



Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie

SS 2018

Bachelor Arbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Stabilität von Lycopin während des Gärungsprozesses beim Bier

Autor: Sabrina Mann

Betreuer: Dr. Enriqueta Martinez-Rojas
Prof. Dr. Marco Ebert

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2018-0036-5

Abstract

The aim of this thesis is to analyze the stability of lycopene during the fermentation process in beer. Lycopene is a red carotenoid and due to its nonpolar character insoluble in water. Another possible complication is that the yeast will metabolize the color pigments.

In this thesis, beers with different malt composition were produced. The lycopene was added in the fermentation process. To determine a change in color, the beers were analyzed with the $L^*a^*b^*$ -color system and a thin-layer chromatography (TLC) from the time of the fermentation process due to the finished beer. In the TLC analyze there were different solvent mixtures used for the mobile phase, but neither of them could separated the carotenoids.

The measurements with the $L^*a^*b^*$ -system has showed a reduction of the red color during the process. Without a quantitative and qualitative identification of the analytes this method produced no clear results that showed a reduction of lycopene. In further studies there should be involved another chromatography with p.e. a HPLC, or the use of other solvent mixtures in the TLC.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Wissenschaftliche Grundlagen	2
2.1	Rohstoffe zur Herstellung eines untergärigen Bieres	2
2.1.1	Gerste	2
2.1.2	Hopfen	3
2.1.3	Wasser	4
2.1.4	Hefe	5
2.2	Bierherstellung	6
2.2.1	Rechtliche Grundlagen	6
2.2.2	Schroten des Malzes	6
2.2.3	Herstellen der Maische	7
2.2.4	Abläutern	8
2.2.5	Würzekochen	8
2.2.6	Whirlpool und Würzekühler	9
2.2.7	Gärung	9
2.2.8	Reifung	10
2.3	Lycopin	11
3	Material und Methoden	13
3.1	Bierherstellung	13
3.2	Bestimmung der reduzierenden Zucker nach Miller	17
3.3	Bestimmung des FAN nach der Ninhydrin-Methode	18
3.4	Bestimmung des Ethanol-Gehaltes	21
3.5	Bestimmung der Farbe mit dem L*a*b*	22
3.6	Dünnschichtchromatographie	23
3.7	Statistische Auswertung	25
4	Ergebnisse	26
4.1	Bierherstellung	26

IV

4.2	Bestimmung der reduzierenden Zucker nach Miller.....	27
4.3	Bestimmung des FAN	28
4.4	Bestimmung des Ethanol-Gehaltes	29
4.5	Bestimmung der Farbe im L*a*b*-Farbraum.....	30
4.6	Dünnschichtchromatographie.....	34
5	Diskussion.....	38
6	Zusammenfassung.....	41
7	Literaturverzeichnis	42
8	Abbildungsverzeichnis.....	44
9	Tabellenverzeichnis	45
	Anhang	50

Abkürzungsverzeichnis

AcOH	Essigsäure
ADH	Alkoholdehydrogenase
AL	Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
bidest. Wasser	bidestilliertes Wasser
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
DC	Dünnschichtchromatographie
dest. Wasser	destilliertes Wasser
DEE	Dieethylether
EBC	European Brewery Convention
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
FAN	freier Aminostickstoff
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie/ high performance liquid chromatography
Lsg.	Lösung
MeOH	Methanol
red. Zucker	reduzierende Zucker
TLC	Thin-layer chromatography
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UV	ultraviolettes Licht
VIS	sichtbares (engl. visible) Licht

1 Einleitung

Im Rahmen eines interdisziplinären Seminars zur Machbarkeitsanalyse eines Campus-Bieres kam der Vorschlag ein rotes Bier zu produzieren, welches mit dem Farbpigment Lycopin angereichert wird. Ziel des außergewöhnlichen Bieres ist es, sich von den konventionellen Biermarken abzugrenzen. Das Campus-Bier würde an diversen Hochschulveranstaltungen wie z. B. dem Hochschultag verkauft werden. Auch auf Messen und als "Mitbringsel" könnte das Produkt in Umlauf gebracht werden, um andere auf die Hochschule aufmerksam zu machen. Es wäre ein Alleinstellungsmerkmal, welches die Fakultät von anderen Einrichtungen abheben würde. Gerade für die Hochschule Neubrandenburg wäre die Herstellung eines Campus-Bieres ein gutes Markenzeichen, da es den kompletten Fachbereich Agrarwissenschaft und Lebenswissenschaften (AL) mit den Studiengängen Agrarwirtschaft, Diätetik und Lebensmitteltechnologie wiederspiegelt. Während des Seminars haben sich Studierende aus dem kompletten Fachbereich AL zusammengefunden und sich mit dem Wertschöpfungskreis, von der Herstellung, über die Produktion bis hin zu den ernährungswissenschaftlichen Aspekten, beschäftigt. Ein rotes Bier würde einerseits die Farbe der Hochschule wiederspiegeln, andererseits besitzt das Farbpigment einige ernährungsphysiologische Eigenschaften, die sich positiv auf den Körper auswirken können. Neuere Studien zeigen, dass es unter anderem vorbeugend gegen Alzheimer und Herz-Kreislauf-Erkrankungen wirken soll. Des Weiteren kann eine Einnahme von Lycopin das Risiko an Krebs zu erkranken minimieren (Pham-Huy et al., 2008). Lycopin gehört zur Gruppe der Carotinoide und ist aufgrund seiner langen Kohlenstoffkette ein unpolarer Stoff, weshalb er nahezu unlöslich in Wasser ist. Des Weiteren ist es möglich, dass die Hefe das Farbpigment verstoffwechselt und während des Gärungsprozesses abgebaut wird. Dementsprechend ist es Ziel der Arbeit zunächst die Stabilität von Lycopin während des Gärungsprozesses im Bier zu untersuchen. Hierzu werden Biere mit unterschiedlicher Malzzusammensetzung hergestellt. Im Anschluss wird das Lycopin zusammen mit der Hefe hinzugefügt. Die Farbe wird mittels L*a*b*-Messgerät ab dem Zeitpunkt der Gärung bis hin zum fertig gereiften Bier bestimmt. Anschließend wird die Differenz zwischen den einzelnen Reifeprozessen ermittelt und unter den Biersorten verglichen. Der Vergleich soll zeigen, inwieweit das Lycopin sich in den unterschiedlichen Ansätzen verhält. Des Weiteren wird zur quantitativen und qualitativen Bestimmung ab dem Zeitpunkt der Lycopinzugabe jeder Prozessschritt mittels Dünnschichtchromatographie analysiert. Hierfür werden unterschiedliche Laufmittel verwendet und die DC-Platten werden anschließend bei einer Wellenlänge von 366 nm und 254 nm ausgewertet.

2 Wissenschaftliche Grundlagen

2.1 Rohstoffe zur Herstellung eines untergärigen Bieres

2.1.1 Gerste

Die Gerste (*Hordeum vulgare*) gehört der Familie der Süßgräser an und wird je nach Zeitpunkt der Aussaat in Sommer- und Wintergerste unterteilt. Je nach Einteilung der Blüten pro Ährenabsatz werden diese nochmal in zwei- und mehrzeilige Gersten geteilt. Für den Brauprozess wird vor allem die zweizeilige Sommergerste verwendet. Sie besitzt im Vergleich zu anderen Gerstenarten eine leicht regelbare Keimung (Kunze, 2016). Der Wassergehalt in der Braugerste liegt bei 12-20 %, dementsprechend besitzt sie einen Gehalt an Trockensubstanz von 80-88 %. Diese lassen sich in Aschegehalt, also die anorganischen Bestandteile und in organische Verbindungen unterteilen. Stärke ist eine organische, stickstoffreiche Verbindung und macht über die Hälfte der Trockensubstanz aus. In der Stärke befindet sich zu 76-83 % das Polysaccharid Amylopectin und zu 17-24 % Amylose. Die Amylose dient im späteren Maischeprozess als Indikator für die Iodprobe. Wird diese nicht enzymatisch zu Maltose abgebaut, verfärbt sich die Iodprobe blau. Neben den beiden Polysacchariden befinden sich auch noch Cellulose in der Braugerste. Diese dient den Spelzen als Gerüstsubstanz und ist für das spätere Abläutern von Bedeutung. Des Weiteren enthält die Gerste noch einige Mono-, Di- und Trisaccharide, welche jedoch nur einen Gesamtanteil von max. 3 % ausmachen (Narziss, 2005). In der Gerste sind neben den Kohlenhydraten auch 10,0-11,5 % Protein enthalten. Diese haben Einfluss auf das kolloidale Gefüge des Bieres und wirken sich aufgrund seines amphoteren Charakters und seiner Quellbarkeit positiv auf die Schaumstabilität aus (Narziss, 2016). Lipide sind zu ca. 2 % in der Gerste enthalten und verbleiben nach dem Abläutern im Treber. Verbleiben diese jedoch in der Würze können diese zu Carbonylen weiterreagieren und den Geschmack des Bieres beeinflussen (Heyse, 1995). Weitere Inhaltsstoffe, welche sowohl den Geschmack als auch das Bier beeinflussen, sind die Polyphenole. Sie sind zu 0,1-0,3 % auf die Trockensubstanz gerechnet in der Gerste enthalten.

Für den Brauprozess muss die Gerste zunächst gemälzt werden. Der Mälzvorgang beschreibt das Vorkeimen des Korns. Während dem Mälzen werden die Amylasen, welche in der Braugerste enthalten sind, freigesetzt und aktiviert. Diese werden für den späteren Brauprozess benötigt, um die Stärke in Einfachzucker spalten kann. Die Keimfähigkeit der zweizeiligen Gerste ist mit min. 96 %, im Vergleich zu anderen Malzen hoch (Narziss et al., 1999). Für eine gute

Keimung sorgen die in der Gerste vorkommenden phosphorsäurehaltigen organischen Verbindungen, wie z. B. dem Phytin. Diese Verbindung liefert Puffersubstanzen und primäre Phosphate, welche den Säurespiegel während der Keimung aufrechterhalten (Narziss, 2005).

In der Brauindustrie werden verschiedene Malzsorten verwendet. Diese lassen sich in Basis- und Spezialmalze einteilen. Sie sollten den größten Anteil der Malzmischung ausmachen. Zu den Spezialmalzen gehören z. B. die Caramelmalze. Sie sorgen für einen vollmundigeren Geschmack und können die Farbe des Bieres beeinflussen (Kunze, 2016).

2.1.2 Hopfen

Der Hopfen (*Humulus lupulus L.*) gehört der Familie der Hanfgewächse an und ist eine mehrjährige Pflanze. Für die Brauindustrie sind nur die weiblichen, unbefruchteten Blütenstände von Bedeutung, da nur diese den Inhaltsstoff Lupulin bilden. Zudem kann so sichergestellt werden, dass die Hopfensorten sich untereinander nicht kreuzen. Das Lupulin ist ein gelbliches, klebrigtes Pulver, welches mit Ausnahme der Gerbstoffe alle essentiellen Bestandteile für das Brauen enthält (Biendl et al., 2012). Je nach Erntejahr, Sorte und Standort können die prozentualen Anteile der Inhaltsstoffe variieren. Hopfen enthält in ca. 12-25 % Bitterstoffe, 20 % Protein, 8 % Mineralstoffe und 0,5-3,0 % ätherische Öle. Alle weiteren Bestandteile, wie Cellulose, sind für den Brauvorgang von untergeordneter Bedeutung. Die Bitterstoffe werden in α - und β - Säuren unterteilt (Kunze, 2016). Für die spätere Verarbeitung sind vor allem die α - Säuren, auch Humulone genannt, relevant. Je nach Sorte enthält der Hopfen 4-16 % davon. Von den β - Säuren, die Lupulone, sind 4-6 % enthalten. Die Humulone werden nochmals in Ad-, Co- und n-Humulon unterteilt (Narziss, 2005). Charakteristische Eigenschaften der α - Säuren sind unter anderem eine antimikrobielle Wirkung und schaumstabilisierende Eigenschaften. In der Brauindustrie wird je nach Humulongehalt in Aroma- und Bitterhopfen unterteilt. Typisch für Aromahopfen ist ein α - Säuregehalt von 2,5-5,0 % und ein Cohumulonanteil unter 20 %. Ein höherer Anteil an Cohumulon ist nicht erstrebenswert, da er Eigenschaften aufweist, welche sich negativ auf die Bierbittere ausüben. Des Weiteren enthalten diese Sorten höhere Anteile von Farnesen und Caryophylen, welche ein feines Aroma besitzen. Zu den Aromahopfen gehören Sorten wie Perle, Cascade oder Hallertauer Tradition. Der Bitterhopfen besitzt im Regelfall einen α -Säuregehalt von 10-15 % und einen maximalen Anteil von 25 % an Cohumulon. Ein weiterer bedeutungsvoller Bestandteil im Lupulin sind die ätherischen Öle. Es sind ca. 400 aromatische Verbindungen enthalten. Hierbei handelt es sich um leicht flüchtige Stoffe (Kunze,

2016). Mit einem prozentualen Anteil von 65-75 % sind die Terpenkohlenwasserstoffe Hauptbestandteil im Hopfenöl. Der Rest setzt sich aus Alkoholen, Carbonylen und Ester zusammen (Narziss, 2005). Das Linalool, aus der Gruppe der Monoterpen, ist ein Indikator für die Qualität des Hopfens. Es besitzt ein Aroma, welches an Geranien und Orangenblüten erinnert. Da die flüchtigen Aromen während des Kochprozesses verloren gehen, werden Aromahopfen meist erst gegen Ende des Würzekochens oder erst im Whirlpool zugegeben. Ein weiterer relevanter Bestandteil im Hopfen sind die Gerbstoffe. Sie sind unter anderem für die Eiweißfällung während dem Brauprozess von Bedeutung, indem sie mit komplexen Eiweißstoffen eine Verbindung eingehen. Des Weiteren wirken sie antioxidativ. Die Gerbstoffe setzen sich aus Flavonolen, Anthocyanogene, Katechinen und Tanninen zusammen und gehören der Gruppe der Polyphenole an. Den größten Anteil bilden mit 80 % die Anthocyanogene, welche sich positiv auf den Geschmack auswirken. Die im Hopfen enthaltenen Eiweißstoffe, organische Säuren, Kohlenhydrate und Mineralstoffe sind für das Brauen nicht sonderlich von Bedeutung. Frischer Hopfen ist nicht lagerfähig, da er einen hohen Wassergehalt von 75-80 % besitzt, weshalb er direkt nach der Ernte auf einen Wassergehalt von 8-12 % getrocknet wird. Im Anschluss wird er dann meist zu Hopfenpellets oder Hopfenextrakt weiterverarbeitet. Die gängigste Verwendungsart ist der Extrakt. Hierfür wird meistens Ethanol oder flüssiges CO₂ als Lösemittel verwendet. Wird zur Bierherstellung ein Hopfenextrakt verwendet, muss dieses auch als solches auf der Verpackung deklariert werden. Aufgrund ihrer einfachen Handhabung ist die gängigste Pelletform der Typ 90. Dies bedeutet, dass 90 kg Pellets aus 100 kg Hopfen hergestellt wurden. Hier wird der Hopfen mittels Warumluft auf einen Wassergehalt von 7-9 % getrocknet, im Anschluss auf eine Korngröße von 1-5 mm zerkleinert und zuletzt pelletiert (Kunze, 2016).

2.1.3 Wasser

Hauptbestandteil von Bier ist das Wasser mit einem prozentualen Anteil von über 90 %, dementsprechend beeinflussen die im Wasser enthaltenen Salze den Charakter und die Qualität des Bieres. Vor allem die sechs Mineralien Sodium, Bicarbonat, Sulfat, Magnesium, Calcium und Chlorid haben Einfluss auf den Geschmack des Bieres. Ein zu hoher Anteil an Sulfaten führt zu einem bitteren und sauren Charakter des Bieres, dies sollte jedoch vermieden werden. Des Weiteren wirkt sich auch ein zu hoher Bicarbonatanteil negativ aus, da hierdurch in der Maische zu viel Kohlensäure gebildet wird. Dies führt zu einer Säuerung der Maische, weshalb die im Malz wirkenden Enzyme nicht optimal arbeiten können und die Stärke nicht in Einfachzucker gespalten wird. Da der Zucker später von der Hefe zu Alkohol verstoffwechselt wird, kommt

es zu einer Fehlgärung und der gewünschte Alkoholgehalt kann nicht erreicht werden. Zudem hat auch das im Wasser enthaltene Magnesium Einfluss auf die spätere Hefeaktivität und die in der Maische aktiven Peptidasen (Narziss et al. 1992). Für den Brauprozess ist daher die Auswahl der Wasserquelle und die Wasseraufbereitung von entscheidender Bedeutung. Da das fertige Bier später konsumiert wird, muss das Brauwasser Trinkwasserqualität besitzen. Um die mikrobiologische, physikalisch-chemische, chemische und sensorische Anforderungen einzuhalten, tritt hier die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) in Kraft. Zudem müssen für den Brauprozess neben der TrinkwV noch weitere Parameter erfüllt werden. Einige der gelösten Salze bzw. Ionen gehen unverändert in das Bier über und bewirken negative oder positive Geschmacksveränderungen. Hierzu gehören z. B. Natriumsulfat und Natriumchlorid. Einige Ionen reagieren jedoch mit den im Malz enthaltenen Bestandteile und können den pH-Wert während der Herstellung senken. Je nach pH-Optimum der jeweiligen Enzyme reagieren diese langsamer oder schneller und wirken sich somit auf die Qualität des Bieres aus. Neben dem Anteil an Calcium- und Magnesiumverbindungen, welche die Härte des Wassers bestimmen, hat der Anteil an HCO_3^- einen großen Einfluss im Brauprozess. Der Anteil an HCO_3^- ist auch als Carbonathärte bekannt. Carbonate besitzen die Eigenschaft die gebildeten Säuren in der Maische zu zerstören, was eine Alkalität zur Folge hätte. Dies würde zu einer intensiveren Farbe und einem derben und bitteren Geschmack führen, was die Qualität des Bieres minimieren würde (Kunze, 2016).

2.1.4 Hefe

Für den Gärungsprozess von untergärigen Bieren werden ausschließlich Hefereinzüchtungen der Art *Saccharomyces carlsbergensis* und *Saccharomyces cerevisiae* verwendet. Die Hefezellen besitzen eine rundliche, ovale Form und sind 3-10 μm breit, sowie 4-12 μm lang. Sie ist in der Lage die Saccharide Maltose, Saccharose, Galactose und Glucose zu vergären, jedoch nicht das Disaccharid Lactose. Im Gegensatz zur obergärigen Hefe ist die untergärtige Hefe nicht in der Lage umfassende Sprossverbände zu bilden. Es können maximal drei Zellen aneinanderhaften (Annemüller et al. 2013). Während des Gärungsprozesses sind die Mutter- und Tochterzellen zunächst miteinander verbunden. Sobald die Tochterzelle bei untergärtigen Hefearten vollständig herangewachsen ist, löst sie sich von der Mutterzelle und beide Zellen sinken auf den Boden (Weinfurtner, 1963).

2.2 Bierherstellung

2.2.1 Rechtliche Grundlagen

In Deutschland wird Bier nach dem deutschen Reinheitsgebot gebraut. Das deutsche Reinheitsgebot besagt, dass während der Herstellung nur die vier Rohstoffe Hefe, Wasser, Hopfen und Malz verwendet werden dürfen. Zur Bierherstellung tritt unter anderem die Bierverordnung, sowie das Vorläufige Biergesetz und die Verordnung zur Durchführung des Vorläufigen Biergesetz in Kraft. Hier wird klar definiert, dass das verwendete Malz für untergärtige Biersorten nur aus der Gerste gewonnen werden darf (§9 Abs. 1 Vorläufiges Biergesetz). Biere, die mit obergärtiger Hefe hergestellt werden, dürfen mit Malzen aller Getreidearten, bis auf Mais, Reis und Dari, gebraut werden (Narziss et al. 2016). Des Weiteren dürfen in obergärtigen Bieren Zusatzstoffe, sowie bestimmte Zuckerarten verwendet werden. Auch die Form des zuzugebenden Hopfens wird im Vorläufigen Biergesetz klar deklariert. Für besondere Biere sowie für wissenschaftliche Versuche können auf Antrag Sondergenehmigungen erteilt werden. Hierzu zählen auch die hergestellten Biere in der Arbeit (§9 Abs. 2-7 Vorläufiges Biergesetz).

2.2.2 Schroten des Malzes

Das Schroten ist die mechanische Zerkleinerung des Malzes. Es ist ein rein verfahrenstechnischer Schritt, welcher jedoch für den weiteren Brauprozess nicht nur physikalisch, sondern auch chemisch-biologisch von Bedeutung ist. Essentiell für das Abläutern ist eine möglichst geringe Zerkleinerung der Spelzen, da diese in diesem Prozessabschnitt als Filterschicht dienen (Kunze, 2016). Des Weiteren können die in den Spelzen enthaltenen Bitter-, Gerb- und Farbstoffe sich negativ auf das spätere Bier ausüben. Dagegen ist eine zu grobe Zerkleinerung des Mehlkörpers unter anderem für die spätere Gärung kontraproduktiv. Ein feines Zermahlen bewirkt eine schnelle Verzuckerung und es kann zudem mehr Zucker gebildet werden, welche die Hefe später zu Alkohol verstoffwechseln kann. Es ist jedoch zu beachten, dass sich ein zu hoher Feinanteil auch negativ auf das Abläutern auswirkt. Dieser bewirkt ein verdichten der Filterschicht, weshalb die Würze langsamer abläuft und sich der Prozess dementsprechend verlängert (Narziss et al. 1992).

Zum Schroten dienen geriffelte oder glatte, gegeneinander laufende Walzen. Hierfür existieren verschiedene Verfahren. Sie lassen sich in Trocken- und Nassschrotung unterteilen. Zu den gängigsten Trockenschrotverfahren gehören die Vierwalzenmühlen. In dieser Vorrichtung wird

das Malz von oben eingeführt und von dem oberen Walzenpaar zunächst grob zerkleinert, weshalb ein Teil des Mehlkörpers in den Spelzen verbleibt. Die unteren Walzen besitzen eine geringere Spaltbreite, um das Schrot weiter zu zerkleinern. Um einen zu großen Feinanteil zu vermeiden ist es am effektivsten ausschließlich die Spelzen ein zweites Mal zu vermahlen. Die Selektion erfolgt mittels Schüttelsiebe, welche an der Mühle befestigt werden (Kunze, 2016). Bei der Nassschrotung wird das Malz zunächst unter Zuhilfenahme von Wasser auf einen Wassergehalt von ca. 30 % gebracht. Die Temperaturen sollten hierbei bei 12-50 °C liegen. Vorteil an dieser Methode ist, dass aufgrund der elastisch werdenden Spelzen, eine bessere Auf trennung der unterschiedlichen Schrotfraktionen möglich ist (Narziss, 2005).

2.2.3 Herstellen der Maische

Als Maischen wird das Lösen der Bestandteile im Malz verstanden. Ziel dieses Prozesses ist eine enzymatische Auf trennung der in der Gerste enthaltene Stärke in vergärbare Zucker. Theoretisch kann das Einmaischen bei einer beliebigen Temperatur durchgeführt werden. Diese ist davon abhängig, welche Enzyme als erstes wirken sollen. Um bessere Endvergärungsgrade zu erreichen wird eine Einmaischtemperatur von 35 °C empfohlen. Bei dieser Temperatur gehen die Enzyme, welche sowohl für den Eiweißabbau als auch für den Abbau der in der Gerste enthaltenen Gerüstsubstanzen verantwortlich sind, in Lösung. In der Praxis wird dies jedoch so nicht gehandhabt, da dieser Prozess sehr zeitaufwendig ist. Die gängigste Einmaischtemperatur liegt bei ca. 45 °C, hier werden zum einen die Eiweißstoffe abgebaut und zum anderen erfolgt der Abbau der Gerüstsubstanzen. Normalerweise wird das Maischen in diesem Temperaturbereich als Eiweißrast bezeichnet. In neueren Braumethoden wird teilweise bei 61-63 °C gemaischt, um Energie- und Zeitkosten zu sparen (Kunze, 2016). Nach dem Einmaischen wird die Temperatur auf 47-53 °C gebracht und gehalten. Dies wird auch als Eiweißrast bezeichnet. In diesem Prozess wirken die Proteasen. Ziel dieser Rast ist es, die stickstoffhaltigen Substanzen zu lösen und enzymatisch zu Aminosäuren zu spalten. Ist der Eiweißabbau zu gering, wirkt sich dies negativ auf die Gärung aus, da die Hefe zum Wachstum auf Aminostickstoff angewiesen ist (Narziss, 2005). Anschließend wird die Temperatur auf 61-63 °C erhöht und gehalten. Diese Rast wird als Maltosebildungsrast bezeichnet. In dieser Rast fängt die Stärke an zu verkleistern. Des Weiteren werden Amylose und Amylopektin von den Amylasen gespalten. Als Ausgangsprodukt entsteht hauptsächlich Maltose, aber auch andere vergärbare Zucker wie Glucose. Nach Einhalten dieser Rast wird die Temperatur auf 70-73 °C erhöht. Diese Rast wird auch als Verzuckerungsrast bezeichnet. Auch in diesem Temperaturbereich findet sowohl eine

Verkleisterung der Stärke, als auch der Stärkeabbau mittels Amylasen statt, jedoch entstehen in dieser Rast vermehrt Dextrine. Die letzte Rast und somit auch die Abmaischtemperatur befindet sich bei 78 °C. In dieser Rast wird die restliche Stärke zu Zuckern abgebaut. Im Anschluss erfolgt die Iodprobe. Diese gibt an inwieweit die Stärke zu Maltose umgewandelt wurde. Verfärbt sich die Probe blau, muss die letzte Rast verlängert werden, da die Stärkespaltung noch nicht abgeschlossen wurde (Kunze, 2016).

2.2.4 Abläutern

Nach dem Herstellen der Maische wird sie von unten in den auf 78 °C vorgewärmten Läuterbottich gepumpt. Ziel dieses Prozesses ist eine Trennung der ungelösten, festen Bestandteile von der Maische. Am Boden der Maischpfanne befindet sich ein Senkboden, der die Spelzen und Gerstenhüllen zurückhält (Weinfurtner, 1963). Durch das Abpumpen von unten und dem sedimentieren der festen Bestandteile entsteht eine natürliche Filterschicht, sodass in den Läuterbottich nur der flüssige Anteil, die sogenannte Würze, gelangt (Narziss, 2005). Nachdem dieser Vorgang abgeschlossen ist erfolgt das sogenannte Anschwänzen. Beim Anschwänzen werden die zurückgebliebenen Bestandteile, auch Treber genannt, mit 78 °C heißem Wasser ausgespült, damit auch noch eventuell anhaftende, lösliche Bestandteile in die Würze übergehen (Kunze, 2011). Während diesem Prozess kommt es zu einer Veränderung der Zusammensetzung in der Würze. Unter anderem ist zu beobachten, dass die Würze dunkler wird und der Farbwert um das 3-6fache zunimmt. Auch der Anteil am α - und Gesamtstickstoff wird höher. Des Weiteren kommt es zu einer 3-5fachen Zunahme von Polyphenolen, hierbei ist vor allem ein Anstieg der Anthocyanogene zu beobachten. Der Gehalt an Mineralstoffen nimmt ebenfalls zu. Es reduzieren sich lediglich die Fettsäuren (C_{12} - C_{18}), welche im Treber verbleiben (Narziss, 2005).

2.2.5 Würzekochen

In der Würzpfanne wird der Stammwürzegehalt durch Eindampfen oder Wasserzugabe eingestellt. Der Stammwürzegehalt gibt den Anteil des Extraktes in Gramm an, der in 100 mL bzw. 100 g Würze vor dem Gärprozess enthalten ist (Kunze, 2016). Insgesamt wird die Würze für ca. 90-120 Minuten bei einer Temperatur von 100 °C gekocht. Aufgrund der langen Kochzeit wird die Würze steril und die enthaltenen Enzyme werden inaktiviert. Des Weiteren koagulie-

ren die Proteine und setzen sich ab. Dabei ist zu beachten, dass eine zu starke Eiweißkoagulation sich unter anderem negativ auf die Schaumstabilität auswirkt, sie stabilisieren das Schaumgerüst. Um dies zu vermeiden, können dem Bier Stabilisierungsmittel wie Bentonit oder Kieselgel hinzugegeben werden (Narziss, 2005). Während dem Würzekochen wird der Hopfen in Form von Extrakt oder Pellets zugegeben. In diesem Prozess werden unter anderem die Hopfenphenole und Bitterstoffe gelöst. Des Weiteren werden die Humulone isomerisiert, indem sie von der Sechsring Struktur in die Fünfring Struktur übergehen. Auch die im Hopfen enthaltenen ätherischen Öle gehen in die Würze über und beeinflussen somit das Aromaprofil der Würze. Jedoch werden diese in längeren Kochprozessen teilweise wieder verdampft (Kunze, 2016). Je nach gewünschtem Grad der Bitterkeit des Bieres kann die Hopfengabe zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfinden. Für eine gewisse Grundbitterkeit wird eine frühe Zugabe z. B. zehn Minuten nach Kochbeginn von Bitterhopfen, also einem Hopfen mit hohem α -Säureanteil, empfohlen. Damit sich die Hopfenöle gut entfalten können sollte die Zugabe eines Aromahopfens, mit geringem α -Säureanteil und einem Cohumulonanteil von weniger als 20 %, erst kurz vor Ende des Würzekochens erfolgen (Narziss, 2005).

2.2.6 Whirlpool und Würzekühler

Im Whirlpool erfolgt ein weiterer mechanischer Vorgang. Hier wird die Würze erneut filtriert und vom sogenannten Heißtrub entfernt. Dieser besteht aus geronnenem Eiweiß und Hopfenresten. In diesem Verfahrensschritt wird die heiße Würze in einen konischen Behälter mit Rührer überführt. Aufgrund der Bauart des Behälters und der Zuführung durch Rotation entsteht ein Tee-Tasseneffekt. Nach 20-minütigem Kreisen haben sich die noch enthaltenen Feststoffe am Boden abgesetzt und die Würze kann in den Würzekühler gesaugt werden. Im Würzekühler wird die Würze dann unter Sauerstoffausschluss auf die gewünschte Gärtemperatur gekühlt. Diese beträgt bei untergäriger Hefe 4-11 °C (Weinfurtner, 1963).

2.2.7 Gärung

Für die Gärung benötigt die Hefe unter anderem vergärbare Zucker wie Fructose, Glucose und Maltose und Aminosäuren. Die in der Würze enthaltenen Aminosäuren sind, werden während dem Maischen gewonnen. Aufgrund des hohen Zuckeranteils in der Würze hat der Embden-Meyernhof-Parnas-Weg, auch Glycolyse genannt, die größte Bedeutung. Hier werden unter anaeroben Bedingungen aus einem Molekül Glucose zwei Moleküle Ethanol und zwei Moleküle

ATP gewonnen (Narziss, 2016). Weitere für die Gärung relevanten Stoffwechsel der Hefen sind die Eiweiß-, Schwefel- und Fettstoffwechsel. Der Eiweißstoffwechsel dient zum Aufbau der Zelle. Hierfür wird Stickstoff benötigt, der im freien α -Aminostickstoff in der Würze enthalten ist. Dieser wird von der Hefe weiter abgebaut. Als Gärungsnebenprodukt entstehen hierbei höhere Alkohole. Bei hohen Alkoholgehalten oder bei einem Nährstoffmangel scheidet die Hefe das Enzym Hefeprotease A aus. Gelangt dieses Enzym in die Würze baut es das Lipidtransferprotein ab. Da dieses Protein der Hauptbestandteil des Bieres ist, tritt somit eine Verschlechterung des Bierschaums ein. Ein weiterer Stoffwechsel, der zum Aufbau der Zelle dient, ist der Fettstoffwechsel. Dieser wird jedoch erst aktiv, wenn der freie Aminostickstoff für den Eiweißabbau verbraucht ist. Der Schwefel wird zum einen durch die in der Würze enthaltenen Aminosäuren Cystein und Methionin aufgenommen und zum anderen durch Sulfat. Dieser wird dann zu Schwefeldioxid verstoffwechselt und kann anschließend in den Aminosäurestoffwechsel integriert werden (Kunze, 2016). Des Weiteren sind einige Mineralstoffe, wie Kalium und Calcium von Bedeutung. Kalium aktiviert unter anderem Enzyme, welche an der Glykolyse beteiligt sind. Calcium z. B. fördert das Hefewachstum und ist somit für eine effiziente Gärung von Relevanz (Narziss, 2016).

2.2.8 Reifung

Nach der Gärung und dem Abfiltrieren der Hefe wird das Jungbier in Lagertanks gepumpt. In diesem Behälter findet die Reifung statt. Die Reifezeit kann je nach Biertyp mehrere Wochen in Anspruch nehmen. Während dieser Zeit entwickelt sich das Aromaprofil des Bieres und es werden durch die noch enthaltenen Resthefen die Gärungsnebenprodukte weiter abgebaut. Zu den Gärungsnebenprodukten zählen höhere Alkohole, Diacetyl, Ester, Schwefelverbindungen und Aldehyde. Das Diacetyl bewirkt einen ungenießbaren bis süßlichen Geschmack im Bier und sollte im gereiften Bier einen Maximalwert von 0,1 mg/ L betragen. Wird dieser Wert erreicht, ist die Gärung abgeschlossen. Diacetyl ist daher als Leitwert der Reifung zusehen. Er kann entweder photometrisch oder mittels Gaschromatographie ermittelt werden (Kunze, 2016).

2.3 Lycopin

Lycopin ist ein rotes, natürliches Farbpigment und ist der ersten Hauptgruppe der Carotinoide einzuordnen. Es ist vorwiegend in roten Früchten, wie beispielsweise der Tomate vorzufinden. Das Carotinoid besteht aus 40 Kohlenstoffatomen und 56 Wasserstoffatomen und enthält anders als die Xanthophyllen, welche der zweiten Hauptgruppe der Carotinoide angehören, keine Sauerstoffatome (Schnäbele, 2005). Aufgrund seiner mehreren C=C-Doppelbindungen ist das Lycopin ein Terpen bzw. ein Olefin. Insgesamt besitzt Lycopin 13 Doppelbindungen, wovon 11 konjugiert sind. Aufgrund dessen hat das Farbpigment die Eigenschaft einen Großteil des sichtbaren Lichtes zu absorbieren, weshalb es rot erscheint. Im Gegensatz zum α - und β -Carotin oder auch dem Xeaxanthin und Lutein liegt das Lycopin nicht als Ringform vor, sondern als offenkettige Kohlenstoffverbindung. Des Weiteren kann Lycopin nicht, wie andere Carotinoide, zu dem Provitamin A umgewandelt werden. Lycopin ist durch seine langkettige Kohlenstoffverbindung ein unpolarer Stoff, der nahezu unlöslich in Wasser ist. Dagegen ist es gut löslich in unpolaren Lösungsmitteln wie Toluol oder Hexan, sowie in Lipiden. Jede Doppelbindung des Lycopin-Moleküls kann mittels 180°-Rotation entweder in der *trans*-Konfiguration oder in der *cis*-Konfiguration vorliegen. Die Synthese von Lycopin erfolgt ausschließlich durch Mikroorganismen, wie *Blakeslea trispora* oder durch Pflanzen. Die häufigste, natürlich vorkommende Konfiguration ist die *all-trans*-Konfiguration. Sie ist auch thermodynamisch am stabilsten. Sie kommt z. B. in Tomaten zu ca. 94 % vor. Es ist zu beachten, dass Lycopin aufgrund seiner Struktur sowohl lichtempfindlich als auch hitzeempfindlich ist und in Anwesenheit von Sauerstoff leicht oxidiert. Des Weiteren kann das Molekül von Säuren leicht zersetzt werden (Nitschke, 2005).

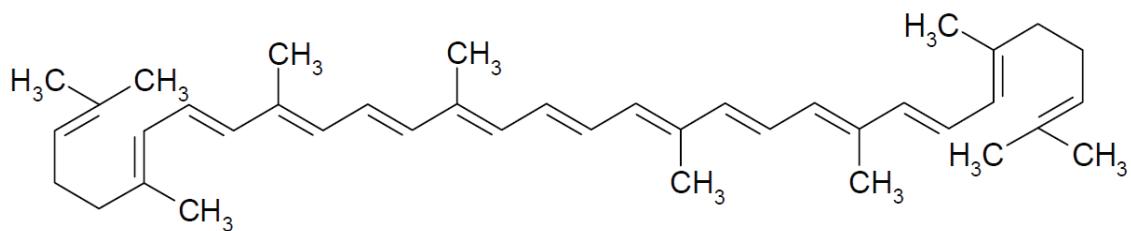


Abbildung 1: Strukturformel von *all-trans*-Lycopin (Quelle: EFSA, 2005).

Lycopin hat in den letzten Jahren immer mehr Beachtung geschenkt bekommen, da es unter anderem die Eigenschaft besitzt freie Radikale zu binden. Zudem zeigen neuere Forschungen,

dass das Farbpigment unter anderem vorbeugend gegen Alzheimer und Herz-Kreislauf-Erkrankungen wirkt, sowie das Risiko zur Metastasen Bildung reduziert (Sicilia, 2004; Heymann, 2015; Reinhard et al. 2015).

Eine Möglichkeit das rote Farbpigment zu gewinnen erfolgt mittels Extraktion von Tomatenresten, die beispielsweise während der Herstellung von Tomatenmark anfallen. Für die Extraktion kommt ein Gemisch, aus den Lösemitteln Aceton und n-Hexan, im Verhältnis von 1:3, zum Einsatz. Die Extraktion erfolgt bei einer Temperatur von 30 °C. Zur quantitativen Bestimmung der Lycopinausbeute dient ein UV/ VIS- Spektralphotometer. In diesem Herstellungsverfahren kann eine Ausbeute von 3,47-4,03 mg/ 100 g erreicht werden (Poojary et al., 2015). Im Vergleich von Lycopin, welches aus *Blakeslea trispora* synthetisiert wurde, ist die Ausbeute gering. In diesem Verfahren beträgt sie ca. 96 % (EFSA, 2005). Um das Carotinoid mittels *Blakeslea trispora* zu synthetisieren, wird eine Mischkultur mit (+)- und (-)-Stamm in einem bestimmten Verhältnis in einer ölhaltigen Lösung angesetzt. Die Fermentation erfolgt in einem Bioreaktor für 48-72 h bei einer Temperatur von 26-30 °C. Das gewonnene Lycopin findet in der Lebensmittelindustrie unter anderem in Getränken oder Margarine Verwendung (Reinhard et al. 2015). Hierfür gelten jedoch je nach Produktart bestimmte gesetzliche Höchstmengen. Diese wurden von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft festgelegt und in einem Statement vom Bundesamt für Risikobewertung (BfR) veröffentlicht. So darf beispielsweise in Getränken nur 2,5 mg Lycopin in 100 g Produkt zugegeben werden (Amtsblatt der Europäischen Union, 2009).

3 Material und Methoden

3.1 Bierherstellung

Es wurden fünf verschiedene Ansätze à 1 L angesetzt. Hierbei wurden die Malzsorten variiert (siehe Tabelle 1). Die Grundrezeptur befindet sich in Tabelle 20 im Anhang.

Tabelle 1: Malzmenge für die verschiedenen Ansätze zur Bierherstellung.

	Pilsner Malz	CARAAmber	BEST Red X
1	400 g	-	-
2	200 g	200 g	-
3	200 g	-	200 g
4	-	400 g	-
5	-	-	400 g

Tabelle 2: Verwendete Geräte zur Bierherstellung.

Gerät	Name
Präzisionswaage	BP 3100 S
Präzisionswaage	OHAUS V12140
Stab-Thermometer	ebro TTX 100
Malzquetsche	“Malthouse-Star”; Brau-Partner
pH-Meter	WTW Microprocessor pH Meter pH 196
Wasserbad	GFL 1003
Analysensieb Ø= 315 µm	RETSCH 60131000315
Bierspindel	-

Tabelle 3: Verwendete Materialien zur Bierherstellung.

Materialien	Hersteller
Pilsner Malz extra hell	Mich. Weyermann & Co. KG, Bamberg
BEST Red X Malz	Palatia Malz GmbH; Heidelberg
CARAAMBER Malz	Mich. Weyermann & Co. KG, Bamberg
Motueka Hopfen Pellets Typ 90 α-Säuregehalt = 7,0 %	Hopfen der Welt; Ellingen
Perle Hopfen Pellets Typ 90 α-Säuregehalt = 8,2 %	Hopfen der Welt; Ellingen
Magnum Hopfen Pellets Typ 90 α-Säuregehalt = 13,3 %	Hopfen der Welt; Ellingen
untergärtige Hefe – Saflager S 189	Fermentis Division of S.I.Lesaffre; Marcq en Baroeul Cedex (Frankreich)
Lycopin (10 mg in 100 mg total)	Lot: 20180502; ZELT/ Martinez
Miracloth – Filtertuch (Porengröße: 22-25 µm)	Merck Millipore; Darmstadt

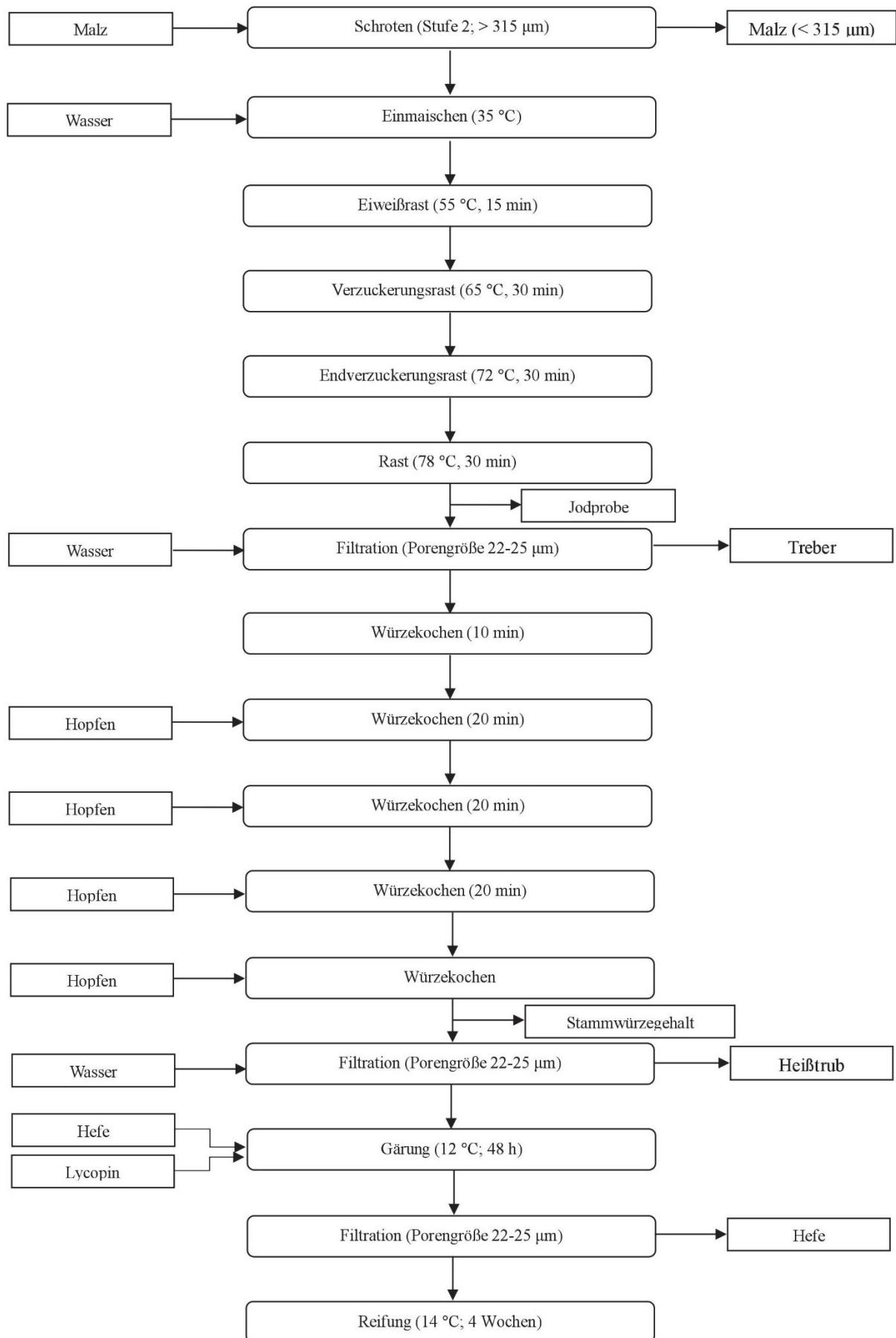


Abbildung 2: Fließschema zur Bierherstellung im Labormaßstab.

Zunächst wird das Malz mit der Malzquetsche auf Stufe zwei geschrotet und anschließend gesiebt. Es wird nur das Malz verwendet, welches auf dem Sieb verbleibt, damit der Feinanteil an Malz nicht zu hoch wird. 400 g des geschroteten Malzes wird zusammen mit 1,1 L Wasser bei einer Temperatur von 35 °C in einen Topf gegeben und durchmischt. Im Anschluss wird das Gemisch bei geschlossenem Deckel auf 55 °C erhitzt und die Temperatur wird für 15 min gehalten. Danach wird die Maischtemperatur auf 65 °C erhöht und wieder für 30 min gehalten. Nach dieser Rast wird die Temperatur auf 72 °C erhöht und wieder für 30 min gehalten. Zuletzt wird die Temperatur nochmals auf 78 °C erhöht und dies wird wieder für 30 min gehalten. Im Anschluss wird die Iodprobe durchgeführt. Hierfür werden fünf Tropfen der Maische mittels Pipette entnommen und zusammen mit einem Tropfen Iod auf einen weißen Teller gegeben und gemischt. Verfärbt sich das Gemisch blau, muss die letzte Rast verlängert werden, bleibt das Gemisch gelb, kann der Prozess weitergeführt werden. Es wird zudem der pH-Wert der fertigen Maische erfasst. Der Stammwürzegehalt sollte bei 11-12 % liegen. Anschließend wird der Treber mit Zuhilfenahme eines Filtertuchs entfernt. Um einen zu großen Verlust der Inhaltsstoffe zu vermeiden wird der Treber mit Wasser ausgeschwemmt. Die Flüssigkeit wird nun in einen Topf mit Deckel bei 100 °C gekocht. Nach 10 min wird der Magnum Hopfen hinzugegeben. Während der Hopfenzugabe den Topf vom Herd zu nehmen, um ein Überkochen zu vermeiden. Die Würze wird für weitere 20 min gekocht und im Anschluss wird der Perle Hopfen hinzugefügt und weiter gekocht. Nach 20 min wird ein Teil Motueka Hopfen beigemengt, die andere Hälfte des Hopfens wird erst nach weiteren 20 min hinzugegeben. Das Würzekochen ist mit der letzten Hopfenzugabe abgeschlossen und wird nun auf 14 °C heruntergekühlt. Bei einer Temperatur von 20 °C wird der pH-Wert der fertigen Maische, sowie der Stammwürzegehalt mittels Bierspindel gemessen. Bei höheren Temperaturen kann der richtige Stammwürzegehalt mittels Korrekturtabelle bestimmt werden. Zudem wird ein Teil der Würze entnommen und sterilisiert und als Anstellgut für die Hefe verwendet. Die Sterilisation dient zur Vermeidung einer Fremdverkeimung. Es werden 115 mL sterile Würze mit 11,5 g der Hefe vermischt und die Hefe wird für 24 h bei einer Temperatur von 23 °C rehydratiert. Von der fertigen Würze werden jeweils 200 mL in insgesamt drei Bügelverschlussflaschen gefüllt und 1,2 mL der Hefe, sowie 50 mg Lycopin zugegeben. Der Bügelverschluss wird verschlossen und die Flaschen werden für 48 h bei einer Temperatur von 14 °C kühlgestellt. Nach der Gärung wird das Jungbier filtriert und in neue Flaschen gefüllt. Die Reifezeit erfolgt in geschlossenen Flaschen bei 12 °C für 4 Wochen.

3.2 Bestimmung der reduzierenden Zucker nach Miller

Während des Bierherstellungsprozesses wird die Stärke im Malz zu Maltose gespalten. Maltose ist ein Disaccharid und wird mittels der Maltase in der Hefe zu Glucose gespalten. Diese kann wiederum von der Hefe zu Alkohol metabolisiert werden. Die Bestimmung der reduzierenden Zucker gibt zunächst Aufschluss wie viel Zucker in der Würze enthalten ist. Des Weiteren kann während des Reifeprozesses mit dieser Methode überprüft werden, inwieweit der Zucker von der Hefe verstoffwechselt wurde.

Tabelle 4: Verwendeten Chemikalien zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.

Chemikalie	Hersteller	Charge/ Lot-Nr.:
3,5-Dinitrosalicylsäure	Sigma – Life Science, Darmstadt	MKBH9356V
Natriumsulfit	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	047254412
Natriumhydroxid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	050150485
Kalium-Natriumtartrat	Fluka Chemie GmbH, CH Buchs	442180/1
Tetrahydrat		
D(+) Glucose wasserfrei	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	471176868

Tabelle 5: Verwendete Geräte zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.

Gerät	Modell
UV/ VIS-Spektralphotometer	UV-3100PC
Präzisionswaage	Sartorius BP 210 S
Ultraschallbad	Bandelin Sonorex RK 100 H
Vortexer	Heidolph Reax top
UV/ Vis-Spektralphotometer	UV-3100PC
Wasserbad	GFL 1002

In diese Arbeit wurde die photometrische Bestimmung nach Miller gewählt. Hierfür wird zunächst die DNNS-Reagenz hergestellt. Für 250 mL werden in einem 250 mL Messkolben 2,5 g Natriumhydroxid eingewogen und mit etwas bidestilliertem Wasser gelöst. Im Anschluss werden 2,5 g 3,5-Dinitrosalicylsäure, 0,125 g Natriumsulfit und Kalium-Natriumtartrat zugegeben

und mittels Ultraschallbad gelöst. Im Anschluss wird das Reagenz mit einem Filterpapier filtriert.

Für 100 mL der 0,1 %ige Glucose-Standardlösung werden 0,1 g D(+)-Glucose in einen 100 mL Messkolben gegeben und mit bidestilliertem Wasser bis zur Eichmarke aufgefüllt.

Zur Quantifizierung der reduzierenden Zucker wird eine Kalibriergerade mit einer Glucose-Standardlösung im Konzentrationsbereich von 0,10 g/L bis 1,00 g/L erstellt (siehe Tabelle 6). Hierfür werden 1 mL der Standardlösung bzw. der verdünnten Probe (Würze: 1:100, gereiftes Bier 1:10) in ein verschließbares 20 mL Reagenzglas pipettiert, mit je 2 mL der DNSS-Reagenz versetzt und gevortext. Im Anschluss wird es locker verschlossen im Wasserbad bei 99,9 °C für 15 min erhitzt. Nach dem Abkühlen in einem auf 20 °C temperierten Wasserbad, werden die Reagenzgläser mit bidestilliertem Wasser auf 20 mL aufgefüllt und kräftig geschüttelt.

Tabelle 6: Konzentrationen der Standardlösungen zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.

Konzentration [g/L]	Menge der Standard-Lsg. [mL]	Menge bidest. Wasser [mL]
0,00	0,0	10,0
0,10	1,0	9,0
0,25	2,5	7,5
0,50	5,0	5,0
0,75	7,5	2,5
1,00	10,0	0,0

Zur Messung der Extinktionen wird zunächst eine Kalibriergerade mit den Glucose-Standardlösungen mittels UV/VIS-Spekralphotometer bei einer Wellenlänge von 505 nm erstellt. Mit Hilfe der Kurve können die ermittelten Werte abgeleitet werden. Anschließend werden die zu untersuchenden Proben unter den gleichen Bedingungen gemessen.

3.3 Bestimmung des FAN nach der Ninhydrin-Methode

Der freie Aminostickstoff, kurz auch FAN genannt, ist ein Bestandteil des Malzes und geht während dem Maischen in die Würze über. Er ist ein essentieller Nährstoff, den die Hefe zum Wachstum benötigt. Ein zu geringer Gehalt an freiem Aminostickstoff kann dazu führen, dass

die Hefe vorzeitig abstirbt und die Glucose nicht vollständig zu Alkohol verstoffwechseln lassen kann. Gründe hierfür sind beispielsweise zu alte oder minderwertige Malze.

In dieser Arbeit wird die photometrische Bestimmung des FAN nach der Ninhydrin-Methode durchgeführt. In dieser Methode werden Ammoniak, Aminosäuren, sowie die Amino-Gruppen der Proteine und Peptide erfasst. Der Messbereich liegt bei 0-400 mg/ L freiem Aminostickstoff (MEBAK, 2017).

Tabelle 7: Verwendeten Chemikalien zur Bestimmung des FAN.

Chemikalie	Hersteller	Charge/ Lot-Nr.:
di-Natriumhydrogenphosphat Dodecahydrat	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	493206108
Kaliumdihydrogenphosphat	Merck KGaA, Darmstadt	B687808 526
Ninhydrin	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	077253204
D(-)-Fructose	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	39467342
Kaliumjodat	Merck KGaA, Darmstadt	B252851
Ethanol 96 %	Merck KGaA, Darmstadt	64-17-5
Ethanol 96 % vergällt	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	356248827
Glycin	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	n.n.
Natriumhydroxid	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	050150485

*n.n= nicht nachweisbar

Tabelle 8: Verwendete Geräte zur Bestimmung des FAN.

Gerät	Modell
UV/ VIS-Spektralphotometer	UV-3100PC
Präzisionswaage	Sartorius BP 210 S
Ultraschallbad	Bandelin Sonorex RK 100 H
Vortexer	Heidolph Reax top
UV/ Vis-Spektralphotometer	UV-3100PC
Wasserbad	GFL 1002
pH-Meter	InoLab pH 7110
Magnetrührer	IKA lab disc IKAMAG

Zunächst wird das Farbreagenz hergestellt. Für 100 mL werden 10,0 g di-Natriumhydrogenphosphat-Dodecahydrat, 6,0 g Kaliumhydrogenphosphat, 0,5 g Ninhydrin und 0,3 g Fructose in ein Becherglas eingewogen und mit ca. 80 mL destilliertem Wasser aufgefüllt. Nachdem ein Rührfisch hinzugefügt wurde, wird das Becherglas auf einen Magnetrührer gestellt. Unter Rühren wird mittels pH-Meter der pH-Wert gemessen, dieser sollte zwischen 6,6 und 6,8 liegen. Bei einem zu niedrigen pH-Wert kann er mit einer 4 M Natronlauge korrigiert werden. Für die 4 M Natronlauge werden 16,0 g Natriumhydroxid in einen 100 mL Messkolben gegeben und mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Nachdem der pH-Wert eingestellt wurde, wird die Farbreagenz in einen 100 mL Messkolben gefüllt und mit destilliertem Wasser aufgefüllt.

Zur Herstellung der Verdünnungslösung werden in ein Glasgefäß 2 g Kaliumiodat in 600 mL destilliertem Wasser gelöst. Anschließend wird in die Lösung 400 mL Ethanol hinzugegeben und miteinander vermischt.

Für die Glycin-Stammlösung mit 2 mg/L Aminostickstoff wird zunächst eine Lösung mit 200 mg/ L Aminostickstoff hergestellt. Hierfür werden zunächst 0,1072 g Glycin in einen 100 mL Messkolben gegeben und mit destilliertem Wasser aufgefüllt und gelöst. Im Anschluss werden von dieser Lösung 1,0 mL abpipettiert und in einen weiteren 100 mL Messkolben gegeben. Dieser wird wieder mit destilliertem Wasser aufgefüllt und gemischt.

Zur Quantifizierung des FAN wird eine Kalibriergerade mit der Glycin-Stammlösung im Konzentrationsbereich von 0,20 g/L bis 2,00 g/L erstellt (siehe Tabelle 9). Hierfür werden 2,0 mL der Stammlösung bzw. der verdünnten Probe (Würze: 1:100, gereiftes Bier 1:10) in ein wieder-verschließbares Reagenzglas pipettiert und mit 1,0 mL Farbreagenz versetzt. Nachdem es gevortext wurde, wird es locker verschlossen und für 16 min im Wasserbad bei 99,9 °C erhitzt. Im Anschluss wird es für 20 min in einem Wasserbad mit 20,0 °C abgekühlt. Abschließend wird es mit 5,0 mL der Verdünnungslösung versetzt, gevortext und für 3 min stehen gelassen. Die Messung muss innerhalb von 30 min erfolgen.

Tabelle 9: Konzentrationen der Stammlösungen zur Bestimmung des FAN.

Konzentration [g/L]	Menge der Stamm-Lsg. [mL]	Menge dest. Wasser [mL]
0,00	0,0	10,0
0,20	1,0	9,0
0,50	2,5	7,5
1,00	5,0	5,0
1,50	7,5	2,5
2,00	10,0	0,0

Zur Messung der Extinktionen wird zunächst eine Kalibriergerade mit den Glycin-Stammlösungen mittels UV/VIS-Spektralphotometer bei einer Wellenlänge von 570 nm erstellt. Anhand der Kurve können die ermittelten Werte abgeleitet werden. Anschließend werden die zu untersuchenden Proben unter den gleichen Bedingungen gemessen.

3.4 Bestimmung des Ethanol-Gehaltes

Die Bestimmung des Ethanol-Gehaltes erfolgt enzymatisch mittels UV-Testkit von der Firma R-Biopharm AG, Darmstadt (Art. Nr. 10176290035).

Für diese Methode wird zunächst das Reaktionsgemisch hergestellt. Für 3 mL wird eine NAD/Al-DH Tablette in Kaliumdiphosphat-Puffer gelöst. Im Anschluss wird je 1 mL dieser Lösung in eine Küvette pipettiert und mit 0,033 mL bidest. Wasser bzw. verdünnter Probe (1:1000) gemischt. Nach 3 min wird die Extinktion der Lösungen mittels UV/VIS-Spektralphotometer (UV-3100PC) bei einer Wellenlänge von 340 nm gemessen. Anschließend werden den Lösungen 0,017 mL ADH Suspension beigemengt und miteinander vermischt. Nach 10 min wird erneut die Extinktion gemessen.

Zur Berechnung der Konzentration des Ethanol-Gehaltes wird folgende Formel verwendet:

$$c = \frac{V * MG}{\varepsilon * d * v * 2 * 1000} * (E_2 - E_1)_{\text{Probe}} - (E_2 - E_1)_{\text{Leerwert}}$$

$$c = \frac{V * MG}{\varepsilon * d * v * 2 * 1000} * \Delta E$$

V = Testvolumen [mL]

v = Probevolumen [mL]

MG = Molekulargewicht der zu bestimmenden Substanz [g/mol]

d = Schichtdicke [cm]

ε = Extinktionskoeffizient von NADH (bei 340 nm = 6,3)

ΔE = Extinktionsdifferenz [g/L]

Für Ethanol ergibt sich daraus:

$$c = \frac{3,150 * 46,07}{6,3 * 1,00 * 0,100 * 2 * 1000} * \Delta E = \frac{0,7256}{6,3} * \Delta E \text{ (Ethanol/L Probelösung)}$$

Um den prozentualen Anteil an Ethanol zu berechnen wird folgende Formel verwendet:

$$\text{Prozent}_{\text{Ethanol}} = \frac{c_{\text{Ethanol}} [\text{g/L Probelösung}]}{10 * 0,78924 [\text{g/mL}]} [\% \text{; v/v}]$$

3.5 Bestimmung der Farbe mit dem L*a*b*

Die Farbe der zu untersuchenden Proben wird mittels Spektrophotometers (Fa. Color Flex EZ) gemessen. Gemäß der Prüfvorschrift für flüssige Produkte wurde eine Messblende mit einem Durchmesser von 34 mm verwendet. Da Bier ein sehr transluzentes Produkt ist, wurde ein schwarzer Ring mit einer Höhe von 12 mm in die Küvette eingelegt. Im Anschluss wird die Probe bis über den Ring eingefüllt und der Stempel wird aufgelegt. Es muss darauf geachtet werden, dass sich keine Luftblasen mehr in der Küvette befindet, da es sonst zu fehlerhaften Messungen führen kann. Die Probe kann nun gemessen werden.

3.6 Dünnschichtchromatographie

Das in den Proben enthaltene Lycopin wird mittels Dünnschichtchromatographie untersucht. Hierfür werden verschiedene Laufmittel hergestellt, um eine optimale Auftrennung des Farbstoffes zu ermitteln. Des Weiteren soll mit dieser Methode der Hopfen in seine einzelnen Hopfenfraktionen aufgetrennt werden. Hierfür wird ein Diethylether/ Cyclohexan/ Essigsäure (2,5: 2,5:1)-Gemisch als Laufmittel verwendet.

Tabelle 10: Verwendete Chemikalien zur Durchführung der DC-Analysen.

Chemikalie	Hersteller	Charge/ Lot-Nr.:
Xanthophyll from Alfalfa	Fluka Chemie GmbH, CH Buchs	1336111
Canthaxanthin (trans)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH,	SZBD241XV
Lycopene analytical standard	Fluka analytical	BCBM9969V
β-Carotin	SERVA Entwicklungslabor, Heidelberg	16230
Lycopene 10 mg auf 100 mg	n.n.	20180502
Diethylether	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	277260221
Cyclohexan	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	189717CR
Methanol	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe	036239207
1,2 Propandiol	n.n.	-
HSO ₂ -Cyclohexan	ZELT/ Martinez	20170228-02
HSO ₁ -water-fraction	ZELT/ Martinez	20170228-01
HSO ₃	ZELT/ Martinez	20170228-01

*n.n= nicht nachweisbar

Tabelle 11: Verwendete Materialien/ Geräte zur Durchführung der DC-Analysen.

Materialien/ Geräte	Bezeichnung/ Modell
DC-Entwicklungsammer	n.n.
Ultraschallbad	Bandelin Sonorex
Analysewaage	PB 303-S DeltaRange®
Kapillare	Kapillarröhrchen A-Ø 1,35 x L 80 mm
Präzisionswaage	PB 303-S DeltaRange®
Kieselgel-Platten	Polygram® SIL G/UV ₂₅₄
UV-Lampe 254/ 366 nm	CAMAG UV Cabinet 4

*n.n= nicht nachweisbar

Zur Analyse des Lycopins werden zunächst die Standardlösungen, hergestellt. Hierfür werden jeweils 1 mg des Carotins (Lycopin, *trans*-Canthaxanthin, β-Carotin, Xanthophyll, Lycopin 10 mg auf 100 mg) in 1 mL Propandiol gelöst. Im Anschluss wird von jedem Standard 100 µL entnommen und miteinander vermischt. Die Standards, die Standard-Mischung und die zu untersuchenden Proben werden mittels Kapillarröhrchen auf die Kieselgel-Platten (DC-Platten) aufgetragen. Anschließend kommen die Platten in die DC-Entwicklungsammer, welche mit dem jeweiligen Laufmittel (siehe Tabelle 12) gefüllt ist. Nachdem eine Laufstrecke von ca. 90 % erreicht wurde, wird die DC-Platte aus der Kammer entfernt und unter dem Abzug, bei Raumtemperatur, getrocknet. Die getrockneten Platten werden unter einer UV-Lampe bei einer Wellenlänge von 254 nm bzw. 366 nm hinsichtlich ihrer Laufstrecke und Trennfähigkeit analysiert.

Für die Auftrennung der einzelnen Hopfenfraktionen werden die Standards HSO₁₋₃, sowie die zu untersuchenden Proben auf die DC-Platte aufgetragen. Die weitere Durchführung verläuft analog zur Analyse des Lycopins.

Tabelle 12: Verwendete Laufmittel zur Durchführung der DC-Analysen.

Laufmittel	Verhältnis
1 Diethylether/ Cyclohexan/ Essigsäure	2,5:2,5:1
2 Diethylether/ Methanol	1:1
3 Diethylether/ Methanol/ Essigsäure	80:20:1

3.7 Statistische Auswertung

Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Messreihen wurde eine Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Im Anschluss wurde der paarweise Mittelwertvergleich mittels post-hoc Test nach Tukey durchgeführt. Diese Untersuchungsreihen wurden mit "XL Stat" (2018.5.52064) berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Bierherstellung

Die Herstellung der unterschiedlichen Biere, verlief bis auf Ansatz Nr. 5 nach Anleitung. Nach der letzten Rast hatte die Iodprobe bei allen Ansätzen, bis auf diesen Ansatz, eine Gelbfärbung. Dies bedeutet, dass in den vier Ansätzen die Spaltung der Stärke durch die Enzyme abgeschlossen wurde. Trotz mehrstündigem Kochen konnte dies im fünften Ansatz nicht erreicht werden und die Iodprobe blieb blau verfärbt und die Stärke konnte nicht aufgespalten werden. Aus diesem Grund wurde dieser Ansatz verworfen. Des Weiteren war zu beobachten, dass der Stammwürzegehalt sowohl von dem Pilsner-CARA Amber-Gemisch, sowie der Ansatz mit ausschließlich BEST Red X Malz, verhältnismäßig niedrig sind, da ein Stammwürzegehalt von 11-12 % erwartet wurde (siehe Tabelle 13). Zudem war in allen Bierproben zu erkennen, dass sich das Lycopin nach kürzester Zeit am Boden abgesetzt hat. Vor jeder Untersuchung musste deshalb sichergestellt werden, dass das Lycopin wieder gelöst war. Dies wurde gelöst, indem die Proben vor jeder Analyse geschüttelt wurden.

Tabelle 13: pH-Wert und Stammwürzegehalt der einzelnen Ansätze.

	Iodprobe	pH-Wert Würze	pH-Wert nach Hopfengabe	Stammwürze
1	+	5,95	6,33	12,12 %
2	+	5,48	5,67	10,67 %
3	+	5,97	6,17	11,68 %
4	+	5,95	6,13	10,79 %
5	-	-	-	-

4.2 Bestimmung der reduzierenden Zucker nach Miller

Tabelle 14: Ergebnisse von der reduzierenden Zucker Bestimmung nach Miller.

	Pils		Pils + CARAAmber		Pils + Red X		Red X	
	\bar{x} [g/L]	σ	\bar{x} [g/L]	σ	\bar{x} [g/L]	σ	\bar{x} [g/L]	σ
Würze	75,6	1,102	65,7	2,846	71,7	5,548	66,5	2,501
nach Lycopin & Hefezugabe	73,6	3,086	55	2,124	54,4	2,205	61,3	2,714
Jungbier	60,3	1,171	52,2	1,700	50,1	2,379	44,9	4,158
Gereiftes Bier	17,4	0,410	15,1	0,603	14,9	0,598	14,1	0,207

In Tabelle 14 werden die Ergebnisse der reduzierenden Zucker Bestimmung aufgezeigt. Hier wird deutlich, dass die Würze aus dem Pilsner Malz die höchste Konzentration mit über 75 g/ L besitzt. Die geringsten Anfangskonzentrationen besitzen die Würzen mit der Pilsner-CARAAmber und der BEST Red X Mischung. Während des Gärungs- und Reifeprozesses wird die Konzentration deutlich geringer und nimmt in allen Proben um über 50 g/ L ab. Dies wird in Abbildung 3 nochmal verdeutlicht. Die statistische Auswertung (siehe Tabelle 25-40 im Anhang) zeigt, dass sich im Pilsner Malz die Konzentration der red. Zucker in der Würze und nachdem das Lycopin und die Hefe zugegeben wurde, nicht signifikant voneinander unterscheiden. Des Weiteren konnte bei der Pilsner-BEST Red X Malzmischung nach Lycopin und Hefezugabe und dem Jungbier kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Im Vergleich der Würzen untereinander haben sich das Pilsner Malz und das Pilsner-BEST Red X nicht signifikant unterschieden. Auch die Würzen mit Pilsner-BEST Red X, BEST Red X und Pilsner-CARAAmber zeigten keinen signifikanten Unterschied. Ab dem Zeitpunkt der Lycopin und Hefe Zugabe bis hin zum gereiften Bier konnten das Pilsner-CARAAmber und das BEST Red X sich nicht signifikant voneinander unterscheiden.

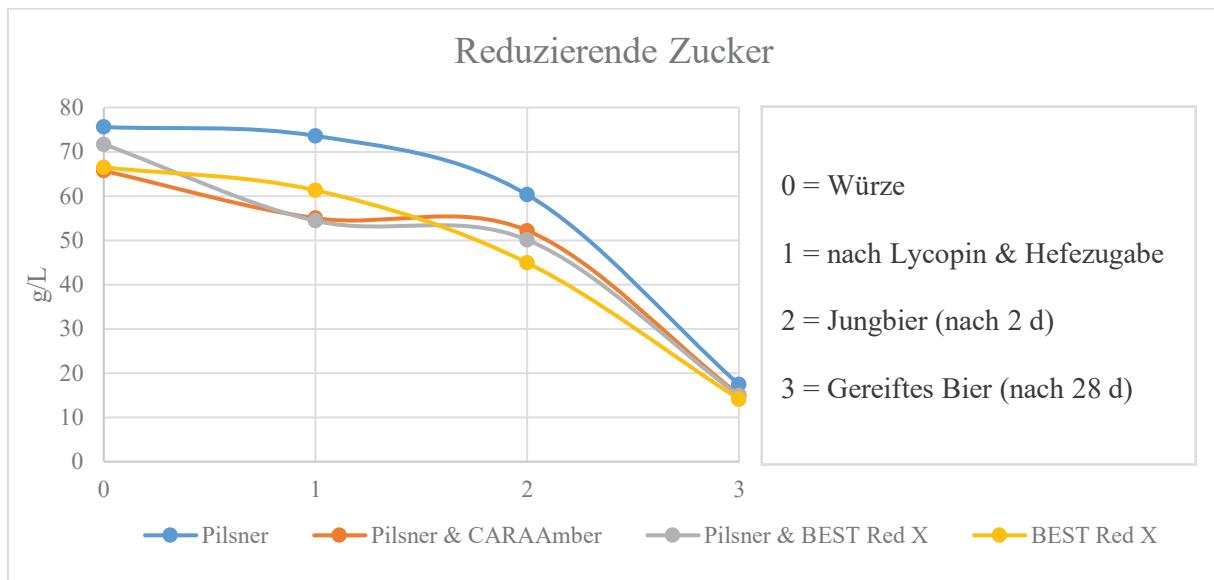


Abbildung 3: Ergebnisse der reduzierenden Zuckerbestimmung nach Miller.

4.3 Bestimmung des FAN

Tabelle 15: Ergebnisse von der FAN Bestimmung.

	Pils		Pils + CARAAmber		Pils + Red X		Red X	
	\bar{x} [mg/L]	σ	\bar{x} [mg/L]	σ	\bar{x} [mg/L]	σ	\bar{x} [mg/L]	σ
Würze	149,9	6,412	177,3	10,687	153,2	12,838	128,7	8,838
nach Lycopin & Hefezugabe	172,0	3,313	207,9	16,475	188,4	10,514	133,0	9,173
Jungbier	133,5	8,913	152,4	3,833	125,5	4,621	127,9	6,516
Gereiftes Bier	89,2	2,584	107,5	3,878	79,4	5,192	74,8	7,117

In Tabelle 15 werden die Ergebnisse der FAN Bestimmung dargestellt. Die höchste Konzentration mit 177,3 mg/ L an freiem Aminostickstoff weist die Würze mit der Pilsner-CARAAmber Malzmischung auf. Am niedrigsten ist die Konzentration von 128,7 mg/ L FAN bei der BEST Red X Malzmischung. Nach der Zugabe des Lycopins und der Hefe erfolgte in allen Proben nochmal ein Anstieg der Werte auf Teilweise über 200 mg/ L. Am geringsten ist der

Anstieg in der Pilsner-BEST Red X Würze. Ab diesem Zeitpunkt bis hin zum fertig gereiften Bier wurde eine Reduzierung des freien Aminostickstoffs festgestellt. In den beiden Biersorten, welche das BEST Red X Malz enthalten, fielen die Werte auf 74,8-107,5 mg/ L. Am höchsten ist auch hier das Bier mit dem Pilsner-CARAAmber Malz. Zur besseren Veranschaulichung dient die Abbildung 4. In der statistischen Auswertung (siehe Tabelle 45-60 im Anhang) konnten mit Ausnahme des Biers, welches mit dem BEST Red X Malz hergestellt wurde, im Vergleich der Prozessschritte in den einzelnen Bieren signifikante Unterschiede festgestellt werden. Das BEST Red X Bier hat sich vom Zeitpunkt der Würze bis zum Zeitpunkt des Jungbiers nicht signifikant verändert. Dies ist auch in Abbildung 4 sichtbar. Aufgrund von hohen Standardabweichungen konnten in der Würze vom Pilsner-CARAAmber und Pilsner-BEST Red X keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Des Weiteren unterscheiden sich auch die Würzen mit Pilsner Malz, Pilsner-BEST Red X Malz und BEST Red X Malz nicht signifikant voneinander. In der statistischen Auswertung des Jungbieres war das Pilsner-CARAAmber Bier das einzige, welches sich von den anderen Biersorten signifikant unterschieden hat. Im gereiften Bier konnten in den Bieren, die das BEST Red X Malz enthielten, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

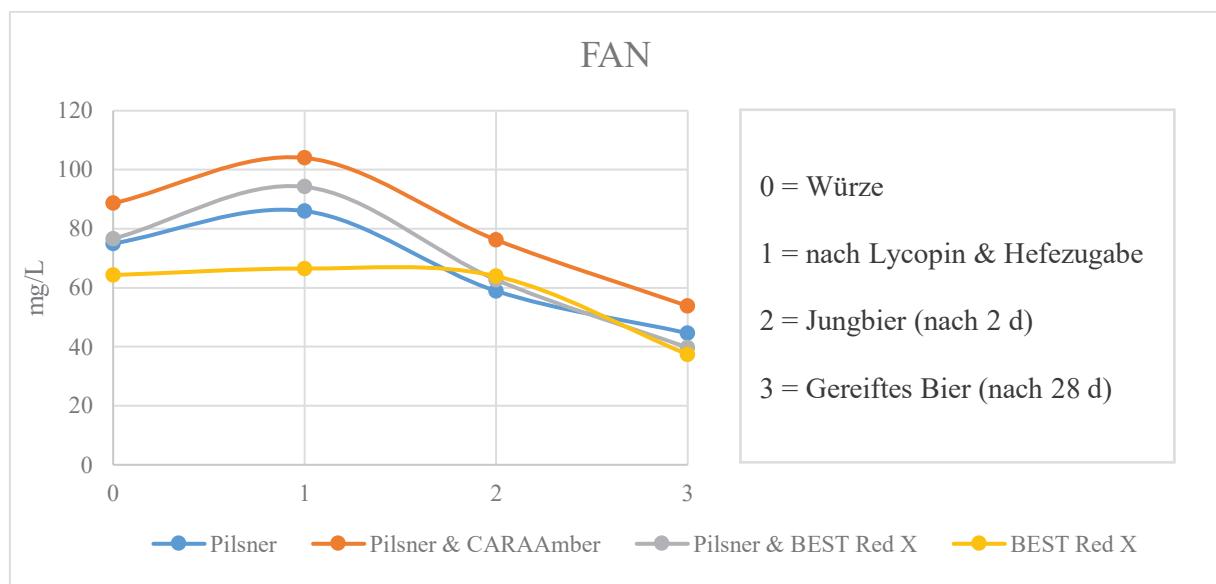


Abbildung 4: Ergebnisse der FAN Bestimmung.

4.4 Bestimmung des Ethanol-Gehaltes

Der Alkoholgehalt der hergestellten Biere sollte im Normalfall bei ca. 4,9 Vol.-% liegen. Wie in Tabelle 16 zu sehen ist, konnte dieser Wert nicht erreicht werden. In der statistischen Auswertung (siehe Tabelle 62-63 im Anhang) konnten zwischen den Biersorten Pilsner, Pilsner-

CARAAmber und BEST Red X, sowie zwischen den Sorten BEST Red X und Pilsner-BEST Red X keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 16: Die ermittelten Ethanol-Gehalte der hergestellten Biersorten.

	\bar{x} [Vol.-%]	σ
Pilsner	3,11	0,059
Pilsner & CARAAmber	3,12	0,105
Pilsner & BEST Red X	2,75	0,051
BEST Red X	2,89	0,174

4.5 Bestimmung der Farbe im L*a*b*-Farbraum

Durch die unterschiedlichen Malzsorten besitzen die Biere ein anderes Farbspektrum. Der erste Ansatz wurde ausschließlich mit dem extra hellen Pilsner Malz hergestellt. Dieser besitzt eine EBC-Farbe von 2,5-4,5. EBC ist eine Farbeinheit, der die verschiedenen Braustufen in der Würze und im Bier angibt. Je heller ein Bier ist, desto geringer ist auch der Wert. Das BEST Red X Malz hat 30,0 EBC und wird häufig für Biere verwendet, die einen Rotstich besitzen sollen. Auch das CARAAmber soll Bieren eine rötliche Farbe verleihen und hat einen Farbwert von 60,0-80,0 EBC.

Tabelle 17: Vergleich der ermittelten L*-Werte der hergestellten Biersorten.

	Probe	Pils	Red	P+R	P+C
1	Würze	52,06	35,12	43,26	33,50
2	Nach Lycopin und Hefe Zugabe	39,95	29,80	35,03	26,51
	Δ 1-2	12,11	5,32	8,23	6,99
3	Jungbier	38,42	30,59	37,48	27,06
	Δ 2-3	1,53	-0,79	-2,45	-0,55
4	Gereiftes Bier	38,28	27,26	32,06	23,43
	Δ 3-4	0,14	3,33	5,42	3,63
	Δ gesamt	13,78	7,86	11,20	10,07

In Tabelle 17 ist zu sehen, dass die Würze mit dem extra hellen Pilsner Malz am hellsten ist. Nach der Zugabe von Lycopin und Hefe ist ein Abfall der Helligkeit auf einen Wert von 39,95 zu erkennen. Während der Gärung und Reifung ist nur noch eine geringe Verdunkelung des Bieres von unter 2 ermittelt worden. Insgesamt hat sich die Helligkeit um einen Wert von 13,78 reduziert. Die zweithellste Würze ist die kombinierte Malzzusammensetzung aus Pilsner Malz

und BEST Red X Malz mit einem Wert von 43,26. Wie auch in der ersten Würze ermittelt, kommt es zu einer geringeren Helligkeit. Diese hat jedoch im Vergleich eine geringere Differenz. Nach der Gärung ist ein Anstieg der Helligkeit von 2,45 festzustellen, dieser Wert nimmt jedoch während des Reifeprozesses um 5,42 ab. Das Bier hat somit, trotz kurzzeitigem Anstieg, eine Reduzierung der Helligkeit von 11,20. Wie zu erwarten ist die Würze, in der ausschließlich das BEST Red X Malz verwendet wurde, am dritthellsten mit einem Wert von 35,12. Auch diese weist ein Absinken der Helligkeit nach der Zugabe der Hefe und des Lycopins auf. Wie auch in der anderen Würze, zeigt sich eine Aufhellung nach dem Gärungsprozess und der Reifung, wenn auch geringer. Insgesamt wurde eine Reduzierung der Helligkeit von 7,86 ermittelt. Am dunkelsten ist die Würze mit der kombinierten Malzzusammensetzung von Pilsner Malz und CARAAmber. Hier beträgt die Helligkeit der Würze nur 35,12. Eine weitere Verdunkelung um 6,99 tritt nach der Hefe und Lycopin Zugabe ein. Nach der Gärphase erfolgt ein minimaler Anstieg um 0,55. Jedoch sinkt dieser Wert im Laufe der Reifung auf eine Gesamthelligkeit von 23,43. Zur besseren Veranschaulichung der Helligkeitsabnahme dient Abbildung 5.

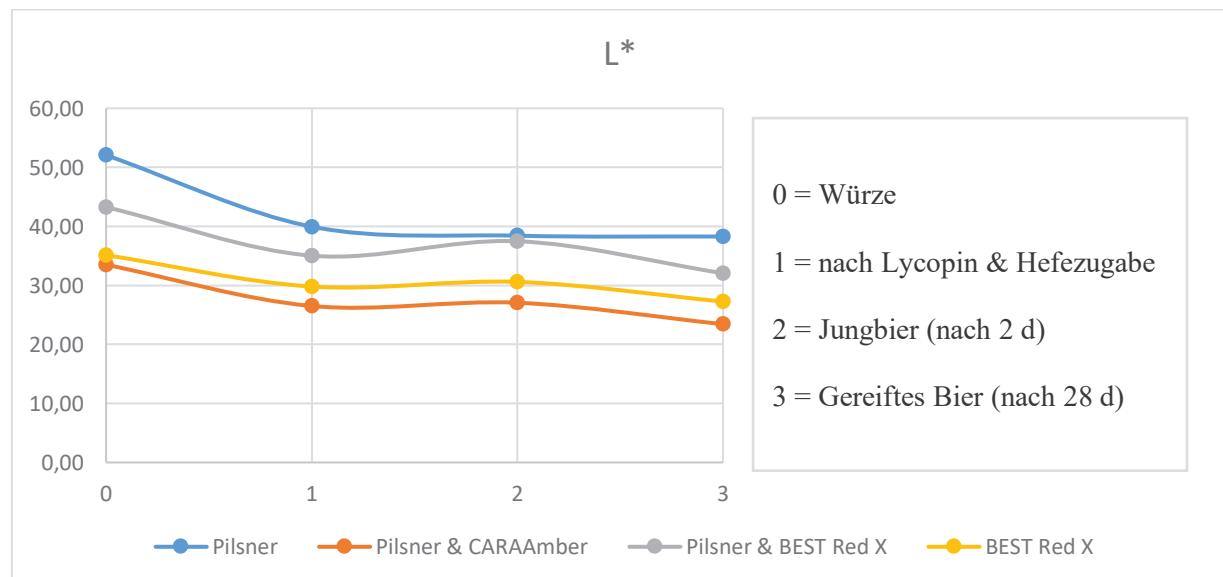


Abbildung 5: Vergleich der ermittelten L*-Werte der hergestellten Biersorten.

Die statistische Auswertung zeigt, dass sich alle Biersorten während der einzelnen Reifeprozesse, sowie im Vergleich signifikant voneinander unterscheiden (siehe Tabelle 76-123 im Anhang).

Tabelle 18: Vergleich der ermittelten a*-Werte der hergestellten Biersorten.

	Probe	Pils	Red	P+R	P+C
1	Würze	3,13	20,51	14,15	23,71
2	Nach Lycopin und Hefe Zugabe	14,35	23,60	19,88	25,41
	Δ 1-2	-11,22	-3,09	-5,73	-1,70
3	Jungbier	11,85	23,24	18,19	25,03
	Δ 2-3	2,50	0,36	1,69	0,38
4	Gereiftes Bier	13,94	21,82	18,72	21,99
	Δ 3-4	-2,09	1,42	-0,53	3,04
	Δ gesamt	-10,81	-1,31	-4,57	1,72

In Tabelle 18 sind die Mittelwerte der hergestellten Biersorten für den a*-Wert der L*a*b*-Farbmessung aufgelistet. Alle ermittelten Werte sind im positiven Bereich und befinden sich somit auf der Rot-Achse. Die Würze, welche ausschließlich mit dem Pilsner Malz hergestellt wurde, hat im Vergleich zu den Würzen mit höheren EBC-Farbwerten, einen geringen Wert von 3,13. Dagegen besitzen die Würzen, aus dem BEST Red X Malz und der Kombination von Pilsner Malz und CARAAmber, verhältnismäßig hohe Werte von über 20. Durch die Zugabe von Lycopin erfolgt nochmals ein Anstieg der Werte. Dies ist vor allem an der hellen Würze zu erkennen, die auf einen Wert von 14,35 anstieg. Nach der Gärung und dem Abfiltrieren der Hefe sinken jedoch wieder alle Werte, am meisten das helle Bier. Mit Ausnahme des Pilsner und dem Pilsner-BEST Red X-Gemisch sinken die Werte auch während des Reifeprozesses weiter, jedoch ist die Differenz beim Pilsner größer. In der Gesamtbetrachtung, ist zu erkennen, dass die gereiften Biere trotz allem eine rottere Farbe besitzen, als vor Lycopin Zugabe. Lediglich das CARAAmber-Pilsner-Bier hat vor dem Gär- und Reifeprozess einen höheren Rotanteil. Dies wird auch noch einmal in Abbildung 6 veranschaulicht dargestellt.

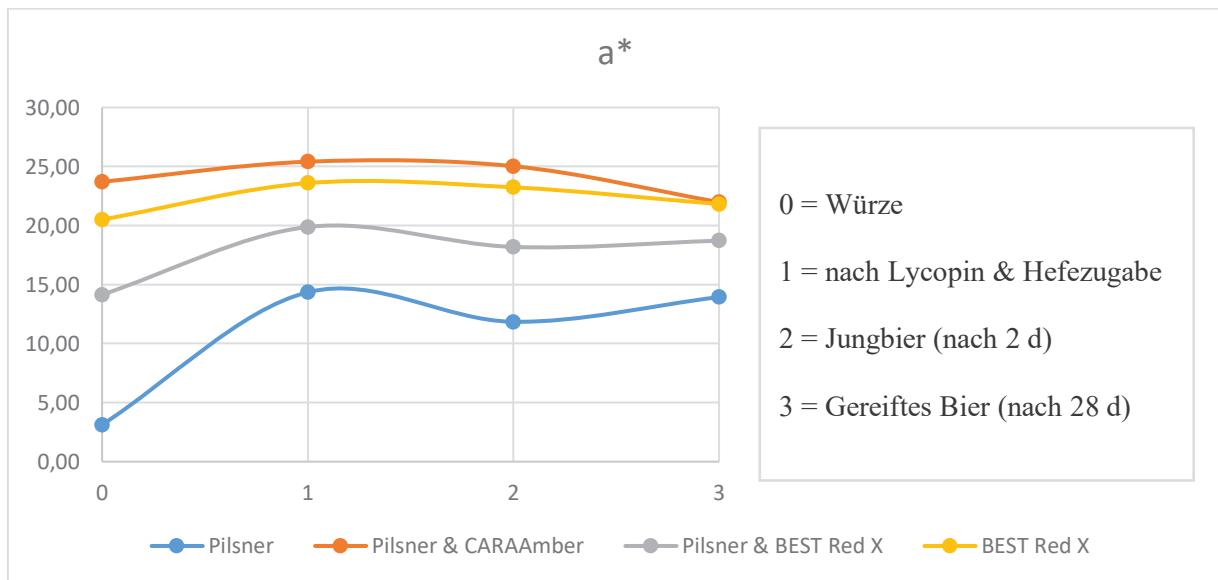


Abbildung 6: Vergleich der ermittelten a*-Werte der hergestellten Biersorten.

Die statistische Auswertung (Tabelle 76-123 im Anhang) zeigt, dass sich das Bier aus Pilsner Malz und Pilsner-BEST Red X Malz während der kompletten Herstellung signifikant unterscheiden. In den beiden anderen Biersorten dagegen konnte vor und nach der Gärung kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Auch die fertig gereiften Biersorten BEST Red X und Pilsner-CARAAmber waren nicht signifikant.

Tabelle 19: Vergleich der ermittelten b*-Werte der hergestellten Biersorten.

	Probe	Pils	Red	P+R	P+C
1	Würze	31,74	52,02	53,81	53,03
2	Nach Lycopin und Hefe Zugabe	33,50	43,72	46,33	40,94
	$\Delta 1-2$	-1,76	8,30	7,48	12,09
3	Jungbier	31,71	45,50	47,63	41,22
	$\Delta 2-3$	1,79	-1,78	-1,30	-0,28
4	Gereiftes Bier	25,48	35,69	36,61	31,56
	$\Delta 3-4$	6,23	9,81	11,02	9,66
	Δ gesamt	6,26	16,33	17,20	21,47

Alle Biere besitzen einen positiven b*-Wert und befinden sich somit auf der Gelb-Achse. Die ermittelten Farbwerte befinden sich in Tabelle 19. Es ist zu erkennen, dass der Wert der Würze, welche ausschließlich aus Pilsner Malz hergestellt wurde, während des kompletten Reifeprozesses sinkt. Im Gegensatz dazu werden die anderen Würzen nach der Zugabe von Lycopin und

Hefe zunächst gelblicher. Jedoch sinken die Werte wieder minimal nachdem die Gärung abgeschlossen wird. Während der Reifung folgt nochmals eine Intensivierung des Gelbtöne aller Biersorten. Insgesamt ist die Zunahme der a^* -Werte relativ unterschiedlich. Das Pilsner Malz erhöht sich lediglich um 6,26, wohingegen die anderen Biersorten einen Anstieg von teilweise über 20 haben. Dies wird nochmal in Abbildung 7 verdeutlicht.

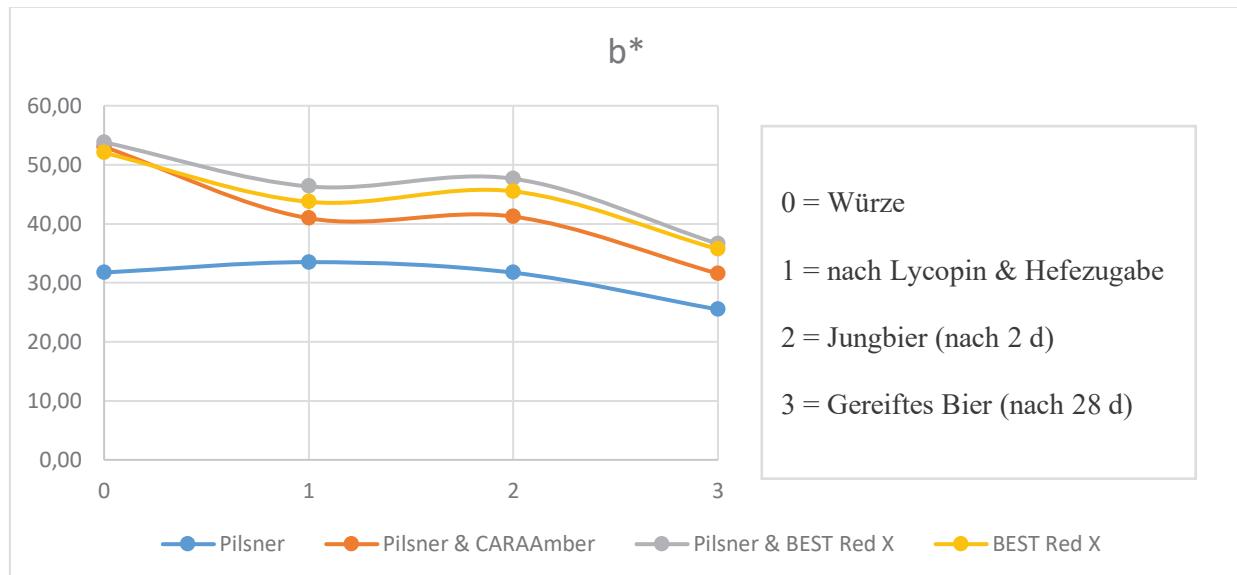


Abbildung 7: Vergleich der ermittelten b^* -Werte der hergestellten Biersorten.

Die statistische Auswertung in Tabelle 76-123 im Anhang zeigt, dass sich die b^* -Werte der Würze und des Jungbiers vom Pilsner nicht signifikant unterscheiden. Des Weiteren waren auch die Werte vom CARAAmber-Pilsner vor und nach der Gärung nicht signifikant. Auch in der Würze gab es Biersorten, die sich nicht signifikant voneinander unterschieden haben. Dies waren zum einen das Pilsner-BEST Red X und zum anderen das Pilsner-CARAAmber. Während der Gärphase zeigten alle im paarweisen Vergleich eine Signifikanz auf. Im fertigen Bier wurden wiederum keine signifikanten Unterschiede beim BEST Red X Bier und Pilsner-BEST Red X festgestellt.

4.6 Dünnschichtchromatographie

Im ersten Durchlauf wurde als Laufmittel ein Gemisch aus Diethylether/ Cyclohexan/ Essigsäure (25:25:1) verwendet. Zunächst wurden die sechs Standards auf die Platte aufgetragen (siehe Abbildung 8) und im Anschluss auf den drei verbliebenen die mit Lycopin angereicherte Würze mit dem Pilsner Malz. Auf Platz eins wurde das Lycopin aufgetragen, auf Platz zwei die

Mischung aus allen Carotin Standards, auf Platz drei das *trans*-Canthaxanthin, auf Platz vier das β -Carotin, auf Platz fünf das Xanthophyll und auf Platz sechs das in den Proben verwendete Lycopin (10 mg auf 100 mg). In der Abbildung ist zu erkennen, dass sich das *trans*-Canthaxanthin am besten aufgetrennt hat. Auch die Mischung, das β -Carotin, das Xanthophyll und das Lycopin (10 mg auf 100 mg) konnten aufgetrennt werden. Lediglich das analytische Lycopin zeigte keinerlei Auf trennung. Die Laufstrecke der zu untersuchenden Bierproben konnten auch nicht so getrennt, dass eine analytische Bestimmung möglich wäre. Im Vergleich ähneln sich die Laufstrecke von β -Carotin und Lycopin. Zudem ist eine fluoreszierende Substanz in den Proben zu erkennen. Diese können aber nicht zu den Carotinoid-Standards zugeordnet werden. Die DC-Platte in der Abbildung wurde unter einer UV-Lampe mit einer Wellenlänge von 366 nm analysiert.

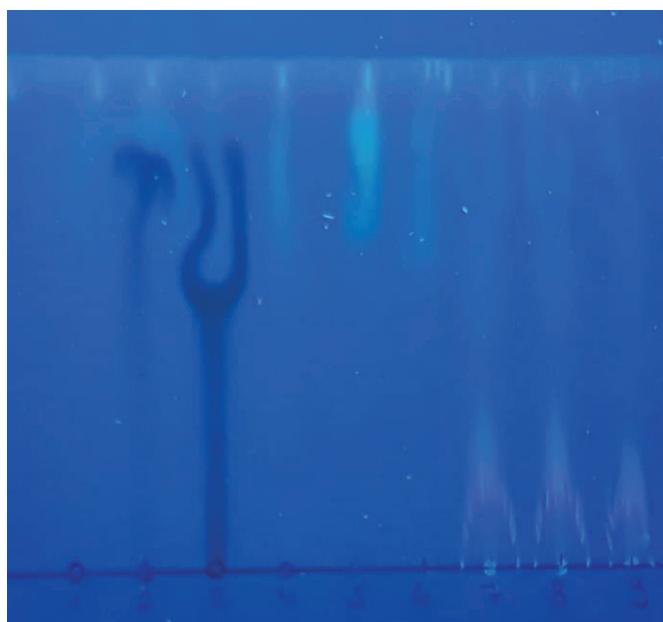


Abbildung 8: DC der Carotinoide und Biere unter Verwendung von DEE/ Cyclohexan/ AcOH (25:25:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.

Als nächstes wurden die Analyten mit dem Laufmittel Diethylether/ Methanol (50:50) untersucht. Abbildung 9 zeigt sowohl die Standards, als auch alle zu untersuchenden Würze- und Bierproben. Auf der ersten Platte wurden wie beim ersten Laufmittel die Standards und die mit Lycopin angereicherte Würze des Pilsner Malzes aufgetragen. Auf den anderen Platten befinden sich die restlichen Würze- und Bierproben. Hier wurden zudem auf Platz eins die Standard Mischung und auf Platz zwei das verwendete Lycopin (10 mg auf 100 mg) aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass sich lediglich das *trans*-Canthaxanthin und die Mischung aus allen Standards

aufgetrennt haben. Auch auf diesen Platten wurde in den zu untersuchenden Proben eine fluoreszierende Substanz festgestellt. Die Platten wurden ebenfalls unter einer UV-Lampe bei einer Wellenlänge von 366 nm analysiert.

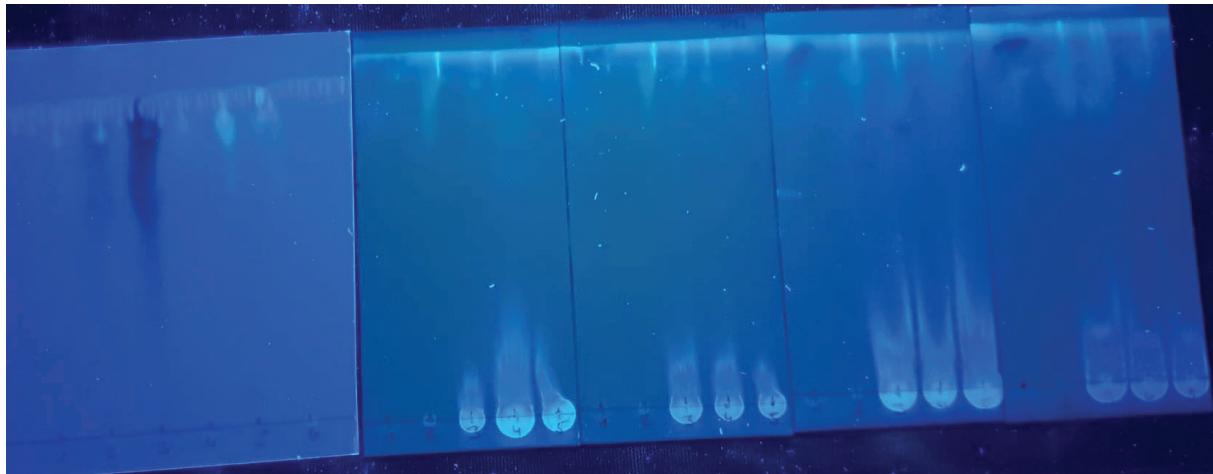


Abbildung 9: DC der Carotinoide und der Biere unter Verwendung von DEE/ MeOH (50:50) bei einer Wellenlänge von 366 nm.

Das dritte Laufmittel war ein Gemisch aus Diethylether/ Methanol und Essigsäure (80:20:1). In Abbildung 10 sind die Standards und die zu untersuchenden Proben zu sehen. Die Anordnung der Proben erfolgte analog zu Laufmittel zwei. Es ist auf allen Plätzen eine Laufstrecke zu erkennen. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass die Laufstrecke des analytischen Lycopins und des Xanthophylls ähnlich verlaufen. Aufgrund der schwach ausgeprägten Laufstrecke der zu analysierenden Proben, kann keine klare Zuordnung erfolgen. Auch diese Proben zeigen bei einer Wellenlänge von 366 nm eine fluoreszierende Substanz auf.

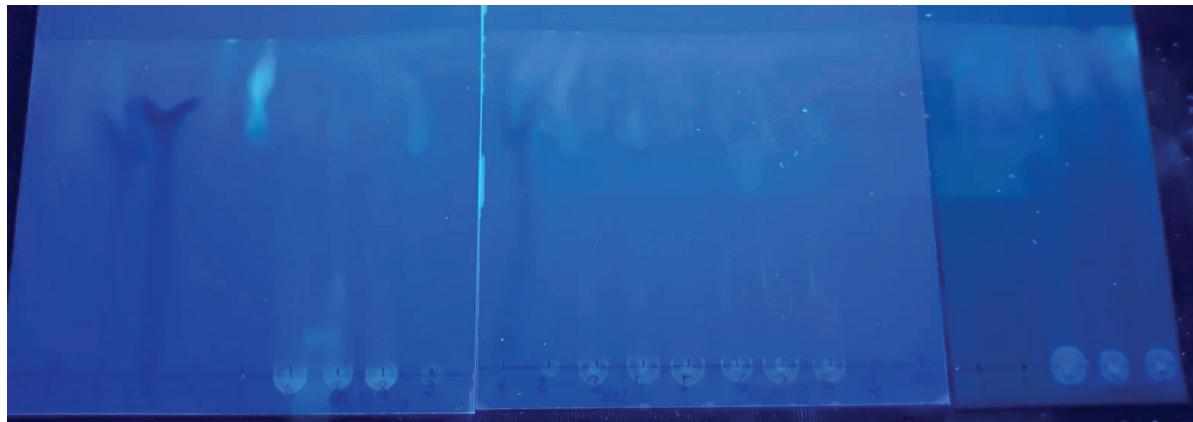


Abbildung 10: DC der Carotinoide und der Biere unter Verwendung von DEE/ MeOH/ AcOH (80:20:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.

Unter der Annahme, dass es sich bei den fluoreszierenden Substanzen um Hopfenbestandteile handelt, wurden die Proben mit Hopfenextrakten verglichen. Als Laufmittel kam ein Gemisch aus Diethylether/ Cyclohexan/ Essigsäure (25:25:1) zum Einsatz. Auf den Plätzen 1-3 wurden die Hopfenstandards aufgetragen. Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, konnten lediglich zwei der drei Extrakte in ihre einzelnen Hopfenfraktionen aufgetrennt werden. Auf dem ersten Platz wurde der Hopfenextrakt, welcher mit Cyclohexan verdünnt wurde, aufgetragen, auf Platz zwei der mit Wasser verdünnte Hopfen und auf Platz drei befindet sich das unverdünnte Hopfenextrakt. In der Abbildung wird deutlich, dass die zu untersuchenden Proben keine Laufstrecke aufzeigen, welche mit den Standards übereinstimmen. Die DC-Platten wurden unter einer UV-Lampe bei einer Wellenlänge von 366 nm ausgewertet.



Abbildung 11: DC der Hopfenextrakte und der Biere unter Verwendung von DEE/ Cyclohexan/ AcOH (25:25:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.

5 Diskussion

In der Brauindustrie wird ein durchschnittlicher Stammwürzegehalt von 11,5 % angestrebt. Dies entspricht einem Anteil an vergärbaren Zuckern von 7,81 kg Zucker/ hL Würze. Umgerechnet entspricht das einem Wert von 78,1 g/ L (Annemüller et al., 2013). Dieser Wert wurde in keiner der Proben erreicht. Die höchste Konzentration der reduzierenden Zucker wurde beim Pilsner, mit einem Wert von 75,6 g/ L, bestimmt. Am weitesten ist die Pilsner-CARA Amber Würze und die BEST Red X vom Soll-Wert entfernt. Hier wurde ein Wert von ca. 65 g/ L bestimmt. Der Stammwürzegehalt lag in diesen Würzen bei unter 11 %. Eine mögliche Ursache für den geringen Anteil an reduzierenden Zucker und dem niedrigen Stammwürzegehalt ist, dass die Röstmälze enzymärmer sind als das Pilsner Malz und dementsprechend weniger Stärke aufgespalten werden konnte (Narziss, 2005). Dies könnte auch der Grund sein weshalb der 5. Ansatz, in dem ausschließlich das CARA Amber Malz verwendet wurde, keine Gelbfärbung der Iodprobe erreicht hat. Die anderen beiden Würzen haben die gewünschten Stammwürzegehalte erreicht und hatten annähernd genügend reduzierende Zucker für den Gärprozess zur Verfügung. Da sich alle reduzierenden Zuckergehalte um über 50 % reduziert haben und auf einen Wert von unter 20 % gefallen sind, lässt sich daraus schließen, dass die Hefe die vorhandenen Zucker verstoffwechseln konnte. Damit der gewünschte Stammwürzegehalt und eine ausreichende Aufspaltung der Amylosen erreicht wird, sollten in weiteren Untersuchungen höhere Anteile an Pilsner Malz verwendet werden. Hierfür wird ein Röstmälzanteil von max. 20 % empfohlen (Kunze, 2016).

Konventionelle Biere besitzen in ihrer Würze einen FAN-Gehalt von 200-230 mg FAN/ L, welcher im späteren Bier auf 20-40 mg FAN/ L reduziert wird. Bei erreichen dieser Konzentration, hat die Hefe den Anteil an verwertbarem FAN vollständig verbraucht (Annemüller et al., 2013; Kunze, 2016). Die hergestellten Würzen enthielten einen FAN Anteil von 129-177 mg/ L. Somit konnte der gewünschte Gehalt an freiem Aminostickstoff in allen hergestellten Würzen nicht erreicht werden. Nachdem das Lycopin und die Hefe hinzugegeben wurden, stieg dieser Wert nochmal auf teilweise über 200 mg/ L an. Da das Farbpigment aus Tomatenresten extrahiert wurde und Tomaten mit Stickstoffquellen gedüngt werden, wäre es möglich, dass das verwendete Lycopin Anteile an freien Aminostickstoff enthält (Farah et al., 2006). Alle Biere enthielten nach der Gärung und Reifung noch hohe Mengen (74,8-107,5 mg/ L) an freiem Aminostickstoff. Dies bedeutet, dass die Hefe den verwertbaren FAN Anteil nicht vollständig verbraucht hat. Um dies zu erreichen müsste der Wert sich noch um das 2-3fache minimieren. Dies könnte entweder durch eine längere Hauptgärung durchgeführt werden, z. B. 72 h bevor die Hefe abfiltriert wird oder aber durch eine Veränderung der Malzzusammensetzung. Auch der

niedrige Alkoholgehalt von etwa 3 Vol.-% zeigt, dass eine Änderung der Rezeptur notwendig ist.

Da die qualitative und quantitative Bestimmung mittels Dünnschichtchromatographie nicht erfolgreich war, können auch keine genauen Aussagen über den möglichen Abbau des Lycopins während des Gärungsprozesses getroffen werden. Eine mögliche Ursache wäre, dass die Konzentration an enthaltenem Lycopin für diese Art von Untersuchung zu gering ist. Des Weiteren könnte auch eine andere Zusammensetzung des Laufmittels bessere Ergebnisse liefern. Um jedoch präzise Ergebnisse zu bekommen, wird die Analyse mittels HPLC empfohlen. Hier können auch Proben mit niedriger Lycopin Konzentration detektiert werden. Zudem können Rückschlüsse gezogen werden, welche Konfiguration das verwendete Lycopin hat. Des Weiteren wäre es mit einer erfolgreich durchgeföhrten chromatographischen Analyse möglich, Auskünfte zu bekommen, ob noch andere Carotinoide in dem verwendeten Lycopin waren. Außerdem wird empfohlen ein reineres Lycopin z. B. welches aus dem Pilz *Blakeslea trispora* synthetisiert wurde, zu verwenden. Während der Herstellung der Standards für die Analyse mittels DC wurde festgestellt, dass das Lycopin, welches für die Arbeit verwendet wurde, sich auch in 1,2-Propandiol entmischt hat. Der analytische Lycopin-Standard war dagegen durchgehend in Lösung. Dies könnte auch mitunter ein Grund sein, weshalb sich die mit dem L*a*b*-Messgerät ermittelten Farbwerte während dem Gärungs- und Reifeprozess veränderten. In diesen Untersuchungen wurde sowohl ein Abfall des a*-Wertes, als auch des b*-Wertes festgestellt. Es kann aufgrund der nicht vorhandenen qualitativen und quantitativen Bestimmung nicht sicher gestellt werden, dass sich das Lycopin auch tatsächlich abgebaut hat. Es können jedoch nur Vermutungen aufgestellt werden. Des Weiteren wäre es möglich das mit dem anfänglichen Anstieg und des kontinuierlichen Abfalls der b*-Werte das verwendete Lycopin noch andere Carotinoide enthielt. Sobald eine erfolgreiche Durchführung mittels DC oder HPLC stattgefunden hat, könnte daran geforscht werden, ob eine Korrelation zwischen diesem Analyseverfahren und der L*a*b*-Messung besteht. Ist dies der Fall könnte die L*a*b*-Messung als eine Art Schnelltest etabliert werden.

Auch die Bestimmung der Hopfenbestandteile konnte mittels DC nicht erzielt werden. Hier konnten lediglich zwei von drei Standards aufgetrennt werden, von den zu untersuchenden Proben jedoch keine. Es ist möglich, dass die im Hopfen enthaltene Konzentrationen für diese Untersuchung zu gering war. Um eindeutige Ergebnisse hierfür zu enthalten, würde sich eine Analyse mit der HPLC anbieten. Da zweidrittel der Standards aufgetrennt werden konnten, wäre ein anderes Laufmittel nicht unbedingt sinnvoll.

Alles in Allem kann keine These aufgestellt werden, dass sich das Lycopin tatsächlich in den Bieren abgebaut hat oder ob unterschiedliche Malzzusammensetzungen das Farbpigment beeinflussen. Da sich das verwendete Lycopin auch in 1,2-Propandiol nicht lösen konnte bzw. sich wieder entmischt hat, kann auch keine Aussage getroffen werden, ob Lycopin in Bier tatsächlich unlöslich bzw. schwer löslich ist. Es wird daher empfohlen weitere Studien durchführen zu lassen. Sollte das Lycopin während des Gärungsprozesses bzw. im Bier stabil sein, könnte dieses Verfahren auch auf andere fermentierte Getränke übertragen werden.

6 Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit war es die Stabilität von Lycopin während des Gärungsprozesses beim Bier zu analysieren. Hierfür wurden zunächst fünf Biere mit unterschiedlicher Malzzusammensetzung gebraut. Insgesamt wurden drei unterschiedliche Malze verwendet. Das erste Malz war ein extra helles Pilsner Malz, um eine bessere Farbveränderung nach der Zugabe von Lycopin wahrzunehmen. Bei den anderen beiden Malzsorten handelte es sich um Caramelmalze, die dem Bier eine zusätzliche rötliche Farbe geben sollen. Zudem wurden von beiden Röstmälzen eine 50:50 Mischung mit Pilsner Malz zur Herstellung verwendet. Nachdem die Würze gekocht und der Hopfen hinzugefügt wurde, wurde sowohl eine untergärtige Hefe, als auch das Lycopin zugegeben. Die Hauptgärung erfolgte für 48 h, anschließend wurde die Hefe abfiltriert und das Bier wurde für 4 Wochen nachgegärt. In jedem Probeabschnitt wurde eine Probe entnommen, welche anschließend mit dem L*a*b*-Farbmessgerät gemessen und mittels Dünnschichtchromatographie analysiert wurde. Die L*a*b*-Messungen zeigten in allen hergestellten Biersorten eine Reduzierung der roten und gelben Farbe. Dies könnte erste Aufschlüsse geben, dass sich das Lycopin und andere Carotinoide während der kompletten Gärung teilweise abgebaut haben. Zur qualitativen und quantitativen Bestimmung sollte die Dünnschichtchromatographie Aufschlüsse geben. Jedoch konnten die Carotinoide mit den verwendeten Laufmitteln nicht aufgetrennt werden. Ohne diese Bestimmung lassen sich keine Rückschlüsse ziehen inwieweit sich das Lycopin während des Gärungsprozesses verhalten hat. Daher wäre es sinnvoll in späteren Forschungen zunächst an einer Methode zu arbeiten, um Carotinoide mittels Dünnschichtchromatographie erfolgreich aufzutrennen. Des Weiteren könnten mit anderen chromatographischen Bestimmungen wie der HPLC präzisere Aussagen getroffen werden. Sobald die genaue Zusammensetzung der Lycopin- und Bierprobe bekannt ist, könnte eine Methode mittels L*a*b*-Messgerät etabliert werden. Werden dort Korrelationen festgestellt, könnte dies für weitere Studien als eine Art Schnelltest dienen.

Da Lycopin und seine positiven gesundheitlichen Eigenschaften derzeit stark erforscht werden, liefert diese Arbeit viele Ansätze, woran weitere Studien anknüpfen können. Sobald die Problematiken in dieser Arbeit überwunden werden können und positive Resultate entstehen, könnte die Herstellung eventuell auch auf andere fermentierte Getränke übertragen werden.

7 Literaturverzeichnis

Annemüller, G.; Manger, H.-J.; Lietz, P.: *Die Hefe in der Brauerei*. 3. Aufl. Berlin: VLB Berlin, 2013.

Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Lutz, A.; Mitter, W.; Schmidt, R.; Schönberger, C.: *Hopfen: Vom Anbau bis zum Bier*. 4. Aufl. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl GmbH, 2012.

Büttner, S.: *Optimierung und Validierung einer HPLC-Methode zur Bestimmung des Carotinoidgehaltes in alkoholischen Getränken*. [Studienarbeit], Berlin: Technische Universität, 2015.

EFSA: *Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to an application on the use of α -tocopherol-containing oil suspension of lycopene from *Blakeslea trispora* as a novel food ingredient*. The EFSA Journal (2005), Nr. 212, S. 1-29.

Farah Mand, A. R.; Farad H.; Liaghat, A. A. M.; Kashi, A. A. K.: *The effect of water und nitrogen amounts on quantity and quality of tomato under deficit irrigation*. Iranian Journal of Agricultural Sciences (2006), Ausgabe 37, Nr. 2, S. 273-279.

Hanghofer, H.: *Gutes Bier Selbstbrauen*. München: BLV Buchverlag, 2014.

Heymann, T.: *Isomerisierung von Carotinoiden und deren Bedeutung für die Lebensmittelauthentizität und in vivo*. [Dissertation], Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität, 2015.

Heyse, K.-U.: *Handbuch der Brauerei Praxis*, Nürnberg: Fachverlag Hans Carl GmbH, 1995.

Kunze, W.: *Technologie Brauer & Mälzer*. 11. Aufl. Berlin: VLB Berlin, 2016.

MEBAK: *Brautechnische Analysenmethoden*. Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission, 2017.

Narziss, L.: *Abriss der Bierbrauerei*. 7. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.

Narziss, L.; Back, W.: *Brauwissenschaft und Brauereitechnologie*. Chemie Ingenieur Technik (2016), Nr. 12, S. 1869-1879.

Narziss, L.; Schuster, K.; Weinfurtner F.: *Die Bierbrauerei Band 2: Die Technologie der Würzebereitung*. 7. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992.

Narziss, L.; Schuster, K.; Weinfurtner F.: *Die Bierbrauerei Band 1: Die Technologie der Malzbereitung*. 7. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1999.

Nitschke, N.: *Der Einfluss der Carotinoide Lycopin und Lutein auf den antioxidativen Status des Hundes*. [Dissertation], München: Ludwig-Maximilian-Universität, 2005.

Pham-Huy, L. A.; He, H.; Pham-Huy, C.: *Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health*. International Journal of Biomedical Science (2008), Nr. 4, S. 89-96.

Poojary, M. M.; Passamonti, P.: *Extraction of lycopene from tomato processing waste: Kinetics and modeling*. Food Chemistry (2015), Nr. 173, S. 943-950.

Reinhard, R.; Papert, T.; Peter, V.; Polage, S.: *Verfahren zur Herstellung von Carotinoiden durch Submersfermentation mit Mischkulturen von (+) und (-)-Stämmen des Pilzes Blakeslea trispora*. DE, Patentschrift DE102014208876A1. 12.05.2014.

Schnäbele, Kerstin: *Einfluss von Karotten- und Tomatensaft-Konsum auf Coloncarcinogenese-relevante Faecesmarker beim Menschen*. [Dissertation], Karlsruhe: Universität Hohenheim, 2005.

Sicilia, T.: *Vorkommen, Bioverfügbarkeit und Metabolismus von Lycopin und dessen Wirkung gegen oxidativen Stress*. [Dissertation], Mannheim: Universität Karlsruhe (TH), 2004.

Vorläufiges Biergesetz. In: *Bundesgesetzblatt 199 Teil I*. S. 1400. online auf archiv.jura.unisaarland.de: *BGBI.-Modellprojekt Teil I und Teil II, Oktober 1990 bis Dezember 1997*.

Weinfurtner, F.: *Die Bierbrauerei Band 3: Die Technologie der Gärung*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1963.

X-Rite: *Die Sprache der Farben*. Neu-Isenburg: X-Rite Deutschland GmbH. URL: <https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/110-001_a_guide_to_understanding_color_communication/110-001_understand_color_de.pdf (Abruf: 07.08.2018)

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Strukturformel von <i>all-trans</i> -Lycopin (Quelle: EFSA, 2005).	11
Abbildung 2: Fließschema zur Bierherstellung im Labormaßstab.....	15
Abbildung 3: Ergebnisse der reduzierenden Zuckerbestimmung nach Miller.....	28
Abbildung 4: Ergebnisse der FAN Bestimmung.....	29
Abbildung 5: Vergleich der ermittelten L*-Werte der hergestellten Biersorten.....	31
Abbildung 6: Vergleich der ermittelten a*-Werte der hergestellten Biersorten.	33
Abbildung 7: Vergleich der ermittelten b*-Werte der hergestellten Biersorten.	34
Abbildung 8: DC der Carotinoide und Biere unter Verwendung von DEE/ Cyclohexan/ AcOH (25:25:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.....	35
Abbildung 9: DC der Carotinoide und der Biere unter Verwendung von DEE/ MeOH (50:50) bei einer Wellenlänge von 366 nm.....	36
Abbildung 10: DC der Carotinoide und der Biere unter Verwendung von DEE/ MeOH/ AcOH (80:20:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.....	37
Abbildung 11: DC der Hopfenextrakte und der Biere unter Verwendung von DEE/ Cyclohexan/ AcOH (25:25:1) bei einer Wellenlänge von 366 nm.	37
Abbildung 12: Kalibriergerade 1 zur Bestimmung der reduzierenden Zucker	51
Abbildung 13: Kalibriergerade 2 zur Bestimmung der reduzierenden Zucker	51
Abbildung 14: Kalibriergerade 1 zur Bestimmung des FAN.....	61
Abbildung 15: Kalibriergerade 2 zur Bestimmung des FAN.....	61
Abbildung 16: 3D-Darstellung des L*a*b*-Farbraums (Quelle: Die Sprache der Farben)	71
Abbildung 17: Produktspezifikation Pilsner Malz Seite 1	99
Abbildung 18: Produktspezifikation Pilsner Malz Seite 2.	100
Abbildung 19: Produktspezifikation CARAAMBER Seite 1	101
Abbildung 20: Produktspezifikation CARAAMBER Seite 2.	102
Abbildung 21: Produktspezifikation BEST Red X.	103
Abbildung 22: Produktspezifikation Hefe (SAFLAGER S-189).....	104
Abbildung 23: Analysenwerte vom Trinkwasser der Stadt Neubrandenburg.....	105

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Malzmenge für die verschiedenen Ansätze zur Bierherstellung.....	13
Tabelle 2: Verwendete Geräte zur Bierherstellung.	13
Tabelle 3: Verwendete Materialien zur Bierherstellung.	14
Tabelle 4: Verwendeten Chemikalien zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.	17
Tabelle 5: Verwendete Geräte zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.	17
Tabelle 6: Konzentrationen der Standardlösungen zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.	18
Tabelle 7: Verwendeten Chemikalien zur Bestimmung des FAN.	19
Tabelle 8: Verwendete Geräte zur Bestimmung des FAN.	19
Tabelle 9: Konzentrationen der Stammlösungen zur Bestimmung des FAN.	21
Tabelle 10: Verwendete Chemikalien zur Durchführung der DC-Analysen.	23
Tabelle 11: Verwendete Materialien/ Geräte zur Durchführung der DC-Analysen.	24
Tabelle 12: Verwendete Laufmittel zur Durchführung der DC-Analysen.	24
Tabelle 13: pH-Wert und Stammwürzegehalt der einzelnen Ansätze.	26
Tabelle 14: Ergebnisse von der reduzierenden Zucker Bestimmung nach Miller.	27
Tabelle 15: Ergebnisse von der FAN Bestimmung.	28
Tabelle 16: Die ermittelten Ethanol-Gehalte der hergestellten Biersorten.	30
Tabelle 17: Vergleich der ermittelten L*-Werte der hergestellten Biersorten.	30
Tabelle 18: Vergleich der ermittelten a*-Werte der hergestellten Biersorten.	32
Tabelle 19: Vergleich der ermittelten b*-Werte der hergestellten Biersorten.	33
Tabelle 20: Rezeptur zur Bierherstellung.	50
Tabelle 21: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes.	52
Tabelle 22: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes und CARAAmber.	53
Tabelle 23: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes und BEST Red X.	54
Tabelle 24: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des BEST Red X Malzes.	55
Tabelle 25: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes.	56
Tabelle 26: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes.	56
Tabelle 27: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes und CARAAmber.	56
Tabelle 28: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes und CaraAmber...	57
Tabelle 29: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes und BEST Red X.	57

Tabelle 30: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes und BEST Red X.	57
Tabelle 31: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des BEST Red X Malzes.....	58
Tabelle 32: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des BEST Red X Malzes.	58
Tabelle 33: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker der Würze.	58
Tabelle 34: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker der Würze.....	58
Tabelle 35: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker nach Hefe und Lycopin Zugabe.	
.....	59
Tabelle 36: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker nach Hefe und Lycopin Zugabe.....	59
Tabelle 37: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Jungbieres.	59
Tabelle 38: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Jungbieres.....	59
Tabelle 39: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des gereiften Bieres.....	60
Tabelle 40: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des gereiften Bieres.....	60
Tabelle 41: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes.	62
Tabelle 42: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes und CARAAMBER.	63
Tabelle 43: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes und BEST Red X.	64
Tabelle 44: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des BEST Red X Malzes.	65
Tabelle 45: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes.	66
Tabelle 46: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes.	66
Tabelle 47: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes und CARAAMBER.....	66
Tabelle 48: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes und CARAAMBER.....	67
Tabelle 49: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes und BEST Red X.	
.....	67
Tabelle 50: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes und BEST Red X.....	67
Tabelle 51: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des BEST Red X Malzes.	67
Tabelle 52: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des BEST Red X Malzes.	68
Tabelle 53: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN der Würze.	68
Tabelle 54: post-hoc Test (Tukey) für den FAN der Würze	68
Tabelle 55: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN nach Hefe und Lycopin Zugabe. ...	69
Tabelle 56: post-hoc Test (Tukey) für den FAN nach Hefe und Lycopin Zugabe.	69
Tabelle 57: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Jungbieres.	69
Tabelle 58: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Jungbieres.	69
Tabelle 59: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des gereiften Bieres.	70
Tabelle 60: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des gereiften Bieres.	70

Tabelle 61: Berechnung des Ethanol-Gehaltes	70
Tabelle 62: Stat. Auswertung der ANOVA für den Ethanol-Gehalt.....	71
Tabelle 63: post-hoc Test (Tukey) für den Ethanol-Gehalt.	71
Tabelle 64: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 1	72
Tabelle 65: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 2	73
Tabelle 66: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 3	74
Tabelle 67: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 1.	75
Tabelle 68: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 2.	76
Tabelle 69: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 3.	77
Tabelle 70: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 1.	78
Tabelle 71: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 2.	79
Tabelle 72: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 3.	80
Tabelle 73: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 1.	81
Tabelle 74: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 2.	82
Tabelle 75: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 3.	83
Tabelle 76: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Pilsner Malzes.....	84
Tabelle 77: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes.....	84
Tabelle 78: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes.	84
Tabelle 79: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes.	84
Tabelle 80: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Pilsner Malzes.	85
Tabelle 81: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Pilsner Malzes.	85
Tabelle 82: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.....	85
Tabelle 83: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.	86
Tabelle 84: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.....	86

Tabelle 85: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.	86
Tabelle 86: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.....	87
Tabelle 87: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.	87
Tabelle 88: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.....	87
Tabelle 89: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.	88
Tabelle 90: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.....	88
Tabelle 91: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.	88
Tabelle 92: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.....	89
Tabelle 93: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.	89
Tabelle 94: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des BEST Red X Malzes....	89
Tabelle 95: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des BEST Red X Malzes.....	90
Tabelle 96: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des BEST Red X Malzes. ...	90
Tabelle 97: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des BEST Red X Malzes.	90
Tabelle 98: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des BEST Red X Malzes. ...	90
Tabelle 99: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des BEST Red X Malzes.	91
Tabelle 100: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung der Würze.	91
Tabelle 101: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung der Würze.....	91
Tabelle 102: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung der Würze.....	92
Tabelle 103: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung der Würze.	92
Tabelle 104: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung der Würze.	92
Tabelle 105: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung der Würze.	92
Tabelle 106: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.....	93
Tabelle 107: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe....	93

Tabelle 108: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.....	93
Tabelle 109: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.....	94
Tabelle 110: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.....	94
Tabelle 111: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.	94
Tabelle 112: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Jungbiers.	95
Tabelle 113: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Jungbiers.	95
Tabelle 114: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Jungbiers.....	95
Tabelle 115: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Jungbiers.....	95
Tabelle 116: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Jungbiers.....	96
Tabelle 117: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Jungbiers.	96
Tabelle 118: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des gereiften Bieres.	96
Tabelle 119: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des gereiften Bieres.	97
Tabelle 120: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des gereiften Bieres.....	97
Tabelle 121: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des gereiften Bieres.	97
Tabelle 122: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des gereiften Bieres.	97
Tabelle 123: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des gereiften Bieres.	98

Anhang

Bierherstellung:

Tabelle 20: Rezeptur zur Bierherstellung.

Zutat	Menge für 20 L	Menge für 1 L
Malz	4 kg	200 g
Hopfen (Pellets Typ 90)	15 g	0,67 g
Magnum	3,75	0,1875
Perle	3,75	0,1875
Motueka	2x 3,75	2x 0,1875
untergärtige Hefe	ca. 250 mL	ca. 12,5 mL
mittelhartes Wasser	ca. 22 L	ca. 1,1 L
Rasten	Temperatur (°C)	Dauer (min)
Einmaischen	35	
Eiweißrast	55	15
Verzuckerungsrast (Maltosebildung)	65	30
Endverzuckerungsrast (Dextrinbildung)	72	30
Rast	78	30
Nachguss	78	
Stammwürzegehalt 11-12 %		
Gärung für 48 h bei 12 °C		
Lagerung für 4 Wochen bei 14 °C		
Hopfenzugabe:		
bei 10 min Magnum hinzufügen		
bei 30 min gleich viel Perle hinzufügen		
10 min vor Ende des Kochens eine Schüttung Motueka		
in den Whirlpool eine Schüttung Motueka		

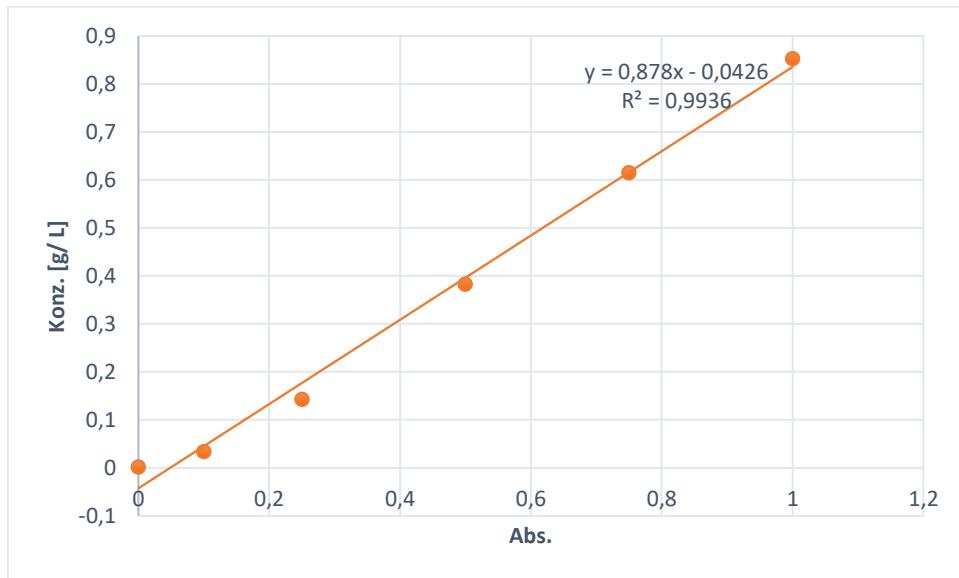
Reduzierende Zuckerbestimmung:

Abbildung 12: Kalibriergerade 1 zur Bestimmung der reduzierenden Zucker

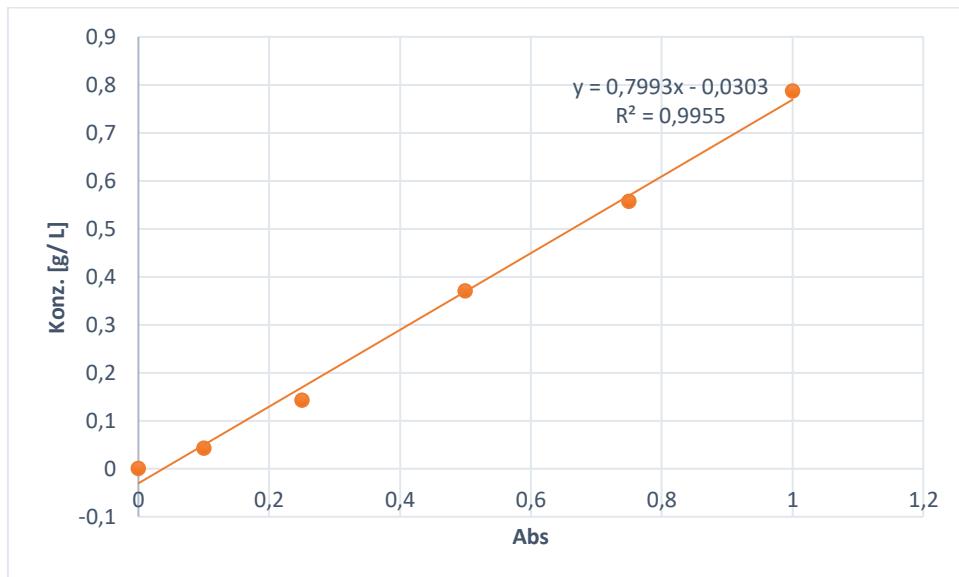


Abbildung 13: Kalibriergerade 2 zur Bestimmung der reduzierenden Zucker

Tabelle 21: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (g/ L) Verdünnung	Konz. (g/L)	STABW	MW
Würze	1	0,580	0,762	76,2	1,102	75,6
	2	0,581	0,763	76,3		
	3	0,566	0,744	74,4		
				1,102		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,602	0,730	73,0	1,900	75,1
	2	0,624	0,756	75,6		
	3	0,632	0,767	76,7		
				1,900		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,582	0,705	70,5	0,693	70,1
	2	0,572	0,693	69,3		
	3	0,582	0,705	70,5		
				0,693		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,630	0,764	76,4	1,701	75,7
	2	0,609	0,738	73,8		
	3	0,635	0,770	77,0		
				1,701		
Nr. 1 Jungbier	1	0,471	0,571	57,1	1,629	59,0
	2	0,496	0,601	60,1		
	3	0,492	0,597	59,7		
				1,629		
Nr. 2 Jungbier	1	0,475	0,624	62,4	1,118	61,1
	2	0,459	0,603	60,3		
	3	0,462	0,607	60,7		
				1,118		
Nr. 3 Jungbier	1	0,505	0,612	61,2	0,529	60,8
	2	0,503	0,610	61,0		
	3	0,496	0,602	60,2		
				0,529		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,269	1,668	16,7	0,251	17,0
	2	1,305	1,715	17,2		
	3	1,299	1,707	17,1		
				0,251		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,284	1,687	16,9	0,589	17,5
	2	1,337	1,757	17,6		
	3	1,373	1,804	18,0		
				0,589		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,343	1,766	17,7	0,121	17,8
	2	1,362	1,790	17,9		
	3	1,351	1,776	17,8		
				0,121		

0,410 17,4

Tabelle 22: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (g/ L) Verdünnung	Konz. (g/L)	STABW	MW
Würze	1	0,477	0,627	62,7	2,846	65,7
	2	0,503	0,661	66,1		
	3	0,520	0,683	68,3		
			2,846	65,7		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,466	0,565	56,5	2,846	65,7
	2	0,477	0,578	57,8		
	3	0,479	0,581	58,1		
			0,850	57,5		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,445	0,539	53,9	2,124	55,0
	2	0,435	0,528	52,8		
	3	0,460	0,558	55,8		
			1,518	54,2		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,442	0,536	53,6	2,124	55,0
	2	0,445	0,540	54,0		
	3	0,436	0,529	52,9		
			0,557	53,5		
Nr. 1 Jungbier	1	0,423	0,513	51,3	1,700	52,2
	2	0,425	0,515	51,5		
	3	0,436	0,529	52,9		
			0,872	51,9		
Nr. 2 Jungbier	1	0,421	0,510	51,0	1,700	52,2
	2	0,417	0,506	50,6		
	3	0,415	0,503	50,3		
			0,351	50,6		
Nr. 3 Jungbier	1	0,439	0,532	53,2	1,700	52,2
	2	0,447	0,542	54,2		
	3	0,450	0,546	54,6		
			0,721	54,0		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,157	1,520	15,2	0,603	15,1
	2	1,060	1,393	13,9		
	3	1,078	1,416	14,2		
			0,678	14,4		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,143	1,502	15,0	0,603	15,1
	2	1,179	1,549	15,5		
	3	1,167	1,533	15,3		
			0,241	15,3		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,152	1,514	15,1	0,603	15,1
	2	1,169	1,536	15,4		
	3	1,240	1,629	16,3		
			0,613	15,6		

Tabelle 23: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (g/ L) Verdünnung	Konz. (g/L)	STABW	MW
Würze	1	0,495	0,650	65,0	5,548	71,1
	2	0,578	0,759	75,9		
	3	0,550	0,723	72,3		
			5,548	71,1		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,466	0,564	56,4	2,205	54,4
	2	0,461	0,559	55,9		
	3	0,460	0,558	55,8		
			0,321	56,0		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,471	0,571	57,1	2,379	53,9
	2	0,436	0,528	52,8		
	3	0,462	0,56	56		
			2,234	55,3		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,411	0,499	49,9	0,598	14,9
	2	0,426	0,517	51,7		
	3	0,447	0,541	54,1		
			2,107	51,9		
Nr. 1 Jungbier	1	0,418	0,506	50,6	0,472	15,4
	2	0,423	0,513	51,3		
	3	0,430	0,522	52,2		
			0,802	51,4		
Nr. 2 Jungbier	1	0,426	0,560	56,0	0,364	14,2
	2	0,430	0,565	56,5		
	3	0,424	0,557	55,7		
			0,401	56,1		
Nr. 3 Jungbier	1	0,442	0,536	53,6	0,472	15,4
	2	0,455	0,551	55,1		
	3	0,448	0,544	54,4		
			0,751	54,4		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,088	1,430	14,3	5,548	71,1
	2	1,104	1,451	14,5		
	3	1,050	1,380	13,8		
			0,364	14,2		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,091	1,434	14,3	0,620	15,0
	2	1,183	1,554	15,5		
	3	1,155	1,518	15,2		
			0,620	15,0		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,128	1,482	14,8	0,472	15,4
	2	1,187	1,560	15,6		
	3	1,193	1,568	15,7		
			0,472	15,4		

Tabelle 24: Ergebnisse der red. Zucker Bestimmung des BEST Red X Malzes.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (g/ L) Verdünnung	Konz. (g/L)	STABW	MW
Würze	1	0,505	0,664	66,4	2,501	66,5
	2	0,526	0,691	69,1		
	3	0,488	0,641	64,1		
			2,501	66,5		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,472	0,572	57,2	2,501	58,1
	2	0,472	0,572	57,2		
	3	0,495	0,600	60		
			1,617	58,1		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,498	0,604	60,4	2,170	62,9
	2	0,528	0,640	64		
	3	0,53	0,643	64,3		
			2,170	62,9		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,500	0,606	60,6	2,201	62,8
	2	0,536	0,650	65		
	3	0,517	0,627	62,7		
			2,201	62,8		
Nr. 1 Jungbier	1	1,078	0,420	42	2,714	41,7
	2	0,339	0,411	41,1		
	3	0,347	0,421	42,1		
			0,551	41,7		
Nr. 2 Jungbier	1	0,406	0,492	49,2	0,361	49,6
	2	0,41	0,497	49,7		
	3	0,411	0,499	49,9		
			0,361	49,6		
Nr. 3 Jungbier	1	0,353	0,428	42,8	4,158	44,9
	2	0,360	0,436	43,6		
	3	0,359	0,436	43,6		
			0,462	43,3		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,078	1,416	14,2	0,156	14,1
	2	1,077	1,415	14,2		
	3	1,057	1,389	13,9		
			0,156	14,1		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,063	1,397	14,0	0,072	13,9
	2	1,054	1,385	13,8		
	3	1,064	1,398	14,0		
			0,072	13,9		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,072	1,409	14,1	0,234	14,3
	2	1,107	1,455	14,5		
	3	1,095	1,439	14,4		
			0,234	14,3		

Tabelle 25: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	17251,245	5750,415	1629,294	< 0,0001
Fehler	26	91,764	3,529		
Gesamt korrigiert	29	17343,009			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 26: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes.

Kategorie	Mittel-wertschät-zer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	75,633	1,085	73,404	77,863	A
2	73,644	0,626	72,357	74,932	A
3	60,300	0,626	59,013	61,587	B
4	17,411	0,626	16,124	18,698	C

Tabelle 27: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	10613,129	3537,710	1246,047	< 0,0001
Fehler	26	73,818	2,839		
Gesamt korrigiert	29	10686,947			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 28: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes und CaraAmber.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	65,700	0,973	63,700	67,700	A
2	55,044	0,562	53,890	56,199	B
3	52,178	0,562	51,023	53,332	C
4	15,100	0,562	13,945	16,255	D

Tabelle 29: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	11705,829	3901,943	674,907	< 0,0001
Fehler	26	150,318	5,781		
Gesamt korrigiert	29	11856,147			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 30: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Kategorie	Mittelwertschät-zer	Standardfeh-ler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	71,067	1,388	68,213	73,920	A
2	54,411	0,801	52,764	56,059	B
3	53,933	0,801	52,286	55,581	B
4	14,856	0,801	13,208	16,503	C

Tabelle 31: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des BEST Red X Malzes.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	12199,859	4066,620	566,955	< 0,0001
Fehler	26	186,491	7,173		
Gesamt korrigiert	29	12386,350			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 32: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des BEST Red X Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	66,533	1,546	63,355	69,712	A
2	61,267	0,893	59,432	63,102	B
3	44,889	0,893	43,054	46,724	C
4	14,122	0,893	12,287	15,957	D

Tabelle 33: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker der Würze.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	189,287	63,096	5,462	0,024
Fehler	8	92,420	11,553		
Gesamt korrigiert	11	281,707			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 34: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker der Würze.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
1	75,633	1,962	71,108	80,159	A
3	71,067	1,962	66,541	75,592	A
4	66,533	1,962	62,008	71,059	B
2	65,700	1,962	61,175	70,225	B

Tabelle 35: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	2149,214	716,405	103,436	< 0,0001
Fehler	32	221,633	6,926		
Gesamt korrigiert	35	2370,848			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 36: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	73,644	0,877	71,858	75,431	A
4	61,267	0,877	59,480	63,054	B
2	55,044	0,877	53,258	56,831	C
3	54,411	0,877	52,624	56,198	C

Tabelle 37: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des Jungbieres.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1084,543	361,514	64,844	< 0,0001
Fehler	32	178,404	5,575		
Gesamt korrigiert	35	1262,948			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 38: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des Jungbieres.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	60,300	0,787	58,697	61,903	A
3	53,933	0,787	52,330	55,537	B
2	52,178	0,787	50,575	53,781	B
4	44,889	0,787	43,286	46,492	C

Tabelle 39: Stat. Auswertung der ANOVA für die red. Zucker des gereiften Bieres.

Varianzanalyse (Red. Zucker (g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	54,546	18,182	58,574	< 0,0001
Fehler	32	9,933	0,310		
Gesamt korrigiert	35	64,479			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 40: post-hoc Test (Tukey) für die red. Zucker des gereiften Bieres.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	17,411	0,186	17,033	17,789	A
2	15,100	0,186	14,722	15,478	B
3	14,856	0,186	14,477	15,234	B
4	14,122	0,186	13,744	14,501	C

FAN-Bestimmung:

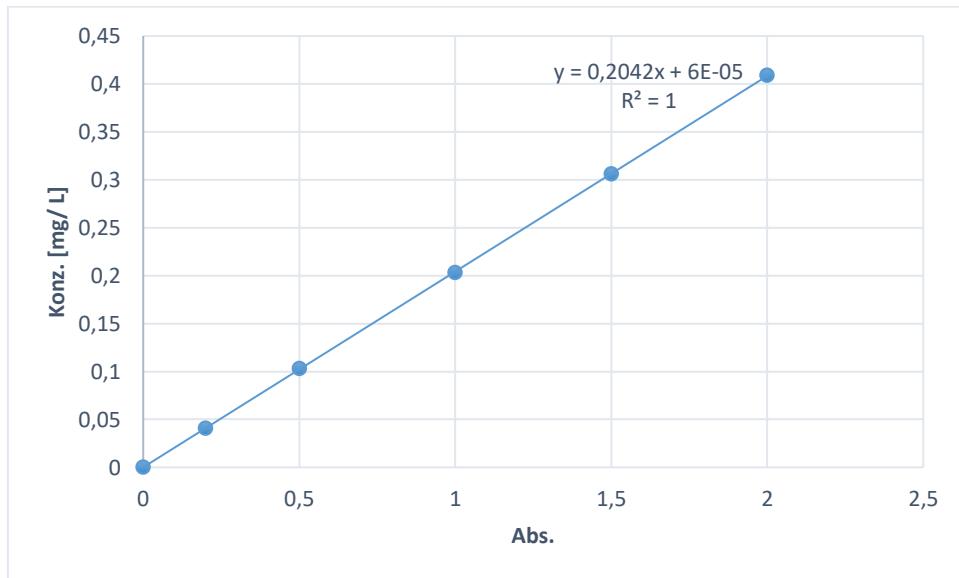


Abbildung 14: Kalibriergerade 1 zur Bestimmung des FAN.

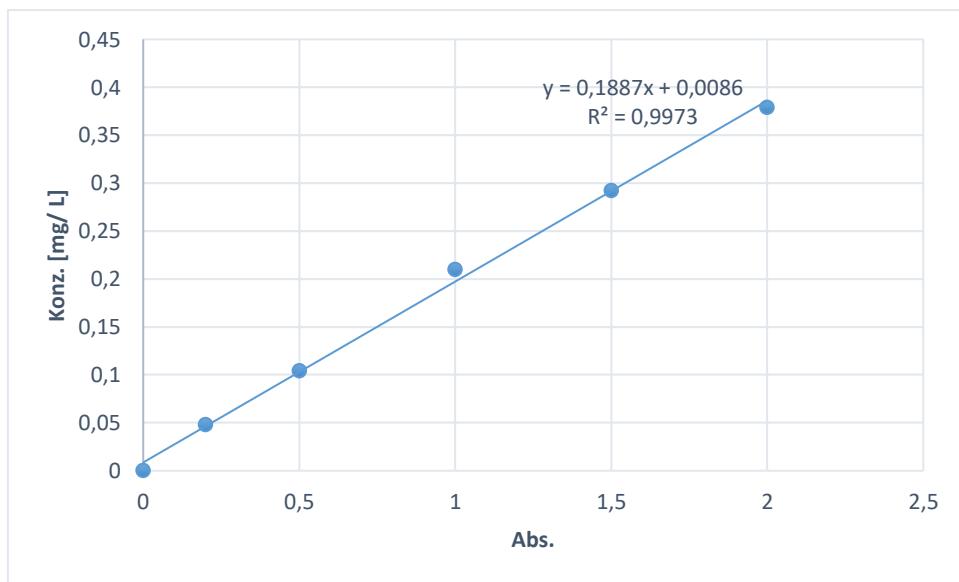


Abbildung 15: Kalibriergerade 2 zur Bestimmung des FAN.

Tabelle 41: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (mg/ L) Verdünnung	Konz. m(g/L)	STABW	MW
Würze	1	0,282	1,448	144,8	6,412	149,9
	2	0,288	1,479	147,9		
	3	0,306	1,571	157,1		
			6,412	149,9		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,359	1,758	175,8	6,412	149,9
	2	0,358	1,756	175,6		
	3	0,352	1,722	172,2		
			2,023	174,5		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,356	1,744	174,4	3,313	172,0
	2	0,337	1,648	164,8		
	3	0,338	1,656	165,6		
			5,327	168,3		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,356	1,744	174,4	3,313	172,0
	2	0,353	1,728	172,8		
	3	0,352	1,726	172,6		
			0,987	173,3		
Nr. 1 Jungbier	1	0,28	1,368	136,8	8,913	133,5
	2	0,282	1,382	138,2		
	3	0,283	1,384	138,4		
			0,872	137,8		
Nr. 2 Jungbier	1	0,269	1,381	138,1	8,913	133,5
	2	0,242	1,242	124,2		
	3	0,304	1,561	156,1		
			15,960	139,5		
Nr. 3 Jungbier	1	0,253	1,240	124,0	2,584	89,2
	2	0,244	1,196	119,6		
	3	0,258	1,262	126,2		
			3,361	123,3		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,706	8,759	87,6	2,584	89,2
	2	1,71	8,779	87,8		
	3	1,697	8,712	87,1		
			0,342	87,5		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,747	8,969	89,7	2,584	89,2
	2	1,611	8,271	82,7		
	3	1,782	9,149	91,5		
			4,638	88,0		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,682	8,635	86,4	2,584	89,2
	2	1,764	9,056	90,6		
	3	1,941	9,965	99,7		
			6,796	92,2		

Tabelle 42: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes und CARAAMBER.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (mg/ L) Verdünnung	Konz. (mg/L)	STABW	MW
Würze	1	0,322	1,653	165,3	10,687	177,3
	2	0,362	1,859	185,9		
	3	0,352	1,807	180,7		
			10,687	177,3		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,435	2,233	223,3	10,687	177,3
	2	0,434	2,228	222,8		
	3	0,45	2,310	231,0		
			4,602	225,7		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,428	2,197	219,7	13,019	204,8
	2	0,388	1,992	199,2		
	3	0,381	1,956	195,6		
			13,019	204,8		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,408	2,095	209,5	17,891	193,2
	2	0,339	1,740	174,0		
	3	0,382	1,961	196,1		
			17,891	193,2		
Nr. 1 Jungbier	1	0,313	1,532	153,2	2,157	150,7
	2	0,305	1,492	149,2		
	3	0,306	1,498	149,8		
			2,157	150,7		
Nr. 2 Jungbier	1	0,307	1,504	150,4	2,691	149,6
	2	0,310	1,518	151,8		
	3	0,300	1,466	146,6		
			2,691	149,6		
Nr. 3 Jungbier	1	0,315	1,542	154,2	3,880	156,7
	2	0,316	1,548	154,8		
	3	0,329	1,612	161,2		
			3,880	156,7		
Nr. 1 nach Reifung	1	2,129	10,930	109,3	2,495	109,5
	2	2,183	11,208	112,1		
	3	2,086	10,710	107,1		
			2,495	109,5		
Nr. 2 nach Reifung	1	2,129	10,930	109,3	5,686	103,1
	2	1,912	9,816	98,2		
	3	1,982	10,176	101,8		
			5,686	103,1		
Nr. 3 nach Reifung	1	2,289	11,752	117,5	6,916	110,1
	2	2,023	10,386	103,9		
	3	2,119	10,879	108,8		
			6,916	110,1		

3,878 107,5

Tabelle 43: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (mg/ L) Verdünnung	Konz. (mg/L)	STABW	MW
Würze	1	0,323	1,658	165,8	12,838	153,2
	2	0,299	1,535	153,5		
	3	0,273	1,402	140,2		
			12,838	153,2		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,358	1,838	183,8	12,838	153,2
	2	0,340	1,746	174,6		
	3	0,355	1,823	182,3		
			4,951	180,2		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,394	2,023	202,3	10,514	188,4
	2	0,395	2,028	202,8		
	3	0,381	1,956	195,6		
			4,010	200,2		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,352	1,807	180,7	10,514	188,4
	2	0,365	1,874	187,4		
	3	0,362	1,859	185,9		
			3,495	184,7		
Nr. 1 Jungbier	1	0,266	1,300	130,0	4,621	125,5
	2	0,257	1,258	125,8		
	3	0,262	1,282	128,2		
			2,107	128,0		
Nr. 2 Jungbier	1	0,229	1,122	112,2	4,621	125,5
	2	0,251	1,230	123,0		
	3	0,256	1,252	125,2		
			6,958	120,1		
Nr. 3 Jungbier	1	0,266	1,300	130,0	4,621	125,5
	2	0,258	1,262	126,2		
	3	0,263	1,286	128,6		
			1,922	128,3		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,63	8,368	83,7	5,192	79,4
	2	1,584	8,132	81,3		
	3	1,603	8,230	82,3		
			1,187	82,4		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,391	7,141	71,4	5,192	79,4
	2	1,419	7,285	72,9		
	3	1,478	7,588	75,9		
			2,280	73,4		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,559	8,004	80,0	5,192	79,4
	2	1,663	8,538	85,4		
	3	1,588	8,153	81,5		
			2,755	82,3		

Tabelle 44: Ergebnisse der FAN-Bestimmung des BEST Red X Malzes.

Probe	Nr.	Abs. Verdünnung	Konz. (mg/ L) Verdünnung	Konz. (mg/L)	STABW	MW
Würze	1	0,237	1,217	121,7	8,838	128,7
	2	0,245	1,258	125,8		
	3	0,27	1,386	138,6		
			8,838	128,7		
Nr. 1 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,218	1,066	106,6	9,173	133,0
	2	0,274	1,340	134,0		
	3	0,259	1,266	126,6		
			14,175	122,4		
Nr. 2 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,289	1,414	141,4	6,516	127,9
	2	0,275	1,348	134,8		
	3	0,286	1,400	140,0		
			3,478	138,7		
Nr. 3 nach Hefe und Lycopin Zugabe	1	0,291	1,426	142,6	7,117	74,8
	2	0,268	1,312	131,2		
	3	0,285	1,396	139,6		
			5,909	137,8		
Nr. 1 Jungbier	1	0,237	1,160	116,0	9,173	120,4
	2	0,253	1,238	123,8		
	3	0,248	1,214	121,4		
			3,995	120,4		
Nr. 2 Jungbier	1	0,262	1,284	128,4	6,516	131,0
	2	0,269	1,318	131,8		
	3	0,271	1,328	132,8		
			2,307	131,0		
Nr. 3 Jungbier	1	0,265	1,296	129,6	7,117	74,8
	2	0,269	1,318	131,8		
	3	0,277	1,354	135,4		
			2,928	132,3		
Nr. 1 nach Reifung	1	1,57	8,060	80,6	8,838	128,7
	2	1,554	7,978	79,8		
	3	1,522	7,814	78,1		
			1,255	79,5		
Nr. 2 nach Reifung	1	1,268	6,510	65,1	8,838	128,7
	2	1,407	7,224	72,2		
	3	1,220	6,263	62,6		
			4,986	66,7		
Nr. 3 nach Reifung	1	1,597	8,199	82,0	7,117	74,8
	2	1,419	7,285	72,9		
	3	1,564	8,030	80,3		
			4,861	78,4		

Tabelle 45: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes.

Varianzanalyse (FAN m(g/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	31801,483	10600,494	196,374	< 0,0001
Fehler	26	1403,511	53,981		
Gesamt korrigiert	29	33204,994			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 46: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	172,022	2,449	166,988	177,056	A
1	149,933	4,242	141,214	158,653	B
3	133,511	2,449	128,477	138,545	C
4	89,233	2,449	84,199	94,267	D

Tabelle 47: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes und CARAAM-BER.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	46725,880	15575,293	123,350	< 0,0001
Fehler	26	3282,993	126,269		
Gesamt korrigiert	29	50008,874			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 48: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes und CARAAMBER.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard- fehler	Unter- grenze (95%)	Ober- grenze (95%)	Gruppen
2	207,911	3,746	200,212	215,610	A
1	177,300	6,488	163,964	190,636	B
3	152,356	3,746	144,656	160,055	C
4	107,556	3,746	99,856	115,255	D

Tabelle 49: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat- werte	Mittel der Quadrat- werte	F	Pr > F
Modell	3	55206,804	18402,268	313,419	< 0,0001
Fehler	26	1526,578	58,715		
Gesamt korri- giert	29	56733,382			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 50: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Katego- rie	Mittelwert- schätzer	Standard- fehler	Unter- grenze (95%)	Ober- grenze (95%)	Gruppen
2	188,378	2,554	183,128	193,628	A
1	153,167	4,424	144,073	162,260	B
3	125,467	2,554	120,216	130,717	C
4	79,378	2,554	74,128	84,628	D

Tabelle 51: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des BEST Red X Malzes.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat- werte	Mittel der Quadrat- werte	F	Pr > F
Modell	3	19418,995	6472,998	89,736	< 0,0001
Fehler	26	1875,487	72,134		
Gesamt korri- giert	29	21294,482			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 52: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des BEST Red X Malzes.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
2	132,978	2,831	127,158	138,797	A
1	128,700	4,904	118,621	138,779	A
3	127,889	2,831	122,070	133,708	A
4	74,844	2,831	69,025	80,664	B

Tabelle 53: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN der Würze.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	3564,929	1188,310	11,963	0,003
Fehler	8	794,633	99,329		
Gesamt korri-giert	11	4359,563			

Berechnet gegen Modell $Y = \text{Mean}(Y)$

Tabelle 54: post-hoc Test (Tukey) für den FAN der Würze

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
2	177,300	5,754	164,031	190,569	A
3	153,167	5,754	139,898	166,436	A
1	149,933	5,754	136,664	163,202	B
4	128,700	5,754	115,431	141,969	B

Tabelle 55: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	27327,827	9109,276	64,048	< 0,0001
Fehler	32	4551,196	142,225		
Gesamt korrigiert	35	31879,022			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 56: post-hoc Test (Tukey) für den FAN nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	207,911	3,975	199,814	216,008	A
3	188,378	3,975	180,280	196,475	B
1	172,022	3,975	163,925	180,120	C
4	132,978	3,975	124,880	141,075	D

Tabelle 57: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des Jungbieres.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	4002,599	1334,200	24,969	< 0,0001
Fehler	32	1709,900	53,434		
Gesamt korrigiert	35	5712,499			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 58: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des Jungbieres.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
2	76,178	152,356	2,437	147,392	A
1	66,756	133,511	2,437	128,548	B
4	63,944	127,889	2,437	122,926	B
3	62,733	125,467	2,437	120,503	B

Tabelle 59: Stat. Auswertung der ANOVA für den FAN des gereiften Bieres.

Varianzanalyse (FAN (mg/L)):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	5679,970	1893,323	58,660	< 0,0001
Fehler	32	1032,840	32,276		
Gesamt korrigiert	35	6712,810			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 60: post-hoc Test (Tukey) für den FAN des gereiften Bieres.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	107,556	1,894	103,698	111,413	A
1	89,233	1,894	85,376	93,091	B
3	79,378	1,894	75,520	83,235	C
4	74,844	1,894	70,987	78,702	C

Ethanol-Gehalt:

Tabelle 61: Berechnung des Ethanol-Gehaltes.

	E 1	E 2	Δ	Δ E	c [g/ L]	Vol-%.	STABW	MW
LW	0,342	0,435	0,093					
PR 1	0,335	0,613	0,278	0,185	21,307	2,70		
PR 2	0,343	0,625	0,282	0,189	21,768	2,76		
PR 3	0,336	0,621	0,285	0,192	22,114	2,80	<i>0,051</i>	2,75
PC 1	0,342	0,657	0,315	0,222	25,569	3,24		
PC 2	0,346	0,647	0,301	0,208	23,956	3,04		
PC 3	0,337	0,642	0,305	0,212	24,417	3,09	<i>0,105</i>	3,12
R 1	0,34	0,623	0,283	0,19	21,883	2,77		
R 2	0,339	0,644	0,305	0,212	24,417	3,09		
R 3	0,34	0,626	0,286	0,193	22,229	2,82	<i>0,174</i>	2,89
P 1	0,34	0,647	0,307	0,214	24,647	3,12		
P 2	0,339	0,649	0,31	0,217	24,993	3,17		
P 3	0,338	0,64	0,302	0,209	24,071	3,05	<i>0,059</i>	3,11
Kontrolle	0,34	0,935	0,595	0,502	0,058			

Tabelle 62: Stat. Auswertung der ANOVA für den Ethanol-Gehalt.

Varianzanalyse (Alkoholgehalt (Vol.-%)):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	0,290	0,097	8,137	0,008
Fehler	8	0,095	0,012		
Gesamt korri-giert	11	0,385			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 63: post-hoc Test (Tukey) für den Ethanol-Gehalt.

Kategorie	Mittelwertschät-zer	Standardfeh-ler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
PC	3,123	0,063	2,978	3,268	A
P	3,113	0,063	2,968	3,258	A
R	2,894	0,063	2,749	3,039	A
PR	2,753	0,063	2,608	2,898	B

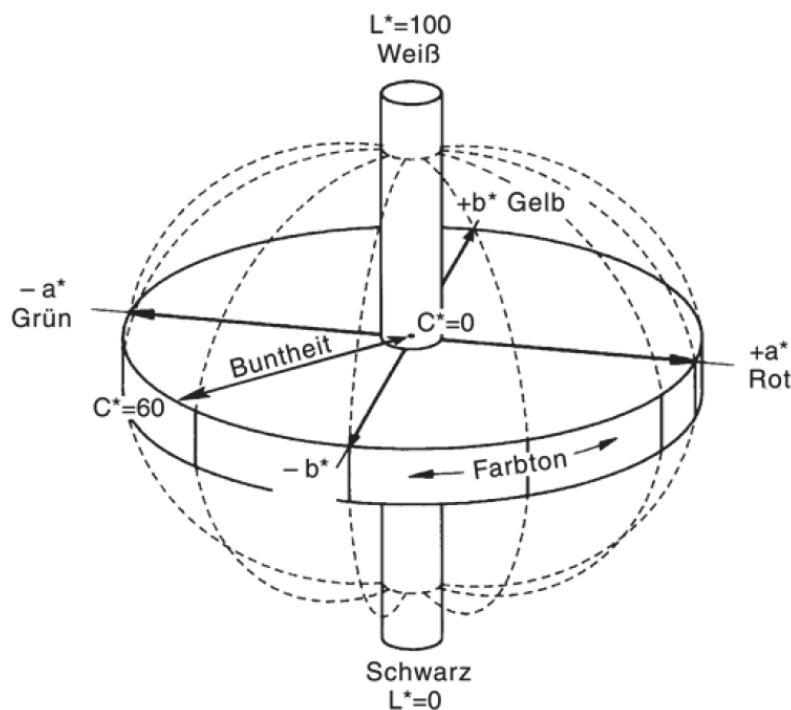
L*a*b*:

Abbildung 16: 3D-Darstellung des L*a*b*-Farbraums (Quelle: Die Sprache der Farben)

Tabelle 64: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 1.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	52,36	3,15	31,95
2	52,32	3,14	31,88
3	52,30	3,13	31,82
4	52,29	3,14	31,77
5	52,29	3,12	31,71
MW	52,31	3,14	31,83
STABWA	0,029	0,011	0,093
Nach Lycopin Zugabe			
1	39,91	14,29	33,23
2	39,93	14,23	33,12
3	39,93	14,20	33,07
4	39,91	14,18	33,02
5	39,91	14,16	32,96
MW	39,92	14,21	33,08
STABWA	0,011	0,051	0,103
Jungbier			
1	40,35	13,08	31,91
2	40,33	13,02	31,80
3	40,33	12,98	31,71
4	40,27	12,90	31,56
5	40,24	12,86	31,47
MW	40,29	12,94	31,69
STABWA	0,047	0,089	0,178
Gereiftes Bier			
1	38,08	14,00	27,19
2	38,10	13,96	27,03
3	38,12	13,89	26,85
4	38,12	13,83	26,72
5	38,14	13,79	26,48
MW	38,11	13,89	26,85
STABWA	0,023	0,087	0,275

Tabelle 65: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 2.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	52,22	3,14	31,81
2	52,21	3,14	31,73
3	52,19	3,14	31,70
4	52,18	3,13	31,64
5	52,18	3,13	31,62
MW	52,20	3,14	31,70
STABWA	0,016	0,005	0,068
Nach Lycopin Zugabe			
1	39,94	14,6	33,8
2	39,94	14,56	33,78
3	39,93	14,55	33,69
4	39,91	14,55	33,65
5	39,89	14,53	33,62
MW	39,92	14,56	33,71
STABWA	0,019	0,023	0,071
Jungbier			
1	40,83	12,86	31,90
2	40,85	12,75	31,81
3	40,88	12,65	31,73
4	40,89	12,58	31,64
5	40,91	12,54	31,55
MW	40,87	12,68	31,73
STABWA	0,029	0,116	0,123
Gereiftes Bier			
1	38,07	14,68	25,34
2	38,09	14,53	25,10
3	38,15	14,45	24,68
4	38,21	14,34	24,52
5	38,27	14,26	24,30
MW	38,16	14,45	24,79
STABWA	0,083	0,164	0,425

Tabelle 66: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner Malzes Nr. 3.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	52,31	3,14	31,83
2	52,20	3,14	31,70
3	51,67	3,12	31,70
MW	52,06	3,13	31,74
STABWA	0,342	0,012	0,075
Nach Lycopin Zugabe			
1	39,92	14,21	33,08
2	39,92	14,56	33,71
3	40,02	14,29	33,71
MW	39,95	14,35	33,50
STABWA	0,058	0,183	0,364
Jungbier			
1	40,29	12,94	31,69
2	40,87	12,68	31,72
3	42,16	12,51	31,72
MW	41,11	12,71	31,71
STABWA	0,957	0,217	0,017
Gereiftes Bier			
1	38,11	13,89	26,85
2	38,16	14,45	24,79
3	38,56	13,47	24,79
MW	38,28	13,94	25,48
STABWA	0,247	0,492	1,189

Tabelle 67: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 1.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	33,76	23,88	53,53
2	33,76	23,84	53,42
3	33,75	23,83	53,42
4	33,77	23,82	53,31
5	33,77	23,79	53,30
MW	33,76	23,83	53,40
STABWA	0,008	0,033	0,094
Nach Lycopin Zugabe			
1	25,80	24,94	40,06
2	25,80	24,93	40,13
3	25,81	24,92	39,94
4	25,80	24,90	39,96
5	25,82	24,85	39,85
MW	25,81	24,91	39,99
STABWA	0,009	0,036	0,109
Jungbier			
1	27,71	25,08	42,28
2	27,70	25,07	42,26
3	27,71	25,04	42,25
4	27,70	25,04	42,21
5	27,70	25,02	42,17
MW	27,70	25,05	42,23
STABWA	0,005	0,024	0,044
Gereiftes Bier			
1	24,21	23,58	34,71
2	24,25	23,42	34,44
3	24,28	23,34	34,22
4	24,27	23,28	34,22
5	24,31	23,22	33,92
MW	24,26	23,37	34,30
STABWA	0,037	0,140	0,294

Tabelle 68: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 2.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	33,64	23,79	53,26
2	33,58	23,78	53,48
3	33,59	23,73	53,01
4	33,59	23,68	52,95
5	33,57	23,68	52,88
MW	33,59	23,73	53,12
STABWA	0,027	0,053	0,249
Nach Lycopin Zugabe			
1	26,99	25,8	41,73
2	27,01	25,74	41,62
3	27,01	25,71	41,64
4	27,01	25,71	41,55
5	27,02	25,67	41,47
MW	27,01	25,73	41,60
STABWA	0,011	0,048	0,098
Jungbier			
1	26,87	24,98	40,69
2	26,86	24,95	40,69
3	26,86	24,94	40,71
4	26,86	24,92	40,64
5	26,86	24,91	40,6
MW	26,86	24,94	40,67
STABWA	0,004	0,027	0,045
Gereiftes Bier			
1	23,27	22,24	32
2	23,32	22,1	31,78
3	23,37	21,94	31,47
4	23,4	21,85	31,12
5	23,46	21,68	30,93
MW	23,36	21,96	31,46
STABWA	0,073	0,217	0,445

Tabelle 69: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und CARAAmber Malzes Nr. 3.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	33,36	23,6	52,81
2	33,35	23,57	52,62
3	33,34	23,56	52,58
4	33,33	23,56	52,46
5	33,32	23,54	52,35
MW	33,34	23,57	52,56
STABWA	0,016	0,022	0,174
Nach Lycopin Zugabe			
1	26,7	25,66	41,38
2	26,71	25,59	41,26
3	26,72	25,58	41,15
4	26,72	25,55	41,18
5	26,71	25,53	41,16
MW	26,71	25,58	41,23
STABWA	0,008	0,050	0,096
Jungbier			
1	26,6	25,15	40,76
2	26,58	25,15	41,08
3	26,63	25,11	40,68
4	26,63	25,08	40,69
5	26,62	25,06	40,62
MW	26,61	25,11	40,77
STABWA	0,022	0,041	0,182
Gereiftes Bier			
1	22,57	20,86	29,5
2	22,62	20,78	29,16
3	22,69	20,61	28,92
4	22,73	20,48	28,8
5	22,79	20,41	28,44
MW	22,68	20,63	28,96
STABWA	0,087	0,191	0,397

Tabelle 70: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 1.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	43,05	14,25	54,21
2	43,01	14,23	53,94
3	43,00	14,20	53,75
4	43,00	14,20	53,46
5	42,98	14,18	53,42
MW	43,01	14,21	53,76
STABWA	0,026	0,028	0,332
Nach Lycopin Zugabe			
1	34,88	20,13	47,02
2	34,91	20,06	46,44
3	34,90	20,03	46,36
4	34,91	19,97	46,22
5	34,91	19,94	46,06
MW	34,90	20,03	46,42
STABWA	0,013	0,075	0,365
Jungbier			
1	37,27	18,45	48,01
2	37,27	18,40	47,84
3	37,26	18,35	47,72
4	37,25	18,32	47,65
5	37,25	18,29	47,64
MW	37,26	18,36	47,77
STABWA	0,010	0,064	0,155
Gereiftes Bier			
1	30,89	18,74	34,92
2	30,90	18,69	34,74
3	30,91	18,63	34,59
4	30,91	18,55	34,30
5	30,93	18,48	34,10
MW	30,91	18,62	34,53
STABWA	0,015	0,105	0,331

Tabelle 71: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 2.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	43,58	14,28	54,62
2	43,55	14,27	54,41
3	43,55	14,22	54,16
4	43,55	14,21	53,92
5	43,56	14,18	53,76
MW	43,56	14,23	54,17
STABWA	0,013	0,042	0,350
Nach Lycopin Zugabe			
1	35,11	20,04	46,67
2	35,08	19,86	45,99
3	35,08	19,85	45,81
4	35,07	19,83	45,71
5	35,06	19,81	45,50
MW	35,08	19,88	45,94
STABWA	0,019	0,093	0,447
Jungbier			
1	37,74	18,12	47,82
2	37,71	18,07	47,67
3	37,70	18,03	47,64
4	37,70	17,99	47,57
5	37,70	17,97	47,51
MW	37,71	18,04	47,64
STABWA	0,017	0,061	0,117
Gereiftes Bier			
1	32,65	18,73	37,18
2	32,89	18,74	37,06
3	33,03	18,68	36,90
4	33,11	18,63	36,63
5	33,19	18,55	36,17
MW	32,97	18,67	36,79
STABWA	0,212	0,078	0,402

Tabelle 72: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des Pilsner und BEST Red X Malzes Nr. 3.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	43,31	14,06	54,07
2	43,23	14,03	53,70
3	43,18	14,01	53,43
4	43,14	14,01	53,30
5	43,12	13,99	53,03
MW	43,20	14,02	53,51
STABWA	0,076	0,026	0,397
Nach Lycopin Zugabe			
1	35,10	19,80	46,87
2	35,10	19,76	46,75
3	35,10	19,73	46,66
4	35,10	19,69	46,48
5	35,11	19,67	46,36
MW	35,10	19,73	46,62
STABWA	0,004	0,052	0,205
Jungbier			
1	37,46	18,26	47,62
2	37,48	18,22	47,61
3	37,48	18,19	47,43
4	37,48	18,12	47,44
5	37,49	18,08	47,30
MW	37,48	18,17	47,48
STABWA	0,011	0,073	0,135
Gereiftes Bier			
1	32,32	19,09	39,22
2	32,32	18,97	38,89
3	32,31	18,86	38,62
4	32,30	18,75	38,11
5	32,28	18,66	37,76
MW	32,31	18,87	38,52
STABWA	0,017	0,171	0,588

Tabelle 73: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 1.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	36,09	20,93	53,77
2	36,19	20,97	53,88
3	36,18	20,94	53,69
4	36,17	20,90	53,34
5	36,15	20,84	53,00
MW	36,16	20,92	53,54
STABWA	0,040	0,049	0,361
Nach Lycopin Zugabe			
1	29,66	24,02	43,72
2	29,66	23,97	43,64
3	29,66	23,95	43,72
4	29,67	23,92	43,54
5	29,66	23,92	43,44
MW	29,66	23,96	43,61
STABWA	0,004	0,042	0,121
Jungbier			
1	31,20	23,29	47,04
2	31,19	23,25	46,98
3	31,17	23,26	46,95
4	31,17	23,18	46,92
5	31,17	23,17	46,77
MW	31,18	23,23	46,93
STABWA	0,014	0,052	0,101
Gereiftes Bier			
1	27,05	22,37	37,10
2	27,22	22,34	37,04
3	27,29	22,34	36,92
4	27,36	22,33	36,85
5	27,44	22,32	36,70
MW	27,27	22,34	36,92
STABWA	0,149	0,019	0,158

Tabelle 74: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 2.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	35,69	20,9	53,61
2	35,69	20,88	53,52
3	35,69	20,84	53,43
4	35,68	20,83	53,29
5	35,67	20,83	53,19
MW	35,68	20,86	53,41
STABWA	0,009	0,032	0,170
Nach Lycopin Zugabe			
1	30,04	24,44	44,91
2	30,05	24,39	44,81
3	30,04	24,38	44,76
4	30,05	24,31	44,68
5	30,07	24,29	44,56
MW	30,05	24,36	44,74
STABWA	0,012	0,061	0,132
Jungbier			
1	30,92	23,78	45,86
2	30,92	23,72	45,76
3	30,91	23,72	45,75
4	30,91	23,68	45,57
5	30,92	23,67	45,61
MW	30,92	23,71	45,71
STABWA	0,005	0,043	0,119
Gereiftes Bier			
1	27,05	22,95	36,51
2	27,08	22,74	36,00
3	27,15	22,52	35,34
4	27,20	22,33	34,83
5	27,25	22,17	34,20
MW	27,15	22,54	35,38
STABWA	0,083	0,312	0,916

Tabelle 75: Ergebnisse der L*a*b*-Farbmessung des BEST Red X Malzes Nr. 3.

	L*	a*	b*
Vor Lycopin Zugabe			
1	33,55	19,82	49,55
2	33,52	19,76	49,17
3	33,52	19,73	49,11
4	33,52	19,69	48,92
5	33,51	19,71	48,82
MW	33,52	19,74	49,11
STABWA	0,015	0,051	0,282
Nach Lycopin Zugabe			
1	29,69	22,54	43,04
2	29,68	22,53	42,96
3	29,70	22,46	42,82
4	29,69	22,46	42,68
5	29,69	22,40	42,56
MW	29,69	22,48	42,81
STABWA	0,007	0,058	0,197
Jungbier			
1	29,68	22,81	43,93
2	29,66	22,82	43,95
3	29,66	22,79	43,91
4	29,66	22,72	43,81
5	29,63	22,72	43,63
MW	29,66	22,77	43,85
STABWA	0,018	0,049	0,132
Gereiftes Bier			
1	27,28	21,05	36,05
2	27,30	20,84	35,59
3	27,34	20,62	34,99
4	27,39	20,36	34,11
5	27,49	20,00	33,10
MW	27,36	20,57	34,77
STABWA	0,084	0,411	1,181

Tabelle 76: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Pilsner Malzes.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1756,524	585,508	2965,810	< 0,0001
Fehler	56	11,055	0,197		
Gesamt korrigiert	59	1767,580			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 77: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	52,058	0,115	51,828	52,288	A
3	41,113	0,115	40,884	41,343	B
2	39,955	0,115	39,725	40,184	C
4	38,277	0,115	38,047	38,506	D

Tabelle 78: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1271,312	423,771	6519,741	< 0,0001
Fehler	56	3,640	0,065		
Gesamt korrigiert	59	1274,952			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 79: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	14,355	0,066	14,223	14,487	A
4	13,939	0,066	13,807	14,071	B
3	12,719	0,066	12,587	12,851	C
1	3,131	0,066	2,999	3,263	D

Tabelle 80: Stat. Auswertung der ANOVA für die b^* -Messung des Pilsner Malzes.Varianzanalyse (b^*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	363,714	121,238	122,826	< 0,0001
Fehler	56	55,276	0,987		
Gesamt korrigiert	59	418,990			

Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$ Tabelle 81: post-hoc Test (Tukey) für die b^* -Messung des Pilsner Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	33,439	0,257	32,925	33,953	A
3	32,109	0,257	31,595	32,623	B
1	31,579	0,257	31,065	32,093	B
4	26,909	0,257	26,395	27,423	C

Tabelle 82: Stat. Auswertung der ANOVA für die L^* -Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.Varianzanalyse (L^*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	816,004	272,001	1086,236	< 0,0001
Fehler	56	14,023	0,250		
Gesamt korrigiert	59	830,027			

Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$

Tabelle 83: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard- fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	33,565	0,129	33,307	33,824	A
3	27,059	0,129	26,801	27,318	B
2	26,509	0,129	26,250	26,767	C
4	23,436	0,129	23,177	23,695	D

Tabelle 84: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	107,678	35,893	93,914	< 0,0001
Fehler	56	21,402	0,382		
Gesamt korrigiert	59	129,080			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 85: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Kategorie	Mittelwertschät-zer	Standard- fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	25,405	0,160	25,086	25,725	A
3	25,033	0,160	24,714	25,353	A
1	23,710	0,160	23,390	24,030	B
4	21,986	0,160	21,666	22,306	C

Tabelle 86: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	3473,697	1157,899	717,237	< 0,0001
Fehler	56	90,406	1,614		
Gesamt korrigiert	59	3564,103			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 87: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Pilsner Malzes und CARAAmber.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	53,025	0,328	52,368	53,683	A
3	41,222	0,328	40,565	41,879	B
2	40,939	0,328	40,281	41,596	B
4	31,575	0,328	30,918	32,233	C

Tabelle 88: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1014,061	338,020	1486,225	< 0,0001
Fehler	56	12,736	0,227		
Gesamt korrigiert	59	1026,797			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 89: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	43,254	0,123	43,007	43,501	A
3	37,483	0,123	37,236	37,729	B
2	35,028	0,123	34,781	35,275	C
4	32,063	0,123	31,816	32,309	D

Tabelle 90: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	278,738	92,913	4664,626	< 0,0001
Fehler	56	1,115	0,020		
Gesamt korrigiert	59	279,854			

Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$

Tabelle 91: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	19,878	0,036	19,805	19,951	A
4	18,717	0,036	18,644	18,790	B
3	18,191	0,036	18,118	18,264	C
1	14,155	0,036	14,082	14,228	D

Tabelle 92: Stat. Auswertung der ANOVA für die b^* -Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Varianzanalyse (b^*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	2278,211	759,404	878,895	< 0,0001
Fehler	56	48,386	0,864		
Gesamt korrigiert	59	2326,597			

Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$

Tabelle 93: post-hoc Test (Tukey) für die b^* -Messung des Pilsner Malzes und BEST Red X.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	53,812	0,240	53,331	54,293	A
3	47,631	0,240	47,151	48,112	B
2	46,327	0,240	45,846	46,807	C
4	36,613	0,240	36,132	37,093	D

Tabelle 94: Stat. Auswertung der ANOVA für die L^* -Messung des BEST Red X Malzes.

Varianzanalyse (L^*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	483,123	161,041	333,444	< 0,0001
Fehler	56	27,046	0,483		
Gesamt korrigiert	59	510,169			

Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$

Tabelle 95: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des BEST Red X Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	35,121	0,179	34,762	35,481	A
3	30,585	0,179	30,225	30,944	B
2	29,801	0,179	29,441	30,160	C
4	27,259	0,179	26,900	27,619	D

Tabelle 96: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des BEST Red X Malzes.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	278,738	92,913	4664,626	< 0,0001
Fehler	56	1,115	0,020		
Gesamt korrigiert	59	279,854			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 97: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des BEST Red X Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
2	19,878	0,036	19,805	19,951	A
4	18,717	0,036	18,644	18,790	B
3	18,191	0,036	18,118	18,264	C
1	14,155	0,036	14,082	14,228	D

Tabelle 98: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des BEST Red X Malzes.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	2278,211	759,404	878,895	< 0,0001
Fehler	56	48,386	0,864		
Gesamt korrigiert	59	2326,597			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 99: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des BEST Red X Malzes.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	53,812	0,240	53,331	54,293	A
3	47,631	0,240	47,151	48,112	B
2	46,327	0,240	45,846	46,807	C
4	36,613	0,240	36,132	37,093	D

Tabelle 100: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung der Würze.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	3257,893	1085,964	2734,130	< 0,0001
Fehler	56	22,243	0,397		
Gesamt korrigiert	59	3280,136			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 101: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung der Würze.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	52,058	0,163	51,732	52,384	A
3	43,254	0,163	42,928	43,580	B
2	35,121	0,163	34,795	35,447	C
4	33,565	0,163	33,239	33,891	D

Tabelle 102: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung der Würze.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	3707,734	1235,911	14584,501	< 0,0001
Fehler	56	4,746	0,085		
Gesamt korrigiert	59	3712,480			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 103: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung der Würze.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
4	23,710	0,075	23,559	23,861	A
2	20,505	0,075	20,354	20,655	B
3	14,155	0,075	14,004	14,305	C
1	3,131	0,075	2,981	3,282	D

Tabelle 104: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung der Würze.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	5163,548	1721,183	1369,171	< 0,0001
Fehler	56	70,397	1,257		
Gesamt korrigiert	59	5233,945			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 105: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung der Würze.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
3	53,812	0,289	53,232	54,392	A
4	53,025	0,289	52,445	53,605	A
2	52,019	0,289	51,439	52,599	B
1	31,579	0,289	30,999	32,159	C

Tabelle 106: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1570,920	523,640	6440,157	< 0,0001
Fehler	56	4,553	0,081		
Gesamt korrigiert	59	1575,473			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 107: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	39,955	0,074	39,807	40,102	A
3	35,028	0,074	34,881	35,175	B
2	29,801	0,074	29,653	29,948	C
4	26,509	0,074	26,361	26,656	D

Tabelle 108: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1071,505	357,168	1609,364	< 0,0001
Fehler	56	12,428	0,222		
Gesamt korrigiert	59	1083,934			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 109: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Obergrenze (95%)	Gruppen
4	25,405	0,122	25,162	25,649	A
2	23,599	0,122	23,355	23,842	B
3	19,878	0,122	19,634	20,122	C
1	14,355	0,122	14,111	14,598	

Tabelle 110: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1393,621	464,540	1248,160	< 0,0001
Fehler	56	20,842	0,372		
Gesamt korrigiert	59	1414,463			

Berechnet gegen Modell $Y = \text{Mean}(Y)$

Tabelle 111: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung nach Hefe und Lycopin Zugabe.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
3	46,327	0,158	46,011	46,642	A
2	43,723	0,158	43,407	44,038	B
4	40,939	0,158	40,623	41,254	C
1	33,439	0,158	33,124	33,755	D

Tabelle 112: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des Jungbiers.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1838,272	612,757	1759,759	< 0,0001
Fehler	56	19,499	0,348		
Gesamt korrigiert	59	1857,771			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 113: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des Jungbiers.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	41,113	0,152	40,808	41,419	A
3	37,483	0,152	37,177	37,788	B
2	30,585	0,152	30,279	30,890	C
4	27,059	0,152	26,754	27,365	D

Tabelle 114: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des Jungbiers.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1379,210	459,737	7736,947	< 0,0001
Fehler	56	3,328	0,059		
Gesamt korrigiert	59	1382,538			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 115: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des Jungbiers.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
4	25,033	0,063	24,907	25,159	A
2	23,239	0,063	23,113	23,365	B
3	18,191	0,063	18,065	18,317	C
1	12,719	0,063	12,593	12,845	D

Tabelle 116: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des Jungbiers.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	2126,749	708,916	1053,559	< 0,0001
Fehler	56	37,681	0,673		
Gesamt korrigiert	59	2164,430			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 117: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des Jungbiers.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard-fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
3	47,631	0,212	47,207	48,056	A
2	45,496	0,212	45,072	45,920	B
4	41,222	0,212	40,798	41,646	C
1	32,109	0,212	31,684	32,533	D

Tabelle 118: Stat. Auswertung der ANOVA für die L*-Messung des gereiften Bieres.

Varianzanalyse (L*):

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1846,313	615,438	1856,396	< 0,0001
Fehler	56	18,565	0,332		
Gesamt korrigiert	59	1864,878			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 119: post-hoc Test (Tukey) für die L*-Messung des gereiften Bieres.

Kategorie	Mittelwert-schätzer	Standard- fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
1	38,277	0,149	37,979	38,574	A
3	32,063	0,149	31,765	32,360	B
2	27,259	0,149	26,962	27,557	C
4	23,436	0,149	23,138	23,734	D

Tabelle 120: Stat. Auswertung der ANOVA für die a*-Messung des gereiften Bieres.

Varianzanalyse (a*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	637,583	212,528	340,511	< 0,0001
Fehler	56	34,952	0,624		
Gesamt korrigiert	59	672,535			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 121: post-hoc Test (Tukey) für die a*-Messung des gereiften Bieres.

Kategorie	Mittelwertschät-zer	Standard- fehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
4	21,986	0,204	21,577	22,395	A
2	21,819	0,204	21,410	22,227	A
3	18,717	0,204	18,308	19,125	B
1	13,939	0,204	13,530	14,347	C

Tabelle 122: Stat. Auswertung der ANOVA für die b*-Messung des gereiften Bieres.

Varianzanalyse (b*):

Quelle	FG	Summe der Quadrat-werte	Mittel der Quadrat-werte	F	Pr > F
Modell	3	885,566	295,189	89,426	< 0,0001
Fehler	56	184,851	3,301		
Gesamt korrigiert	59	1070,417			

Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)

Tabelle 123: post-hoc Test (Tukey) für die b*-Messung des gereiften Bieres.

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Unter-grenze (95%)	Ober-grenze (95%)	Gruppen
3	36,613	0,469	35,673	37,552	A
2	35,689	0,469	34,749	36,628	A
4	31,575	0,469	30,636	32,515	B
1	26,909	0,469	25,970	27,849	C



MICH. WEYERMANN® GmbH & Co. KG
Brau-, Röst- und Caramelmalzfabrik
HEINZ WEYERMANN® GmbH Röstmalzbierbrauerei
 Andreas Richter - Leiter QS/QM
 Brennerstraße 17-19 96062 Bamberg
 Telefon: +49 (0)961 / 93220-22 Fax: +49 (0)961 / 93220-922
 E-Mail: andreas.richter@weyermann.de Homepage: www.weyermann.de



Produktspezifikation

Produkt: Weyermann® Barke® Pilsner Malz

Ernte: 2017

Hergestellt aus feinster zweizeiliger Sommerbraugerste Barke®. Bietet die perfekte Grundlage zur Herstellung geschmacksintensiver heller Lagerbiere. Erzielung eines hervorragenden Körpers und eines angenehmen weichen Mundgefühls. Aroma: intensive Malzaromen

Rohstoff: Zweizeilige Sommerbraugerste (Barke®)

Rohstoffherkunft: Deutschland

Zutaten: Gerste

Wasser

Empfohlene Brauerei bis in %: 100

Zugabe: Lebensmittelindustrie nach Bedarf

Einsatz: Pilsner Biere; Bayrisch Helles; Lager; Kellerbiere; alkoholreduzierte Biere; alkoholfreie Biere; alle anderen Biertypen;

Die folgenden Werte sind erntebedingten Schwankungen unterworfen. Die Analysenvorschriften sind in "Brautechnischen Analysenmethoden-Rohstoffe" (MEBAK) beschrieben.

Parameter	Minimalwert	Maximalwert	Einheit
Wassergehalt	5		%
Extrakt (wasserfrei)	80,5		%
Farbe (EBC)	2,5	4,5	EBC
Farbe (Lovibond)	1,4	2,1	Lovibond
Kochfarbe (EBC)	4	5,5	EBC
Kochfarbe (Lovibond)	2	2,5	Lovibond
Protein (TS)	9,5	11,5	%
ELG° (Kolbach)	36	41,5	%
VZ 45°C	35	41	%
Verzuckerungszeit		15	min
Viskosität (ber. 8,6%)		1,58	m Pas

Abbildung 17: Produktspezifikation Pilsner Malz Seite 1.



Produktspezifikation

Produkt: Weyermann® Barke® Pilsner Malz **Ernte:** 2017

Friabilimeterwert	84	%
Ganzglasigkeit	2,5	%

Verpackung: 5kg Sack, 25 kg Sack, 50 kg Sack, Big Bag, lose

Mindesthaltbarkeit: Bei trockener Lagerung innerhalb eines Temperaturbereiches von 0°C bis 30°C ist ungeöffnet eine Mindesthaltbarkeit von 18 Monaten gegeben.

Im Rahmen unseres Qualitätsmanagementsystems nach DIN EN ISO 9001 und des HACCP-Systems garantieren wir für unsere Produkte und Verpackungen die Einhaltung aller derzeit gültigen lebensmittelrechtlichen Gesetzen und Verordnungen. Die Herstellung erfolgt nach dem "Deutschen Reinheitsgebot".

Weyermann® verwenden keine genetisch veränderten Roh-, Zusatz und Hilfsstoffe gemäß VO (EG) Nr. 1829/2003, 1830/2003, 49/2000 und 50/2000, keine Nanomaterialien und keine Hormone. Der Einsatz von ionisierender Bestrahlung wird ausgeschlossen.

Alle Rohstoffe werden auf Rückstände von Pestiziden, Mykotoxinen und Schwermetallen untersucht und erfüllen die VO (EG) 165/2010 und 396/2005. Die Nitrosamingehalte liegen unterhalb des technischen Richtwertes. Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird durch regelmäßige Kontrollen sichergestellt.

Bamberg, den 07.03.2018

Andreas Richter (Leiter QS/QM)



MICH. WEYERMANN® GmbH & Co. KG
Brau-, Röst- und Caramelmalzfabrik
HEINZ WEYERMANN® GmbH Röstmalzbierbrauerei
 Andreas Richter - Leiter QS/QM
 Brennerstraße 17-19 96062 Bamberg
 Telefon: +49 (0)961 / 93220-22 Fax: +49 (0)961 / 93220-922
 E-Mail: andreas.richter@weyermann.de Homepage: www.weyermann.de



Produktspezifikation

Produkt: Weyermann® CARAAMBER®

Ernte: 2017

Hergestellt aus feinster Qualitätsbraugerste. Durch unser spezielles Herstellungsverfahren bekommt das Malz ein typisches Aroma mit Toffee-, Caramel- und Brotnoten, das zur Intensivierung und Stabilität des Geschmackes im Bier dient. Die Bierfarbe wird abgerundet und bekommt einen rötlichen Glanz.

Rohstoff: Braugerste

Rohstoffherkunft: Deutschland, Europäische Union

Zutaten: Gerste
 Wasser

Empfohlene Brauerei bis in % (für Spezialrezepte höherer Einsatz möglich): 20

Zugabe: Lebensmittelindustrie nach Bedarf

Einsatz: Bockbier; Ale; braune Ales; Lager; Kellerbiere; Amber Lager; Irish-Style Red Ale; Oktober Bier; Märzenbier; Mai-Bock;

Die folgenden Werte sind erntebedingten Schwankungen unterworfen. Die Analysenvorschriften sind in "Brautechnischen Analysemethoden-Rohstoffe" (MEBAK) beschrieben.

Parameter	Minimalwert	Maximalwert	Einheit
Wassergehalt		4,5	%
Extrakt (wasserfrei)	75		%
Farbe (EBC)	60	80	EBC
Farbe (Lovibond)	23,1	30,6	Lovibond

Verpackung: 5kg Sack, 25 kg Sack, 50 kg Sack, Big Bag, lose

Mindesthaltbarkeit: Bei trockener Lagerung innerhalb eines Temperaturbereiches von 0°C bis 30°C ist ungeöffnet eine Mindesthaltbarkeit von 18 Monaten gegeben.

Abbildung 19: Produktspezifikation CARAAMBER Seite 1.



MICH. WEYERMANN® GmbH & Co. KG
Brau-, Röst- und Caramelmalzfabrik
HEINZ WEYERMANN® GmbH Röstmalzbierbrauerei
 Andreas Richter - Leiter QS/QM
 Brennerstraße 17-19 96062 Bamberg
 Telefon: +49 (0)961 / 93220-22 Fax: +49 (0)961 / 93220-922
 E-Mail: andreas.richter@weyermann.de Homepage: www.weyermann.de



Produktspezifikation

Produkt: Weyermann® CARAAMBER®

Ernte: 2017

Im Rahmen unseres Qualitätsmanagementsystems nach DIN EN ISO 9001 und des HACCP-Systems garantieren wir für unsere Produkte und Verpackungen die Einhaltung aller derzeit gültigen lebensmittelrechtlichen Gesetzen und Verordnungen. Die Herstellung erfolgt nach dem "Deutschen Reinheitsgebot".

Weyermann® verwenden keine genetisch veränderten Roh-, Zusatz und Hilfsstoffe gemäß VO (EG) Nr. 1829/2003, 1830/2003, 49/2000 und 50/2000, keine Nanomaterialien und keine Hormone. Der Einsatz von ionisierender Bestrahlung wird ausgeschlossen.

Alle Rohstoffe werden auf Rückstände von Pestiziden, Mykotoxinen und Schwermetallen untersucht und erfüllen die VO (EG) 165/2010 und 396/2005. Die Nitrosamingehalte liegen unterhalb des technischen Richtwertes. Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird durch regelmäßige Kontrollen sichergestellt.

Bamberg, den 07.03.2018

Andreas Richter (Leiter QS/QM)



Palatia Malz GmbH • Postfach 10 43 20 • D-69033 Heidelberg

Hopfen und mehr GmbH
Inhaber: Christian Herkommer
Schulstraße 27

88099 Neukirch

Kurfürsten-Anlage 52
D-69115 Heidelberg

T +49-(0) 6221-646660
F 49-(0) 6221-646699
E info@bestmalz.de

Malzanalyse

Bestellangaben: BE16787 vom 27.04.2018

LS-Nr.	Datum	Werk	Menge
2017112313005	15.05.2018 BEST Red X® (gesackt)	Wallertheim	0,750 to

Qualität	Analyse	
Wassergehalt	%	3,2
Extrakt Feinschrot wfr.	%	80,8
Eiweiß wfr.	%	9,8
Farbe Kongreßwürze	EBC	30,0
pH Kongreßwürze		5,50
Erntejahr		2017

Gescannt von: 

16. Mai 2018

ER:

BE 16787

Sitz der Gesellschaft: Heidelberg
Amtsgericht Mannheim HRB 330429
UST-IdNr.: DE 143 451 297
DE-ÖKO-005

Geschäftsführer:
Dr. Axel Goehler-Broistedt
Berthold Klee, Thomas Schumacher

Kreissparkasse Kusel
BIC: MALADES1KUS
IBAN DE78 5405 1550 0000 0365 66

Baden-Württembergische Bank
BIC: SOLADES600
IBAN DE 86 6005 0101 7402 0720 00

Abbildung 21: Produktspezifikation BEST Red X.



FERMENTIS

Dieser ursprünglich von der Hürlmann Brauerei in der Schweiz entwickelte untergärige Hefestamm findet seine Anwendung bei der Produktion von geschmacksneutralen Pils- und Lagerbieren mit einem hohen Maß an drinkability.

SAFLAGER S-189

Zutaten : Hefe (*saccharomyces cerevisiae*), Hydrierungsmittel E491

ESTER	HÖHERE ALKOHOLE	RESTEXTRAKT	SEDIMENTATION
30	170	4 g/l*	hoch

ppm bei 18°C während einer 48-Stündigen Gärung bei 12°C, anschließend 14°C

ppm bei 18°C während einer 48-Stündigen Gärung bei 12°C, anschließend 14°C

*Entspricht einem scheinbaren Vergärungsgrad von 84 %

EMPFOHLENE ANSTELLEMPERATUR: 9-22°C (48.2-71.6°F) idealerweise 12-15°C (53.6-59°F)

DOSIERUNG: 80 g/H - 120 g/H bei einer Anstelltemperatur von 12°C - 15°C.
Bei Anstelltemperaturen unter 12°C sollte die Dosierung graduell 200 g/H - 300 g/H bei 9°C erhöht werden

ANWENDUNG:

Vor dem Anstellen die Hefe erst in steriles Wasser oder steriler Würze bei 23°C ± 3°C rehydrieren. Dazu die Flüssigkeit so bemessen, dass sie etwa das Zehnfache des Gewichts der Hefe ausmacht. Die Hefe auf die Flüssigkeitsoberfläche streuen und behutsam einröhren, bis die Mischung cremig wird. Danach den Hefebrei weitere 30 Minuten ruhen lassen. Dann ist die Hefe zum Anstellen im Gärbehälter bereit.

TYPISCHE ANALYSE:

Trockengewicht:	940 - 96.5 % mas
Lebensfähige Zellen zur Zeit der Verpackung:	> 6 x 10 ⁹ /g
Bakterien (gesamt)*:	< 5 / ml
Essigsäurebakterien*:	< 1 / ml
Laktobacillen*:	< 1 / ml
Pediokokken*:	< 1 / ml
Wilde Hefen (Nicht- <i>Saccharomyces</i>) *:	< 1 / ml
Pathogene Keime: entspricht allen Gesetzen und Verordnungen	
* bei Hefezugabe von 100g/H, d.h. bei 6 x 10 ⁹ lebende Zellen pro ml	

TRANSPORT

Fermentis* Hefen können bei Zimmertemperatur in einen Zeitraum von bis zu 3 Monaten transportiert und ggf. auch gelagert werden, ohne dass ein Einfluss auf ihre Einsatzfähigkeit stattfindet. Lagerung: Kühl (bei <10°C) und trocken aufbewahren.

HALTBARKEIT

Bitte das auf dem Beutel vermerkte Haltbarkeitsdatum beachten. Unter optimalen Lagerbedingungen bis zu 24 Monate ab Herstell datum haltbar. Geöffnete Beutel wieder verschließen, bei 4°C aufbewahren und innerhalb von 7 Tagen aufbrauchen. Weiche bzw. beschädigte Beutel nicht verwenden.

Beachten Sie bitte, dass jede Änderung des Gärungsprozesses die Qualität des Endproduktes beeinträchtigen kann. Wir empfehlenden daher Versuchsgärungen durchzuführen.

Abbildung 22: Produktspezifikation Hefe (SAFLAGER S-189).

neu.SW Mein Stadtwerk®

Analysenwerte vom Trinkwasser der Stadt Neubrandenburg

01.01.2017 - 31.12.2017

- Durchschnitt von Wasserwerk 2 und 3 -

Parameter	Maßeinheit	Mittelwert	Minimum	Maximum	Grenzwert
pH-Wert		7,22	7,15	7,28	≥ 6,5 und ≤ 9,5
Sauerstoff	mg/l	8,9	6,0	11,4	-
Eisen	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,2
Mangan	mg/l	< 0,010	< 0,010	0,011	0,05
Leitfähigkeit	µS/cm	619	564	693	2790
Chlorid	mg/l	18,0	13,0	23,0	250
ortho-Phosphat	mg/l	0,026	< 0,015	0,046	-
Sulfat	mg/l	32,4	16,0	44,0	250
Nitrit	mg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,5
Nitrat	mg/l	2,62	< 2,00	3,67	50
Ammonium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,5
Natrium	mg/l	25,1	13,4	43,0	200
Kalium	mg/l	3,25	2,46	4,27	-
Calcium	mg/l	98,8	94,0	105,0	-
Magnesium	mg/l	15,0	12,0	18,0	-
Basekapazität Kb _{8,2}	mmol/l	0,8	0,6	0,9	-
Säurekapazität Ks _{4,3}	mmol/l	5,6	5,2	6,0	-
Hydrogencarbonat	mg/l	335	317	365	-
TOC	mg/l	1,4	< 1,0	2,0	-
Gesamthärte	*dH	17,4	16,7	18,5	-
Karbonathärte	*dH	15,6	14,6	16,8	-
Fluorid	mg/l	0,39	< 0,10	0,73	1,5
Blei	mg/l	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,01
Cadmium	mg/l	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,003
Chrom	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05
Nickel	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,02
Kupfer	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	2
Uran	mg/l	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,01
Zink	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	

Abbildung 23: Analysenwerte vom Trinkwasser der Stadt Neubrandenburg.

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebenen elektronischen Fassungen mit der eingereichten Arbeit übereinstimmen.

Neubrandenburg, den 09.08.2018