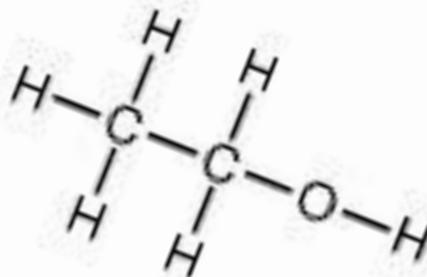
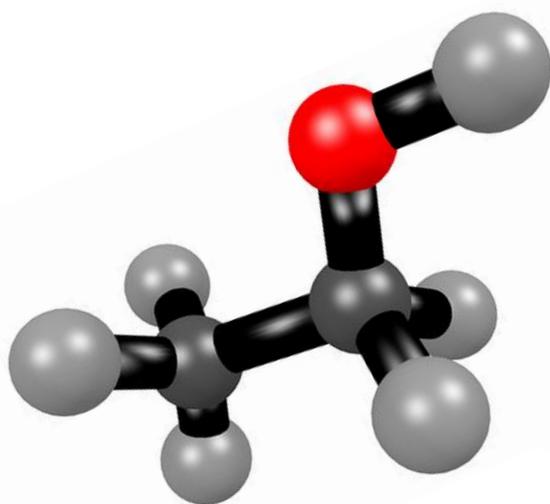


# Vergärung von Alltagsstoffen

---



## **Maturaarbeit**

vorgelegt von

Matteo Cescato, 4na

Betreut von Rainer Steiger

eingereicht an der

Kantonsschule Schaffhausen, HS 2021

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	3
Abstract.....	4
1. Geschichte von Alkohol [2,3,4,5].....	5
1.1 Was ist eigentlich Alkohol [6] .....	5
1.2 Alkohol in der Antike .....	5
1.3 Alkohol im Mittelalter .....	6
1.4 Alkohol in der Neuzeit .....	6
1.5 Alkohol während der Industrialisierung .....	7
1.6 Alkohol in der Moderne.....	8
2 Herstellung von Alkohol [7].....	9
2.1 Theoretische Anleitung zur Gärung .....	9
2.2 Chemischer Ablauf der Gärung.....	9
3 Versuch Durchführung .....	11
3.1 Versuch 1 Kolorimetrie [1,9].....	11
3.1.1 Probelauf .....	11
3.1.2 Die ersten Versuche [10] .....	12
3.1.3 Fehlingprobe [8,11] .....	13
3.1.4 Messungen aus der Kolorimetrie.....	14
3.2 Versuch 2 mit IR-Spektroskopie [12,13] .....	14
3.2.1 Was ist IR-Spektroskopie .....	14
3.2.2 Erste IR-Spektroskopie.....	16
3.2.3 Vergleich von zwei Zucker mit IR-Spektroskopie .....	20
4 Schlussfolgerung der Versuche .....	22
4.1 Schlussfolgerung Kolorimetrie.....	22
4.1.1 Schlussfolgerung Fehlingprobe.....	22
4.2 Schlussfolgerung IR.....	22
5 Danksagung.....	24
Abbildungsverzeichnis.....	25
Quellen.....	26
Bildquellen .....	27

## Einleitung

Alkohol ist ein gesellschaftlich anerkanntes Genussmittel, welches in der westlichen Welt in hohem Mass konsumiert wird. Mich persönlich hat die Herstellung von Alkohol schon länger interessiert, sowie die Weiterverarbeitung und die Auswirkung unterschiedlicher Ausgangsstoffe auf den Alkohol. Deswegen habe ich die Chance ergriffen dies mit dieser Arbeit genauer zu untersuchen. Doch wie entsteht Alkohol, was für chemische Prozesse laufen ab, bevor man sein Edukt zu Alkohol gemacht hat. In dieser Maturarbeit wird geschaut, ob man Alkohol aus ganz gewöhnlichen Alltagsstoffen herstellen kann. Dabei wird das Ziel sein, aus Mehl und Zucker Alkohol zu gewinnen. Dafür werden verschiedene Mehl- und Zuckersorten getestet, um Unterschiede in der resultierenden Alkohol Konzentration zu messen. Für die Alkoholherstellung wird der anaerobe Prozess der Gärung verwendet, wobei gewöhnliche Backhefe die Gärung vorantreibt. Die Hefe sowie die Zucker und das Mehl stammen aus dem Migros und sind somit für jeden gut erhältlich. Als erstes kommt ein geschichtlicher Hintergrund zum Thema Alkohol, gefolgt von den verschiedenen Prozessen und Versuchen welche für diese Arbeit relevant sind.

## **Abstract**

In dieser Arbeit soll der Prozess der alkoholischen Gärung betrachtet werden, sowie Analysemethoden, um das entstandene Ethanol zu messen und somit einen Vergleich zwischen verschiedenen Zucker- und Mehlsorten zu erstellen. Die Analysemethoden welche später noch genauer beschrieben werden, sind die Kolorimetrie und die Infrarotspektroskopie. Bei der Kolorimetrie geht es, wie der Name schon andeutet, um die Färbung von Stoffen und in der Infrarotspektroskopie geht es um die Auswirkung der Infrarotstrahlung auf die Bindungen zwischen Atomen. Anhand von diesen Methoden soll festgestellt werden, ob Ethanol vorhanden ist und wieviel Ethanol vorhanden ist. Das Ziel ist es, daraus schliessen zu können, welcher Stoff sich am besten vergären lässt.

## 1. Geschichte von Alkohol [2,3,4,5]

### 1.1 Was ist eigentlich Alkohol [6]

Alkohol, oder ``al-kuhl`` wie der ursprüngliche Name lautet, ist ein Begriff, welcher aus dem Arabischen stammt und das Feinste bedeutet. In Europa wurde daraus dann durch Abwandlung der Begriff Alkohol. Der Fachbegriff für Alkohol ist Ethanol und die Summenformel lautet  $C_2H_6O$ . Sofern es reines Ethanol ist, was bedeutet, dass es nicht mit anderen Substanzen gemischt ist, ist Ethanol farblos und sehr brennbar. Beginnen wir mit der Brennbarkeit, was macht Ethanol brennbar. Stoffe können verbrennen, solange sie mit Sauerstoff eine Bindung eingehen können und oxidieren können. Dies ist bei Ethanol der Fall. Die dazugehörige Redoxreaktion lautet,  $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$ . Die Temperatur, welche für die Verbrennung notwendig ist, hängt von der Länge der Kohlenwasserstoffkette ab, wobei diejenigen mit kürzeren Kohlenwasserstoffketten bei niedrigeren Temperaturen zu brennen beginnen als diejenigen mit längeren.

### 1.2 Alkohol in der Antike

Die Geschichte von Alkohol hat einen sehr frühen Anfang, und der Beginn wird auf etwa 10'000 v.Chr geschätzt. Dabei gilt die Vermutung, dass es eine zufällige Entdeckung war, welche zustande kam als Früchte überreif wurden und somit der Gärungsprozess begann, was dann zum Alkohol führte. Von da an wurde Alkohol ein Gesellschaftliches Genussmittel, welches auch heute noch sehr beliebt ist. Ein wenig später trifft man auf die ersten Schriftzeichen, welche vermutlich den Prozess des Bierbrauens beschreiben, und zwar in Mesopotamien in den Babylonischen Schriften. Wenn man aber die ersten handfesten Beweise sucht, muss man ein bisschen weiter zurück gehen in der Geschichte des Alkohols, nämlich bis ins antike Ägypten wo in den Hieroglyphen von Bierbrauerei gesprochen wird, auch erwähnt wird, dass Wein gekeltert wurde. Die Hieroglyphen kann man auf ca. 3'000 v.Chr deuten.

Alkohol gewann schnell an Bedeutung, da er sowohl für kulturelle als auch religiös Zwecke benutzt wurde. Wichtig zu bemerken ist, dass der Alkohol nicht überall gleich war, da er aus unterschiedlichen Sachen hergestellt wurde, je nachdem was in der Region vorhanden war.

Bei den Römern waren dies zum Beispiel Trauben, also machten sie Wein, während die Germanen viel Honig hatten und daraus Met herstellten.

### **1.3 Alkohol im Mittelalter**

Im Mittelalter war übermäßiger Alkohol Konsum vor allem im Adel und beim Klerus verbreitet und auch auf grossen Festen und an kirchlichen Feiertagen wurde viel getrunken. Das bedeutet jedoch nicht, dass der Rest der Bevölkerung nicht Alkohol trank. Das taten sie sehr wohl, weil das Wasser oft nicht sauber war und sich somit verdünnter Wein oder Bier als sicherere Getränke anboten. Hinzu kommt, dass Alkohol während dieser Zeit als Stärkungsmittel betrachtet wurde und nicht wie heute als Genussmittel. Doch da die unteren Schichten sehr geringe finanzielle Mittel hatten, konnten sie sich Alkohol sowieso nicht im Überfluss leisten. Dies ist auch die Zeit, in der Alkohol in Europa zum ersten Mal als Heilmittel benutzt wurde. Branntwein, welcher im 11. Jahrhundert entwickelt wurde, konnte man während dem 13. und 14. Jahrhundert für eine ordentliche Summe in Klosterapotheken als Wunderheilmittel kaufen. Doch schon im 15. Jahrhundert wurde festgestellt, dass sich Branntwein als Genussmittel eignet und wurde infolgedessen oft verwendet, um gezielte Berausung oder Entspannung zu erreichen. Diese Erkenntnisse führten zur kommerziellen Herstellung von Branntwein, wobei sich das bis anhin gehaltene Monopol der Klosterapotheken auflöste und nun erstmals starker Alkohol für die oberen städtischen Schichten und den Adel zur Verfügung stand.

### **1.4 Alkohol in der Neuzeit**

Die Rolle des Alkohols, als Nahrungsergänzungsmittel änderte sich kaum während dem 16. und 17. Jahrhundert und auch das Privileg zu trinken war hauptsächlich dem Adel vorbehalten. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts begann sich die Beschränkung vom Branntwein auf die Oberschicht langsam aufzulösen. Der Konsum des allgemeinen Volks blieb jedoch beschränkt, da die Herstellung aufwendig war, viel Energie forderte und zudem stark abhängig von den Ernten war.

Der große Durchbruch für billigen und leicht erschwinglichen Alkohol kam am Anfang des 18. Jahrhunderts mit dem Anbau von Kartoffeln in Europa. Kartoffeln liefern auf viel weniger Platz einen viel größeren Ertrag und zudem haben sie einen höheren Nährwert als gewöhnliches Getreide. Deswegen war die Alkoholherstellung nun nicht mehr so stark von der Ernte abhängig. Der Zweite wichtige Durchbruch war gegen Ende des 18. Jahrhunderts,

in der Form der Technik die Erfindungen hervorbrachte, welche die Brenn- und Destillationstechniken verbesserten. Ein Beispiel dafür ist das dampfbetriebene Destillationsgerät von Johann Pistorius (1777-1858). Damit konnte man aus Kartoffeln 60-80% Alkohol herstellen.

Wegen den Innovationen in der Technik, kam neue Konkurrenz in Form von Brennereien auf den Markt. Wie uns die moderne Marktforschung sagt, sorgt Konkurrenz dafür, dass der Preis sinkt und genau dies geschah auch. Dadurch wurde Alkohol auch für die einfachen Leute finanzierbarer gemacht. In dieser frühen Phase der hochprozentigen Alkoholherstellung wurde jedoch nicht einmal annähernd sauber genug gearbeitet, was bedeutete, dass viele giftige Fuselöle im Schnaps enthalten waren und auch oft in verunreinigten Töpfen gebrannt wurde. Deswegen gelangten giftige Kupfer-, Blei- und Zinkoxide in den Alkohol.

## **1.5 Alkohol während der Industrialisierung**

Mit dem Anbruch des Zeitalters der Industrialisierung kam es zu heftigen Debatten um den vielerorts steigenden Alkoholkonsum bei den Fabrikarbeitern. Deswegen entstand zu der Zeit die Elendsalkoholismustheorie. Kurz zusammengefasst besagt diese Theorie, dass der steigende Alkoholkonsum unter den Arbeitern in direktem Zusammenhang mit der Industrialisierung und dem Kapitalismus steht. Diese Theorie warf erstmals die Frage auf, ob man nicht etwas tun soll, um den Alkoholkonsum zu beschränken. Es gab auch eine Opposition zu dieser Sichtweise, welche die Meinung vertrat, dass das Problem dabei zu finden sei, dass Bier und Wein nun von Hochprozentigerem Alkohol abgelöst wurden. Und die Arbeiter vom Volumen her nicht mehr tranken, sondern stärkeren Alkohol tranken.

Egal ob die Elendsalkoholismustheorie nun stimmt oder nicht, wurde der Alkoholkonsum in den vereinigten Staaten von Amerika als grosses Problem empfunden. Es ging sogar so weit, dass von 1920 bis 1933 jeglicher Verkauf und Transport sowie jegliche Produktion von Alkohol verboten wurde. Dieses Verbot erreichte sein Ziel jedoch nicht, führte aber zu einem starken Anstieg an Schmuggel und anderen kriminellen Aktivitäten unter anderem der Aufstieg der Mafia welche dank dem Verbot reich wurden durch den Verkauf von Alkohol.

## **1.6 Alkohol in der Moderne**

Heutzutage hat Alkohol den schlechten Ruf, den er während der Industrialisierung hatte, wieder verlieren können. Deshalb ist Alkohol in der westlichen Welt als allgemein anerkanntes Genussmittel etabliert. Alkohol wird für viele unterschiedliche Zwecke verwendet, seien diese medizinisch, religiös oder einfach zur Unterhaltung. Die Moderne ist aber auch eine Zeit, die von der Vergangenheit gelernt hat. Heutzutage wird an Schulen über Alkohol aufgeklärt und man lernt, wie man Alkohol geniessen kann, ohne sich selbst oder anderen zu schaden. Die einzige gesetzliche Massnahme ist das Alter, ab dem man Alkohol kaufen darf, was von Land zu Land unterschiedlich ist.

## 2 Herstellung von Alkohol [7]

### 2.1 Theoretische Anleitung zur Gärung

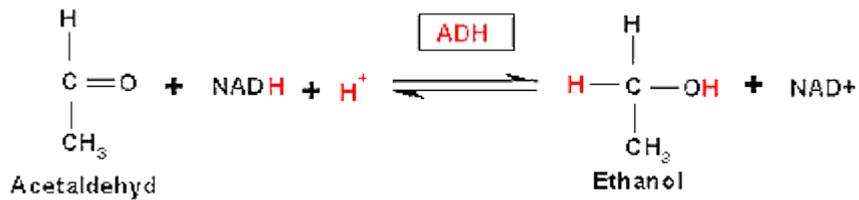
Der erste Schritt der häufigsten Form der Alkoholherstellung ist die Gärung. Es gibt noch viele weitere Methoden, doch diese sind um einiges aufwendiger und benötigen oft spezielle Geräte. Die Gärung hingegen ist relativ einfach. Man benötigt lediglich ein Edukt, welches vergärt werden kann. Hier kommen als Edukte nur Stoffe infrage, welche entweder Glucose oder Stärke enthalten, typische Edukte sind Früchte oder Weizen. Nun fehlt noch der Stoff, der die Gärung vorantreibt. Es können entweder einige Bakterienartenarten verwendet werden oder Hefekulturen, solange beide den gleichen enzymatischen Weg über die Gärung verwenden bei der Spaltung von Kohlenhydraten zu Energie. Damit der gewählte Mikroorganismus nun mit der Gärung beginnt, muss verhindert werden, dass die Zellen Zellatmung betreiben und auf den Anaeroben Prozess der Gärung zurückgreifen. Das kann einfach erreicht werden, indem man das System luftdicht verschliesst, da die Zellatmung, wie der Name einem schon sagt, ohne Sauerstoff kein ATP herstellen kann. Nun da die Zellatmung keine Möglichkeit mehr ist, kann man selbst entscheiden, wie lange man das Edukt vergären will. Dabei gilt je länger die Gärzeit desto hochprozentiger das Produkt. Jedoch nur bis zu dem Punkt, an dem der gewählte Mikroorganismus sich selbst durch den hohen Ethanolgehalt vergiftet hat. Bei Bier wird zum Beispiel nur etwa eine Woche gegärt. Zuletzt ist es noch wichtig zu wissen, dass der Alkoholgehalt stark von der Hefe abhängig ist und je nach Hefe von 5%-23% gehen kann.

### 2.2 Chemischer Ablauf der Gärung

Betrachten wir nun denn chemischen Prozess etwas genauer. Zuerst schauen wir uns die oben erwähnten Energiegewinnungsmethoden an. Beginnen wir mit dem aeroben Teil, die Zellatmung. Die Zellatmung kann in vier Schritte unterteilt werden, wobei die ersten drei Schritte, die Glykolyse, die Pyruvat Oxidation und der Citratzyklus hauptsächlich dazu dienen möglichst viele Wasserstoffüberträger zu beladen. Diese werden dann im letzten Schritt, der Atmungskette gebraucht, um ATP zu synthetisieren. Die Summenformel der Atmungskette lautet:



Somit kann aus einem Glucosemolekül 38 ATP hergestellt werden. Unter dem Ausschluss von Sauerstoff ist die Atmungskette aber wie schon gesagt keine Möglichkeit mehr, also haben Zellen die Gärung entwickelt, um bei Sauerstoffmangel dennoch ATP herstellen zu können. Der Prozess der Gärung beginnt auch mit der Glykolyse, wobei das Glukosemolekül



**Abbildung 1: Acetaldehyd wird zu Ethanol**

in zwei Pyruvat Moleküle geteilt wird. Dabei entstehen 2 ATP und 2 NADH + 2H<sup>+</sup>. Danach kommt die alkoholische Gärung, wobei pro Pyruvat ein CO<sub>2</sub> abgespalten wird, was das Pyruvat zu Acetaldehyd macht. Schlussendlich wird das Acetaldehyd nach der Zugabe von zwei H<sup>+</sup> von dem NADH + H<sup>+</sup> zu dem Zielstoff Ethanol und dem nun wieder unbeladenen NAD<sup>+</sup>.

### 3 Versuch Durchführung

#### 3.1 Versuch 1 Kolorimetrie [1,9]

Kolorimetrie ist ein Verfahren, bei dem die Konzentration einer Substanz bestimmt wird. Dabei wird eine meist flüssige Substanz mit Licht durchstrahlt, die Menge vom Anfangslicht, welche es durch die Flüssigkeit schafft, wird dann gemessen und wird auf einem Display als Zahl angezeigt. Das ganze System basiert auf dem Lambert-Beer'schen Gesetz. Dieses Gesetz beschreibt die Abschwächung von der Intensität der Strahlung durch ein absorbierendes Medium hindurch. Der erhaltene Wert allein ist jedoch noch nicht aussagekräftig da eine Referenz fehlt. Deswegen erstellt man eine Eichgerade. Eine Eichgerade erstellt man indem man zwei Flüssigkeiten, bei denen man weiss wie hoch die Konzentration ist misst und die Werte als Anfangs und



Endpoint eines Koordinatensystems **Abbildung 2: Kolorimeter** festlegt. Somit hat man auf der einen Achse die Konzentration und auf der anderen die Werte für die Abschwächung der Intensität. Dank der Eichgerade kann die Konzentration aller weiteren Versuche in dem Koordinatensystem abgelesen werden.

Das Gerät, welches für die Kolorimetrie verwendet wird, ist in Abbildung 2 abgebildet. Darin wird die Flüssigkeit durchstrahlt. Der Wert der Abschwächung der Intensität erscheint auf dem dazugehörigen Display. Um eine Messung durchzuführen, muss man das Gerät jedoch zuerst kalibrieren.

##### 3.1.1 Probelauf

Zuerst wurde in vier unterschiedlichen Konfitüregläser entweder ein Teelöffel Weissmehl, Ruchmehl, Uhrdinkelmehl oder Crystal Zucker gegeben. Danach wurde in jedes Glas 1g Backhefe und 1dl Wasser gegeben. Diese Konfitüre Gläser wurden danach verschlossen und

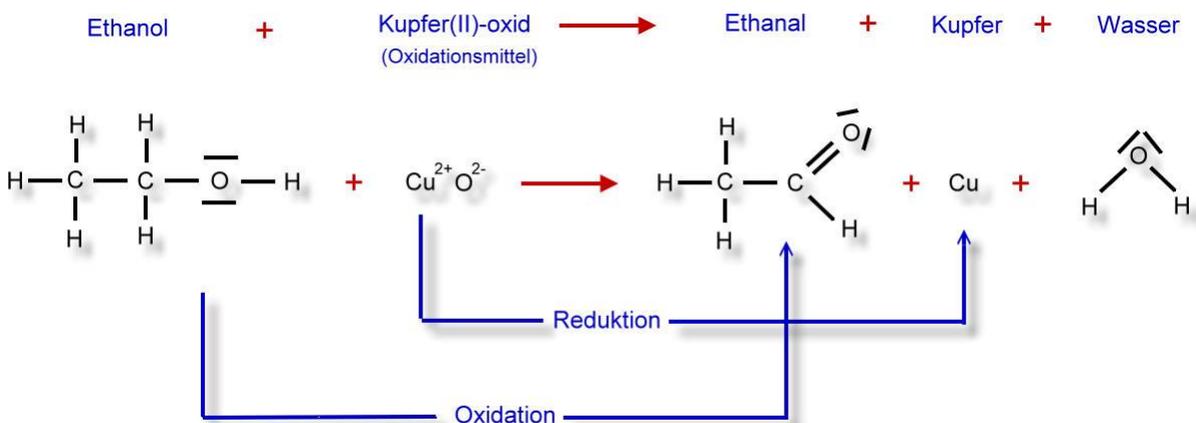
7 Tage lang wurde jeweils nur einmal täglich der Deckel leicht aufgeschraubt, um das entstandene  $\text{CO}_2$  rauszulassen. Dabei konnte man zum Teil ein Zischen hören wie beim Öffnen einer Coca-Cola Dose.

Nach dieser 7 Tage langen Gärzeit, wurden die Flüssigkeiten filtriert, um sie klarzumachen. Von der filtrierten Lösung wurden 5ml entnommen und in je ein separates Becherglas gegeben. Diesen Bechergläsern wurden dann 2ml einer Lösung aus 4g Cerammoniumnitrat, 10ml 15-prozentiger Salpetersäure und 50ml  $\text{H}_2\text{O}$  hinzugegeben. Dabei verfärbten sich alle ursprünglich farblosen Filtrationen zu einem orange-rot. Bei dem Testen der Weissmehlösung mit dem Kolorimeter-Gerät wurde eine Zahl in dem geeichten Bereich gemessen, aber nicht genauer festgehalten, da dieser erste Versuch als Probelauf verwendet wurde. Auch ein Grund war die mangelnde Zeit, um weitere Werte zu erfassen.

### 3.1.2 Die ersten Versuche [10]

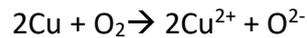
Für die ersten Versuche wurde das gleiche Verfahren wie beim Probelauf verwendet. Der einzige Unterschied bestand in einer etwas kürzeren Gärzeit von 4 statt 7 Tagen. Die Stoffe, die verwendet wurden, waren Gelier-, Puder- und Rohrzucker sowie Sucorine, was ein Süßstoffpulver auf einer Grundlage von Erythrit und Steviolglykosiden ist. Bei der Zugabe von der Cerammoniumnitratlösung verfärbten sie sich auch alle zu einem orange-rot. Doch bei dem Ablesen der Konzentration ergab sich ein Problem, da der Wert jeder Lösung mit der Zeit abnahm, bis die Lösung wieder durchsichtig war. Die Entfärbung dauerte etwa eine Stunde. Deshalb wurden auch keine Werte festgehalten.

Es wurde dann aber noch ein Test durchgeführt, um zu kontrollieren ob wirklich Ethanol vorhanden war. Dazu wurde eine Kupferspirale erhitzt, bis sich eine Oxidschicht bildete,



**Abbildung 3: Redoxreaktion von Ethanol mit Kupfer(2)-oxid**

wobei die Reaktionsgleichung wie folgt lautet:



Wenn diese Spirale mit der Oxidschicht mit Ethanol in Kontakt kommt, wird die Oxidschicht wieder zu Kupfer reduziert. Dies geschieht, weil das Ethanol zu Ethanal oxidiert wird und das Kupfer(2)-oxid zu elementarem Kupfer zurück reduziert. Dabei entsteht als Nebenprodukt noch  $\text{H}_2\text{O}$ .

Dieser Ethanol Nachweis mit der Kupferspirale funktionierte, da sich die Oxidschicht ablöste, als man die Spirale in die verschiedenen vergärten Lösungen gab. Dasselbe geschah auch bei dem zweiten Durchlauf, wo zusätzlich Crystalzucker und Weissmehl verwendet wurde. Der einzige Unterschied war, dass das Weissmehl sich nicht ganz entfärbt hat.



**Abbildung 4: Bechergläser mit entfärbter Lösung**

### 3.1.3 Fehlingprobe [8,11]

Die zweiten Ansätze, welche sich entfärbt hatten, wurden anschliessend noch mit einer Fehling Probe getestet. Dies waren die Ansätze, welche vier Tage lang gärten. Die Fehling Probe wurde durchgeführt, da der Verdacht vorhanden war, dass in den Lösungen Aldehyde entstanden waren. Somit wäre eine Erklärung für die Entfärbung vorhanden, da Aldehyde den Cerammoniumnitratkomplex entfärben können. Alle durchgeführten Fehling Proben waren jedoch negativ, was bedeute, dass keine Aldehyde vorhanden waren.

Nun wurden noch verschiedene Zuckerarten, welche nicht vergärt wurden, mit der Fehling Probe getestet. Ziel davon war zu schauen ob vor der Gärung Aldehyde in dem Zucker waren. Dabei wurde Frucht-, Trauben-, Milch-, Invert- und Crystalzucker getestet. Bei allen ausser dem Crystalzucker war die Fehlingprobe positiv, was uns sagt, dass Aldehyde vorhanden waren. Somit wurde klar bewiesen, dass der Crstyalzucker weder in der vergorenen noch in der unvergorenen Form Aldehyde enthält, also können Aldehyde nicht der Grund für die Entfärbung sein.

### 3.1.4 Messungen aus der Kolorimetrie

Um den Unterschied in der Entfärbungsgeschwindigkeit, zwischen den verschiedenen Sorten von Zucker und Mehl festzuhalten, wurde nochmals ein Ansatz gemacht. Die Gärzeit betrug 46 Tage, damit so viel vom Ausgangsstoff wie möglich vergärt wurde. Dieses Mal wurde direkt nach der Zugabe der Cerammoniumnitratlösung mit dem Kolorimeter ein Wert erfasst und aufgeschrieben. Das Verhältnis war 2ml Cerammoniumnitratlösung zu 5ml der vergorenen Lösung. Nach einer 30 Minuten langen Wartezeit wurden wiederum alle Werte erfasst und zuletzt wurden noch in zwei 15 Minuten Schritten Werte erfasst. Somit waren für alle getesteten Lösungen vier Werte vorhanden die man vergleichen konnte. In der Tabelle in Abbildung 5 kann man die Unterschiede bezüglich Entfärbungsgeschwindigkeit sowie Entfärbungsstärke gut vergleichen. Was man gut sehen kann ist, dass die Mehlsorten sich stabilisiert haben die Zuckersorten jedoch weiterhin stark sinkende Werte hatten. Weiter noch kann man sagen, dass die Gärzeit beim Weissmehl keinen Einfluss auf die Entfärbungsgeschwindigkeit hatte, sondern nur auf den Ethanol Gehalt, welcher bei Weissmehl 1 klar höher ist als bei Weissmehl 2. Das bedeutet, dass das Mehl sogar nach 38 Tagen noch nicht ganz fertig vergärt wurde. Daraus wird auch deutlich, dass eine längere Gärzeit zu einem höheren Ethanolgehalt führt.

	0min	30min	45min	60min
Weissmehl 1	0.684	0.622	0.58	0.54
Weissmehl 2	0.76	0.464	0.43	0.425
Ruchmehl	1.51	0.572	0.5	0.47
Crystalzucker	1.41	0.86	0.49	0.28
Rohrzucker	1.11	0.64	0.51	0.34
Sucorine	1.24	0.153	0.14	0.115

(Weissmehl 2 wurde 8 Tage weniger lang vergärt, also 38 Tage)

**Abbildung 5: Colorimetrie Messungen beim Entfärbungsprozess**

## 3.2 Versuch 2 mit IR-Spektroskopie [12,13]

### 3.2.1 Was ist IR-Spektroskopie

Wegen den ungenauen Resultaten in der Kolorimetrie wurde der Beschluss gefasst noch eine weitere Methode zur Analysierung von Stoffen zu nutzen. Verwendet wurde die

Infrarotspektroskopie oder kurz IR-Spektroskopie. In der IR-Spektroskopie wird Strahlung im infraroten Bereich, das ist Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 800nm und 1mm, durch eine Lösung gesendet.

Dabei werden bei den Molekülen die Bindungen zur Schwingung angeregt. Die Ausschläge, welche diese Schwingungen verursachen, können dann gemessen



**Abbildung 6: IR-Spektrometer**

werden. Weil unterschiedliche Bindungen auch unterschiedlich

ausschlagen, kann so determiniert werden, was für Bindungen in einer Lösung vorhanden sind. Das Gerät, welches für diese Analyse gebraucht wird, ist ein IR-Spektrometer und ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Daten werden direkt graphisch dem angeschlossenen Computer präsentiert. Um die Messdaten zu verstehen, braucht man auch noch eine IR-Tabelle wo die wichtigsten funktionalen Gruppen enthalten sind. So weiss man, wo man Erhebungen erwarten sollte. Eine dieser Tabellen ist in Abbildung 7 dargestellt.

Functional Group	Absorption (cm <sup>-1</sup> )	Intensity	Functional Group	Absorption (cm <sup>-1</sup> )	Intensity
Alkene =C-H	3020-3100	Medium	Alcohol O-H	3400-3650	Medium, broad
Alkene C=C	1640-1680	Medium	Alcohol C-O	1050-1150	Medium
Arene C-H	3030	Weak	Carboxylic acid O-H	2500-3100	Strong, broad
Arene C=C	1660-2000	Weak	Carboxylic acid C=O	1710	Strong
	1450-1600	Medium			
Alkyne ≡C-H	3300	Strong	Ester C=O	1735	Strong
Alkyne C≡C	2100-2260	Medium	Ester sp <sup>2</sup> C-O	1200-1250	Strong
Nitrile C≡N	2210-2260	Medium	Ester sp <sup>3</sup> C-O	1000-1100	Strong
Alkyl halide C-Cl	600-800	Strong	Aldehyde C=O	1730	Strong
Alkyl halide C-Br	500-600	Strong	Aldehyde C-H	2720	Weak
Amine N-H	3300-3500	Medium	Ketone C=O	1715	Strong
Amine C-N	1030-1230	Medium	Amide C=O	1690	Strong
Nitro	1540	Strong	Amide N-H 1° amides have 2 N-H stretches. 2° amides have 1 N-H stretch.	3200,3400	Medium

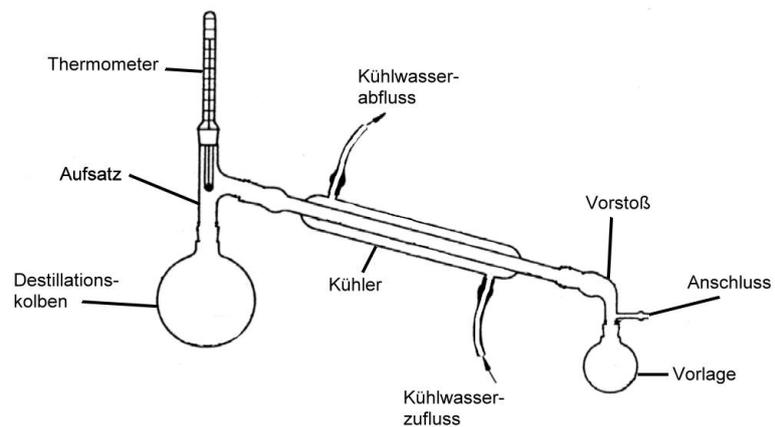
**Abbildung 7: IR Tabelle**

### 3.2.2 Erste IR-Spektroskopie

Verwendet wurde Weissmehl und Crystalzucker und beide wurden 44 Tage lange vergärt. Da der Alkoholgehalt in der vergärten Flüssigkeit gering war wurden die vergärten Stoffe zuerst noch destilliert. Die Destillation ist ein Prozess, bei dem eine Lösung kontrolliert erhitzt wird, um nur den Siedepunkt des Zielstoffes zu erreichen. Somit kann man den Zielstoff aus der Lösung hinaus verdampfen lassen und ihn anschliessend wieder kondensieren und auffangen. Die Destillationsapparatur ist in Abbildung 8 dargestellt.

Bei der Destillation wurde eine Temperatur von  $78,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  angestrebt, da dies der Siedepunkt von Ethanol ist. Bei der

Destillation des Crystalzuckers gab es mehr Destillat als beim Weissmehl, also wurde das Auffangbecherglas einmal gewechselt. Dies führte dazu, dass es beim Crystalzucker einen Vor-, und Nachlauf gab.



**Abbildung 8: Destillationsapparatur**

Für die IR-Spektroskopie wurde dann jeweils ein wenig des Destillats getestet sowie das Destillat mit H<sub>2</sub>O vermischt um zu schauen, ob dies eine Änderung der Kurve bewirkt. Es wurde auch noch eine Kontrollkurve gemacht mit reinem Ethanol, damit ein Referenzwert vorhanden war, für wo man Spikes erwarten sollte. In Abbildung 9 kann man eben jene Kurve sehen und sieht deutliche Spikes bei 3000cm<sup>-1</sup> und bei 1100cm<sup>-1</sup>, sowie eine Erhebung im Bereich 3100cm<sup>-1</sup> bis 3500cm<sup>-1</sup>. Beim Interpretieren sollte man jedoch vorsichtig sein, da alle Werte unter 1500cm<sup>-1</sup> ungenau sind. Ich werde diese Werte dennoch erwähnen, da einige in allen Messungen sehr konstant bleiben.

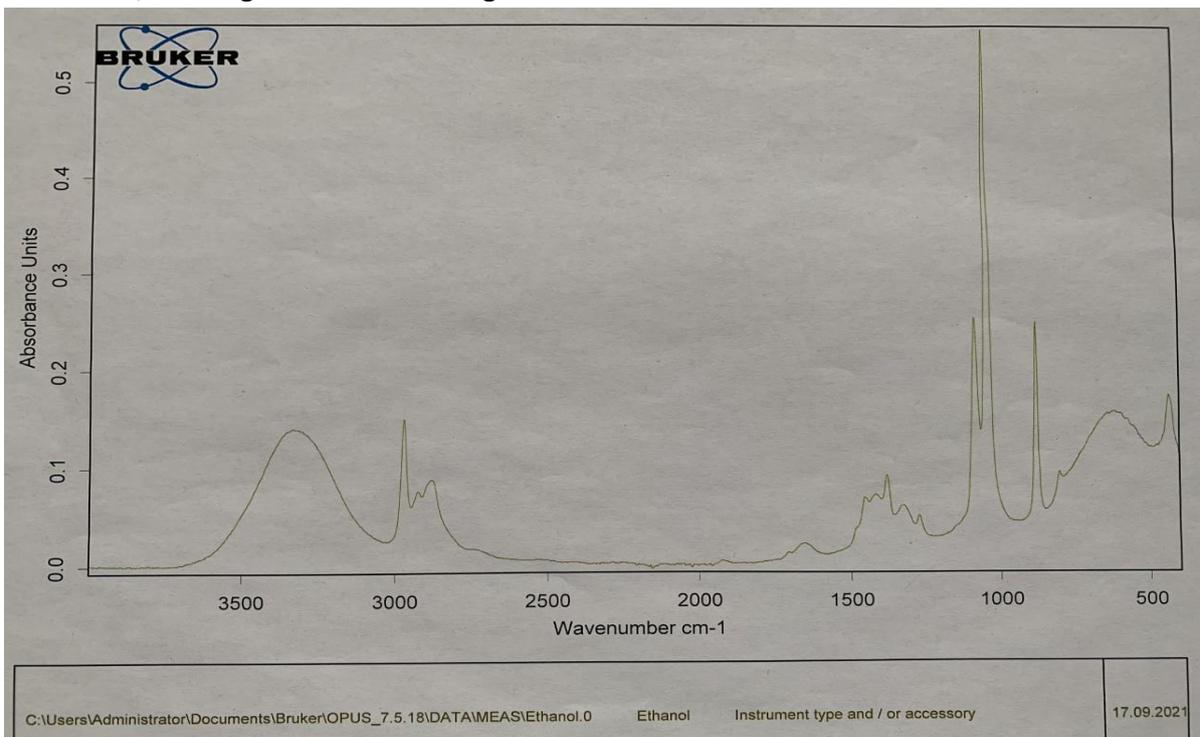
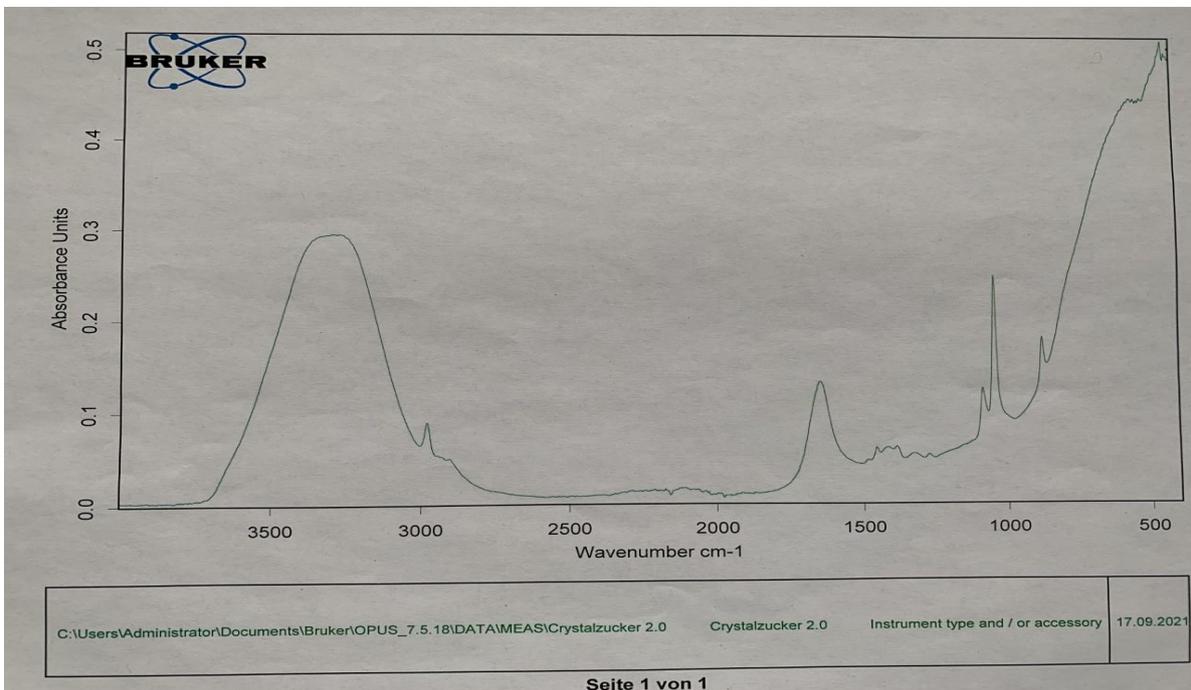


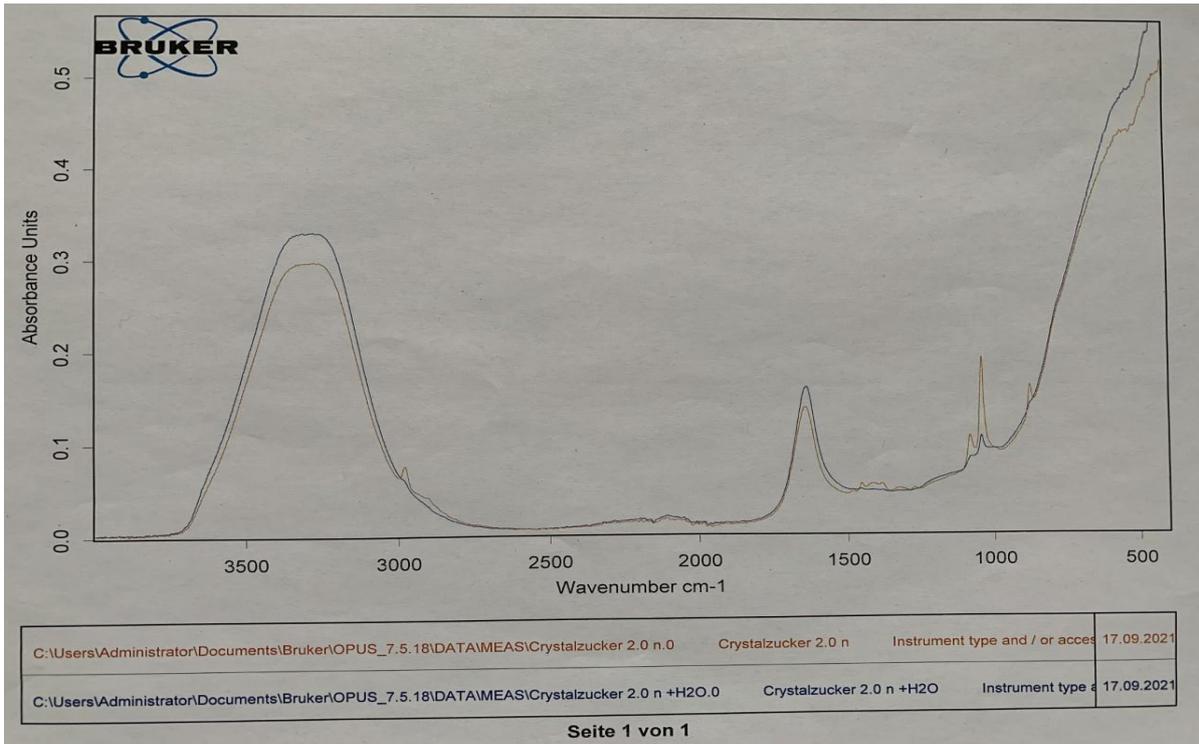
Abbildung 9: IR von Ethanol

Abbildung 10 zeigt den Nachlauf vom Crystalzucker. Dieser ist praktisch identisch zum Vorlauf deswegen werden nicht beide Graphiken gezeigt. Wie bei der Ethanolkurve kann man bei etwa  $3000\text{cm}^{-1}$  einen Spike sehen und auch der  $1100\text{cm}^{-1}$  Spike ist vorhanden. Der grösste Unterschied liegt bei der grossen Erhebung zwischen  $3000\text{cm}^{-1}$  und  $3500\text{cm}^{-1}$ . Die Vermutung ist, dass diese Erhebung die zahlreichen O-H-Bindungen vom  $\text{H}_2\text{O}$  darstellt, da bei der Destillation auch ein wenig  $\text{H}_2\text{O}$  mitkommt.



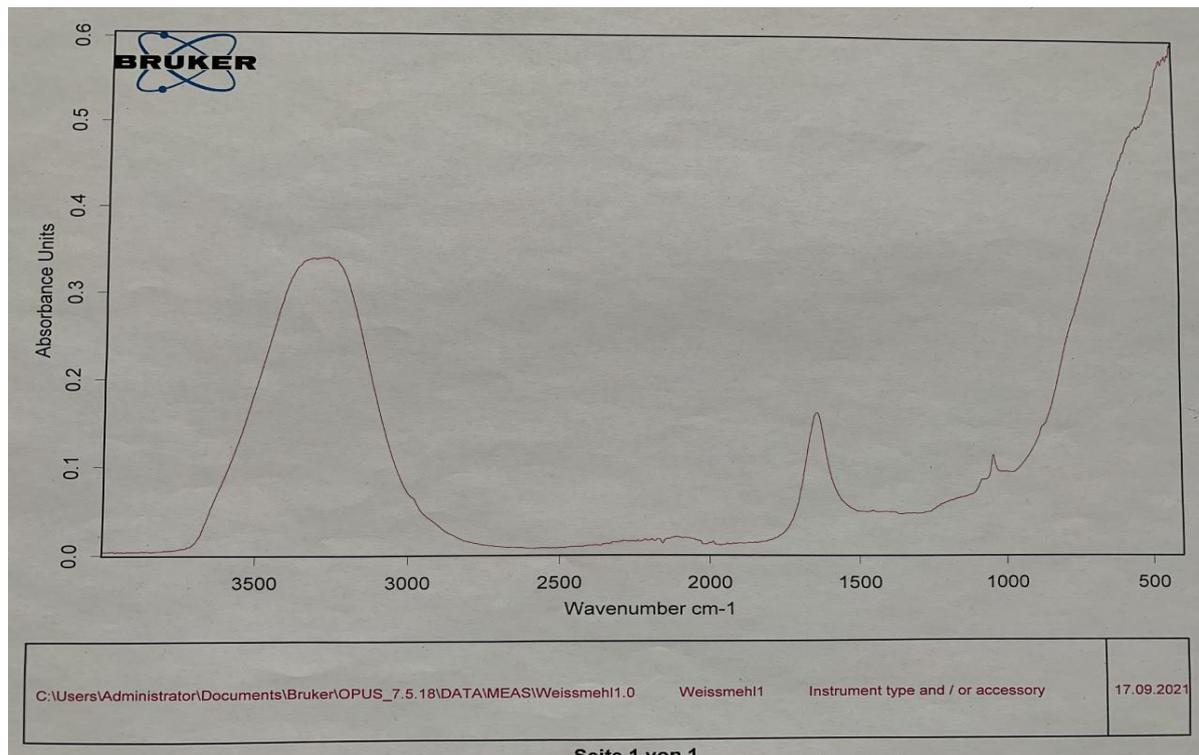
**Abbildung 10: IR vom Crystalzucker Nachlauf**

Um dieser Annahme auf den Grund zu gehen, wurde dem Destillat  $\text{H}_2\text{O}$  dazugegeben und daraus entstand die Kurve, welche in Abbildung 12 dargestellt ist. Um die beiden Kurven besser vergleichen zu können, sind sie überlagert dargestellt. Deutlich erkennbar ist, wie der Spike bei  $3000\text{cm}^{-1}$  verschwindet, sowie der bei  $1000\text{cm}^{-1}$ . Die grosse Erhebung zwischen  $3000\text{cm}^{-1}$  und  $3500\text{cm}^{-1}$  wächst. Die Erklärung, dass dieses Wachstum der Erhebung wegen dem Rest  $\text{H}_2\text{O}$  aus dem Destillat zustande gekommen ist, scheint sich zu bestätigen.



**Abbildung 11: IR von Crystalzucker Nachlauf + Crystalzucker Nachlauf mit H<sub>2</sub>O**

Nun noch zum Weissmehl, welches in Abbildung 12 dargestellt wird. Das Weissmehl war auch nach der Destillation am undeutlichsten bezüglich dem Ethanolgehalt, da die grosse Erhebung nur eine ganz leichte Ausbuchtung hat bei 3000cm<sup>-1</sup>. Da diese Erhebung jedoch zu erkennen ist, deutet darauf hin, dass auch hier OH-Bindungen vorhanden sind, einfach in

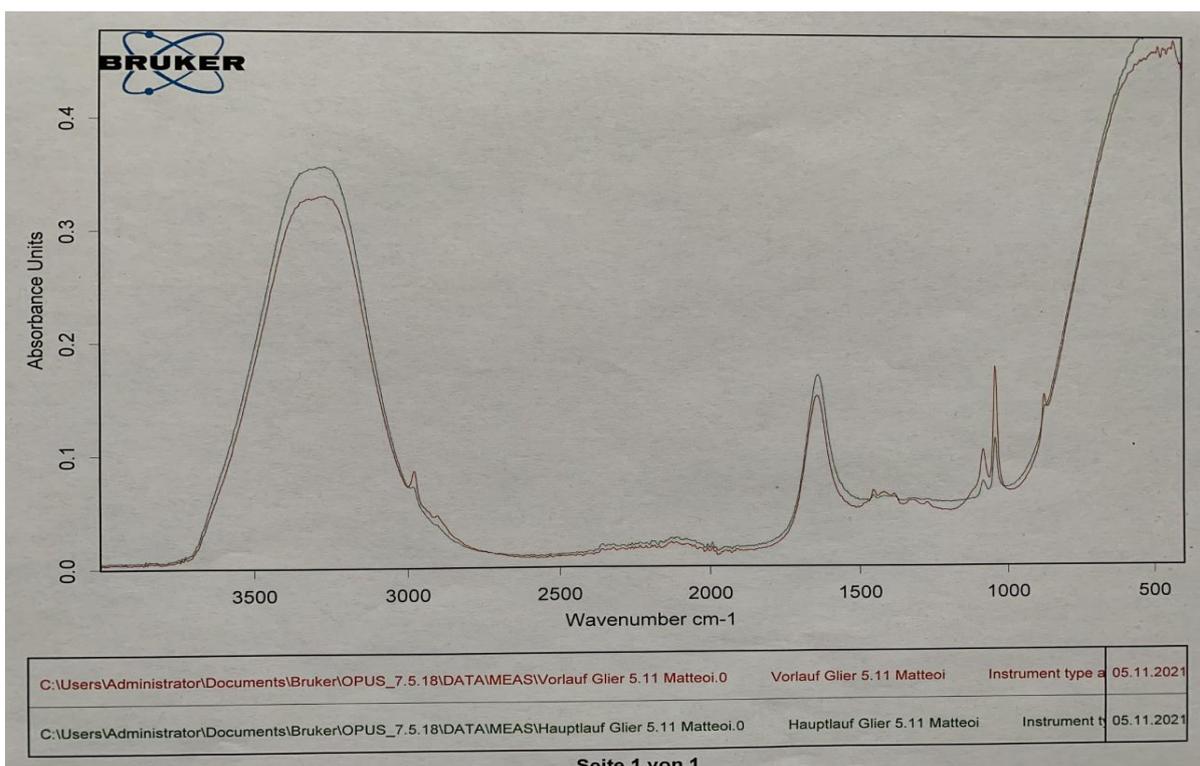


**Abbildung 12: IR von Weissmehl**

einer geringeren Konzentration. Um einen besseren Nachweis zu bekommen hätte man das Destillat nochmals destillieren können, aber dazu reichte das Volumen des Destillats nicht aus.

### 3.2.3 Vergleich von zwei Zucker mit IR-Spektroskopie

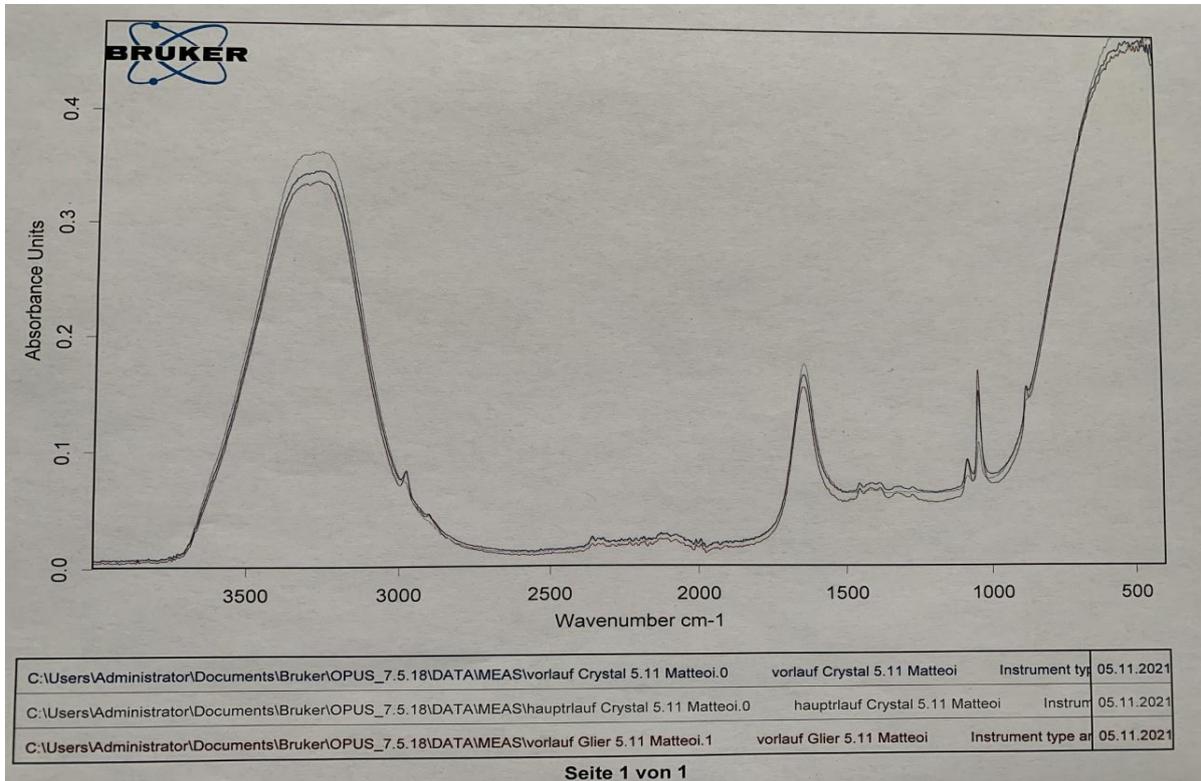
Dieses Mal wurde Crystalzucker und Gelierzucker bei der Gärung verwendet und die Gärzeit betrug 28 Tage. Beide Zucker wurden zuerst wieder destilliert und bei beiden wurde ein Vorlauf und ein Nachlauf gemacht. Danach erfolgte die Messung mit dem IR-Spektrometer, wobei sich herausstellte, dass die gleichen Spikes vorhanden waren wie beim letzten Mal.



**Abbildung 13: IR von Crystalzucker Vorlauf und Nachlauf**

Die Vorläufe schienen aber eine höhere Ethanolkonzentration zu haben, da sie bei den Signalstellen höher ausschlugen. In Abbildung 13 sind Vor-, und Nachlauf vom Gelierzucker dargestellt (der Nachlauf ist in der Abbildung als Hauptlauf beschriftet). Man erkennt, dass im Nachlauf die Ethanolkonzentration niedriger war, da die Spikes bei  $3000\text{cm}^{-1}$  und  $1100\text{cm}^{-1}$  kleiner waren, die O-H Erhebung jedoch höher war.

Zuletzt wurde noch der Gelierzucker mit dem Crystalzucker verglichen. Die beiden Vorläufe waren sich sehr ähnlich und hatten einen fast identischen Wert bei dem  $3000\text{cm}^{-1}$  Spike. Sonst waren nur sehr kleine Verschiebungen der Kurven zu erkennen, wobei die Kurve vom Crystalzucker leicht höher gelegen war als die vom Gelierzucker.



**Abbildung 14: IR von Vorlauf + Nachlauf von Crystalzucker sowie Vorlauf von Gelierzucker**

## **4 Schlussfolgerung der Versuche**

### **4.1 Schlussfolgerung Kolorimetrie**

Die Kolorimetrie hat einen soliden Nachweis geliefert, dass Ethanol vorhanden war. Somit ist die Frage, ob man mit Alltagsstoffen wie gewöhnlicher Backhefe und Zucker Alkohol herstellen kann beantwortet und die Antwort lautet wie erwartet ja. Die Entfärbung hat jedoch dafür gesorgt, dass ein Vergleich für die Alkoholkonzentration schwierig wurde. Anhand der Tabelle von Abbildung 5 wird jedoch klar, dass Unterschiede bezüglich der Konzentration vorhanden waren, auch wenn sie nicht genau definiert werden konnten. Dies sah man vor allem beim Vergleich vom Weissmehl zum Ruchmehl, wobei das Weissmehl die höhere Konzentration aufwies. Ebenfalls steht fest, dass die Entfärbung bei den Zuckern stärker und schneller war, als bei dem Mehl.

#### **4.1.1 Schlussfolgerung Fehlingprobe**

Die Fehlingprobe wurde gemacht, um zu schauen, ob Aldehyde vorhanden waren in den vergärten Zuckern, da diese sich so stark entfärbt haben. Weil die Fehlingprobe jedoch negativ ausfiel, kann dies doch nicht der Grund für die Entfärbung gewesen sein. Somit muss es eine andere Erklärung für die Entfärbung geben, welche jedoch nicht gefunden wurde.

### **4.2 Schlussfolgerung IR**

Die IR-Spektrographie bestätigt zusammen mit der Kolorimetrie, dass Ethanol vorhanden war und die Gärung ein Erfolg war. Da beim Weissmehl schwächere Spikes vorhanden waren, kann daraus geschlossen werden, dass im Gelierzucker und im Crystalzucker mehr Ethanol vorhanden war. Ein plausibler Grund dafür wäre, dass die Hefe das Mehl nicht so schnell vergären konnte, da die im Mehl vorhandene Stärke zuerst noch in Glucose gespalten werden musste, bevor die Gärung starten konnte. Die Glucose im Zucker jedoch direkt vergärt wurde. Ob Crystalzucker oder Gelierzucker bei der Gärung einen höheren Ethanolgehalt liefert konnte nicht definitiv gesagt werden. Dies liegt daran, dass auch nach der Destillation noch zu viel Wasser für eine eindeutige Bestimmung bezüglich dem Ethanolgehalt da war. Zusätzlich waren die Kurven zu ähnlich, um einen aussagekräftigen Unterschied zu sehen. Somit stellt sich zum Schluss die Frage, wieso die Zucker sich in der

Kolorimetrie so schnell entfärbt haben, obwohl sie der IR-Spektrographie nach einen höheren Ethanol Gehalt hatten als das Weissmehl.

## **5 Danksagung**

Schliesslich möchte ich mich noch bei all denen bedanken, die mir beim Schreiben dieser Arbeit zur Seite gestanden und geholfen haben. Zuerst will ich Janis Gerth danken, der mich auf das Thema dieser Arbeit gebracht hat, als wir gemeinsam am Skifahren waren. Als nächstes will ich Herr Rainer Steiger danken für die Zeit, Ideen und Erfahrung, die er miteingebracht hat. Weiter noch möchte ich meiner Familie, für die vielen wertvollen Diskussionen und ihre stetige Unterstützung, danken. Ein spezieller Dank für das Durchlesen meiner Arbeit, geht an meine Mutter.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Acetaldehyd wird zu Ethanol .....	10
Abbildung 2: Kolorimeter .....	11
Abbildung 3: Redoxreaktion von Ethanol mit Kupfer(2)-oxid .....	12
Abbildung 4: Bechergläser mit entfärbter Lösung .....	13
Abbildung 5: Colorimetrie Messungen beim Entfärbungsprozess .....	14
Abbildung 6: IR-Spektrometer.....	15
Abbildung 7: IR Tabelle.....	15
Abbildung 8: Destillationsapparatur .....	16
Abbildung 9: IR von Ethanol .....	17
Abbildung 10: IR vom Crystalzucker Nachlauf .....	18
Abbildung 11: IR von Crystalzucker Nachlauf + Crystalzucker Nachlauf mit H <sub>2</sub> O .....	19
Abbildung 12: IR von Weismehl.....	19
Abbildung 13: IR von Crystalzucker Vorlauf und Nachlauf .....	20
Abbildung 14: IR von Vorlauf + Nachlauf von Crystalzucker sowie Vorlauf von Gelierzucker .....	21

## Quellen

- [1] <http://bitly.ws/jnne> aufgerufen am 3.11.2021
- [2] <http://bitly.ws/jPz3> aufgerufen am 28.09.2021
- [3] <http://bitly.ws/jPz4> aufgerufen am 28.09.2021
- [4] <http://bitly.ws/jPz6> aufgerufen am 28.09.2021
- [5] <http://bitly.ws/jPz8> aufgerufen am 28.09.2021
- [6] <http://bitly.ws/jPzb> aufgerufen am 28.09.2021
- [7] <http://bitly.ws/jPzc> aufgerufen am 2.11.2021
- [8] <http://bitly.ws/k3Fz> aufgerufen am 17.11.2021
- [9] <http://bitly.ws/jPze> aufgerufen am 3.11.2021
- [10] <http://bitly.ws/jPzf> aufgerufen am 9.11.2021
- [11] <http://bitly.ws/jPMs> aufgerufen am 17.11.2021
- [12] <http://bitly.ws/jPMM> aufgerufen am 2.12.2021
- [13] <http://bitly.ws/jPZJ> aufgerufen am 2.12.2021

## Bildquellen

[1] Titelbild: <http://bitly.ws/k3H9>

[2] Titelbild: <http://bitly.ws/k3Ha>

[3] Abbildung 1: <http://bitly.ws/k3Ia>

[4] Abbildung 2: <http://bitly.ws/k3HJ>

[5] Abbildung 3: <http://bitly.ws/k3Ih>

[6] Abbildung 6: <http://bitly.ws/k3Io>

[7] Abbildung 7: <http://bitly.ws/k3IA>

[8] Abbildung 8: <http://bitly.ws/k3IK>