinzugefügt.

Als Vergleichsprobe wird der Flüssigsüßstoff Kandisin verwendet, der Cyclamat enthält.

## 2.5 Nachweis von Aspartam mittels Dünnschichtchromatografie

*Tabelle 5: Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Aspartam - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben*

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
1	DC-Kieselgel-Platte	Coca-Cola®	Orthophosphorsäure
6	Kapillarröhrchen	Coca-Cola Life®	Chloroform
1	Bleistift	Coca-Cola Light®	Metanol
1	Lineal	Coca-Cola Zero®	Ninhydrin-Lösung (giftig)
1	DC-Kammer	Aspartam	Essigsäure
1	Waage		
1	Spatel		
2	Becherglas		
1	UV-Licht		
1	Trockenschrank		
1	Messzylinder		

Da es sich um den giftigen Stoff Ninhydrin handelt, sind während des Auftragens Handschuhe zum Schutz zu tragen.

Um eine Dünnschichtchromatografie durchzuführen, kennzeichnet man mit Hilfe eines Stiftes, der im Zuge des Nachweises nicht verlaufen darf (z.B. Bleistift), eine Startlinie auf der DC-Platte. In bestimmten Abständen werden auf dieser Linie runde Markierungen gezogen, in denen man mittels Kapillarröhrchen die Proben und die Vergleichssubstanz aufträgt.

Als häufigste Technik wird die Aufsteigende Entwicklung verwendet, bei der die DC-Platte aufrecht in eine Kammer gestellt wird, in der die mobile Phase bereits vorhanden ist. Das Laufmittel darf dabei nur bis kurz unter die Startlinie eingefüllt werden. Sobald dieses durch die Kapillarkräfte die Höhe der Ziellinie erreicht, ist die DC-Platte aus der

Kammer zu entfernen, um sie zu trocknen. Dieser Vorgang kann mit einem Föhn beschleunigt werden.

Für die Herstellung des Laufmittels fügt man Chloroform, Methanol, destilliertes Wasser und Essigsäure im Verhältnis 64:30:4:2 zusammen. Als Proben dienen die vier von Kohlensäure befreiten Coca-Cola®-Produkte.

Für die Vergleichsprobe löst man ca. 30 mg Aspartam in 5 ml verdünnter Orthophosphorsäure (1 Tropfen konzentrierter Säure in 60 ml destilliertem Wasser) auf.

Nachdem das Laufmittel die Ziellinie erreicht hat, wird die DC-Platte mit der Ninhydrin-Lösung besprüht und anschließend im Trockenschrank bei 110°C entwickelt.

## 2.6 Nachweis von Aspartam mittels Filterpapier und Ninhydrin-Reagenz

*Tabelle 6: Nachweis von Aspartam mittels Ninhydrin-Reagenz - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben*

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
6	Filterpapier	Coca-Cola®	Ninhydrin-Lösung (giftig)
6	Pasteurpipette	Coca-Cola Life®	
		Coca-Cola Light®	
		Coca-Cola Zero®	
		Aspartam	

Wegen der Toxizität des Ninhydrin ist auf das Tragen von Handschuhen während des Versuches zu achten.

Nachdem 2-3 Tropfen der Proben auf jeweils ein Filterpapier aufgetragen wurden, wird die Ninhydrin-Lösung aufgesprüht und die Filterpapiere werden in die Sonne zum Trocknen gelegt.

Das Filterpapier darf so wenig wie möglich berührt werden, da die im Schweiß enthaltenen Aminosäuren einen positiven Nachweis erbringen würden und somit die Auswertung verfälschen können.

## 2.7 Nachweis bestimmter Zuckerarten mittels Dünnschichtchromatografie

Tabelle 7: Nachweis bestimmter Zuckerarten - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
2	DC-Kieselgel-Platte	Coca-Cola®	Anilin (giftig)
10	Kapillarröhrchen	Coca-Cola Life®	Borsäure
1	Bleistift	Coca-Cola Light®	Butan-1-ol
1	Lineal	Coca-Cola Zero®	Diphenylamin (giftig)
1	DC-Kammer	Fructose	Essigsäure
1	Waage	Glucose	Methanol
1	Spatel	Lactose	Orthophosphorsäure
2	Becherglas	Maltose	Propanol
1	Trockenschrank	Saccharose	
1	Messzylinder		
1	Zerstäuber		

Da es sich bei Anilin und Diphenylamin um giftige Stoffe handelt, gilt während des Erstellens und des Auftragens des Sprühreagenz Handschuhpflicht.

Dieser Versuch dient der qualitativen Zuckerbestimmung von Fructose, Glucose, Lactose, Maltose und Saccharose. Die prinzipielle Durchführung einer Dünnschichtchromatografie wird in Kapitel 2.5 beschrieben.

Für 100 ml Laufmittel werden 12,5 ml 0,5-prozentige Borsäure, 37 ml Butan-1-ol, 2,5 ml Essigsäure und 63 ml Propan-2-ol benötigt.

Nach dem Durchlaufen der Dünnschichtchromatografie ist ein Sprühreagenz zur endgültigen Detektion erforderlich. Dieses wird nach dem Verdunsten des Laufmittels auf die DC-Platte entweder aufgespritzt oder aufgesprüht. Um diese Lösung zu erhalten, werden 2 ml Anilin in 100 ml Methanol gelöst. Weiters werden 2g Diphenylamin hinzugefügt. Zuletzt wird die Lösung mit 10 ml 85-prozentiger Phosphorsäure angesäuert.

Sobald das Sprühreagenz aufgetragen wurde, ist die DC-Platte für wenige Minuten in den Trockenschrank bei etwa 101°C bis 105°C zu legen. Die verschiedenen Zuckerarten erscheinen als bunte Flecken, welche man den Vergleichssubstanzen zuordnen kann.

## 2.8 Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Stevia

*Tabelle 8: Nachweis von Stevia - Angabe der Laborgeräte, Chemikalien und Proben*

Anzahl	Laborgeräte	Proben	Verwendete Chemikalien
1	DC -Platte	Coca-Cola®	Ethanol
6	Kapillarröhrchen	Coca-Cola Life®	
1	Bleistift	Coca-Cola Light®	
1	Lineal	Coca-Cola Zero®	
1	DC-Kammer	Stevia	
1	Waage		
1	Spatel		
2	Becherglas		
1	Trockenschrank		
1	Messzylinder		
1	UV- Licht		

Für diese Dünnschichtchromatografie wird als Laufmittel eine Lösung aus Ethanol und destilliertem Wasser im Verhältnis eins zu eins verwendet. Als Referenzprobe dienen Premium Stevia Tafelsüße Tabs von Raab Vitalfood, die in destilliertem Wasser aufgelöst werden. Nachdem die flüssige Phase durchgelaufen ist, wird die DC-Platte nach dem Verdunsten des Laufmittels in den Trockenschrank für wenige Minuten bei ca. 105°C gelegt. Für eine genaue Detektion wird die DC-Platte danach unter UV-Licht näher betrachtet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Die Fehling Probe

Bei dieser Nachweisreaktion bildete sich bei Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Fructose, Glucose und Lactose ein rotbrauner Niederschlag (siehe Abb. 17). Somit ist der Versuch bei diesen Proben positiv zu werten und Coca-Cola® bzw. Coca-Cola Life® enthalten reduzierende Zuckerarten.

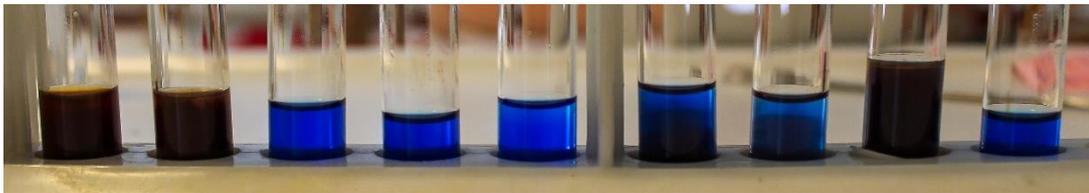


Abbildung 17: Fehling Probe - von links jeweils mit den Proben Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Coca-Cola Light®, Coca-Cola Zero®, destilliertem Wasser, Fructose, Glukose, Lactose und Saccharose

### 3.2 Quantitative Zuckerbestimmung nach Rebelein

Tabelle 9: Zuckerbestimmung nach Rebelein - die zweite Zeile gibt den Verbrauch an Natriumthiosulfat wieder

Proben	Deionat	Coca Cola	Cola Life	Cola Light	Cola Zero	Glucose
Verbrauch	40,3 ml	3,16 ml	3,15 ml	40,2 ml	40,1 ml	21 ml
Zuckergehalt		36,84 g/L	36,85 g/L	1 g/L	2 g/L	19 g/L

Wie Tabelle Nr. 9 zeigt, wurde der Blindwert mit einem Verbrauch von 40,3 ml Natriumthiosulfat gemessen. Der Wert der Kontrollprobe Glucose zeigt, dass die Titration genaue Messergebnisse lieferte, da nur eine Abweichung von 1 ml bzw. 1 Gramm Zucker pro Liter besteht. Coca-Cola® und Coca-Cola Life® weisen einen fast identischen Wert bei rund 37 Gramm Zucker pro Liter auf. Im Vergleich dazu beinhalten die Produkte Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero® nahezu keinen Zucker.

### 3.3 Qualitativer Nachweis von Cyclamat

Wie Abbildung 18 zeigt, liegt ein positiver Nachweis bei Coca-Cola Zero® und der Kandisin-Probe vor, da ein Niederschlag ausgefallen ist. Bei Coca-Cola Zero® sah dieser nicht weiß, sondern leicht bräunlich aus, da dort eine nicht entfärbte Coca-Cola®-Probe verwendet wurde.



Abbildung 18: Cyclamat-Nachweis - von links nach rechts jeweils mit den Proben Kandisin, Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Coca-Cola Light®, Coca-Cola Zero® und destilliertem Wasser

### 3.4 Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Aspartam

In Abbildung 19 wird deutlich sichtbar, dass die Probe Aspartam auf derselben Höhe wie die Proben von Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero® einen Fleck aufweist. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Aspartam in den soeben genannten Getränken vorhanden ist.



Abbildung 19: Dünnschichtchromatografie mit Aspartam - von links nach rechts aufgetragen sind Aspartam, Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Coca-Cola Light®, Coca-Cola Zero® und destilliertes Wasser

### 3.5 Nachweis von Aspartam auf Filterpapier

Bei diesem Versuch erkennt man bei der Vergleichsprobe mit Aspartam eine deutlich violette Färbung (siehe Abb. 20). Eine leichtere, aber doch erkennbare Violettfärbung zeigt sich bei den Proben Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero®. Somit liegt bei den eben genannten Getränken ein positiver Nachweis für Aspartam vor.

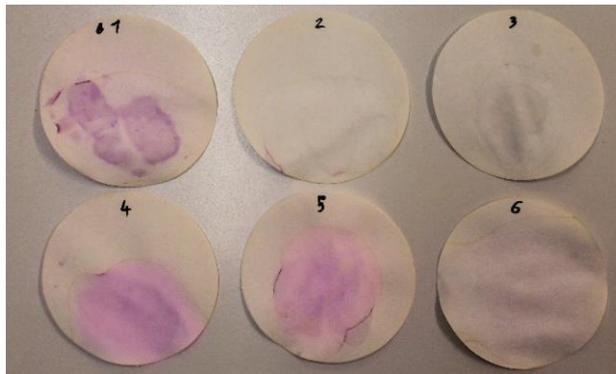
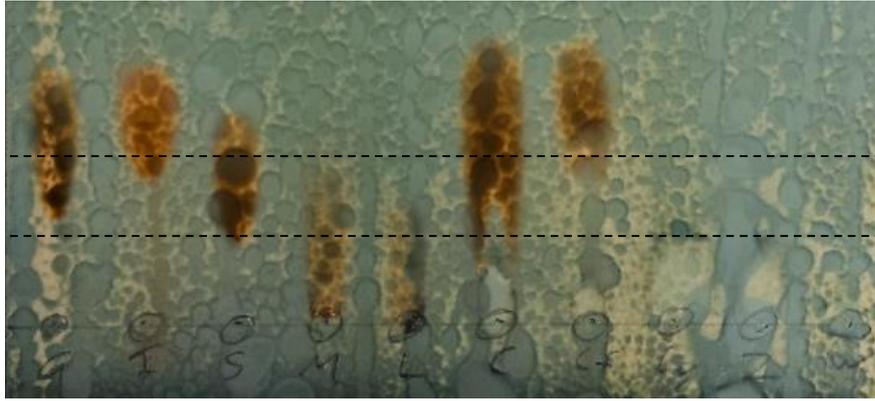


Abbildung 20: Nachweis von Aspartam - erste Reihe von links nach rechts: Aspartam, Coca-Cola® und Coca-Cola Life®; zweite Reihe von links nach rechts: Coca-Cola Light®, Coca-Cola Zero® und destilliertes Wasser

### 3.6 Nachweis bestimmter Zuckerarten mittels Dünnschichtchromatografie

Bei diesem Versuch bewirken die Proben von Laktose und Maltose Flecken im unteren, die Probe von Saccharose im mittleren und die Proben von Fructose und Glucose im oberen Drittel der DC-Platte. Während die Proben Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero® keine Flecken auf der Dünnschichtchromatografie erzeugen, zeichnet sich eine Verfärbung bei der Probe von Coca-Cola® im mittleren und oberen Drittel der DC-Platte, bei Coca-Cola Life® nur im oberen Bereich ab (siehe Abb. 21).



*Abbildung 21: Nachweis bestimmter Zuckerarten - von links aufgetragen sind Glucose, Fructose, Saccharose, Maltose, Lactose, Coca-Cola®, Coca-Cola Life®, Coca-Cola Light®, Coca-Cola Zero® und Wasser*

### **3.7 Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Stevia**

Die Detektion war nicht erfolgreich, da unter UV-Licht keine Flecken sichtbar wurden.

## 4 Resümee

Mit Hilfe der Fehling Probe wurde bewiesen, dass nur in Coca-Cola® und in Coca-Cola Life® reduzierbarer Zucker enthalten ist. Daraus lässt sich schließen, dass in diesen Produkten mit den Zuckerarten Glucose und Fructose gesüßt wird. Die quantitative Zuckerbestimmung nach Rebelein bestätigte diese Aussage ebenfalls. Dank dieser Methode wurde der genaue reduzierende Zuckeranteil bei Coca-Cola® mit 36,84 g/L und bei Coca-Cola Life® mit 36,85 g/L bestimmt. Es ist anzunehmen, dass in beiden Coca-Cola®-Produkten gleich viel Zucker enthalten ist. Laut der offiziellen Coca-Cola® Homepage besitzt Coca-Cola® jedoch einen Zuckerwert von 108 g/L<sup>60</sup> und Coca-Cola Life® einen von 64 g/L<sup>61</sup>. Die weitaus geringeren Ergebnisse der Titration sind so zu begründen, dass in den genannten Produkten nicht nur reduzierbare Zuckerarten vorhanden sind, sondern auch mit anderen Zuckerarten gesüßt wird: Der Zuckergehalt der Coca-Cola®-Getränke wird gerne mit der Anzahl der darin enthaltenen Zuckerwürfel angegeben. Es wird jedoch nicht näher darauf eingegangen, welche Zuckerarten in diesen Würfeln enthalten sind. Normalerweise bestehen diese Würfel aus Saccharose, die nicht reduzierbar und somit bei den oben genannten Experimenten nicht nachweisbar ist. Ob diese Würfel auch aus einem Gesamtzucker (Fructose, Glucose, Saccharose) bestehen, könnte im Rahmen einer zukünftigen vorwissenschaftlichen Arbeit erforscht werden.

Die Abweichungen, die bei der Zuckerbestimmung nach Rebelein bei der Kontrollprobe, bei Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero®<sup>62</sup> entstanden, lassen sich auf die Messunsicherheit der Methode und auf geringe Messfehler zurückführen. Durch die Experimente Fehling Probe und Zuckerbestimmung nach Rebelein wurde bewiesen, dass Coca-Cola Life® nicht ausschließlich mit Extrakten der Steviapflanze, sondern auch mit anderen Zuckerarten gesüßt wird. Um welche Zuckerarten es sich handelt, wurde mittels Dünnschichtchromatografie genau nachgewiesen. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass in Coca-Cola® die Zuckerarten Glucose, Fructose und Saccharose, hingegen in Coca-Cola Life® nur Fructose und Glucose enthalten sind. Dies bestätigt die oben genannte

---

<sup>60</sup> Vgl. [www.coke.at/de/produkte/](http://www.coke.at/de/produkte/) (Zugriff: 4.8.2015).

<sup>61</sup> Vgl. [www.coca-cola.co.uk/drinks/coca-cola-life/coca-cola-life/#TCCC](http://www.coca-cola.co.uk/drinks/coca-cola-life/coca-cola-life/#TCCC) (Zugriff: 4.8.2015).

<sup>62</sup> In beiden Produkten soll laut der Coca-Cola® Company kein Zucker enthalten sein. Vgl. [www.coke.at/de/produkte/](http://www.coke.at/de/produkte/) (Zugriff: 4.8.2015).

Hypothese, dass Coca-Cola® zum größten Teil mit Saccharose gesüßt wird. Nachdem die vorigen Versuche verifiziert haben, dass in Coca-Cola Light® und Coca-Cola Zero® keine reduzierenden Zuckerarten enthalten sind, zeigt die Dünnschichtchromatografie keine Ergebnisse in Bezug auf Kohlenhydrate. Somit muss der süßliche Geschmack der eben genannten Produkte durch Süßstoffe bewirkt werden. Durch den positiven, qualitativen Nachweis von Cyclamat bestätigt sich diese Annahme in Coca-Cola Zero®. Zusätzlich fällt der Nachweis von Aspartam mittels des Ninhydrin-Reagenzes sowohl bei Coca-Cola Light® als auch bei Coca-Cola Zero® positiv aus.

Der Nachweis von Stevia wird häufig in der Literatur beschrieben, jedoch gibt es noch keine Vorschriften für Nachweisexperimente, die im Schullabor durchführbar sind. Deshalb wurde der Versuch einer dünnschichtchromatografischen Untersuchung gewählt, um eventuell ein Ergebnis zu erzielen. Mit dem Wissen, dass Stevia in Wasser schlecht, jedoch in Ethanol gut löslich ist, wurde der Versuch unternommen, eine Dünnschichtchromatografie mit einem Lösungsmittel aus diesen beiden Stoffen durchzuführen. Dabei konnte jedoch kein klares Ergebnis erzielt werden. Der Beginn einer Versuchsreihe, um die richtigen Komponenten für eine erfolgreiche Dünnschichtchromatografie herauszufinden, würde jedoch den Rahmen dieser vorwissenschaftlichen Arbeit sprengen.

Im Laufe der vorliegenden Arbeit konnte die Leitfrage beantwortet werden, indem nachgewiesen wurde, dass Coca-Cola® mit Glucose, Fructose und Saccharose, Coca-Cola Life® mit Glucose und Fructose, Coca-Cola Light® mit Aspartam und Coca-Cola Zero® mit Aspartam und Cyclamat gesüßt werden.

## Literaturverzeichnis

ABEL, Georg: Gesundheit. ADI-Wert: Wie viel Zusatzstoff darf's sein?. 22. www.zusatzstoffe-online.de/information/673.doku.htm September 2006. URL: www.zusatzstoffe-online.de/information/681.doku.html (Zugriff: 2.9.2015)

ABEL, Georg: Wofür steht die E-Nummer?. 8. September 2006. URL: www.zusatzstoffe-online.de/information/673.doku.html (Zugriff: 2.9.2015)

BADER, Hans Joachim (Hg.): Zeitgemäßer Chemieunterricht. Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie Schokolade. Polyvinylchlorid. 1. Auflage. Thun/Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch, 1998

BALTES, Werner; Matissek, Reinhard: Lebensmittelchemie. 7., erweiterte und verbesserte Auflage. Heidelberg: Springer, 2011

BENFORD, Diane: The acceptable daily intake. A tool for ensuring food safety. 2000. Als Download: www.ilsa.org/Europe/Publications/C2000Acc\_Dai.pdf (Zugriff: 2.9.2015)

BÖCKLER, Ina: Diätische Lebensmittel. 10. Mai 2007. Als Download: www.chids.online.uni-marburg.de/dachs/wiss\_hausarbeiten/DiaetetischeLebensmittel\_Boeckler.pdf (Zugriff: 23.7.2015)

Coca-Cola Health & Nutrition Service: Aspartam. 2015. URL: www.aspartam.at/ (Zugriff: 27.8.2015)

Donau Carbon: Aktivkohle und ihre Anwendung. Als Download: www.donau-carbon.com/getattachment/943783b7-783d-45ef-98de-392817d477da/aktivkohle.aspx (Zugriff: 23.7.2015)

European Food Safety Authority: Wie wir arbeiten. URL: http://www.efsa.europa.eu/de/about/howwework (Zugriff: 23.10.2015)

FISCHER, Lisa: Wachstum durch Mergers & Acquisitions – mit Fallbeispiel Coca-Cola / Römerquelle. Wien. Jänner 2010. Als Download: othes.univie.ac.at/8117/1/2010-01-12\_0200061.pdf (Zugriff: 4.8.2015)

FRITSCH, Marion: Ausarbeitung des Experimentalvorgangs in Organischer Chemie zum Thema: Zucker. Marburg. 6. Februar. 2002. Als Download: www.chids.de/dachs/expvotr/657Zucker\_Fritsch\_Scan.pdf (Zugriff: 23.7.2015)

- HUTTERER, Rudi: Fit in Organik. Das Klausurentraining für Mediziner, Pharmazeuten und Biologen. 1. Auflage. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, August 2006
- KIENLE, Udo: Stevia rebaudiana. Der Zucker des 21. Jahrhunderts. 1. Auflage. Baunach: Spurbuchverlag, Juni 2011
- KIENLE, Udo: Stevia rebaudiana. Natürliche Süße im Behördenschwungel. Als Download: [http://www.journal-culinaire.de/ausgaben/jc05\\_kienle.pdf](http://www.journal-culinaire.de/ausgaben/jc05_kienle.pdf) (Zugriff: 8.9.2015)
- KÖNNEKER, Carsten: Kompaktlexikon der Biologie. Schiff'sche Basen. 2001. URL: [www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/schiff-sche-basen/10358](http://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/schiff-sche-basen/10358) (Zugriff: 26.8.2015)
- KUHN, Isabelle: Entfärben von Cola und Diät-Cola, Nachweis von Zucker. Marburg. 2006/07. Als Download: [www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0065Cola.pdf](http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0065Cola.pdf) (Zugriff: 23.7.2015)
- MERTENS, Sascha: Zucker nach Rebelein. 22. November 2004. URL: [www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=32755](http://www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=32755) (Zugriff: 26.8.2015)
- MORTIMER, Charles E.; Müller, Ulrich: Chemie. Das Basiswissen der Chemie. 11., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme, 2014.
- Österreichische Gesellschaft für Ernährung: Süßstoffe. Definition-Verwendung-Eigenschaften. 2014. URL: [www.oerge.at/index.php/bildung-information/ernaehrung-von-a-z/1784-suessstoffe](http://www.oerge.at/index.php/bildung-information/ernaehrung-von-a-z/1784-suessstoffe) (Zugriff: 3.8.2015)
- RECH, Cordula: Flavourprofil eines mit Rebaudiosid A optimierten, zuckerreduzierten Zitrone-Erfrischungsgetränk. Wien. März 2012. Als Download: [othes.univie.ac.at/20127/1/2012-05-03\\_0508493.pdf](http://othes.univie.ac.at/20127/1/2012-05-03_0508493.pdf) (Zugriff: 5.8.2015)
- Richtlinie 94/35/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates: Süßungsmittel, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen. 30. Juni 1994. Als Download: [ec.europa.eu/food/fs/sfp/addit\\_flavor/flav10\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/food/fs/sfp/addit_flavor/flav10_de.pdf) (Zugriff: 6.8.2015)
- ROSENPLENTER, Kurt; Nöhle, Ulrich (Hg.): Handbuch Süßungsmittel. Eigenschaften und Anwendungen. 2. Auflage. Hamburg: Behrs, 2007
- SCHLIESSMAN, C: Bestimmung des Zuckers nach Dr. Rebelein. April 2015. Als Download: [www.c-schliessmann.de/deutsch/Dokumente/Info-\\_Sicherheitsdatenblaetter/Getraenkeanalytik/013.pdf](http://www.c-schliessmann.de/deutsch/Dokumente/Info-_Sicherheitsdatenblaetter/Getraenkeanalytik/013.pdf) (Zugriff: 23.7.2015)

SCHWEDT, Georg: Zuckersüße Chemie. Kohlenhydrate & CO. 2. Auflage. Weinheim: Wiley - VCH, 2012

STADLBAUER, Wolfgang: Chromatographische Trennverfahren in der Organischen Chemie. Teil: Dünnschichtchromatografie. Graz. 2012. Als Download: [boch35.uni-graz.at/~sta/lehre/chrom\\_seminar/files/sta-chrom-skriptum.pdf](http://boch35.uni-graz.at/~sta/lehre/chrom_seminar/files/sta-chrom-skriptum.pdf) (Zugriff: 22.7.2015)

The Coca-Cola Company. 2015. URL: [www.coke.at/de/produkte/](http://www.coke.at/de/produkte/) (Zugriff: 4.8.2015)

The Coca-Cola Company: Coca-Cola Life. URL: [www.coca-cola.co.uk/drinks/coca-cola-life/coca-cola-life/#TCCC](http://www.coca-cola.co.uk/drinks/coca-cola-life/coca-cola-life/#TCCC) (Zugriff: 4.8.2015)

Verordnung Nr. 1131/2011 der Europäischen Kommission: Änderung von Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Steviolglycosiden. 11. November 2011. Als Download: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:295:0205:0211:DE:PDF> (Zugriff: 8.9.2015)

WEHLING, Martin (Hg.): Klinische Pharmakologie. 2., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme, 2011

Zuckerbestimmung (Glucose, Fructose) nach Rebelein. URL: [http://www.gym1.at/chemie/pdflabor/7\\_kl/wein\\_zuc.pdf](http://www.gym1.at/chemie/pdflabor/7_kl/wein_zuc.pdf) (Zugriff: 23.9.2015)

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Einteilung der Süßungsmittel (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 2: Struktur eines Aldehyds und eines Ketons (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 3: Strukturformel der Monosaccharide einer Aldose und einer Ketose (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 4: Strukturformel einer Aldopentose (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 5: Vergleich zwischen D-Glukose und L-Glukose (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 6: Struktur eines Oligosaccharides (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 7: Reaktionsgleichung zur Bildung des Kupferkomplexes (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 8: Reaktionsgleichung zur Bildung des roten Niederschlags (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 9: Reaktionsgleichung zur Entstehung des Kupfertatratkomplexes (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 10: Reaktionsgleichung zur Bildung von elementarem Iod (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 11: Reaktionsgleichung der Rücktitration (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 12: Reaktion zur Bildung der salpetrigen Säure (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 13: Reaktionsverlauf zur Bildung von einem Nitrosyl-Kation (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 14: Gleichung der Reaktion von <math>H_2SO_4</math> mit Wasser (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 15: Gleichung der Reaktion von <math>SO_4^{2-}</math> mit <math>Ba^{2+}</math> zu Bariumsulfat (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 16: Reaktionsvorgang von Ninhydrin mit einer primären Aminosäure (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 17: Fehling Probe (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 18: Cyclamat-Nachweis (Quelle: Verfasser) .....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 19: Dünnschichtchromatografie mit Aspartam (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 20: Nachweis von Aspartam (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 21: Nachweis bestimmter Zuckerarten (Quelle: Verfasser).....</i>	<i>36</i>

## **Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 1: Entfärbung mit Aktivkohle .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 2: Die Fehling Probe .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3: Zuckernachweis nach Rebelein .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 4: Nachweis von Cyclamat .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 5: Dünnschichtchromatografischer Nachweis von Aspartam.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 6: Nachweis von Aspartam mittels Ninhydrin-Reagenz.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 7: Nachweis bestimmter Zuckerarten .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 8: Nachweis von Stevia .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabelle 9: Zuckerbestimmung nach Rebelein .....</i>	<i>33</i>

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich, Nina Hochmeister, erkläre, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wien, im Jänner 2016

*Nina Hochmeister*

## **Zustimmung zur Aufstellung in der Schulbibliothek**

Ich, Nina Hochmeister, gebe mein Einverständnis, dass ein Exemplar meiner vorwissenschaftlichen Arbeit in der Schulbibliothek meiner Schule aufgestellt wird.

Wien, im Jänner 2016

*Nina Hochmeister*