

Photometrischer Nachweis der Eisenkonzentration in Bier



Maturaarbeit

vorgelegt von
Tim Gmür, 4na

Referent
Rainer Steiger

eingereicht an die
Kantonsschule Schaffhausen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Abstract	1
1.2	Einführung	1
1.3	Motivation	2
2	Brauzutaten.....	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Malz.....	3
2.3	Hopfen.....	3
2.4	Hefe	4
2.5	(Brau-)Wasser	5
3	Mein selbstgebrautes Bier	6
3.1	Einführung.....	6
3.2	Die Bierspindel.....	6
3.3	Meine Zutaten & mein Rezept	6
3.4	Mein Brauverfahren	7
3.4.1	Allgemeines.....	7
3.4.2	Das Maischen (Verarbeitung des Malzes).....	7
3.4.3	Abläutern/Abmaischen	8
3.4.4	Hopfenkochen	8
3.4.5	Gärprozess	8
3.5	Brauberechnungen.....	9
3.5.1	EBC (Bierfarbe)	9
3.5.2	Hopfengabe/EBU	9
3.5.3	Alkoholgehalt	10
3.6	Schwierigkeiten und Probleme.....	11
4	Eisentest	12
4.1	Einführung.....	12
4.2	Eisentest	12
4.3	Photometrie	12
4.4	Eichgerade.....	13
4.5	Entfärbung	14
4.6	Schwierigkeiten während des Eisennachweises	15
5	Resultate und Werte	16
5.1	Stammwürze.....	16
5.1.1	Erwartete Werte und Messresultate.....	16

5.1.2	Interpretation der Messwerte	17
5.2	Eisenkonzentration	17
5.2.1	Messresultate und erwartete Werte	17
5.3	Eigenes Bier	19
5.3.1	Auswertung	19
5.3.2	Interpretation	20
6	Danksagung.....	21
	Abbildungsverzeichnis	22
	Literaturverzeichnis.....	23
	Anhang	24

1 Einleitung

1.1 Abstract

In dieser Maturaarbeit werden Messresultate und Vorgehensweisen zu 4 verschiedenen selbstgebrauten Bieren präsentiert und erläutert. Es wird erklärt, welche Zutaten für den Brauprozess benutzt wurden und welche Auswirkungen die Zutaten auf ein Bier haben, ausserdem werden die zwei Spezialzutaten Brennessel und Kardamom zu je einem Bier hinzugefügt. Es werden EBU, EBC, Stammwürzegehalt und Alkoholgehalt von dem gebrauten Bier berechnet und anschliessend interpretiert. Das selbstgebraute Bier wird gekostet und der Geschmack wird interpretiert. Es wird versucht die Eisenkonzentration im Bier zu messen. Es werden sämtliche Methoden, welche zur Bestimmung der Eisenkonzentration und während dem Brauprozess verwendet wurden, erläutert. Eine dieser Methoden ist Photometrie, eine Messmethode, welche mit Strahlung einen Extinktionskoeffizienten¹ ermittelt oder der Stammwürzegehalt, der wichtig während dem Brauprozess ist. Das Erstellen einer Eichgerade, von welcher man anschliessend auf die Eisenkonzentration schliessen kann, sowie die für den Eisentest benötigten Entfärbungsmethoden werden gezeigt. Weshalb keine der 16, während des Brauprozesses entnommenen, Proben ausgewertet werden konnten und schlussendlich die Auswertung der ermittelten oder errechneten Werte, ist ebenfalls Teil dieser Arbeit.

1.2 Einführung

Bier ist ein Gärgetränk, welches nicht ohne Grund schon lange und gerne getrunken wird, denn es hat einen einzigartigen und herrlichen Geschmack, den sich keiner entgehen lassen sollte. In letzter Zeit steigt die Anzahl von sogenannte Craftbierbrauereien, Hobby- bis professionelle Brauereien, welche in kleinerem Stil brauen, an. Für jeden Bierliebhaber eine sehr erfreuliche Neuigkeit, denn Brauen in kleineren Massen ermöglicht eine viel flexiblere und vielfältigere Brauart, erschafft so unendliche Neukreationen und belohnt jeden Biertrinker mit Gaumenschmäusen. Craftbrauer werden auch Kreativbrauer genannt und dies, weil das Brauen von Bier kreativen Köpfen riesigen Spielraum lässt. Nicht nur steht einem die Tür bei der Auswahl von Hopfen, Hefe und Malz oder bei der Bestimmung der Art und Länge des Brauprozesses offen, sondern man hat auch die Möglichkeit ganz eigene Zutaten wie

¹ Wird in Kapitel 4.3 Photometrie erläutert

Wachholder oder Brennnessel beizufügen. Die verschiedenen Möglichkeiten, welche einem beim Brauen eines Bieres offenstehen, übersteigen höchstwahrscheinlich auch die eines Winzers bei weitem. Das Bierbrauen wurde Vermutungen zufolge zufällig entdeckt, als vor sehr langer Zeit jemand ein Brot im Regen vergass. Über wenige Tage fand dort ein Gärprozess statt, da das Brot vergärbare Zucker und Hefen enthält, wodurch der Konsument die beschwipende Wirkung erlebte. Archäologen erforschten ausserdem, dass Sumerer vor 6000 Jahren bereits ein Getreide-Brotfladen-Gebräu, welches als Vorgänger von heutigem Bier betrachtet werden kann, tranken. Im Mittelalter trank man schon ein zu heute vergleichbares Bier, nur wurden statt Hopfen viele verschiedene Kräuter als Würze verwendet. Im Mittelalter wurde erstmals Hopfen beigefügt und 1516 wurde von Herzog Wilhelm IV. das wichtigste Biergesetz überhaupt erlassen: Das «altbairische», später das «deutsche», Reinheitsgebot. Es besagt, dass man nur Gerstenmalz, Hopfen und Wasser beim Brauen eines Bieres verwenden darf. Viele Brauereien brauen auch heute noch nach Reinheitsgebot und es ist heute noch gerne gesehen chemiefrei, also ohne chemische Zusatzstoffe, welche Schaumqualität oder andere Faktoren beeinflussen, zu brauen. Die eigentliche Intuition hinter dem Gesetz war aber ursprünglich, nicht den raren Weizen für Biere zu verschwenden [A].

1.3 Motivation

Ich habe mich schon länger für Bier interessiert und den Geschmack der verschiedenen Sorten genossen. Faszinierend finde ich die enorme Vielfalt der Geschmäcker von Bieren. Es sind Welten von Pils über Lager zu IPA und ich kenne kein anderes Getränk, welches in so vielen Variationen existiert. Ausserdem finde ich die Geschichte der Entstehung von Bier und den Brauprozess ziemlich spannend. Auch Chemie zog mich schon in jungem Alter, bei den Erklärungen meines Stiefvaters, welcher einen Dokortitel in Chemie besitzt, in den Bann. Richtig begreifen konnte ich zwar kaum etwas, aber die Idee von einem riesigen Gedankenkonstrukt, welches die Erde in Atome und Verbindungen, welche irgendwie miteinander reagieren können, erklärt, fand und finde ich immer noch überwältigend. Also ergaben sich für mich diese zwei Punkte in einer Arbeit zu verbinden. Ich entschied mich dafür einen Stoff im Bier nachzuweisen und da ich schon sechs Jahre Vegetarier bin, und ich mich deshalb schon öfter mit Eisen beschäftigte, fiel meine Wahl auf Eisen. Meine Entscheidung erwies sich als richtig, da mir das Arbeiten im Labor Spass gemacht hat, denn meine Freude am Ausprobieren und Herumexperimentieren wuchs, genau wie das Interesse am Bier, mit der Arbeit.

2 Brauzutaten

2.1 Einleitung

Für einen Brauprozess werden, laut Reinheitsgebot, nur drei Zutaten benötigt und das sind Hopfen, (Gersten-) Malz und Wasser. In den heutigen Bieren ist auch noch Hefe enthalten, welche 1516 nur zufällig, als Sporen aus der Luft, ins Gebräu gelangte oder schon im Braugetreide als Sporen enthalten war. Die Auswahl von Hopfen, Malz, Hefe und Wasser entscheidet über die Farbe, die Bitterkeit, die Schaumqualität, den Alkoholgehalt und über weitere Faktoren, welche das Bier beeinflussen, deshalb muss diese mit Bedacht getroffen werden.

2.2 Malz

Die meisten Malze werden aus Gerste gewonnen, welche mehrere Verarbeitungsschritte durchlaufen muss, um schlussendlich zu braufertigem Malz zu werden: Vorreinigen, Trocknen, Lagern, Putzen, Sortieren, Weichen, Keimen, Darren, Entkeimen und Schrotten. Diese Schritte werden bei Haus- und Hobbybrauern, sowie in dieser Maturaarbeit, übersprungen und fertig geschrotetes Malz wird gekauft und direkt zum Brauen verwendet.

Malz wird für einen Brauprozess in grossen Mengen benötigt und ist somit, neben Wasser, die Hauptzutat für jedes Bier. Meistens wird für ein Bier nicht nur ein Malz, sondern mehrere verwendet, diese Mischung wird Schüttung genannt. Jedes dieser Malze hat einen EBC-Wert

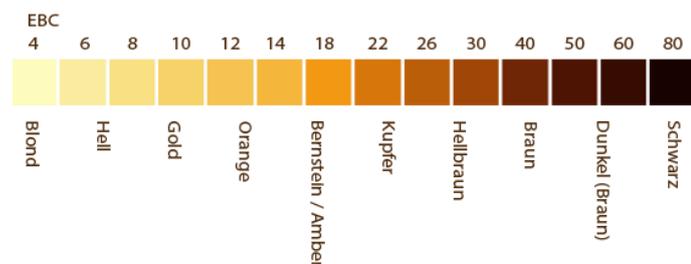


Abb. 1 => EBC-Wert Tabelle

(European Brewery Convention), welcher schlussendlich vor allem die Farbe, den Geschmack und den Alkoholgehalt beeinflusst.

2.3 Hopfen

Der, vor allem für die Bierbitterkeit essenzielle Hopfen wird von den Weibchen des zweihäusigen Hanfgewächses geerntet. Die Dolden² beinhalten viele wichtige Stoffe, welche

² So wird der für das Brauen benutzte Blütenstand der Hopfenpflanze genannt

das Bier positiv in der Schaumbildung und vor allem im Geschmack beeinflussen, sie haben ausserdem eine schlaf- und stoffwechselfördernde, sowie eine beruhigende und keimtötende Wirkung. Ausserdem wirkt sich der Hopfen zusätzlich konservierend auf das Bier aus. Die gewollte Bitterkeit wird durch den Alphasäuregehalt (siehe Kapitel 3.5.2) erlangt, welcher je nach Sorte zwischen 2% und 16% schwankt. Die Bitterkeit eines Bieres wird in BE (Bittereinheiten) oder EBU/IBU (European/International Bittering Units) angegeben und steht mit Hopfengewicht, Alphasäuregehalt und Biervolumen in Verbindung. Ausserdem werden Hopfensorten in Aroma- und Bitterhopfen eingeteilt. Der Bitterhopfen hat einen höheren Alphasäurewert und ist demnach auch für die Bitterkeit des Bieres der Hauptindikator, während der Aromahopfen das hopfige Aroma ins Bier überführt. Mit Hopfen können Biere in vielfältiger Weise beeinflusst werden und die Craftbierbewegung zeigt dies durch die grosse Biervielfalt auf.

2.4 Hefe

Während des Gärprozesses spaltet die Hefe den in der Würze³ enthaltenen Zucker in hauptsächlich Kohlensäure und Alkohol auf. Die Hefe wird grundsätzlich in ober- und untergärrige Hefe eingeteilt. Die obergärrige Hefe vergärt die in der Würze enthaltenen Zucker im oberen Bereich der Würze, und die untergärrige Hefe vergärt die Zucker im Umkehrschluss in Bodennähe. Das kommt von der Anordnung der Hefezellen während des Gärprozesses, weil sich obergärrige Hefezellen zusammenschliessen und so eine grössere Angriffsfläche für die aufsteigenden Kohlensäure bieten, steigen diese auf. Untergärrige Hefe vergären eher einzeln, entkommen so der auftreibenden Kraft der Kohlensäure und sinken folglich in Bodennähe. Durchschnittlich arbeitet obergärrige Hefe bei 18-23°C und benötigt für die Hauptgärung 2-4 Tage, wohingegen die untergärrige Hefe zwischen 7-12°C arbeitet und 6-10 Tage für die Hauptgärung benötigt. Da die obergärrige Hefe bei Raumtemperatur arbeitet und ausserdem noch weniger Zeit braucht, macht es sie um einiges attraktiver für Haus- und Hobbybrauer. Neben der Hauptgärung ist auch noch die Nachgärung erforderlich, welche bei Hausbrauern meistens in den Flaschen erfolgt und bei obergärriger Hefe nur 1-2 Monate benötigt, während die untergärrige Hefe ganze 2-4 Monate braucht. Jedes Bier kann ober- oder untergärrig gebraut werden, jedoch hat die Hefe auch eine Auswirkung auf den Geschmack. Die obergärrige Hefe hat einen fruchtigen, spritzigen und aromatischen Einfluss auf das Bier und die untergärrige Hefe macht es weicher, milder und lieblich aromatisch.

3 Würze wird die Flüssigkeit, welche später zum fertigen Bier wird, in jeglichen Braustadien genannt

2.5 (Brau-)Wasser

Da das Wasser circa 90% des Bieres ausmacht spielt dieses eine entscheidende Rolle während dem Brauen. Vor allem sind zwei Faktoren für den Brauprozess essenziell, nämlich die Wasserhärte und der pH-Wert. Die Wasserhärte wird in Karbon- und Nichtkarbonhärte aufgeteilt, wobei Karbonhärte die «Verunreinigung» des weichen Regen- und Quellwassers durch Karbonate, also hauptsächlich Kalzium- und Magnesiumsalze der Kohlensäure, beschreibt. Die Nichtkarbonhärte ist eher unwichtig für den Brauprozess und beschreibt die Anreicherung des Quellwassers mit Schwefelsäure. Zusammen ergeben diese die Gesamthärte, welche in der Schweiz in französischen Härtegraden (fH) angegeben wird. Ein Grad fH entspricht 10 Milligramm CaCO_3 (Kalk) pro Liter, ideal für den Brauprozess wären etwa 21°fH. Das pH-Optimum entspricht 5,4-5,8, aber Wasser mit einem pH-Wert zwischen 3,5-6,5 kann auch als Brauwasser verwendet werden. Das verwendete Brauwasser hat einen Härtegrad von etwa 33°fH und einen pH-Wert von circa 7.45 [B]. Dadurch ist der pH-Wert etwas zu hoch, jedoch wurde das Wasser trotzdem als Brauwasser verwendet, da jedes Wasser mit Trinkwasserqualität als Brauwasser verwendet werden kann, ohne gravierende Auswirkungen auf die Bierqualität zu haben. Nicht optimale pH-Werte und Wasserhärten beeinträchtigen vor allem das Entfalten des Hopfens, was sich auch auf die Schaumbildung auswirkt. Für dunkle und süffige Biere, welche einen niedrigen EBU haben, ist das aber nicht weiter problematisch. Der pH-Wert beeinträchtigt unter anderem die Enzymtätigkeit während des Maischprozesses (siehe Kapitel 3.4.2), doch der pH-Wert des Brauwassers verschiebt sich zum Glück durch das Beifügen der Malze etwas in den sauren Bereich.

3 Mein selbstgebrautes Bier

3.1 Einführung

Es wurden vier verschiedene Biere nach einem Rezept für ein altfränkisches Braunbier gebraut. Die Vorgehensweise weicht in dem Sinne vom Rezept ab, dass die Schüttung verändert wurde (siehe Kapitel 3.3) und kein Stammwürzeausgleich⁴ stattgefunden hat, weil dies nicht notwendig ist und kein Malzextrakt vorhanden war. Die veränderte Schüttung hat eine Auswirkung auf die Bierfarbe und den Stammwürzegehalt, (wird im nächsten Kapitel erklärt) hauptsächlich aber auf den Alkoholgehalt im Bier.

3.2 Die Bierspindel

Um den in mehreren Schritten des Brauvorgangs essenziellen Stammwürzegehalt oder auch die Grad Plato (°P) zu messen benutzt man eine Bierspindel. Sie hat zwei Skalen, eine von 0-25 und eine von 1000-1120. Die erste Skala gibt den Stammwürzegehalt in Prozent respektive Grad Plato an, welcher aussagt wieviel Gramm Zucker oder Extrakt pro 100 Gramm Würze vorhanden sind. Die andere zeigt das Gewicht von einem Liter der Flüssigkeit, in welcher die Bierspindel eingetaucht ist, in Gramm an. Wenn man demnach die Spindel in Wasser eintaucht, ist der untere Meniskus⁵ bei 1000 oder 0°P. Der gemessene Stammwürzegehalt gibt an, wie schwer die Flüssigkeit ist oder anders gesagt, wie viel vergärbare Zucker in der Würze vorhanden sind.



Abb.2
Spindel

3.3 Meine Zutaten & mein Rezept

Für den Brauprozess wurde ein modifiziertes Bierrezept für altfränkisches Braunbier benutzt [A]. Es sind 2200 Gramm statt 2600 Gramm Münchner Malz (17-22 EBC), 1400 Gramm statt 1300 Gramm Wiener Malz (6-9 EBC) und wie nach Rezept, 200 Gramm Weizenmalz (4-6 EBC) verwendet worden. Die 100 Gramm des Caramalzes dunkel (80-100 EBC) und die 25 Gramm des Röstmalzes (800-1000 EBC) im Rezept wurden vernachlässigt, was ein Sinken des EBC-Wertes, also die Bierfarbe, von 48 (sehr dunkel) auf 20 (Braun) bewirkt.

4 Bei einem Stammwürzeausgleich wird vor dem Gärprozess der Stammwürzegehalt mit Wasser oder Malzextrakt so angeglichen, dass der gewollte Wert erreicht wird und Alkoholgehalt, EBC und EBU einheitlich sind.

5 Der Meniskus ist die Wölbung in der Flüssigkeit in einem Gefäß (Reagenzglas), welche durch die Oberflächenspannung entsteht.

Laut Rezept werden 8 Gramm Bitterhopfen mit 7,5 % Alpha-Säure (α) und 20 Gramm Aromahopfen mit 6,5% α gebraucht. Da der Alphasäuregehalt bei der Bestellung nicht genau angegeben wird, sind anschliessend noch Berechnungen nötig, um den entsprechenden EBU-Wert zu erhalten. Als Bitterhopfen ist Hallertauer Perle mit 6,4% α und als Aromahopfen East Kent Goldings mit 5,6% α bestellt worden. Eingemaischt wird bei 40°C, die erste Rast dauert 30 Minuten bei 48°C, die zweite Rast dauert 60 Minuten bei 64°C und die dritte Rast dauert 30 Minuten bei 72°C. Die Kochzeit dauert 90 Minuten und der Bitterhopfen wird zu Beginn hinzugefügt, während 15 Gramm des Aromahopfens zur Mitte und 5 Gramm am Kochende dazugegeben werden. Das Bier sollte einen Stammwürzegehalt von 11,6% haben, welcher aber nicht angeglichen wurde. Es wurden circa 9 Gramm pro 20 Liter der obergärigen Hefe Kveik Yeast M12 bestellt und verwendet.

3.4 Mein Brauverfahren

3.4.1 Allgemeines

Es wurden 14.5 Liter nach Rezept, 15.5 Liter mit verkürzter Hopfenkochzeit (Schnellbräu), 17 Liter mit zusätzlichem Eisen in Form von Brennessel und 18 Liter mit Kardamom als Eisenzusatz mit dem drei-stufigen-Infusionsverfahren gebraut.

3.4.2 Das Maischen (Verarbeitung des Malzes)

Bei diesem Schritt geht es darum, die gewünschten Stoffe des Malzes in die Würze zu extrahieren. Das wird durch das Einhalten von drei sogenannten Rasten erreicht. Eine Rast bedeutet, die Würze bei einer bestimmten Temperatur, welche je nach Rezept variiert, ruhen zu lassen, damit Enzyme darin arbeiten können. Die erste Rast (40-55°C für 25-30 Minuten) ist die sogenannte Eiweissrast oder Protease und wird eingehalten, um Eiweisse durch Enzyme aufzuspalten und bewirkt eine gute Schaumbildung, bessere Klärung, Vollmundigkeit und längere Haltbarkeit. Während der zweiten Rast (60-65°C für 20-30 Minuten), also der β -Amylase- oder Maltoserast, wird die Stärke des Malzes in Malzzucker zerteilt, welche vergärbar sind. Die Dauer dieser Rast erhöht den späteren Alkoholgehalt. Die α -Amylase- oder Verzuckerungsrast ist die letzte Rast (70-74°C für 20-25 Minuten). Sie löst die vergärbaren Zucker in die Würze und bildet Dextrine, das sind nicht-vergärbare Zucker, welche den Alkoholgehalt verringern und das Bier gehaltvoller machen. Nachdem all diese Rasten eingehalten wurden, wird auf Abmischtemperatur, also 76°C, erhöht.

3.4.3 Abläutern/Abmaischen

Bei diesem Schritt wird zuerst der Treber⁶ und direkt anschliessend die Vorderwürze (Hauptguss) in einen anderen Bottich geleert und danach mit dem 76°C heissen Nachguss übergossen. So wird die Würze durch das Malz gefiltert und das Malz wird durch den Nachguss noch möglichst ausgenutzt. Nach zusammengiessen von Vorderwürze (Hauptguss) und Nachguss wird die Würze Pfannevollwürze genannt, diese kann nun für das Hopfenkochen verwendet werden.

3.4.4 Hopfenkochen

Die Pfannevollwürze wird auf 95°C oder höher erwärmt und der Aroma- und Bitterhopfen werden nach Rezept hinzugefügt. Nach 90 Minuten, respektive nach 60 Minuten (zweiter Braugang), ist der Kochvorgang abgeschlossen und die sogenannte Anstellwürze wird über Nacht, oder durch eine Kühlspirale, abgekühlt. Während des Kochvorganges werden die noch vorhandenen Enzyme zerstört, die Würze wird sterilisiert, es werden Eiweisse, Kohlenhydrate und teilweise auch Schwermetallverbindungen ausgeflockt und natürlich werden die Hopfenbestandteile in die Würze gelöst, was die gewünschte Hopfenbittere erzeugt. Normalerweise wirken sich all diese Effekte positiv auf das Bier aus, doch um ein eisenhaltiges Bier herzustellen ist die Ausflockung von Schwermetallverbindungen, die später abgefiltert werden, unerwünscht. Deshalb wurde eines meiner Biere mit verkürzter Kochzeit (das sogenannte Schnellbräu) gebraut, doch um die verringerte Ausnutzung des Hopfens auszugleichen, wurde 20% mehr Bitterhopfen hinzugefügt.

3.4.5 Gärprozess

Während des Gärprozesses werden Kohlenhydrate, durch die Enzyme Maltase und Zymase, in Kohlendioxid, was im Bier als Kohlensäure gelöst ist, und Alkohol gespalten. Das Wichtigste beim Gärprozess ist, dass man den Abfüllzeitpunkt nicht verpasst, denn wenn man zu früh schlaucht,⁷ wird zu viel Kohlensäure in der Flasche gebildet und es kommt zu heftiger Schaumbildung oder im schlimmsten Fall zu so hohem Druck in der Flasche, dass der Kronkorken von der Flasche abspringt. Wenn man zu spät schlaucht, hat man am Schluss fast keine Kohlensäure im Bier und es schmeckt schal. Es wurde dafür eine Methode verwendet,

⁶ Der Treber ist das Malz, von welchem durch den Maischprozess die meisten vergärbaren Zucker bereits extrahiert wurden. Dieser kann und wurde auch dem Mehl beim Backen eines sogenannten Maischebrottes beigefügt, welches einen sehr guten Geschmack aufweist.

⁷ Schlauchen wird das Abfüllen des Jungbieres in Flaschen oder Fässchen genannt

bei welcher man nach Ankommen der Hefe, also wenn die Hefe sichtbar in der Würze arbeitet (zeigt sich durch Schaumbildung), eine Probe nimmt und dieser noch 1 Teelöffel Hefe beifügt. Die Hefe wird beigefügt, damit die sogenannte Schnellvergärungsprobe schneller den Endvergärungsgrad erreicht, also die Hefe komplett vergärt ist und kein CO₂ mehr aufsteigt, dann misst man den Stammwürzegehalt. Dieser gibt an wie viel nichtvergärbare Bestandteile in der Restwürze sind. Um nun den optimalen Abfüllzeitpunkt zu berechnen, muss man 1°P zum Endvergärungsgrad dazurechnen, um so schlussendlich den richtigen Kohlensäuregehalt im Bier zu haben. Nach dem Abfüllen muss man das Bier in Flaschen lagern, respektive nachgären lassen. Grundsätzlich gilt: Je höher die Stammwürze und die Hopfengabe, desto länger die Lagerzeit und je früher der Abfüllzeitpunkt und kälter die Lagertemperatur, desto länger die Lagerzeit. Die Zeit für die Nachgärung schwankt je nach Biersorte zwischen 4-12 Wochen. Nach dem Gärprozess ist das Bier trinkbereit und lässt sich hoffentlich geniessen.

3.5 Brauberechnungen

3.5.1 EBC (Bierfarbe)

Für die Berechnung der Bierfarbe, also den EBC, werden die einzelnen EBC-Werte der Malze, ihr jeweiliges Gewicht, der Stammwürzegehalt und die Kochzeit benötigt.

Da der Stammwürzegehalt nicht angepasst wurde und die Kochzeit von einem Bier verringert wurde, gibt es jeweils einen anderen EBC-Wert pro Bier. Die Resultate sind in der Tabelle am Schluss von Kapitel 3.5.3 aufgeführt und die verwendete Formel befindet sich im Anhang. [I]

3.5.2 Hopfengabe/EBU

Um einen bestimmten EBU-Wert zu erreichen, welcher im Rezept angegeben ist, muss man die richtige Menge an Bitter- und Aromahopfen hinzufügen. Die Hopfenbittere gelangt dann beim Hopfenkochen durch die Isomerisierung⁸ ins Bier. Dafür muss man zuerst die grundsätzliche Alphasäuremenge berechnen um anschliessend die Anteile von Bitter- und Aromahopfen auszurechnen. Laut Rezept wird 20 Liter Bier mit 25 EBU gebraucht und ein 6:4 Verhältnis von aroma- und Bitterhopfen ist gewollt. Für die Ausbeute des Hopfens nimmt man den empirisch bestimmten Wert 27%, weil dieser näherungsweise stimmt. Ausserdem ist der Alphasäuregehalt des Bitterhopfens 6.4% und der des Aromahopfens 5.6%.

⁸ Die Isomerisierung ist die Umwandlung eines Moleküls in ein anderes Isomer; Hopfenbestandteile, also vor allem die Bitterstoffe werden so im Bier gelöst.

Die Genauigkeit der Berechnungen ist sehr unterschiedlich, da jeweils gewisse Faktoren, wie Nachisomerisierung⁹, nicht berücksichtigt werden, deswegen ist mein EBU-Wert schlussendlich nicht, wie ursprünglich gedacht, 25. Eine relativ genaue Berechnung ist diese im Anhang, jedoch wird die Nachisomerisierung, der Hopfenbestandteile, nicht berücksichtigt. Laut der Formel im Anhang variiert der EBU des selbstgebrauten Bieres zwischen 16.5-21.1. Unter Berücksichtigung der Nachisomerisierung liegt dieser jedoch deutlich höher, denn das gebraute Bier wurde über Nacht, statt mit einer Kühlschleife, abgekühlt, was dazu führt, dass der Hopfen längere Zeit im Warmen bleibt. Deshalb wird noch mehr Hopfenbittere, also Alphasäuren, welche die Hopfenbittere verursachen, ins Bier abgegeben, weil die Würze sozusagen nachkocht. Wenn die Würze 30 Minuten auf 90°C Hitze bleibt, entspricht das einer 15-minütigen Kochzeit. Da 20 Liter Wasser ziemlich lange brauchen, um abzukühlen, hat die Nachisomerisierung eine erhebliche Auswirkung auf die Hopfenbittere. In einem Online-EBU-Rechner werden jegliche Faktoren berücksichtigt und der EBU liegt weit über 25 für alle Biere und vor allem weit über den mit der Formel errechneten Werte.

Die errechneten EBU-Werte sind in der Tabelle am Schluss von Kapitel 3.5.3 aufgeführt und die verwendeten Formeln befinden sich im Anhang. [I]

3.5.3 Alkoholgehalt

Der Alkoholgehalt des Bieres wird aus dem Restextraktgehalt¹⁰ und der Stammwürze berechnet. Nach vollständiger Vergärung des Zuckers kann der Restextraktgehalt gemessen werden, welcher am Ende der Schnellvergärungsprobe gemessen werden kann, jedoch ist dieser nicht richtig, da die Dichten von Alkohol und Wasser unterschiedlich gross sind. Der scheinbare Restextraktgehalt muss also in den Tatsächlichen umgerechnet werden, was über den Endvergärungsgrad funktioniert.

Mit der grossen Balling-Formel kann anschliessend der Alkohol in Massenprozent berechnet werden. Der Alkoholgehalt in Massenprozent muss nun durch den Faktor 0,795, welcher in wässriger Lösung für 2-7 Volumenprozent genau ist, dividiert werden, um die gewollten Volumenprozent zu erhalten. Die Formeln, welche für die Berechnung gebraucht wurden, befinden sich im Anhang. [I]

⁹ Die Nachisomerisierung ist die Isomerisierung, welche nach dem Hopfenkochen beim Abkühlen der Würze meist ungewollt geschieht.

¹⁰ Der Restextraktgehalt ist der Stammwürzegehalt, welcher am Ende der Schnellvergärungsprobe gemessen wird und die Hefe alle vergärbaren Zucker vergärt hat. Demnach kann man dadurch ablesen, wie viele vergärbare Zucker in der Würze vorhanden sind.

Braugang\errechneter Wert	EBC-Wert	EBU-Wert	Alkoholgehalt
Urbräu	17,4-22,4	20,24/36	4,7
Schnellbräu	16,4-21,3	21,14/36	4,8
Brennnessel	17,6-22,7	14,42/31	4,64
Kardamom	17,6-22,7	16,5/29	4,66

3.6 Schwierigkeiten und Probleme

Ursprünglich sollte in einer halbprofessionellen Brauerei mit Unterstützung gebraut werden, jedoch war das schlussendlich, aufgrund technischer Probleme, nicht möglich. Also entschied ich mich den Brauprozess zuhause durchzuführen, denn das ist genauso gut umsetzbar. Der bestellte Läuterboden, welcher beim Abläutern benutzt wird, damit der Treber den Auslaufhahn nicht verstopft, war jedoch zu gross und es wurde ein Ersatz für einen Läuterboden gebraucht, denn dieser ist essenziell für den Brauprozess. Schlussendlich wurde aus einem Kissenbezug und einem Dörrexgitter eine Alternative, gebastelt. Zum Glück lief der restliche Brauprozess mit wenigen Schwierigkeiten und ohne Probleme ab.

4 Eisentest

4.1 Einführung

Der Eisengehalt im Bier soll mit einem photometrischen Testverfahren bestimmt werden. Um mehrere auszuwertende Proben verfügbar zu haben, wurden 16 Proben à jeweils 200 Milliliter während den Brauprozessen entnommen. Bei Zugabe des Eisentests verfärbt sich die Probe je nach Eisenkonzentration unterschiedlich stark rötlich und kann so photometrisch nachgewiesen werden. Dafür muss die zu analysierende Bierprobe möglichst farblos sein, damit der Wert der rötlichen Verfärbung nicht durch die Grundfarbe der Bierprobe verfälscht wird.

4.2 Eisentest

Als Eisentest wurde der Spectroquant Eisen-Test von Supelco verwendet. Der Eisentest besteht aus drei Substraten (Salpetersäure, Essigsäure und Ascorbinsäure), mit welchen sowohl die Fe(II)- als auch die Fe(III)-Konzentration ermittelt werden kann. Zuerst gibt man einen Tropfen Salpetersäure (HNO_3) und einen halben Milliliter Essigsäure (CH_3COOH) in die 8 Milliliter Probe und wartet anschliessend 5 Minuten. Proben, welche Fe(II) enthalten, erhalten eine rötliche Verfärbung und die Fe(II)-Konzentration kann photometrisch nachgewiesen werden. Wenn man die Fe(III)-Konzentration messen will, gibt man Ascorbinsäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dazu und misst nun die Fe(II)- und die Fe(III)-Konzentration zusammen, welche auch für das Erstellen der Eichgerade gebraucht wurde. Die Fe(III)-Konzentration kann durch Subtraktion der Konzentration von Fe(II) und Fe(III) zusammen und der Fe(II)-Konzentration berechnet werden. Der Messbereich des Testes liegt bei 0,01-5 Milligramm Eisen pro Liter, bei einem pH-Wert von 2-8 und 5-40°C.

4.3 Photometrie

Die photometrische Messung wird mit einem Photometer gemacht, welches einen Extinktionskoeffizienten einer Flüssigkeit anzeigt. Der Extinktionskoeffizient gibt an, wie viel elektromagnetische Strahlung einer gewissen Wellenlänge absorbiert wird, wenn sie durch die Küvette, welche mit der Probe gefüllt ist, hindurchgeht. Der Anteil des absorbierten Lichts nimmt logarithmisch zu und beträgt bei einem Extinktionskoeffizient von 0,5 68,4%, von 1 90% und von 3 99,9%. Messtechnisch bereiten Extinktionswerte über 2 bereits

Problem, da die geringe Strahlung, welche die Probe durchdringt, schwierig zu messen ist. Bei der photometrischen Analyse von einer rötlichen Flüssigkeit erhält man folgendes Spektrum:

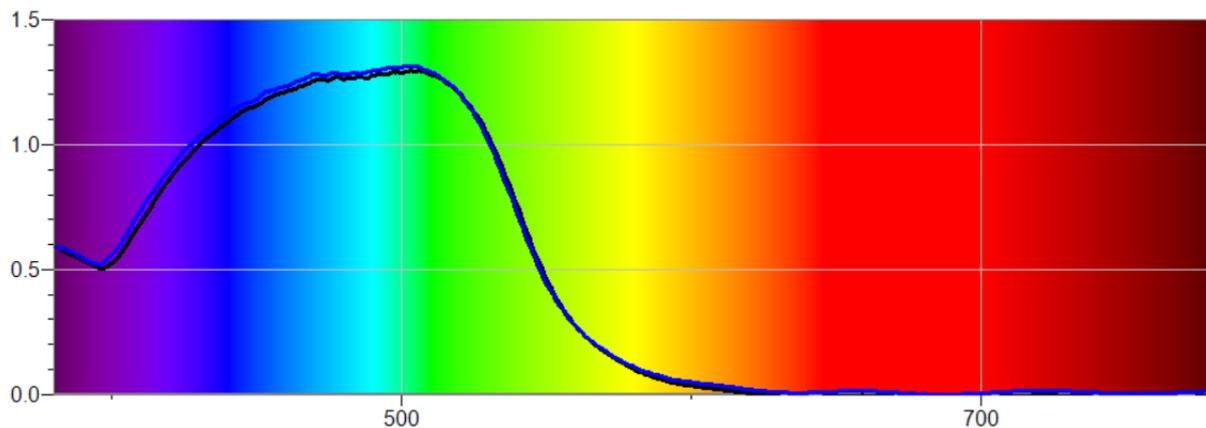


Abb. 3 => Absorptionsspektrum

In dem Graphen ist auf der y-Achse der Extinktionskoeffizient und auf der x-Achse die Wellenlänge in Nanometer abgebildet. Der Graph zeigt ein Absorptionsspektrum von einer Fe(NO₃)₃-Lösung mit der Eisenkonzentration von 10 Milligramm pro Liter, welche mit dem verwendeten Eisentest verfärbt wurde. Im Wellenlängenbereich des blauen bis zum grünen Licht ist die Absorption am grössten und im gelb bis dunkelroten Bereich am kleinsten. Die rot-orange Flüssigkeit lässt demnach viel rotes und oranges Licht durch die Flüssigkeit hindurch und das blaue und grüne Licht wird absorbiert. Die Flüssigkeit erscheint nur wegen dieser Tatsache rot, denn sie absorbiert das Licht im Komplementärbereich.

4.4 Eichgerade

Eine Eichgerade wird erstellt, indem man mehrere Extinktionskoeffizienten von eisenhaltigen Proben mit bekannter Eisenkonzentration misst und diese Extinktionskoeffizienten, wie unten abbildet. Mithilfe von linearer Regression wird die Eichgerade erstellt. Nun kann ein Extinktionskoeffizient einer Probe mit unbekannter Eisenkonzentration gemessen, in der Eichgeraden abgetragen und anschliessend die Eisenkonzentration abgelesen werden. Das für das Erstellen der Eichgerade verwendete Photometer kann mit elektromagnetischen Strahlen von 430, 470, 565, 635 Nanometer Wellenlänge den Extinktionskoeffizienten messen. Da sich die Wellenlängen 565 und 635 Nanometer im Bereich des roten Lichts befinden, ergeben Messungen, mit der gefärbten Fe(NO₃)₃-Lösung bei dieser Wellenlänge, null. Um einen Wert für

die Konzentration zu bestimmen, wurde eine $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung, mit einer Eisenkonzentration von einem Gramm pro Liter, jeweils 200-2'500-fach verdünnt um Eisenkonzentrationen von 5-0,4 Milligramm pro Liter zu erhalten. Die Eisennitrat-Lösung enthält ausschliesslich $\text{Fe}(\text{III})$ (also Fe^{3+}) demnach sollte nach dem Hinzufügen von Salpeter- und Essigsäure noch keine Verfärbung zu sehen sein, da nach beifügen dieser zwei Substraten erst die $\text{Fe}(\text{II})$ -Konzentration gemessen werden soll. Die Verfärbung nach Zugabe von den zwei Substraten wurde bei der Eisennitrat-Lösung auch als vernachlässigbar klein gemessen. Nach der Zugabe von Ascorbinsäure verfärbten sich die

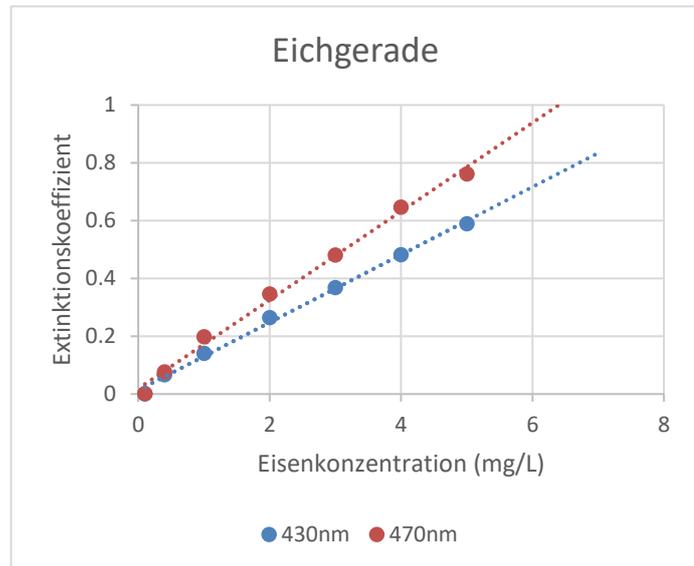


Abb. 4 => Eichgerade

Proben wenig bis sehr stark rötlich und es wurden, die in Abbildung 4 abgebildeten Extinktionskoeffizienten gemessen. Diese Eichgerade kann nun verwendet werden, um die Eisenkonzentration einer farblosen Flüssigkeit zu bestimmen, indem man den Extinktionskoeffizienten der Lösung mit unbekannter Eisenkonzentration bestimmt und die dazugehörige Eisenkonzentration abliest.

4.5 Entfärbung

Die bekannteste und effiziente Methode für eine Entfärbung ist die Filtration über Aktivkohle. Diese wurde anfangs auch verwendet, da nach mehrmaligem Filtern durch Aktivkohle die Flüssigkeit beinahe komplett farblos erscheint. Jedoch wurde festgestellt, dass Aktivkohle auch sämtlich Eisen-Atome herausfiltert. Da vor dieser Feststellung noch keine farblose und eisenhaltige Flüssigkeit vorhanden war und beim ersten kontrollieren, ob Aktivkohle Eisenatome herausfiltert, die Flüssigkeit nur einmal durch den Filter mit Aktivkohle gelassen wurde, wurde erst spät festgestellt, dass die Filtration mit Aktivkohle alle Eisenatome herausfiltert. Demnach musste eine andere Entfärbungsmethode gefunden werden, was sich jedoch als ziemlich schwierig herausstellte. Da die Eisenkonzentration in den Proben an der unteren Grenze des Eisentestes liegt, war einfaches verdünnen, um die Flüssigkeit möglichst farblos zu machen, nicht möglich. Die Verwendung eines starken Oxidationsmittels, wie zum

Beispiel Wasserstoffperoxid (H_2O_2) war die nächste Idee, jedoch war die Reaktion mit Wasserstoffperoxid nicht zielführend, da diese die braun gefärbten Bierproben nicht entfärbten. Die erfolgreichste Methode ist die Entfärbung mit Javelwasser, jedoch hat auch diese ihre Nachteile. Das Javelwasser entfärbt die Proben nur bis zu einem gewissen Masse, das heisst die Proben sind fast identisch bei Zugabe von 5 und 15 Millilitern Javelwasser auf 5 Milliliter Probeflüssigkeit. Die meisten Proben sind dann zu trübe und der Extinktionskoeffizient dieser Proben ohne Eisentest liegt bereits über 0.5, weil die Trübung die elektromagnetischen Strahlungen zurückhält. Bei der Vorderwürze zeigt der Eisentest zwar eine klare Verfärbung aber die Konzentration ist unbestimmbar, da die «entfärbte» Probe besonders trüb ist. Die Proben, welche sich durch Javelwasser ausreichend entfärben lassen, haben eine zu geringe Verfärbung durch den Eisentest und sind deshalb auch nicht auswertbar.

4.6 Schwierigkeiten während des Eisennachweises

Schwierigkeiten gab es während der Arbeit im Labor viele. Ursprünglich gedacht war, die Eichgerade durch Lösungen mit bekannten Konzentrationen, welche mit verschiedenen Salzen hergestellt werden, zu erstellen. Der Eisentest zeigte bei mehreren Eisensalzen, welche hauptsächlich Fe(III) enthalten sollten, eine höhere Fe(II)- als Fe(III)-Konzentration an und darum wurde die oben erwähnte Fe(III)-Lösung gekauft. Die Eisenkonzentration in den Proben sind an der unteren Testgrenze des Eisentestes, was einen Nachweis erschwert. Deshalb wurde ein Eindampfen der Proben in Betracht gezogen, um die Konzentration zu erhöhen. Jedoch flockten die Proben während des Prozesses aus. Es stellte sich heraus, dass in den Flocken Eisen enthalten sein muss, da der Eisentest mit und ohne Filtration eine andere Verfärbung anzeigt. Eine weitere Alternative, welche in Betracht gezogen wurde, ist die Reduktion von Eisen durch Magnesium. Die Standardpotenziale von Fe^{2+} und Fe^{3+} sind beide grösser als das von Magnesium und könnten so zu fester Form reduziert werden. Die anderen reduzierten Stoffe könnten vom Eisen getrennt werden, da das Eisen magnetisch ist. Den Versuch Magnesium in die eisenreichste Probe zu stellen, zeigte leider keine positiven Ergebnisse. Das Magnesiumband zeigt zwar eine Veränderung, wo es in der Würze stand, jedoch war es kein bisschen magnetisch.

5 Resultate und Werte

5.1 Stammwürze

5.1.1 Erwartete Werte und Messresultate

Da der Stammwürzegehalt beschreibt wie viel Extrakte, also vergärbare Zucker, noch in der Würze vorhanden sind, ist zu erwarten, dass dieser Wert hoch vor der Gärung ist, weil dort die Extrakte vergärt werden. Während der Gärung sollte dieser Wert dann sinken. Es wird ausserdem erwartet, dass er nach dem Abläutern hoch ist, da die vergärbaren Zucker aus dem Malz kommen. Die Vorderwürze sollte einen der höchsten Stammwürzegehalte haben und die Nachgüsse einen kleineren, da die Ausbeute während des Maischprozesses am grössten ist. Der Stammwürzegehalt der Anstellwürze sollte nach Rezept 11.6°P betragen und viele Brauer passen diesen mit Wasser oder Malzextrakt an. Das wurde jedoch nicht für nötig empfunden, denn es vereinheitlicht nur die Werte, welche von Bier zu Bier variieren können.

Stammwürze [°P/%]	Urbräu	Schnellbräu	Brennnessel	Kardamom
Vorderwürze	17.5	19.46	17.7	18.9
Nachguss 1	10.11	6.63	10.9	8
Nachguss 2	4.9	3.6	3.9	3.8
Nachguss 3	3	2.5	3.44	2.4
Nachguss Gesamt	7	5.6	6.9	6.5
Anstellwürze	12.32	12.12	12.5	12.5
Schnellvergärungsprobe	3.3	3	3.7	3.65
Abfüllzeitpunkt	4.5	4.1	4.7	4.65

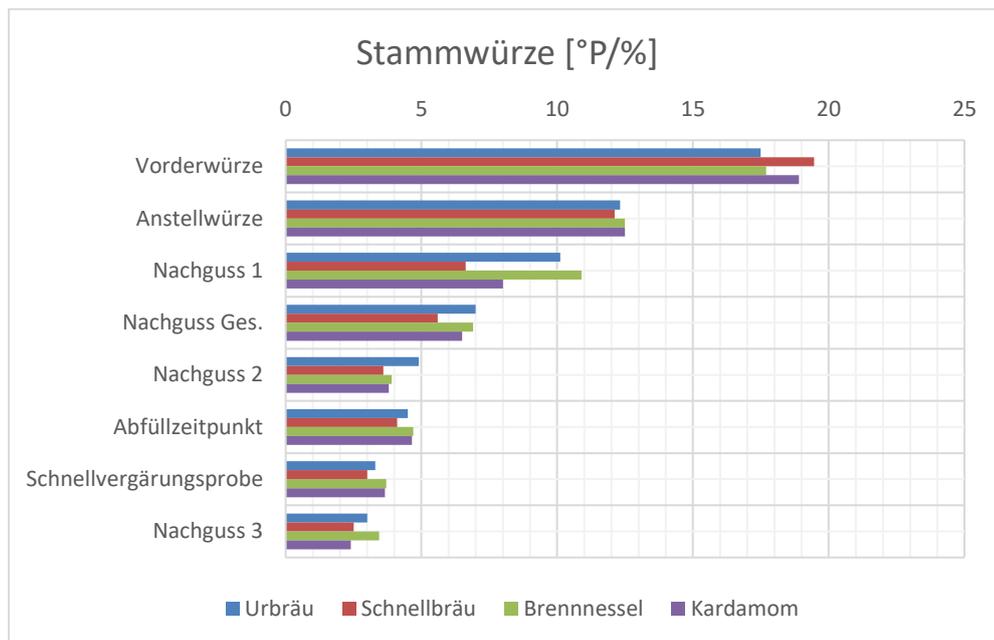


Abb. 5 Stammwürze Diagramm

5.1.2 Interpretation der Messwerte

Der Stammwürzegehalt der Vorderwürze ist der höchste, was zeigt, dass das Malz den ganzen Zucker in das Bier bringt. Die Schwankungen gleichen sich bei den Nachgüssen wieder aus. Der kleinere Wert beim normalen Bier (Urbräu) lässt sich durch den fehlenden Läuterboden begründen. Beim dritten Wert, dem Brennesselbier, lässt sich der zu niedrige Wert durch zu schnelle Erwärmung und nicht akkurates Einhalten der ersten Rast erklären, oder durch einen Einfluss des Brennesselsudes, welcher nur als Hauptguss benutzt wurde. Dieser könnte sich auf die Zuckerabgabebereitschaft des Malzes oder auf die Zuckeraufnahmebereitschaft der Würze auswirken. Die Anstellwürzen haben Stammwürzegehalte von 12.12-12.5°P. Der Stammwürzegehalt ist aber höher als im Rezept vorgesehen, was vor allem den Alkoholgehalt beeinflusst. Ansonsten entsprechen die Werte den Erwartungen ziemlich genau.

5.2 Eisenkonzentration

5.2.1 Messresultate und erwartete Werte

Wegen den Problemen bei der Entfärbung können keine konkreten Eisenwerte präsentiert werden. Doch die Eisenkonzentration in Bieren liegt zwischen 9-100 Mikrogramm pro Liter. [D][E][F] Erwartet waren Werte in diesem Bereich. Es wurden vier Eisenproben pro Braugang genommen, also standen insgesamt 16 Proben zur Verfügung. Es wurde jeweils

eine Probe von der Vorderwürze, also dem Hauptguss, dem Nachguss, also allen drei Nachgüssen zusammen, der Anstellwürze, also der Würze vor der Hefegabe und dem Jungbier, also der geschlauchten Würze, genommen. Die Eisenwerte der Vorderwürzen sollten am höchsten sein, da der Hauptguss (die Vorderwürze) lang mit dem Malz, von welchem ein Grossteil des Eisens im Bier kommt, in Berührung war und sie noch nicht mit dem weniger gehaltvollen Nachguss vermischt wurde. Für die Nachgüsse wird eine geringe Eisenkonzentration erwartet, da sie nur über das Malz gegossen werden, um die restlichen Extrakte aus dem Malz herauszubekommen. Sie sind nur kurz mit dem Malz in Berührung. Die Eisenkonzentration der Anstellwürze wird niedriger erwartet als die der Vorderwürze. Zwar kommt mit dem Hopfenkochen zusätzlich Eisen in die Würze und der Hopfen hat die höchste Eisenkonzentration von allen Zutaten, aber die quantitative Menge des Hopfens ist sehr viel geringer als die des Malzes. Ausserdem wird nach dem Hopfenkochen die Würze abgekühlt und viele Inhaltsstoffe, darunter auch Schwermetalle, flocken aus und diese Ausflockungen werden vor der Hefegabe herausgefiltert. Die Eisenkonzentration des Jungbieres wird etwa gleich erwartet, wie die der Anstellwürze, denn durch die Hefegabe kommt Eisen ins Bier, aber grosse Teile davon kommen nicht in die Flasche, sondern bleiben als Sedimente zurück. In den Braugängen mit Brennessel wird in der Vorderwürze, der Anstellwürze und im Jungbier eine höhere Eisenkonzentration erwartet, aber nicht im Nachguss, da die Brennesseln vor dem Brautag in den Hauptguss eingekocht wurden. Bei dem Brennesselsud zeigte der Eisentest eine Verfärbung. In dem Hauptguss, welcher 13.3 Liter fasst, wurden 1,4 Kilogramm Brennesseln hinzugefügt, also mit einer Konzentration von 105 Gramm Brennesseln pro Liter. Brennesseln enthalten 3-5.5 Milligramm Eisen pro 100 Gramm. [G][H] Wenn das ganze Eisen aus der Pflanze, durch 30-minütiges Kochen, extrahiert wurde und beim Abläuterungsprozess kein Eisen verloren ging, sollte die Vorderwürze eine Eisenkonzentration von 3.15-5.78 Milligramm pro Liter haben. Da der Eisentest jedoch keine auffällige Verfärbung bei der Probe zeigte, kann man davon ausgehen, dass der Grossteil des Eisens während des Brauprozesses verloren ging. Die Proben mit Kardamom als Zusatz sollten ebenfalls eine höhere Eisenkonzentration als Braugang 1 und 2 haben, da zur Schüttung 53 Gramm Kardamom dazugegeben wurden. Kardamom beinhaltet 14 Milligramm Eisen pro 100 Gramm. Es sollten zusätzlich 0,56 Milligramm Eisen pro Liter Vorderwürze sein. Es wird angenommen, dass dieser Wert wahrscheinlich zu klein ist, um klare Unterschiede mit dem Eisentest messen zu können.

5.3 Eigenes Bier

5.3.1 Auswertung

Beim Öffnen des Urbräus ist eine regelrechte Schaumfontäne ausgetreten. Der Schaum blieb trotzdem lange stabil und feinblasig, auch wenn zu viel davon vorhanden war. Das Bier ist trüb und die Farbe ist ziemlich dunkel, aber unschön. Geschmacklich ist das Urbräu stark hefig und nicht spritzig, ausserdem nicht bitter. Die Vollmundigkeit lässt auch zu wünschen übrig und der Hefegeschmack überlagert die anderen Geschmäcker. Das Urbräu ist somit ein nur schlecht trinkbares Bier.

Das Schnellbräu schäumt gar nicht beim Öffnen und der Schaum im Glas ist weniger konstant als der des Urbräus. Der Schaum ist, trotz zu schnellem Verschwinden und dessen Grobblasigkeit, ziemlich gut. Das Bier ist auch relativ trüb und enthält kleine Stücke, doch sonst ist die dunkle Farbe ausreichend. Geschmacklich ist das Schnellbräu wie das Urbräu, nur das es weniger hefig und herber ist. Auch die Spritzigkeit ist besser als die des Urbräus.

Das Brennnesselbier hat eine schönen stabilen, aber einen bisschen zu grobblasigen Schaum. Die Farbe ist, im Gegensatz zu den anderen Bieren, nicht trüb. Sie ist sehr schön anzusehen und hat einen schönen Glanz. Geschmacklich ist das Bier gut, vor allem im Gegensatz zu den anderen Bieren. Es ist zwar weniger spritzig als das Schnellbräu, aber hat sonst mehrere verschiedenen Geschmacksnuancen und schmeckt nicht hefig. Es hat eine bittere Note und eine angenehme Vollmundigkeit, ausserdem schmeckt man ein bisschen von der Brennnessel raus.

Der Schaum des Kardamombieres ist weniger überzeugend als der der anderen Biere, dafür ist die Farbe fast so gut wie die des Brennnesselbieres. Diese ist nämlich braun, nicht sehr trüb und leicht glänzend. Erstaunlicherweise ist das Bier besser als alle anderen. Es hat eine gute Spritzigkeit, eine feine Bitterkeit und eine schöne Vollmundigkeit. Das Bier ist sehr gut trinkbar. Es folgt eine Bewertungstabelle, in welcher die Biere in drei Kategorien, nämlich Schaum, Farbe und Geschmack, nach dem Schweizer Notensystem bewertet werden.

Bewertungstabelle (1-6)	Urbräu	Schnellbräu	Brennnessel	Kardamom
Schaum	5	4.5	5	4.5
Farbe	3	4	5.5	5
Geschmack	2	3	4.5	5

5.3.2 Interpretation

Das Urbräu überschäumte sehr stark. Da die anderen drei Biere beim Öffnen nicht so geschäumt haben, obwohl der Abfüllzeitpunkt bei allen ungefähr gleich gewählt wurde, kann die Ursache nicht ein zu frühes Schlauchen sein. Es handelt sich also ziemlich sicher um sogenanntes Gushing. Man unterscheidet zwischen primärem und sekundärem Gushing, während beim primären Gushing das Braugetreide und bei sekundärem, Verunreinigungen im Bier die Ursachen dafür sind. Da bei allen Braugängen dasselbe Braugetreide verwendet wurde handelt es sich ziemlich sicher um sekundäres Gushing, von welchem genaue Ursachen noch Erforschungspotential haben. Die selbstgebrauten Biere haben eine grössere Trübe, als man es sich von dem handelsüblichen Bier gewöhnt ist. Das liegt daran, dass die Filtration nach dem Hopfenkochen zuhause nicht so gut funktioniert, wie in Grossbrauereien. Grundsätzlich haben alle vier Biere einen Bodensatz, welcher das Bier extrem trübt, wenn dieser mit dem Bier vermischt wird. Auffallend ist der sich stark verbessernde Geschmack der Biere, jedoch gibt es keine klare Begründung dafür. Am wahrscheinlichsten liegt es daran, dass der Brauprozess von Mal zu Mal leichter verlief und sich eine Routine bildete. Überraschend sind die grossen Unterschiede in Farbe und Geschmack und die geringen in der Schaumqualität. Generell wurden alle Braugänge sehr ähnlich gehandhabt, aber trotzdem ist grundsätzlich eine klare Verbesserung zu sehen.

6 Danksagung

Herzlich danke ich Rainer Steiger, welcher mir gute Tipps, Ratschläge und Kritik gab. Er hat mich sehr gut und angenehm durch die ganze Arbeit geleitet und bei Problemen im Labor neue Ideen und Problemlösungen vorgeschlagen. Ausserdem danke ich Sonja Auer, der Chemieassistentin der Kantonsschule Schaffhausen, welche bei der Arbeit im Labor immer sehr hilfsbereit war. Sie hat mich bei offenen Fragen unterstützt und war somit eine grosse Hilfe. Der Kantonsschule Schaffhausen, welche mir die Arbeit im Labor ermöglichte und die benötigten Materialien zur Verfügung stellte wird auch ein Dank ausgesprochen. Ich danke auch Andre Looser, welcher mir ein Buch vorgeschlagen hatte [A] und sich für bereit erklärte mich bei meinen Vorhaben zu unterstützen. Leider konnte ich nicht wie geplant bei ihm brauen, doch ich durfte bei einem seiner Brauprozesse mithelfen, was mir einen guten Einblick über das Brauen brachte. Ein spezieller Dank geht an meine Familie, welche mich, während den Brauprozessen, während des Schreibens und während der ganzen Arbeit tatkräftig und konstruktiv unterstützt hat. Ich danke meinen Brauhelfern Vera Ulmer, Nick Höhneisen, Emmanuel Schärer und Michelle Gnädinger, welche jeweils bei den Brauprozessen zu Hilfe waren. Nochmals danke ich Michelle Gnädinger, denn sie hat zusätzlich meine Arbeit gegengelesen und die Etiketten für meine Biere designt. Für das Gegenlesen der Arbeit danke ich ausserdem Nora Ruppel, Lars Ulmer, Fabian Stocker und Rainer Steiger.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 => Titelbild (selbst aufgenommen)	1
Abbildung 2 => EBC-Wert Tabelle [C]	3
Abbildung 3 => Bierspindel (selbst aufgenommen)	6
Abbildung 4 => Absorbtionsspektrum (serbst erstellt)	13
Abbildung 5 => Eichgerade (selbst erstellt).....	14
Abbildung 6 => Stammwürze Diagramm (selbst erstellt).....	17

Literaturverzeichnis

- [A] Kling, Klaus; (2006), Bier selbst gebraut, 5.Auflage (2017), Göttingen
- [B] SH POWER; Qualität im Glas (<https://www.shpower.ch/private/wasser-und-abwasser/wasser/qualitaet.html>) [aufgerufen 21.10.2022]
- [C] Giesinger, Manuel; 11 Bierbegriffe (<http://www.bier-entdecken.de/11-bier-begriffe/>) [aufgerufen 19.10.2022]
- [D] SBV (Schweizer Brauereiverband) Rund ums Bier (<https://bier.swiss/rund-ums-bier/bier/inhaltsstoffe/>) [aufgerufen 19.10.2022]
- [E] Filik, Hayati; Cloud point extraction for speciation of iron in beer samples by spectrophotometry (2011) [aufgerufen 19.10.2022]
- [F] P.C. Wietstock; Uptake and Release of Ca, Cu, Fe, Mg, and Zn During Beer Production (2015) [aufgerufen 19.10.2022]
- [G] Philipp Graf Montgelas; Brennessel – die wichtigsten Fakten (<https://www.speisekarte.de/blog/2012/03/08/wussten-sie-schon-brennessel>) [aufgerufen am 20.10.2022]
- [H] Koradi, Martin; Phytotherapie Seminare (<https://phytotherapie-seminare.ch/2020/08/18/brennessel-eisengehalt>) [aufgerufen am 20.10.2022]
- [I] Wolf, Sandro; Maische, Malz und Mehr (<https://www.maischemalzundmehr.de/>) [aufgerufen am 21.11.2022]

Anhang**Brauberechnungen:**EBC-Wert

$$EBC = \frac{EBC_1 \times m_1 + EBC_2 \times m_2 + EBC_3 \times m_3}{m_{\text{Schüttung}}} \times \frac{\text{Stammwürze}}{10 + 1.5 \times \text{Kochzeit}/60}$$

EBC_n =EBC-Wert des jeweiligen Malzes

m_n =Masse des jeweiligen Malzes

$m_{\text{Schüttung}}$ =Masse aller Malz zusammen

EBU-Wert

Alphasäuregesamtmenge:

$$Asm = \frac{EBU}{\text{Ausbeute} \times 10} \times \text{Liter} = \frac{25}{270} \times 20 = 1,85 \text{ Gramm Alphasäure}$$

Bitterhopfenanteil:

$$Ba = \frac{Asm \times Bh(\%)}{Bh\alpha} = \frac{1,85 \times 40}{6,4} = 11.6 \text{ Gramm Bitterhopfen}$$

Aromahopfenanteil:

$$Aa = \frac{Asm \times Ah(\%)}{Aha} = \frac{1,85 \times 60}{5,6} = 19.8 \text{ Gramm Aromahopfen}$$

EBU-Wert:

$$EBU = \left(\frac{\text{Hopfen}_1 \times \alpha\text{-Säurewert}_1 + \text{Hopfen}_2 \times \alpha\text{-Säurewert}_2 \times 10}{\text{Biervolumen}} \right) \times (1.65 \times 0,000125^{(0,004 \times \text{Stammwürzegehalt})} \times \left(\frac{1 - e^{(-0.04 \times \text{Kochzeit})}}{4.15} \right))$$

Alkoholgehalt

$$\text{Endvergärungsgrad} = \frac{(\text{Stammwürze} - (\text{scheinbarer}) \text{Restextraktgehalt})}{\text{Stammwürze}} \times 0.81$$

$$\text{tatsächlicher Restextraktgehalt} = \text{Stammwürze} \times (1 - \text{Endvergärungsgrad})$$

$$\text{Stammwürze} = \frac{(\text{Alkoholgehalt} \times 2,0665 + \text{Restextrakt}) \times 100}{100 + \text{Alkoholgehalt} \times 1,0665}$$

[I]

	Urbräu	Schnellbräu	Brennnessel	Kardamom
Vorderwürze [°P]	17.50	19.46	17.70	18.90
Nachguss 1 [°P]	10.11	6.63	10.90	8.00
Nachguss 2 [°P]	4.90	3.60	3.90	3.80
Nachguss 3 [°P]	3.00	2.50	3.44	2.40
Nachguss Ges. [°P]	7.00	5.60	6.90	6.50
Anstellwürze [°P]	12.32	12.12	12.50	12.50
Schnellvergärungsprobe [°P]	3.30	3.00	3.70	3.65
Abfüllzeitpunkt [°P]	4.50	4.10	4.70	4.65
Alkoholgehalt [vol. %]	4.62	4.55	4.69	4.69
Alkoholgehalt (Webseite)	4.70	4.80	4.64	4.66
t bis Schlauchzeitpunkt [h]	44.25	42.00	50.00	45.00
Kochzeit [min]	90.00	60.00	90.00	90.00
EBC von	17.36	16.36	17.58	17.58
EBC bis	22.42	21.34	22.71	22.71
Ausbeute [Flaschen]	29.00	31.00	34.00	36.00
Ausbeute [Liter]	14.50	15.50	17.00	18.00
Biervolumen [Liter]	15.50	16.50	18.00	19.00
Bitterhopfengewicht [g]	11.50	14.00	11.50	11.50
Aromahopfengewicht [g]	20.00	20.00	20.00	20.00
ges. Hopfengewicht [g]	31.50	34.00	31.50	31.50
Ausnutzung von [%]	27.00	23.00	27.00	27.00
Ausnutzung bis [%]	30.00	25.00	30.00	30.00
EBU von	19.98	16.16	17.21	16.30
EBU bis	22.15	17.51	19.08	18.07
EBU (genau)	20.24	21.14	17.42	16.50
EBU (Webseite)	36.00	36.00	31.00	29.00
Schlauchdatum	14.09.2022	20.09.2022	27.09.2022	13.10.2022

	Münchener Malz	Wiener Malz	Weizenmalz	Schüttung gesamt
Gewicht [kg]	2.2	1.4	0.2	3.8
EBC von	17	6	4	
EBC bis	22	9	6	

	Alphasäuregehalt
Bitterhopfengewicht [g]	6.4
Aromahopfengewicht [g]	5.6
Alphasäuregesamtmenge	1.85