



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmittel- und Bioprodukttechnologie
WS 2019/20 und SS 2020

**Einfluss von *Spirulina platensis* auf den Brauprozess
unter Berücksichtigung analytischer und
sensorischer Aspekte**

Master - Thesis
zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

Verfasser: Nino Beisler

Betreuer: Prof. Dr. Michael Sandmann
Prof.in Dr.in rer. nat. Christine Wittmann

Bearbeitungszeitraum: 04.11.2019 - 08.06.2020

Bearbeitungsort: Hochschule Neubrandenburg

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis:2019-0485-7

Abstract

The global use of algae in foods has been of great importance for many years. Especially the cyanobacterium *Spirulina platensis* emphasizes the success of a healthy diet due to its high nutritional values and benefits. Based on those facts, this research deals with the feasibility of integrating *Spirulina* powder into the brewing process to create a tasty beer-like product. Algal powder was dosed at various process times to find out the effect on brewing. In order to create a more popular taste and overlay the dominant algal flavor, the recipe (specially the hop composition) and beer type (Mild Pale Ale, India Pale Ale, Brut India Pale Ale) were also modified. To analyze the effect on brewing typical determinations of reducing sugar, free amino nitrogen (FAN), alcohol content and coloring, as well as the content of polyphenols and phycocyanin were realized. Based on three different sensory evaluations (popularity test, simply descriptive test, Just-About-Right-Questions) the acceptability and popularity were evaluated. Given the results, an appealing beer-like product with a high popularity could be developed and produced. According to that, *Spirulina* powder proved to have neither a negative influence on the brewing process nor on the beer characteristics (reducing sugar, FAN, alcohol content). It was found that the earlier *Spirulina* was added, the more algal flavor and coloring have been lost in the beer. However, it is still recommendable to add the algal powder to the wort cooling being under 40 °C in order to protect all nutritional ingredients of *Spirulina*. Additionally, it colors the beer in a deep blue hue since it contains phycocyanin. The dominant algal flavor could be successfully overlaid with more bitterness (approx. 60 IBU). Increasing the hop aromatic led to an unpleasant taste, why this method is not suitable.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	1
Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen	3
1 Einleitung.....	4
2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	5
2.1 Rechtliche Grundlagen und Rohstoffkunde	5
2.2 Darstellung des Brauprozesses vom Rohstoff bis zum fertigen Bier	8
2.3 Beschreibung der gebrauten Biersorten	13
2.4 Marktanalyse zum Thema Algenbiere	15
2.5 Algen und Cyanobakterien	16
2.5.1 Einführung und Stellung der Algen und Cyanobakterien in der Pflanzenwelt.....	16
2.5.2 Industrielle Nutzung von Algen	17
2.5.3 <i>Spirulina platensis</i> - Inhaltsstoffe, Wirkung und Besonderheiten.....	19
3 Material und Methoden	24
3.1 Versuchsplanung.....	24
3.1.1 Versuchsaufbau und Rezepturen der hergestellten Sude.....	24
3.1.2 Durchführung der Versuche im Technikummaßstab	28
3.1.3 Auflistung der zu untersuchenden Prozessparameter und Probenentnahme	32
3.2 Verwendete Geräte.....	32
3.3 Verwendete Materialien	35
3.4 Angewandte analytische Messmethoden	38
3.5 Statistische Auswertung der Messergebnisse.....	44
3.6 Sensorische Betrachtung der Produkte	45
4 Ergebnisse.....	48
4.1 Berechnung der für die Rezepturen benötigten Mengen	48
4.1.1 Berechnung der Malzzusammensetzung.....	48
4.1.2 Kalkulation der Hopfenmenge und Berechnung der Bitterkeit.....	48
4.2 Ablauf des Brauprozesses unter Berücksichtigung der Prozessparameter.....	49
4.2.1 Erste Versuchsreihe Sud 1 - 5 - Algenzugabe zu verschiedenen Prozesszeitpunkten....	49
4.2.2 Zweite Versuchsreihe Sud 6 - 7 (India Pale Ale) und Sud 8 - 9 (Brut India Pale Ale)..	53
4.3 Physikalische und chemische Analysenergebnisse.....	58
4.3.1 Bestimmung der Glucosekonzentration der Brut IPAs 8 und 9 zwischen den Rasten...	58
4.3.2 Bestimmung der reduzierenden Zucker	58
4.3.3 Bestimmung des freien Aminostickstoffs (FAN)	60
4.3.4 Alkoholgehalt der Sude und Vergleich der Alkoholspektren von Sud 1 und 5.....	61
4.3.5 Bestimmung des farblichen Eindruckes der Sude.....	63
4.3.5.1 Farbbestimmung nach $L^*a^*b^*$	63

4.3.5.2 Optische Farbeindrücke aller Sude nach dem Brauprozess	68
4.3.6 Bestimmung des Phycocyaninanteils.....	70
4.3.7 Gesamtphenolbestimmung.....	71
4.4 Sensorische Auswertung der hergestellten Sude	72
4.4.1 Beliebtheitstest (Hedonische 9-Punkte Skala).....	72
4.4.2 Just-About-Right-Fragen (JAR-Fragen).....	74
4.4.3 Einfach beschreibende Prüfung.....	76
5 Abschlussdiskussion	81
6 Zusammenfassung	100
7 Literaturverzeichnis	101
Abbildungsverzeichnis.....	109
Tabellenverzeichnis.....	111
Formelverzeichnis	115
Verzeichnis der Anlagen.....	116

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen

<u>Symbol</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>Einheit</u>
ΔE	Farbabstand	dimensionslos
aPC	A-Phycocyanningehalt	g/l
cPC	C-Phycocyanningehalt	g/l
$d_{20/20}$	Tauchgewichtsverhältnis Wasser / Wasser - Ethanol	dimensionslos
IGF	Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor	dimensionslos
m1	Masse des leeren Pyknometers	g
m2	Masse des mit bidestillierten Wasser gefüllten Pyknometers bei 20,0 °C	g
m3	Masse des mit Probe gefüllten Pyknometers bei 20,0 °C	g
SG	Specific Gravity	kg/l

Abkürzungen

BierSTDB	Verordnung zur Durchführung des Vorläufigen Biergesetzes
BierV	Bierverordnung
D	Deutschland
DHA	Docosahexaensäure (22 C-Atome: 6 Doppelbindungen, Omega-3)
EBC	European Brewery Convention (auch Einheit der Bierfarbe)
EPA	Eicosapentaensäure (20 C-Atome: 5 Doppelbindungen, Omega-3)
FAN	freier Aminostickstoff
HG	Hauptgärung
HGu	Hauptguss
HPLC-DAD	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit Diodenarray-Detektor
IBU	International Bitterness Unit (1 IBU = 1 mg Iso- α -Säure / Liter Bier)
IPA	India Pale Ale
JAR	Just-About-Right
Mebak e.V.	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
NG	Nachgärung
PTFE	Polytetrafluorethylen (n C ₂ F ₄)
VorlBierG	Vorläufiges Biergesetz
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

1 Einleitung

Der Verzehr von Algen ist vorwiegend im asiatischen Raum in Salaten oder Sushi bekannt. Doch auch in Europa und speziell in Deutschland werden immer mehr Lebensmittel mit Algenzusatz auf den Markt gebracht. Dabei ist vor allem die Mikroalge *Spirulina platensis* in den Vordergrund gerückt, welche aufgrund ihres hohen ernährungsphysiologischen Potenzials besonders gut für eine gesunde Ernährung geeignet ist. Nicht umsonst wird dieses Cyanobakterium im fernen Osten auch als „Ginseng des Wassers“ oder „blaues Vitalstoffwunder“ bezeichnet (Natur-kompendium, 2018; Vitalisis, 2017). Auch die WHO verlieh *Spirulina platensis* 1974 den Titel „Bestes Nahrungsmittel der Zukunft“. Heutzutage genießt diese Alge den Status als echtes „Superfood“ und ist zudem rechtlich als Lebensmittel zugelassen.

Obwohl *Spirulina* aufgrund hoher Mikro- und Makronährstoffgehalte in älteren Kulturen schon sehr lange in Lebensmitteln eingesetzt und verzehrt wird, sind die Erkenntnisse bezüglich der Technologie und Wirkungsweise im Vergleich noch sehr jung, weshalb intensiv Forschung in diesem Bereich betrieben wird. Ein wichtiges Thema beschreibt dabei den optimalen Einsatz von Mikroalgen in ausgewählten Lebensmitteln wie Getränken, Teig- und Backwaren. Seit neuestem wird auch daran geforscht, das neue „Superfood“ mit dem beliebtesten alkoholischen Getränk der Deutschen, dem Bier, zu kombinieren (BMEL, 2008).

Basierend darauf beschäftigt sich diese Arbeit mit dem neuen Trend, Algen in den Brauprozess zu integrieren, um letztendlich ein „vitaminreiches Algenbier“ zu produzieren. Das Ziel besteht darin, herauszufinden, ob die zugegebenen Algen den Brau- und Vergärungsprozess positiv oder negativ beeinflussen, indem diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten dem Brauprozess beigelegt werden. Betrachtet werden sowohl technologische als auch sensorische Aspekte, wobei neben den typischen Prozessparametern (pH-Wert, Stammwürze, Temperatur) auch physikalische und chemische Analysen (Farbe, reduzierende Zucker, freier Aminostickstoff (FAN), Alkoholgehalt) sowie sensorische Untersuchungsmethoden (Beliebtheitsprüfung, Einfach beschreibende Prüfung, Just-About-Right-Fragen) angewandt werden. Darüber hinaus ist in Erfahrung zu bringen, in wie weit der Algengeschmack durch einen unterschiedlichen Einsatz von Hopfen in seiner Wahrnehmung beeinflusst werden kann. Des Weiteren sollen der Gehalt an Polyphenolen im Bier chemisch und der Phycocyaningehalt (Pigmentfarbstoff der Photosynthese) mittels optischer Messung ermittelt werden.

In dieser Arbeit wurden lediglich obergärige Biere (Pale Ales) gebraut, weshalb sich die Recherchen und angegebenen Parameter nur auf diesen Biertyp beziehen.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Rechtliche Grundlagen und Rohstoffkunde

Damit deutsche Brauereien in Deutschland ihr Bier auf den Markt bringen dürfen, müssen eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten eingehalten werden. An oberster Stelle steht dabei die Bierverordnung (BierV), welche mit dem § 1 auch auf das Vorläufige Biergesetz (VorlBierG) und die Verordnung zur Durchführung des Vorläufigen Biergesetzes (BierSTDB) Bezug nimmt und dementsprechend alle rechtlichen Bedingungen zusammenfasst.

Ausgehend von § 9 Abs. 1 und 2 des VorlBierG dürfen untergärige Biere nur aus den vier bekannten Rohstoffen des Reinheitsgebotes: Gerstenmalz, Hopfen, Hefe und Wasser bestehen. Gemäß § 9 Abs. 4 und 6 sind das Färben durch verschiedene Röstmalze und der Einsatz von Klärmitteln wie z.B. Kieselgur mit inbegriffen, sofern sie neben dem Filtrationseffekt keine weiteren Veränderungen am Bier hervorrufen (Narziss et al., 2017). Obergärige Biere unterliegen denselben Vorschriften. Es besteht jedoch die Möglichkeit dem Bier auch andere Malzsorten und verschiedene Zucker wie Invert-, Rohr- oder Stärkezucker inklusive aus diesen hergestellte Farbstoffe zuzugeben. Weitere Zutaten und Zusatzstoffe, bis auf die von der geltenden Zusatzstoff-Zulassungsverordnung freigegebenen Süßstoffe, sind nicht zugelassen. Bezüglich der anderen Rohstoffe gelten ebenso Vorschriften. So muss das Brauwasser als gesundheitlich unbedenklich eingestuft werden. Der Hopfen kann sowohl in seiner natürlichen Form als Dolde als auch in verarbeiteter Form wie Pulver, Pellets oder Auszüge (Extrakte) verwendet werden (§ 19 der BierSTDB; § 9 Abs. 5 des VorlBierG). Die von ausländischen Brauereien hergestellten, importierten und auf dem deutschen Markt verkauften Biere unterliegen nicht der BierV, sondern lediglich den Gesetzmäßigkeiten des Herkunftslandes und dürfen demnach als „Bier“ bezeichnet werden (§ 1 Abs. 2 der BierV).

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass in Deutschland hergestellte Biere mit Algenzusatz rechtlich nicht als „Bier“ bezeichnet werden dürfen. Es besteht aber in einzelnen Fällen die Möglichkeit, auf Antrag eine Zulassung als „Bier“ gemäß § 9 Abs. 7 des VorlBierG zu erhalten, sofern wissenschaftliche Absichten oder eine Ausfuhr begründet werden können.

Obwohl die experimentelle Bereitschaft, exotische Biere herzustellen, immer mehr Raum im deutschen Markt einnimmt, sind die meisten Biere nach dem deutschen Reinheitsgebot gebraut und enthalten demnach neben Wasser, Hopfen und Hefe nur noch Gerstenmalz. Dabei hat jeder Rohstoff seine eigene Bedeutung und gibt damit dem fertigen Bier seine charakteristischen Eigenschaften.

Im folgenden Abschnitt wird der Einfluss der vier Rohstoffe etwas detaillierter betrachtet.

Das Brauwasser nimmt mit ca. 80,0 % - 90,0 % den größten Volumenanteil ein und hat damit einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Herstellung und vor allem auf die enzymatischen Vorgänge bzw. den Geschmack des Bieres. Denn neben den Wassermolekülen sind im Brauwasser verschiedene Salze, vorwiegend Erdalkalimetalle, als Ionen gelöst, welche aus dem Erdreich und den Gesteinsschichten aufgenommen wurden. Einige gelöste Ionen verändern bereits beim Einmaischen den pH-Wert. Ohne gelöste Salze (destilliertes Wasser mit 0,0 °dH) reagiert das Malz mit Wasser leicht sauer und lässt die entstehende Maische einen pH-Wert zwischen 5,2 und 6,0 aufweisen. Im Brauwasser gelöste Hydrogencarbonationen HCO_3^- reagieren im anfänglichen Brauprozess mit je einem Wasserstoffion unter Bildung von Wasser und Kohlenstoffdioxid (CO_2), welches letztendlich den pH-Wert leicht ansteigen lässt. Im Gegenzug dazu reagieren im Brauwasser enthaltenen Calcium- und Magnesiumionen mit den gelösten Phosphaten (HPO_4^{2-}) aus dem Malz und setzen dabei Wasserstoffionen frei, welche wiederum den pH-Wert der Maische verringern. Es entsteht somit eine Art Pufferwirkung, welche im Brauwesen als Restalkalität [°dH] bezeichnet wird. Dabei gilt: je höher die Restalkalität im positiven Bereich ist, desto höher ist die Konzentration an HCO_3^- und desto mehr verschiebt sich der pH-Wert in Richtung Neutralität. Eine negative Restalkalität lässt den pH-Wert entsprechend sinken. Eine richtige Einstellung der Minerale ist daher sehr wichtig, um den pH-Wert bei diesem Prozessschritt je nach verwendetem Rohstoff im optimalen Bereich der abbauenden Enzyme zu halten. Bei hellen, hopfenbetonten Bieren sollte die Gesamthärte [° dH] sehr gering sein und eine Restalkalität von 2,0 °dH (optimal wären 0,0 °dH) nicht überschritten werden. Dieses gilt, da helle Malzsorten den pH-Wert der Maische nicht allzu stark herabsetzen wie zum Beispiel dunkles Malz (Brüchlmeier, 2018, Hanghofer, 2016). Laut der Neubrandenburger Stadtwerke neu.sw (Stand 2018) ist das Wasser mit 17,1 °dH (siehe Anlage 5, Tabelle 88) sehr hart, weshalb das Brauen heller, hopfenbetonter Biere allein mit diesem Wasser nicht optimal wäre. Eine Kombination mit entionisiertem Wasser oder eine vorherige Aufbereitung sind daher unabdingbar.

Maßgebend für die Bittere und Aromatik des Bieres ist die Zugabe des Hopfens. Zum Brauen werden dabei lediglich die weiblichen Dolden verwendet. Die Bitterstoffe (vorwiegend α - und β -Säuren) sind im natürlichen Zustand nicht wasserlöslich. Erst durch den Kochprozess ($> 80,0^\circ\text{C}$) isomerisieren diese Stoffe zu löslichen Iso - Verbindungen und verleihen dem Bier seine Bitterkraft. Die β -Säuren besitzen jedoch nur ca. ein Neuntel der Bitterkraft, weshalb für die Berechnung der Bittereinheiten (IBU) auch nur die α -Säuregehalte in Betracht gezogen werden (Brüchlmeier, 2018; Knorr und Kremkow, 1972).

Während die Bitterkeit lange Zeit das ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl des Hopfens war, interessieren heutzutage viel mehr die aromagebenden Komponenten: die stark flüchtigen Bestandteile der Hopfenöle. Je nach Sorte ist die Zusammensetzung der ca. 400 bekannten Aromen anders, sodass einige Hopfen eher blumig - kräuterartige bzw. würzige Noten und andere wiederum eine stark ausgeprägte Fruchtigkeit hervorbringen. Die Darreichung des Hopfens kann in verschiedenen Strukturen erfolgen. Am besten eignen sich hierbei Pellets, da sie in aufkonzentrierter Form vorliegen und somit geringere Mengen im Vergleich zu den Dolden benötigt werden (Brücklmeier, 2018; Heyse, 1995).

Die Aufgabe der Hefe ist es, die im Bier enthaltenen Einfachzucker in Alkohol und CO₂ umzuwandeln. Sie wird nach dem Gärprozess wieder aus dem Bier entfernt und muss daher im Zutatenverzeichnis nicht zwangsläufig aufgeführt werden. Der Brauer unterscheidet dabei grundlegend zwei verschiedene Hefetypen, welche maßgebend für den Bierstil sind. Untergärrige Hefen kommen nur als Einzel- oder Doppelzelle vor und sinken daher zum Ende des Gärprozesses auf den Boden. Obergärrige, sogenannte „Alehefen“, bilden Sprossverbände und werden aufgrund einer größeren Oberfläche durch aufsteigende CO₂ - Bläschen an die Oberfläche geschwemmt. Biere mit untergärrigen Hefen werden untergärrig genannt und folglich obergärrig, wenn gleichnamige Hefen verwendet werden (Kunze, 2016; Heyse, 1995).

Der letzte Rohstoff ist das Malz und mengenmäßig mit ca. 20,0 % vertreten. Spricht der Brauer von Malz ist damit vorrangig Gerstenmalz gemeint. Als Malz wird allgemein gekeimtes und wieder getrocknetes Getreide bezeichnet. Dieser Vorgang ist wichtig, da dadurch Enzyme aus dem Keimling freigesetzt, neu gebildet und aktiviert werden. Ohne diesen vorläufigen Vermälzungsprozess würden keine Enzyme zum, vor allem für die Gärung wichtigen, Abbau der Stärke und Eiweiße im Malzkorn zur Verfügung stehen.

Neben einem hohen Kohlenhydratanteil enthält das Malz zudem Eiweiße und Fette. Die abgebauten Eiweiße dienen aufgrund des amphoteren Charakters neben der Nährstoffbereitstellung zudem der Schaumstabilität und halten gleichfalls die Trübung des fertigen Bieres aufrecht. Während des Würzekochens begünstigen sie die Fällung von Schwebstoffen durch Denaturierungs- und Koagulationsprozesse.

Fette sind im Malz mit ca. 2,0 % nur geringfügig enthalten, weshalb der Einfluss vernachlässigbar gering ist (Heyse, 1995).

2.2 Darstellung des Brauprozesses vom Rohstoff bis zum fertigen Bier

Aus biochemischer Sicht lässt sich der Brauvorgang generell in drei Teilbereiche aufteilen. Im ersten Schritt werden die Enzyme im Inneren des künstlich zum Keimen gebrachten Gerstenkorns aktiviert, freigesetzt und teilweise neu gebildet. Anschließend erfolgt der Abbau der aus dem Malz extrahierten Stärke zu vergärbaren Zuckern durch die zuvor freigesetzten Enzyme. Im letzten Prozessschritt wird schließlich der vergärbare Zucker durch die Zugabe der Hefe zu Alkohol (vorwiegend Ethanol) und CO₂ umgesetzt. Das Mälzen wird dabei meistens separat in einer Mälzerei vollzogen (Narziss und Back, 2016; Narziss et al., 1999).

Der allgemeine Brauvorgang mit den jeweils zu- und abgeführten Stoffen ist im folgenden Fließschema der Abbildung 1 aufgeführt.

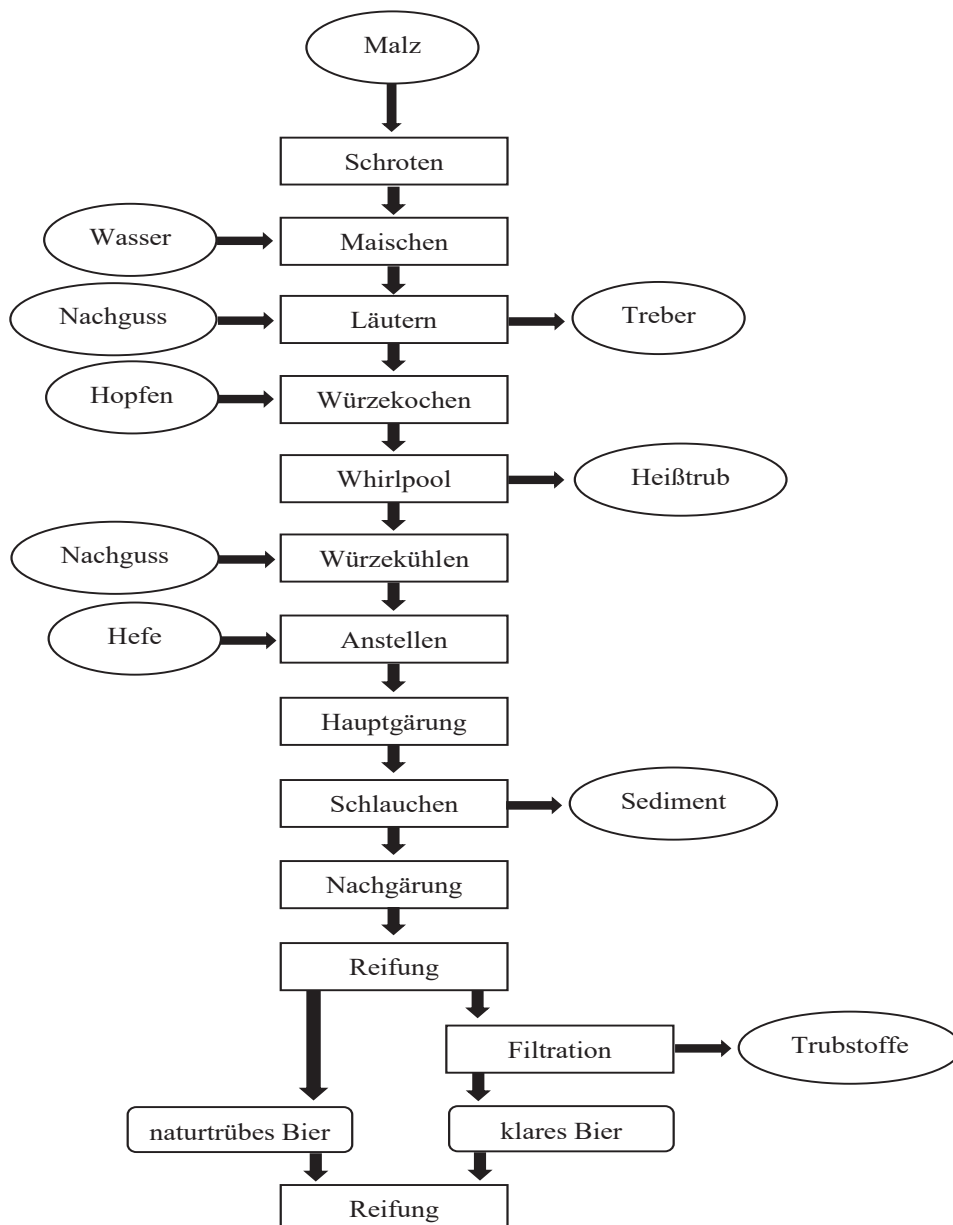


Abbildung 1: Fließschema zur Herstellung von Bier (eigene Abbildung, 2019)

Bevor das Malz für den Brauvorgang eingesetzt wird, muss es zunächst geschrotet werden. Dieser Vorgang ist wichtig, um Enzyme und Nährstoffbestandteile beim Maischen besser aus dem Malz durch das Brauwasser herauszuextrahieren zu können und die Enzyme für alle Bereiche des Malzkörpers zugänglich zu machen. Es ist jedoch zu beachten, dass das Malz nicht zu fein zerkleinert wird, da sich der Filterkuchen beim Läutervorgang andernfalls viel zu dicht aufbaut und letztendlich ein Durchdringen der flüssigen Würze deutlich erschwert. Zu grobes Schroteten führt wiederum zu einer niedrigeren Extraktausbeute im Brauwasser, sodass im ungünstigsten Fall die geforderte Stammwürze nicht eingestellt werden kann und Gärungsprozesse aufgrund von Nährstoffmangel zeitweise unvollständig, unter vermehrter Bildung von Fuselalkoholen, ablaufen (Kunze, 2016; Narziss et al., 1992).

Das geschrotete Malz wird schließlich im ersten Schritt, dem Maischen, mit dem Brauwasser (Hauptguss) im Verhältnis 1:3 oder 1:4, je nach der gewünschten Stammwürze, verrührt. Dieser Prozess ist wichtig, da die von der Mälzerei schon begonnenen Um- und Abbaureaktionen kontrolliert und etappenweise weitergeführt werden. So wird die Stärke bis zum Ende des Maischens fast vollständig zu niedrigeren vergärbaren Zuckern abgebaut. Da hierfür mehrere Enzyme mit unterschiedlichen Temperaturoptima wirksam sind, ist es üblich, während des Maischens verschiedene Temperaturstufen für eine bestimmte Zeit zu halten. Eine solche Temperaturperiode wird als Rast bezeichnet. Generell werden drei Rasten gefahren, um die langkettigen Stärke- und Eiweißstrukturen optimal abzubauen. Nach dem Einmaischen, welches zwischen 45,0 °C und 55,0 °C stattfindet, beginnt bei selbiger Temperatur die erste Rast für ca. 10 min - 20 min. Bei dieser sogenannten Eiweißrast wirken vorwiegend Proteasen, welche die Eiweiße in kleinere Bruchstücke wie Aminosäuren, Peptide und weitere Stickstoffverbindungen abbauen. Somit entstehen die für die Hefeernährung benötigten freien Aminostickstoffe (FAN). Für die zweite Rast wird die Temperatur in einem Bereich zwischen 60,0 °C und 65,0 °C angehoben und für ca. 30 min - 90 min gehalten. Während die Proteasen bei diesen Bedingungen inaktiviert werden, wirken jetzt β -Amylasen, die für den Abbau der langkettigen Stärke vom Kettenende her zuständig sind. Somit wird bei jeder Spaltung ein für die Hefe verwertbares Maltosemolekül frei, weshalb diese Rast auch als Maltoserast bezeichnet wird. Die letzte Rast aktiviert die α -Amylasen, welche die übrig gebliebene Stärke spaltet. Die Stärkeketten werden hauptsächlich in der Mitte durchtrennt, sodass hauptsächlich kurzkettige Dextrine entstehen. Diese können von den Hefen nicht verwertet werden und bestimmen daher das Aroma, Mundgefühl (Vollmundigkeit) und die Restsüße des Bieres. Der optimale Bereich liegt in dieser Endverzuckerungsrast zwischen 70,0 °C und 75,0 °C und wird für 15 min - 45 min umgesetzt. Dieser mehrstufige Prozessablauf wird als Infusionsverfahren bezeichnet

und eignet sich besonders gut für die Herstellung heller obergäriger Biere. Auch der pH-Wert spielt dabei eine besondere Rolle und sollte während der Rasten im für die Enzyme optimalen Bereich von 5,2 - 6,0 gehalten werden. Am Ende der letzten Rast wird mittels einer Iodprobe festgestellt, ob noch Stärke in der Maische vorhanden ist. Bei einem negativen Nachweis (Gelbfärbung) ist die Rast abgeschlossen und die Maische kann auf eine Läutertemperatur von ca. 78,0 °C angehoben werden. Die Amylasen sind dann gerade noch wirksam, sodass die beim Läutern aufgrund der Nachgüsse möglicherweise noch herausgelöste Stärke weiter abgebaut wird. Weiterhin wird durch die höhere Temperatur ein schnelles Abkühlen und eine daraus resultierende Viskositätserhöhung vermieden, welche den Läutervorgang ersichtlich verschlechtern würde (Brücklmeier, 2018; Narziss et al., 1992; Narziss und Back, 2016).

Die Maische wird anschließend in den Läuterbottich geleitet, in dem die wasserlöslichen Stoffe von den wasserunlöslichen vollständig durch Filtration getrennt werden. Dabei setzen sich die wasserunlöslichen Bestandteile nach einer gewissen Ruhephase am Siebboden des Läuterbottichs ab und bilden einen Filterkuchen (Treber). Mit der Öffnung des Zulaufs fließt der flüssige Anteil der Maische, die sogenannte Vorderwürze, durch den Treber in die Würzefanne. Läuft keine Würze mehr, wird das im Läuterbottich eingebaute Aufhackwerk betätigt, um den dichten Treberkuchen etwas aufzulockern. Mit ca. 78,0 °C heißen Nachgüssen wird anschließend versucht, weitere lösliche Bestandteile aus dem Malz herauszuziehen. Das Volumen der Vorderwürze wird somit erhöht und gleicht spätere Kochverluste wieder aus. Zum Ende wird der Treber entfernt und kann als Futtermittel verwendet oder in der Backwarenindustrie weiter zu Treberbrot verarbeitet werden. Die in der Vorderwürze enthaltenen wasserlöslichen Stoffe (Malzzucker, Eiweiße, Mineralien) bezeichnen den Extraktgehalt und bestimmen damit die Stammwürze, angegeben in Grad Plato [°P]. Dieser Parameter wird vor der Hefezugabe auf einen vorgegebenen Wert eingestellt und ist demnach mit für den Alkoholgehalt des Bieres maßgebend (Kunze, 2016; Narziss et al., 1992).

Die Vorderwürze wird im nächsten Abschnitt für 60 min - 90 min auf ca. 100,0 °C erhitzt und gekocht. Hierbei wird die Enzymwirkung zur Fixierung der Würzezusammensetzung inaktiviert, die Würze sterilisiert und durch Verdampfungsprozesse aufkonzentriert. Durch die Zugabe von Hopfen wird zudem die Bitterkraft und ein Teil der Bieraromatik eingestellt. Dabei werden die Bitterhopfen zum Anfang und Aromahopfen erst zum Ende des Kochvorgangs zugegeben. Mit zunehmender Kochdauer nimmt die Bitterkraft der Würze stetig zu. Über die Berechnungsformel von Tinseth (siehe Formel 13) kann die erforderliche Menge an Hopfen

berechnet werden, um eine gewünschte Bitterkraft im Bier hervorzubringen. Weiterhin koagulieren die Eiweiße, welche im anschließenden Whirlpool zusammen mit weiteren Trubstoffen und Hopfenbestandteilen ausgefällt und von der Würze entfernt werden. Auch eine Reduzierung des pH-Wertes um 0,1 - 0,2 Einheiten ist die Folge des Würzekochens. Das liegt vorrangig an den zugeführten Hopfenbittersäuren, der Bildung von sauer reagierenden Maillardprodukten und der Ausscheidung von alkalischen Phosphaten (Hanghofer, 2016; Heyse, 1995; Narziss et al., 1992).

Nach dem Kochvorgang gelangt die noch heiße Würze (ca. 90,0 °C) tangential in den Whirlpool. Das bewirkt eine Rotation am Rand des Whirlpoolgefäßes, wobei sich die Feststoffe nach Stillstand der Würze in der Mitte des konisch aufgebauten Bottichs als sogenannter Heißtrub absetzen. Dieser Vorgang dauert ca. 20 min - 30 min. Mit Hilfe eines sich an der Seitenwand befindenden Hahnes oder einem Rohr mit angeschlossenem Schlauch wird die Würze anschließend in den Würzekühler überführt, während die Feststoffe in der Würzefanne zurückbleiben. Zu beachten ist dabei, dass der Hahn nicht zu tief angebracht wird und der Schlauch nicht bis zum Boden reicht, da sonst die Trubstoffe mit eingesogen werden. In der gesamten Zeit ist die Würze immer noch sehr heiß, sodass weiterhin Bitterstoffe im Bier gelöst werden. Dieser Zeitabschnitt zwischen Kochen und Würzekühlen, wo die Temperatur 80,0 °C noch nicht unterschritten hat, wird als Isomerisierung bezeichnet und ist ein wichtiger Faktor für die endgültige Berechnung der Bitterkeit nach Tinseth (Brücklmeier, 2018; Kunze, 2016).

Beim Würzekühlen wird die vom Heißtrub getrennte Flüssigkeit möglichst schnell auf die Anstelltemperatur der Hefe gekühlt. Idealerweise werden hierfür Plattenwärmetauscher oder Eintauchkühler eingesetzt, welche die Würze innerhalb von 30 min - 45 min auf die gewünschte Anstelltemperatur einstellen. Ein schnelles Kühlen ist wichtig, um die Oxidation und thermische Belastung der Würze möglichst gering zu halten. Zudem kann dann die Hefe schnellstmöglich zugegeben werden, damit andere Mikroorganismen keine Möglichkeit erhalten sich im Bier auszubreiten. Generell ist ab diesem Prozessschritt besonders auf Hygiene und Sauberkeit zu achten, da im weiteren Verlauf keine Konservierung mehr durch Erhitzungsprozesse möglich ist. Jeder mikrobielle Befall führt somit zum sicheren Verderb. Während die Würze herunterkühlt, wird zeitgleich die Stammwürze mit Hilfe einer Spindel bestimmt und gegebenenfalls mit weiteren kalten Nachgüssen auf den gewünschten Wert reguliert (Brücklmeier, 2018; Kunze, 2016).

Sobald die Temperatur und Stammwürze eingestellt sind, wird die schon zuvor rehydrierte Hefe der Würze beigefügt. Obergärige Hefen haben zwischen 15,0 °C und 23,0 °C ihr optimales Wirkungsspektrum. Die Anstelltemperatur sollte dabei im unteren Bereich liegen, da es sich bei der Gärung um einen exothermen Vorgang handelt, welcher die Temperatur des Jungbieres trotz weiter bestehender Kühlung etwas ansteigen lässt. Auch sollte die Temperatur der Hefe mit denen der Würze in etwa gleich sein, da die Hefe andernfalls sehr gestresst in die Gärung startet. Dieses hat eine Minimierung der Gäraktivität und eine zunehmende Produktion unerwünschter Gärungsnebenprodukte zur Folge (Brücklmeier, 2018; Weinfurtner, 1963).

Die Bierhefen sind fakultativ anaerob. Sie können sich daher im aeroben Milieu vermehren und stellen bei vollständigem Sauerstoffentzug auf den Gärungsstoffwechsel um. Nach dem Anstellen ist es daher üblich das angehende Bier für mindestens 5 min mit Druckluft zu belüften, damit der Hefe genügend Sauerstoff für das Wachstum zur Verfügung steht (Hanghofer, 2016; Weinfurtner, 1963).

Während der Hauptgärung wird der in der Würze gelöste vergärbare Extrakt nach der Reaktionsgleichung 1 von Gay-Lussac in je zwei Teile Ethanol und CO₂ umgesetzt.



Zudem finden weitere Stoffwechselprozesse statt, welche für die Bildung von Gärungsnebenprodukten verantwortlich sind. Dazu zählen hauptsächlich höhere Alkohole (Fuselalkohole), Aldehyde, Ester, Schwefelverbindungen und vicinale Diketone, zu denen auch Diacetyl gehört. Es wird hierbei zwischen Jungbukett- und Bukettstoffen differenziert. Erstere sind gänzlich unerwünscht, da sie dem Jungbier einen rauen und unharmonischen Geschmack verleihen. Zu diesen gehören einige Aldehyde und Schwefelverbindungen, welche hingegen im Verlauf der Reifung wieder gezielt abgebaut werden. Bukettstoffe, bestehend aus höheren Alkoholen und Estern, sind teilweise erwünscht, verleihen dem Jungbier die typische Aromatik und lassen sich mit dem heutigen Stand der Technik nicht entfernen. Vor allem obergärige Biere werden durch diese Bukettstoffe charakterisiert. Um die Konzentration dieser zu erhöhen, sollte die Hauptgärung am oberen Ende der empfohlenen Gärtemperatur gehalten werden. Außerdem führen ein Anstellen mit geringen Zellzahlen und eine periodische Bewegung des Bieres während der Gärung zu einer erhöhten Bukettstoffproduktion (Brücklmeier, 2018).

Die Hauptgärung wird im Allgemeinen für ca. eine Woche durchgeführt, wobei die Hefe zunächst ca. 6 h - 8 h für das Wachstum benötigt und inmitten des zweiten und dritten Gärtages die meiste Extraktumsetzung vollzieht. Zum Ende der Hauptgärung sollte sich der pH-Wert zwischen 4,6 und 4,8 einpendeln. Mit der Spindelprobe wird das tatsächliche Ende der

Hauptgärung anhand einer nach dem Anstellen entnommenen Schnellvergärungsprobe bestimmt. Ändert sich der Wert (Extraktgehalt des Jungbieres) innerhalb von zwei bis drei aufeinanderfolgenden Tagen nicht mehr, oder sind sieben Tage vorüber, wird die Hauptgärung beendet und das Jungbier vom Gärbehälter in den Lagertank umgeschlaucht. Beim sogenannten Schlauchen wird das Jungbier von jeglichen sich am Boden oder an der Oberfläche abgesetzten Hefen, Trubstoffen und Hopfenharzen getrennt. Das Jungbier hat dann bestenfalls einen Restextraktgehalt von ca. 2,5 °P - 4,0 °P (Brücklmeier, 2018; Weinfurtner, 1963).

Bei der anschließenden Nachgärung wird das Bier für ca. eine weitere Woche bei Hauptgärtemperatur gelagert. Die noch im Bier gelösten Hefereste sind damit noch aktiv, vergären den Restextrakt teilweise weiter und bauen zudem die Jungbukettstoffe wieder ab. Direkt im Anschluss erfolgt die Lagerung / Reifung zwischen 0,0 °C und 4,0 °C. Erst jetzt setzen sich letzte Trub- und Hefebestandteile am Boden ab, während das CO₂ optimal gelöst und angereichert wird. Über einen am Lagertank angeschlossenen Spundapparat kann der temperaturabhängige Druck und somit der CO₂ - Gehalt im Bier geregelt werden.

Die Reifung kann je nach Sorte von zwei Wochen bis zu mehreren Monaten dauern. Weitere Erscheinungen der Reifung sind eine natürliche Klärung des Bieres (naturtrübes Bier) und Abrundung des Bieraromas. Um den Reifegrad des Bieres im industriellen Maßstab zu erfassen, wird das vicinale Diketon Diacetyl als Leitsubstanz genutzt. Diacetyl wird während der Hauptgärung von den Hefen gebildet und im Reifeprozess wiederum abgebaut. Dieser Jungbukettstoff erzeugt im Bier ein aufdringliches, unangenehm - süßliches Butteraroma. Der Geschmacksschwellenwert liegt bei ca. 0,1 mg/l, welcher parallel als Richtwert für ein ausgereiftes Bier angesehen wird (Brücklmeier, 2018; Gibson, 2018).

Mit dem Ende der Reifung ist der Brauprozess beendet und das Bier kann entsprechend in Flaschen, Fässern oder Dosen abgefüllt werden. Gegebenenfalls wird das Bier vor der Abfüllung von jeglichen Trübungen befreit. Diese Klärung erfolgt dabei mit Hilfe von Kieselgur-, Schichten- oder Membranfilter (Narziss und Back, 2016).

2.3 Beschreibung der gebrauten Biersorten

Mild Pale Ale

Ein Mild Pale Ale beschreibt ein helles, obergäriges Bier mit einer geringeren Bitterkraft (18,00 IBU - 30,00 IBU) als traditionelle Pale Ales. Somit ist diese Biersorte eher malzbetont und weniger hopfenorientiert. Die Stammwürze und folglich auch der Alkoholgehalt können stark variieren. In Bezug zur Stammwürze und dem Geschmack liegt diese Sorte zwischen den

in Deutschland bekannten untergärigen Gattungen Schank- und Starkbier und kann ganz allgemein mit der Charakteristik eines untergärigen hellen Lagerbieres verglichen werden. Der CO₂ - Gehalt liegt zwischen 4,5 g/l - 5,0 g/l (0,7 bar - 0,8 bar Innendruck) (Dornbusch, 2014).

India Pale Ale (IPA)

Das India Pale Ale ist ein obergäriges helles, viel stärker eingebrautes Pale Ale. Die Stammwürze (16,0 °P - 20,0 °P) und somit auch der Alkoholgehalt (6,00 % vol. - 9,00 % vol.) sind bei dieser Variante sehr viel höher angesetzt. Neben einer starken Hopfenbetonung sind exotisch - fruchtige Noten und eine starke Bitterkraft (45,00 IBU - 75,00 IBU) weitere Merkmale. Damit ist das Bier viel länger haltbar und ermöglichte die damals langen Exporte nach Asien. Die fruchtigen Hopfennoten sind sehr intensiv wahrnehmbar und erinnern an Zitrus- und exotische Früchte wie Maracuja oder Mango. Das prägende Hopfenaroma wird durch eine Aromahopfung nach dem eigentlichen Kochprozess (Whirlpoolhopfung) oder durch Kalthopfung (Hopfenstopfen) erreicht. Beim Hopfenstopfen wird dem Jungbier ein hoher Anteil Aromahopfen während der Nachgärung oder Reifung für ca. eine Woche entweder lose oder eingeschlossen in Netzen zugeführt. Aufgrund einer geringeren Temperatur werden nur die ätherischen Öle des Hopfens im Bier gelöst, welche das fruchtige Aroma erzeugen. Dabei werden umso mehr Hopfenöle extrahiert, je höher die Gärtemperatur eingestellt ist. Aus diesem Grund wird dieses Verfahren besonders bei obergärigen Bieren angewandt. Der CO₂ - Gehalt ist dem Mild Pale Ale identisch (Dornbusch, 2014; Wesseloh und Wesseloh, 2015).

Brut India Pale Ale (Brut IPA)

Das Brut IPA ist eine besondere und neue Variante des IPAs. Seine charakteristischen Merkmale sind ein „knochentrockenes“ und sehr prickelndes Mundgefühl. Der CO₂ - Gehalt liegt demnach mit ca. 6,5 g/l (1,3 bar Keg-Innendruck) sehr viel höher. Neben einer ausgeprägten exotisch - fruchtigen und champagnerähnlichen Aromatik ist die Hopfenbittere sehr gering (< 20,00 IBU) gehalten. Die Hopfenzugabe erfolgt deshalb hauptsächlich als Kalthopfung. Um die typische Trockenheit zu erreichen, muss der Extraktanteil während der Gärung weitestgehend, am besten zu 100,0 %, abgebaut werden, sodass das fertige Bier im besten Fall eine Stammwürze von 0,0 °P aufweist. In der Praxis wird dieses Vorhaben mit dem Einsatz des Enzyms Amyloglucosidase (Glucoamylase) während den Rasten oder der Gärung umgesetzt. Dieses Enzym (optimaler Wirkungsbereich siehe Abbildung 31: 55,0 °C - 60,0 °C, pH-Wert 4,5) kann im Gegensatz zur α -Amylase beide glycosidischen Bindungen der Stärke (α -1,4 und α -1,6) spalten und baut die nach den Rasten verbliebenen nichtvergärbaren Zucker

(Dextrine) in einer zusätzlichen vierten Rast in weitere für die Hefe vergärbare Strukturen (vorwiegend Glucose) ab. In der Maische wird eine Enzymmenge von mind. 6,0 ml pro 20,0 l Hauptguss empfohlen (Beer & Wine Journal, 2018; Friedies Brauhaus, 2018).

Ein letztes Merkmal ist eine hohe Trübung des Bieres. Diese wird erreicht indem beim Einmaischen zu dem Malz, Reis- bzw. Weizen-, Hafer- oder Maisflocken mit einem Anteil von ca. 15,0 % zugegeben werden. Neben einer organensaftähnlichen Trübung verstärken diese Flocken die Trockenheit und fördern indirekt auch das Hopfenaroma. Weiterhin entsteht durch die Zugabe der Flocken ein cremiges Mundgefühl und kompensiert damit den dünnen Körper des Bieres, verursacht durch den fehlenden Restzucker (Beckmanns Braumischung, 2018).

2.4 Marktanalyse zum Thema Algenbiere

Die Idee, Algen mit Bier zu kombinieren, ist noch sehr neu und unerforscht. Dennoch sind einige Institutionen bekannt, die sich dieser Aufgabe widmeten und erste Ergebnisse veröffentlichten. Eine Variante des „Algenbieres“ stammt von der Braumanufaktur „Am Forsthaus Templin“ in Potsdam. Dieses Bier enthält *Spirulina platensis* aus Birma (Myanmar, Asien), welches direkt aus den salzhaltigen Seen geerntet und zu Pulver weiterverarbeitet wird. Dieses Algenpulver wird dem Brauprozess direkt beim Maischen zugeführt. Optisch ist das Bier dann von bekannten hellen Biersorten nicht zu unterscheiden. Weitere Angaben zum Geschmack fehlen. Lediglich ein Alkoholgehalt von 4,8 % vol. ist bekannt (Bierbasis.de, 2013). Ein weiteres „Algenbier“ stammt von der Braumanufaktur „Klüvers“ (Neustadt, Holstein) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut in Lübeck. Das „einzigartige“ Bier mit dem Namen „Seegang“ besteht neben den üblichen Zutaten des Reinheitsgebotes aus einer natürlichen roten Makroalge, die zusammen mit dem Malz geschrotet und eingemaischt wird. Mit einem speziell entwickelten und firmeneigenen Fermentationsverfahren entstand ein untergäriges Vollbier mit Algenzusatz. Charakteristisch für dieses Bier ist ein Stammwürzegehalt von 13,0 °P, Alkoholgehalt von 2,8 % vol. und eine hell- bis gold - gelbe Farbgebung. Ein leichtes bzw. frisches Meeraroma kombiniert mit einer dezenten Herbe und geringen „Salznote“ bestimmen den besonderen Geschmack des „Seegangs“ (Der Bierblog, 2018; Klüvers Manufaktur).

Eine dritte Variation stammt von der Brauerei „De Koperen Kat“ aus den Niederlanden. Deren Bier „D-Al-G“ enthält die grüne Mikroalge *Chlorella vulgaris*, welche ebenfalls in Pulverform zu Beginn des Brauprozesses mit dem Malz eingebraut wird. Dabei wurden bis zu 5,0 % des Malzes durch *Chlorella* ersetzt. Das Bier konnte ohne weitere Schwierigkeiten und Änderungen traditionell gebraut werden. Das Endprodukt enthält 5,5 % vol. und eine geringe Bitterkraft von

nur 15,00 IBU. Die Farbe ist mit 8,0 EBC-Einheiten im hellgelben Bereich einzuordnen. Der Geschmack wird mit frisch und salzig beschrieben. Die Algen stechen nicht dominant hervor, sollen aber ein „leichtes Kribbeln“ auf der Zunge verursachen (Algenbier.nl; vice, 2015).

Nach derzeitigem Wissensstand und aktueller Recherche konnten zunächst keine weiteren Vertreter identifiziert werden.

2.5 Algen und Cyanobakterien

2.5.1 Einführung und Stellung der Algen und Cyanobakterien in der Pflanzenwelt

Algen (lat. alga = Seegrass oder Tang) bezeichnen eine heterogene Sammelgruppe von eukaryontischen Lebewesen ohne charakteristische taxonomische Einheit, die vorwiegend im Wasser leben und Photosynthese betreiben. Da sie sich in ihrer Morphologie, vor allem aber in der Größe stark unterscheiden, ist eine Stellung der Algen in der Pflanzenwelt schwierig. In der Biologie erfolgt dennoch eine grobe Einstufung der Algen zwischen den Bakterien und höheren Organismen. Anhand ihrer Größe wird innerhalb dieser Gruppierung eine Unterteilung in Makro- bzw. Mikroalgen vorgenommen. Makroalgen sind mit dem bloßen Auge erkennbar und können eine Größe von bis zu 60 Meter erreichen. Hierzu zählen die meisten eukaryontischen Vertreter der Braun-, Grün- und Rotalgen, welche vor allem im asiatischen Raum als Nahrungsmittel oder zur Gewinnung von Polysacchariden eingesetzt werden. Mikroalgen sind dagegen mikroskopisch klein und einzellig (Barsanti und Gualtieri, 2006; Ettl, 1980).

Eine Gruppe der Mikroalgen bilden die Blaualgen. Diese gehören jedoch nach morphologischer Ansicht eher zu den Bakterien (Prokaryonten ohne Zellkern) und sind demnach keine „echten Algen“. In Fachkreisen werden sie deshalb auch als Cyanobakterien bezeichnet. Eine Zuordnung zu den Algen wird dennoch vorgenommen, da das äußere Erscheinungsbild mit einer um etwa 10-fach größeren Zellmasse deutlich von den Bakterien abweicht. Zusammen mit Flechten und Moosen zählen Mikroalgen daher zu den niederen Pflanzen (Reitz, 1986; Rothmaler et al., 1990).

Aus der Literatur geht hervor, dass Cyanobakterien vor rund 3,5 Milliarden Jahren die ersten sauerstoffproduzierenden Lebewesen der Erde gewesen sind und allmählich die Atmosphäre mit ausreichend Sauerstoff zum Leben anreicherten. Mit der Entstehung eukaryontischer Algen galten die Blaualgen diesen zunehmend als Nahrungsgrundlage und dienten deren Zellen als Photosynthesekraftwerk. Den Cyanobakterien wird außerdem die Befreiung der Uratmosphäre von giftigen Substanzen zugeschrieben, sodass die Entfaltung tierischen Lebens auf der Erde erst möglich wurde. Auch heutzutage gelten Algen weiterhin als Hauptsauerstofflieferant in

den Gewässern / Ozeanen bzw. an der Erdoberfläche und wandeln dabei drei Mal mehr CO₂ als andere Nutzpflanzen um (GEO, 2011; Van den Hoek et al., 1993).

2.5.2 Industrielle Nutzung von Algen

Neben der sauerstofffreisetzenden Funktion können den Algen noch weitere Besonderheiten zugeschrieben werden, welche eine Anwendung in den unterschiedlichsten Bereichen der Industrie ermöglicht. Dabei liegt eine vorstellbare Funktion in der Biodiesel- und Bioethanolproduktion. Bisher werden diese Kraftstoffe noch aus den Ölen von Mais, Raps und Getreide gewonnen. Algen sind im Vergleich dazu durchaus in der Lage ca. 30-mal mehr Öl zu produzieren als die genannten Vertreter. Grund hierfür ist die Umstellung des Stoffwechsels der Mikroalgen beim Entzug essentieller Nährstoffe wie Nitrat und Phosphat, welche eine erhöhte Einlagerung von Lipiden zur Folge hat. Versuche mit *Chlorella vulgaris* erzielten dabei besonders gute Resultate. Gegenwärtig sind die Qualität und vorhandene Masse dieser Öle aber noch nicht zufriedenstellend, um einen vergleichbaren Treibstoff in ausreichender Menge herzustellen. Auch im Bereich der Abwasserreinigung und im landwirtschaftlichen Sektor ist der Einsatz von Algen vorstellbar, da sie vor allem Stickstoff und Phosphat aus dem Abwasser aufnehmen und weiterhin durch ihre hohe Nährstoffdichte zur Verbesserung des Bodens beitragen (Adeniyi et al., 2018; GEO, 2011).

Noch sehr neu aber zunehmend bedeutend ist der Einsatz in der Lebensmittelindustrie geworden. Der Verzehr von Algen war dabei hauptsächlich im asiatischen Raum (vorwiegend China und Japan) bekannt, da landwirtschaftliche Anbauflächen fehlten und schnellstmöglich eine geeignete Alternative gefunden werden musste. Heutzutage sind die gesundheitsfördernden Eigenschaften weltweit bekannt, weshalb sich der Verzehr inzwischen auf alle Kontinente ausbreitete.

Algen zeichnen sich neben einem hohen Proteingehalt und wertvollen Omega-3-Fettsäuren zusätzlich durch ein breites Spektrum an Vitaminen und Mineralien aus. Die Mengen letzterer sind dabei teilweise so hoch, dass schon ein geringer Anteil Algen ausreicht, um den Tagesbedarf vollständig zu decken. Eine besondere Bedeutung haben sie zudem für die vegane Ernährung, da sie, vor allem *Chlorella vulgaris*, sehr viel Vitamin B12 liefern. Daneben enthalten Algen zudem Chlorophyll, Polyphenole und sekundäre Pflanzenstoffe wie Carotinoide (β-Carotin, Astaxanthin, Lutein), welche eine antioxidative Wirkung besitzen. Algen können jedoch auch Stoffe enthalten, die schon bei geringen Konzentrationen und regelmäßigem Verzehr negative Folgen auslösen. Dazu zählen hauptsächlich toxische Metalle

wie Arsen, Quecksilber, Cadmium sowie die Halogene Brom und Iod. Vor allem Iod ist in den meisten Algen in hohen Konzentrationen enthalten, sodass teilweise schon 10,0 g Algen für eine Überdosierung ausreichen und sehr schnell zu Problemen mit der Schilddrüse führen. Algen die direkt aus dem Meer gewonnen werden, können zudem Microcystine aufweisen. Diese sind für den Menschen toxische Proteine, welche schon in geringen Mengen Diarrhoe und bei Überdosierung Nieren- und Leberschäden verursachen. Im schlimmsten Fall kann dieses Toxin Hirnschäden oder sogar Krebs auslösen. In der Praxis wird diese Gefahr aufgrund von gesetzlichen Grenzwerten (1,0 µg/l) und einer Qualitätssicherungspflicht aber nahezu unterbunden (Greenpeace magazin, 2018; Natur-kompendium, 2018; Wells et al., 2017).

Da den Algen sehr viele gesundheitsfördernde Eigenschaften zugeordnet werden und der Trend einer gesunden und umweltbewussten Ernährung immer weiter zunimmt, ist und wird der Einsatz in sehr vielen Bereichen der Lebensmittelindustrie erforscht. Neben dem traditionellen Einsatz in Salaten, Suppen, als Gewürz oder in Sushi, werden Mikroalgen vor allem in der Getränke- und Süßwarenindustrie als Färbemittel („Spirulina - Blau“) in Limonaden und Smoothies bzw. in Kaubonbons und Fruchtgummis eingesetzt. Forscher arbeiten derweil an einem mit *Chlorella* angereichertem grünen Brausegetränk und einer innovativen Limonade mit Seetang. Auch in der Teigwaren- bzw. Backtechnologie finden Mikroalgen in Nudel-, Brot- und Snackprodukten vermehrt Anwendung. Sandmann et al. (2017) erprobten z.B. den Einsatz von *Spirulina platensis* und *Scenedemus obliquus* in Mürbeteiggebäck und konnten Produkte mit hoher Verbraucherakzeptanz herstellen. Zudem werden getrocknete Algenmehle auch in Futtermitteln verwendet (EatSmarter, 2019; Greenpeace magazin, 2018).

Ein weiterer großer Bereich umfasst die Verwendung als Nahrungsergänzungsmittel. In diesem Fall werden vor allem die Mikroalgen *Spirulina* und *Chlorella* in Form von Tabletten, Kapseln, Presslingen oder Pulvern eingenommen, um den Vitamin- und Mineralhaushalt aufzufüllen. Es existieren zudem Ergänzungsmittel, die aus bestimmten, von der Alge herausextrahierten Bestandteilen, bestehen. Hierfür werden z.B. die beiden Omega-3-Fettsäuren EPA und DHA separiert und letztendlich in Tablettenform angeboten. Neben seiner Funktion als natürlicher roter Lebensmittelfarbstoff besitzt das in der Rotalge *Haematococcus pluvialis* enthaltene Astaxanthin eine sehr intensive (ca. 6000-mal stärker als Vitamin C) antioxidative Wirkung. Demnach genießt auch dieser Stoff eine zunehmende Beliebtheit in der Anwendung als Nahrungsergänzungsmittel (Cohen, 1999; Natur-kompendium, 2018).

Algen werden in der heutigen Ernährung zum Teil auch unbewusst aufgenommen. Viele Verdickungs- und Bindemittel sowie einige Stabilisatoren werden aus den Phykokolloiden (Zuckermoleküle in und zwischen den Zellwänden) der Alge gewonnen. Als Beispiele sind die

Zusatzstoffe Carrageen, Agar Agar und Alginsäure zu nennen. Diese Verdickungs- / Geliermittel werden vorwiegend in Milchprodukten wie Joghurt, Eiscreme und diversen Puddings aber auch in Light- / Diätprodukten eingesetzt. Derartige Stabilisatoren finden bei Margarine und Frischkäse Anwendung (GEO, 2011).

Auch der zukünftige Einsatz als Heilmittel ist denkbar, da Algen ein großes Spektrum an pharmazeutischen Wirkstoffen wie z.B. Chlorophyll und Carotinoide besitzen. Dazu zählen auch die Fucoide (Gerüstsubstanz von Braunalgen), welchen generell antitumorale, -virale und -bakterielle Eigenschaften zugeordnet werden und somit z.B. ein vielseitiger Einsatz in der HIV - Behandlung und der Wundheilung möglich erscheint. Eine Anwendung als Arzneimittel ist dennoch vorerst nicht abzusehen, da die Konzentration an toxischen Stoffen in den meisten Algen doch sehr hoch ausfällt (GEO, 2011).

Fernab der Lebensmittel ist auch die Anwendung von Algen in der Kosmetik beachtlich. In diesem Bereich erfolgt der Einsatz vorwiegend in Shampoos, Cremes und Seifen. Aber auch in der Behandlung der Haut (Masken) und Nägel werden Algen immer häufiger verabreicht. Zudem wird diesen, aufgrund der Vielzahl an Mineralien, ein intensiverer UV-Schutz zugeschrieben, als es bei herkömmlichen UV-Cremes der Fall ist. Eine weitere kosmetische Bedeutung wird den Proteinen sowie Proteinhydrolysaten, besonders von *Spirulina* und *Chlorella*, in Haut-, Haarpflegeprodukten und Feuchtigkeitscremes zugeschrieben. Diese Stoffe bewirken einen angenehmen Hautglanz und verbessern das Feuchtigkeitsgefühl bzw. die Haarpflege (Ariede et al., 2017; Wang et al., 2015).

Algen besitzen, aufgrund ihres hohen Spektrums an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen und einer daraus resultierenden vielseitigen Einsetzbarkeit, sehr viel Potenzial und könnten zukünftig eine wichtige Säule in vielen Wirtschaftsbereichen darstellen. Hinzu kommt, dass Algen, wegen des einfachen Anbaus und schnellen Wachstums, gegenwärtig schon als der zukünftig nachwachsende Rohstoff angesehen werden. Auch an die Umweltbedingungen stellen Algen keine großen Ansprüche. Somit können sie nahezu überall auf der Erde wachsen und kontinuierlich Biomasse auf kleinster Fläche produzieren (Greenpeace magazin, 2018).

2.5.3 *Spirulina platensis* - Inhaltsstoffe, Wirkung und Besonderheiten

Spirulina platensis, auch bekannt als *Arthrospira*, ist eine blau - grüne, spiralförmige und alkaliphile Mikroalge, welche zur Gruppe der Blaualgen (Cyanobakterium) gehört. Sie werden weltweit erzeugt, wobei die Produktmenge die von anderen Mikroalgen deutlich übersteigt.

Der „Anbau“ erfolgt dabei in alkalischen Kultivierungsbecken oder -teichen. Nachdem die erwünschte Zelldichte erreicht ist, wird die Mikroalge aus den Becken gepumpt, gefiltert und aufgereinigt. Die Masse wird anschließend mit Vakuumpfilter zu Algenplatten (8,0 % - 15,0 % Trockenmasse) gepresst und durch Sprüh-, Walzen- oder Gefriertrocknung schonend zu Algenpulver (Trockenmasse > 90,0 %) weiterverarbeitet, damit die Vielzahl an gesundheitsfördernden Nährstoffen nicht geschädigt wird. Durch das optimale Wachstum im alkalischen Bereich und dem hohen Gehalt an basischen Mineralien ist *Spirulina* selbst ebenfalls alkalisch (Belkin und Boussiba, 1991; Shimamatsu, 2004).

Spirulina weist in der Trockenmasse einen sehr hohen Proteingehalt von ca. 60,0 % - 70,0 % auf und enthält neben zehn nicht essentiellen auch alle essentiellen Aminosäuren. Der Kohlenhydratgehalt variiert je nach Charge zwischen 8,0 % und 16,0 %. Dabei ist der Gehalt an Polysacchariden, vor allem Ballaststoffe und Alginate, am höchsten. Alginate sorgen im Körper für den Abbau von Toxinen und senken die Cholesterolaufnahme. Niedermolekulare Zucker haben nur einen geringen Stellenwert, wobei Glucose und Rhamnose prozentual den größten Anteil ausmachen. Der Fettgehalt liegt in der Regel zwischen 2,0 % und 11,0 %. Im Bereich der gesättigten Fettsäuren ist Palmitinsäure (16:0) mit ca. 27,0 % des Gesamtfettgehaltes als größte Komponente zu nennen. Bei den essentiellen Fettsäuren treten vor allem Öl- (18:1) und γ -Linolensäure (18:3) in den Vordergrund. Diese werden im Körper umgewandelt und wirken regulierend auf das Immun- und Kreislaufsystem. In der Alge sind zudem die Omega-3-Fettsäuren EPA (Eicosapentaensäure; 20:5), DHA (Docosahexaensäure; 22:6) und Arachidonsäure (20:4) enthalten, welche nachweislich die Nervenfunktionen verbessern und positiv auf das Herz-Kreislauf-System wirken. Insgesamt nehmen die essentiellen Fettsäuren einen sehr hohen Anteil von ca. 60,0 % bezogen auf den Gesamtfettgehalt ein und machen Algen zu einer umweltbewussten Alternative zu Fisch- und Fleischprodukten (Doughman et al., 2007; Neumann, 2018; Plaza et al., 2009; Vitalisis, 2017). Neben diesen Grundnährstoffen enthält *Spirulina* ein großes Spektrum an natürlichen Vitaminen. Mit inbegriffen sind eine ausgewogene Mischung von Vitamin E, D, Folsäure, Provitamin A und der gesamte Komplex der B-Vitamine. Besonders interessant ist hierbei, dass das Cyanobakterium im Gegensatz zu anderen Pflanzen mit ca. 127 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ - 244 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ Trockengewicht (RID = 4,5 μg) einen hohen Gehalt an Vitamin B12 aufweist und dadurch eine besondere Bedeutung bei der veganen Ernährung einnimmt. Diesbezüglich gehen die Meinungen jedoch auseinander. Watanabe (2007) und die DGE (2016) behaupten, dass in *Spirulina* durchaus Vitamin B12 nachgewiesen wurde, jedoch die Bioverfügbarkeit für den Menschen nicht gegeben sei und es sich lediglich um Vitamin B12 - Analoga (Pseudovitamine)

handelt. Diese führen sogar zu einer Verstärkung des schon vorhandenen B12 - Mangels, da sie aktives Vitamin B12 blocken (Nakos et al., 2017). Demnach ist *Chlorella vulgaris* bisher die einzige Alge, die als potenzielle Quelle für Vitamin B12 in Frage kommt.

Spirulina weist zudem eine Vielzahl an essentiellen Mineralien und Spurenelementen auf. Hierbei sind vor allem Calcium, Magnesium, Eisen, Kalium, Zink, Selen, Phosphor und Iod zu erwähnen, welche zusammen ca. 5,0 % der Alge ausmachen. Besonders der Eisenanteil (123 mg/100 g Pulver) ist im Vergleich zu Innereien und Fleischprodukten deutlich höher, welches *Spirulina* zu einer hervorragenden Alternative macht. Iod ist ebenfalls vorhanden, jedoch in nicht allzu großen Mengen, sodass bei einer regelmäßigen und kontrollierten Einnahme eine Überdosierung kaum möglich erscheint. Damit versorgt diese Alge den Körper mit nahezu allen essentiellen Nährstoffen, womit eine optimale Gesunderhaltung der körperlichen Funktionen und das geistige Leistungsvermögen aufrechterhalten werden. Langfristige *Spirulina* - Konsumenten berichteten zusätzlich von geringeren Müdigkeits-, Erschöpfungserscheinungen und weniger Verdauungsproblemen (Becker, 1994; Natur-kompendium, 2018; Vitalisis, 2017).

Toxische Substanzen sind in *Spirulina* nicht enthalten, sofern ein Kontakt mit fremden Algen aus natürlicher Umgebung und eine damit einhergehende Verunreinigung ausgeschlossen werden können. In Aquakulturen sind solche Verunreinigungen nahezu unmöglich. Zudem gelten hohe Standards, sodass die toxischen Substanzen konstant innerhalb der gesetzlichen Normen gehalten werden (Neumann, 2018).

Die Mikroalge enthält außerdem Chlorophyll, welches neben der Funktion in der Photosynthese auch ernährungsphysiologisch von Bedeutung ist. In Cyanobakterien kommt lediglich das Chlorophyll a vor. Dieser grüne Farbstoff ist dem Blutfarbstoff Hämoglobin chemisch sehr ähnlich und fördert deshalb die Blutbildung bzw. die Zellatmung. Zudem wirkt es blutreinigend und verbessert die Aufnahme von Eisen. Weiterhin unterstützt es die Regeneration der Leber und spielt eine wichtige Rolle beim Abtransport von Gift- und Abfallstoffen (Becker, 1994; Natur-kompendium, 2018; Vitalisis, 2017).

Eine weitere Gruppe bilden die Carotinoide. In *Spirulina* sind dabei β -Carotin und Myxoxanthophyll, ein violetter Farbstoff in Cyanobakterien, die wichtigsten Vertreter. Sie wirken stark antioxidativ, schützen das Nervensystem und stärken das Immunsystem. β -Carotin ist außerdem für seine antikanzerogene Wirkung und fördernden Eigenschaften auf die Gesundheit der Haut bzw. Augen bekannt. Eine Unterstützung des Zellwachstum und Schutzfunktion gegenüber UV-Strahlung sind ebenfalls wichtige Eigenschaften, weshalb der Einsatz in Kosmetika erst realisierbar ist (Cohen, 1999; Vitalisis, 2017).

Neben den Carotinoiden enthält diese Mikroalge eine Reihe Polyphenole, welche ferner zu den sekundären Pflanzenstoffen gezählt werden und wegen ihrer antioxidativen Wirkung von Bedeutung sind. In Lebensmitteln haben sie einen großen Einfluss auf Farbe, Geschmack und Mundgefühl. Machu et al. (2015) ermittelten in *Spirulina platensis* - Pulver aus Indien einen Gesamtpolyphenolgehalt von ca. 25,00 mg/g Pulver.

Die Polyphenole sind zusammen mit Chlorophyll a sehr temperaturempfindlich. Weemaes et al. (1999) untersuchten dabei den Abbau von Chlorophyll a und b (Farbverlust) in Brokkolisaft im Temperaturbereich von 60,0 °C - 120,0 °C und fanden zunächst heraus, dass ein Abbau (Denaturierung) schon bei 60,0 °C auftritt. Dabei reagierte Chlorophyll a am empfindlichsten. Weiterhin stellten sie fest, dass schon bei 80,0 °C innerhalb einer Zeit von 180 min nahezu das gesamte Chlorophyll abgebaut war. Brennan et al. (2011) und Nayak et al. (2015) untersuchten das Verhalten von Polyphenolen unter Auswertung vieler Studien und kamen zu dem Ergebnis, dass bei einer thermischen Behandlung (vor allem am Beispiel der Heißextrusion) generell Verluste zwischen 20,0 % und 70,0 % (stark rohstoffabhängig) auftreten. Wie hoch der Verlust beim Brauen und speziell mit *Spirulina* ausfällt, ist nicht bekannt.

Ein letzter wichtiger Inhaltsstoff ist das kobaltblaue Phycocyanin. Es ist hauptsächlich in Cyanobakterien enthalten und bildet zusammen mit β -Carotin und Chlorophyll einen Teil der Chromophore der Photosynthese, welche für die Absorption der Lichtstrahlen verantwortlich sind. Phycocyanin (tiefblau), auch als C-Phycocyanin bezeichnet, wird weiterhin zusammen mit Allophycocyanin (blaugrün) und Phycoerythrin (violett) zur Gruppe der Phycobiliproteine (Antennenpigmente der Photosynthese) zugeordnet. Dabei ist C-Phycocyanin anteilig am stärksten vertreten und deshalb für die blaue Färbung von *Spirulina* verantwortlich. Es besteht aus einem Proteinanteil und einer farbstofftragenden Komponente, die ähnlich wie die des Chlorophylls aufgebaut ist. Phycocyanin ist ein starkes natürliches Antioxidans, welches in der Alge aus der Photosynthese entstehende und schädigende freie Radikale abfängt. Im menschlichen Körper ist die Wirkung identisch. Hinzu kommt, dass dieses Pigment die Bildung und Ausschüttung wichtiger antioxidativ wirkender Enzyme fördert, sodass in der Summe eine Stärkung des Immunsystems, Entgiftung des Körpers und Ausbalancierung der Leber- und Nierenfunktion hervorgerufen wird. Bei einer Vorbelastung der Leber wird generell eine Einnahme empfohlen. Zudem wirkt es entzündungshemmend und antikanzerogen, indem es nachweislich Krebszellen zerstört und die Ausbreitung eindämmt. Erhältlich ist Phycocyanin entweder in Form von Presslingen oder im flüssigen Aggregatzustand z.B. als Trinkampullen. Die Industrie verwendet es als natürliches Färbemittel für Getränke und Süßwaren (Kissoudi et al., 2018; Cohen, 1999; MMR, 2013).

In getrockneter *Spirulina* - Biomasse konnten von Hultberg et al. (2017) Konzentrationen von 63,0 mg/g ermittelt werden. Shimamatsu (2004) hingegen spricht von 162,0 mg/g. Die Abweichung ist deshalb so groß, da der Gehalt an blauem Pigment stark von den Umweltbedingungen abhängig ist. Im Vergleich dazu: der Chlorophyll a - Gehalt der Blaualge ist mit ca. 12,0 mg/g Biomasse sichtbar geringer (Neumann, 2018).

Phycocyanin ist ein sehr empfindliches Protein, welches schon bei geringer Temperatur und leichter Veränderung des pH-Wertes denaturiert. Wu et al. (2016) fanden heraus, dass das Protein bis zu einer Temperatur von 45,0 °C stabil ist. Der pH-Wert sollte für eine größtmögliche Stabilität zwischen 5,0 und 6,0 liegen. Bei höherer Temperatur kann durch Anpassung des pH-Wertes die Denaturierung minimiert werden. Das belegten auch Pan-utai et al. (2018), welche unter Zugabe von Zitronensäure eine deutliche Verbesserung der thermischen Stabilität (Durchführung bei 80,0 °C) nachgewiesen haben. Sarada et al. (1999) führten ebenfalls derartige Versuche durch und kamen zu dem Erkenntnis, dass Phycocyanin schon über einer Temperatur von 40,0 °C instabil wurde. Der optimale pH-Wert - Bereich wurde zwischen 5,0 und 7,5 eingeschätzt. Zudem zeigten Lagerversuche, dass eine Stabilität des Pigments bei Raumtemperatur (25,0 °C) über vier Wochen gewährleistet ist, bei geringerer Temperatur sogar noch länger. Eine Stabilität war nicht mehr gewährleistet, sobald der pH-Wert außerhalb des optimalen Bereichs lag. Chaiklahan et al. (2012) untersuchten die Auswirkungen des pH-Wertes noch intensiver und grenzten den optimalen Stabilitätsbereich weiter zwischen 5,5 und 6,0 ein.

Spirulina platensis liegt aufgrund seiner Vielzahl an wertvollen Nährstoffen in der Rangordnung der „Superfoods“ ganz weit oben. Die zahlreichen gesundheitsfördernden Eigenschaften können aber auch nachteilige Auswirkungen mit sich bringen. Aufgrund der antimikrobiellen Aktivität einiger Inhaltsstoffe können beim Brauprozess durchaus die Hefen in ihrer Funktion und ihrem Wachstum gehemmt werden. Ozdemir et al. (2004) zeigten dabei eine antimikrobielle Wirkung auf Bakterien und Wachstumshemmungen der Hefe *Candida albicans* durch die mit Methanol herausextrahierten Inhaltsstoffe der besagten Mikroalge. Auch Abedin et al. (2008) stellten antibakterielle und antifungale Effekte fest. Eine Untersuchung dieser Effekte wurde mit fünf verschiedenen Blau- und Grünalgen an mehreren Bakterien und Hefen wie z.B. *Aspergillus niger* und *Penicillium herquei* durchgeführt, wobei sich herausstellte, dass *Spirulina platensis* mit die höchste Hemmaktivität auf das Wachstum zeigte. Wie sich *Spirulina* gezielt beim Brauprozess und auf Brauhefen verhält, ist bisher noch nicht bekannt.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsplanung

3.1.1 Versuchsaufbau und Rezepturen der hergestellten Sude

Der Versuchsaufbau orientiert sich an den Hauptzielen dieser Arbeit und wurde in zwei Bereiche aufgeteilt. Für eine bessere Übersicht ist der Versuchsaufbau in der folgenden Abbildung 2 graphisch veranschaulicht worden.

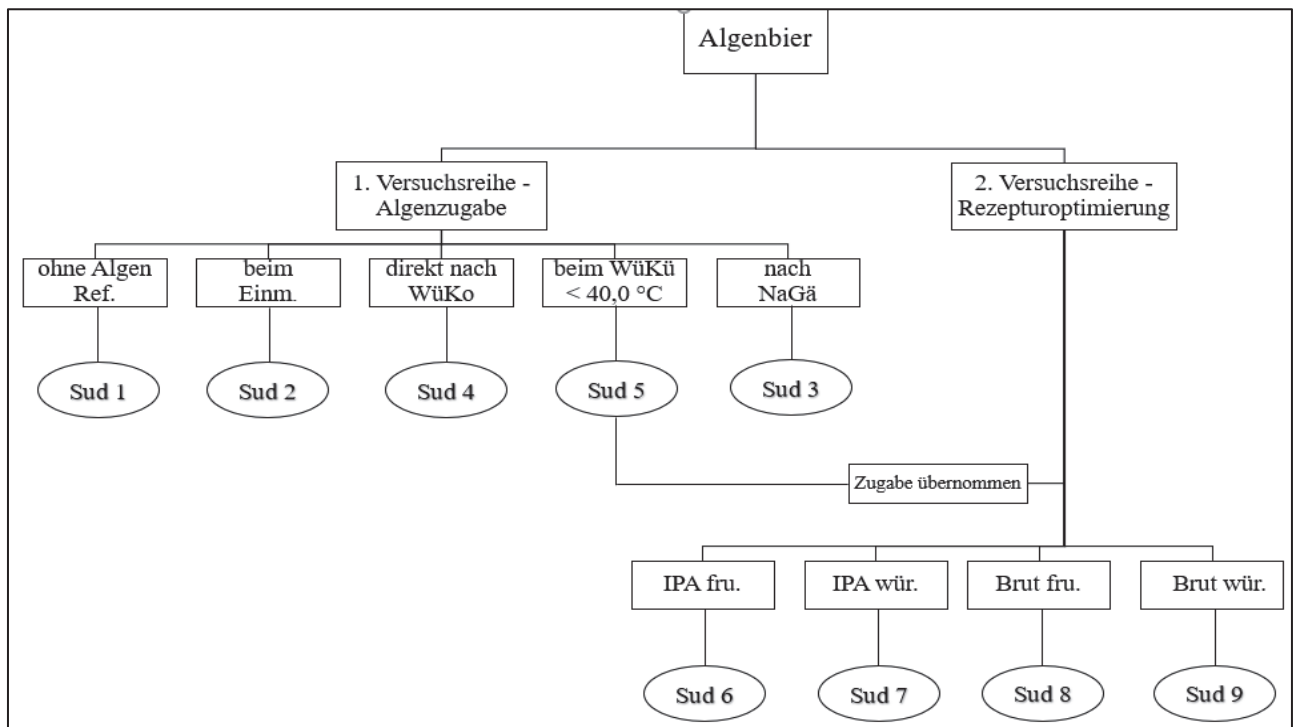


Abbildung 2: Graphische Darstellung des Versuchsaufbaus (eigene Abbildung, 2020)

Im ersten Abschnitt wurde der Einfluss von *Spirulina platensis* auf den Brauprozess näher untersucht, wobei einerseits der Verlauf des Gärungsprozesses näher betrachtet und weiterhin die optischen Veränderungen des Bieres analysiert wurden. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wurden in dieser Versuchsreihe fünf verschiedene Sude mit je 20,0 l Hauptguss hergestellt. Sud 1 ist dabei ein Referenzsud ohne Algenzusatz. Bei den anderen vier Suden wurde das *Spirulina* - Pulver (Fa. MySuperfoods) zu unterschiedlichen Zeiten im Brauprozess zugegeben. Entsprechend der Zugabe wurden für eine schnellere Zuordnung und ein besseres Verständnis folgende Abkürzungen verwendet:

Sud 1 - Referenz ohne *Spirulina* - Abkürzung: Ref.

Sud 2 - Algenzugabe direkt mit dem Malz beim Einmaischen - Abkürzung: Einm.

Sud 3 - Algenzugabe nach der Nachgärung beim Umschlauchen - Abkürzung: NaGä

Sud 4 - Algenzugabe unmittelbar nach dem Würzekochen - Abkürzung: WüKo

Sud 5 - Algenzugabe während des Würzekühlens unter 40,0 °C - Abkürzung: WüKü

Die Rezepturen entsprechen den Kriterien eines Mild Pale Ales, damit der von *Spirulina* ausgehende Geschmack durch die Malz- und Hopfenaromen nicht maßgebend beeinflusst wird. Die verwendeten Rohstoffe und dazu berechneten Mengenanteile sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Rezepturen der ersten fünf hergestellten Sude (erste Versuchsreihe)

Sud 1 und 3			Sud 2, 4, 5		
Malzzusammensetzung					
Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Anteil	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Anteil
Pilsner Malz	4,740 kg	100,00 %	Pilsner Malz	4,503 kg	95,00 %
-	-	-	<i>Spirulina platensis</i>	0,237 kg	5,00 %
Summe	4,740 kg	100,00 %	Summe	4,740 kg	100,00 %
Hopfenzusammensetzung					
Rohstoff		Menge / 20,0 l HG _u	Anteil		
Hallertau Blanc (α -Säure: 8,8 %)		20,00 g	52,63 %		
Amarillo (α -Säure: 9,4 %)		10,00 g	26,32 %		
Relax (α -Säure: 0,8 %)		8,00 g	21,05 %		
Summe		38,00 g	100,00 %		
obergärige Hefe: Safale US-05					

HG_u = Hauptguss

Bei allen Suden wurde das gleiche Malz verwendet. Die benötigte Malzmenge wurde so berechnet (siehe Punkt 4.1.1 und Anlage 3), dass vor der Gärung eine Stammwürze von 12,0 °P eingestellt werden konnte. Auch die Hopfensorten und Mengenanteile sind bei allen fünf Suden gleich gehalten, damit nur der Einfluss der veränderten Algenzugabe deutlich wird. Die Berechnung der Hopfenmenge orientiert sich an den Eigenschaften eines Mild Pale Ales (18,00 IBU - 30,00 IBU) und kann ebenfalls anhand der Anlage 3 nachvollzogen werden. Dabei soll die Bitterkraft mit ca. 31,00 IBU leicht über dem Maximum des angegebenen Spektrums liegen. Beim Würzekochen erfolgte die Hopfenzugabe zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten (direkt zu Beginn, nach 35 min, nach 50 min). Dabei entspricht die in Tabelle 1 angegebene Reihenfolge auch der Zugabereihenfolge. Bei Sud 2, 4, und 5 wurde jeweils die angegebene Algenmenge von 0,237 kg zudosiert. Dieser Wert orientiert sich an der Empfehlung der Brauerei „De Koperen Kat“, in der 5,0 % vom Malz durch Algen ersetzt wurden (vice, 2015). Bei Sud 3 musste die Algenmenge aufgrund der entstandenen Verluste beim Umschlauchen angepasst werden, damit der Anteil im Bier identisch bleibt.

Anhand der Auswertung und sensorischen Beurteilung der Sude sind für die weitere Untersuchung erneut vier Sude gebraut worden. Im Mittelpunkt stand dieses Mal, die Rezeptur des Algenbieres so anzupassen, dass das Algenaroma nicht allzu dominant hervortritt und ein geschmacklich abgerundetes alkoholisches Getränk entsteht. Deshalb wurden innerhalb dieser vier Sude die Hopfensorten, -mengen und die Bitterkraft in dem Maße verändert, dass der zu intensiv wahrgenommene Algengeschmack weitestgehend überlagert und somit auf ein akzeptables Minimum reduziert wird. Für die Sude 6 und 7 wurden dafür die Besonderheiten eines India Pale Ales (IPA) herangezogen und mit einer hohen Bitterkeit eingebraut. Sud 8 und 9 basieren auf den speziellen Eigenschaften eines Brut India Pale Ales (Brut IPA). Die Bitterkeit ist sehr gering bei einem intensiven Hopfenaroma. Bei beiden Bierarten sind vor allem die verwendeten Hopfen von Interesse, da jeweils eine fruchtige und eine würzige Variante, jedoch bei gleichbleibender Bitterkeit, hergestellt wurden. Zum besseren Verständnis wurde den Suden je nach Eigenschaft und Hopfengabe ebenfalls eine Abkürzung zugewiesen.

Sud 6 - IPA mit fruchtigen Hopfen - Abkürzung: IPA fru.

Sud 7 - IPA mit würzigen Hopfen - Abkürzung: IPA wür.

Sud 8 - Brut IPA mit fruchtigen Hopfen - Abkürzung: Brut fru.

Sud 9 - Brut IPA mit würzigen Hopfen - Abkürzung: Brut wür.

Die Zugabe von *Spirulina* während des Würzekühlens erwies sich bei Sud 5 am geeignetsten und wurde für die weiteren vier Sude einheitlich übernommen. Die genauen Rezepturen sind in Tabelle 2 aufgezeigt.

Tabelle 2: Rezeptur der nachfolgenden hergestellten vier Sude (zweite Versuchsreihe)

Sud 6		Sud 7		Sud 8		Sud 9	
Malzzusammensetzung							
Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Anteil	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Anteil	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u
Pilsner Malz	5,13 kg	100,00 %	Pilsner Malz	4,67 kg	90,00 %		
-	-	-	Reisflocken	0,52 kg	10,00 %		
Summe	5,13 kg	100,00 %	Summe	5,19 kg	100,00 %		
Hopfenzusammensetzung beim Kochen							
Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u	Rohstoff	Menge / 20,0 l HG _u
El Dorado	22,00 g	Magnum	29,00 g	-	-	-	-
Comet (D)	21,00 g	Tradition	21,00 g	-	-	-	-
Comet (D)	10,00 g	Tradition	10,00 g	El Dorado	19,00 g	Magnum	20,00 g

Hopfenzusammensetzung beim Whirlpool							
Mistral	25,00 g	Relax	50,00 g	Mistral	25,00 g	Tradition	50,00 g
Hüll Melon	25,00 g	-	-	Hüll Melon	25,00 g	-	
Hopfenzusammensetzung beim Kaltstopfen							
-	-	-	-	El Dorado	60,00 g	Magnum	91,00 g
-	-	-	-	Mistral	50,00 g	Relax	50,00 g
-	-	-	-	Hüll Melon	50,00 g	Tradition	19,00 g
Summe	103,00 g	Summe	110,00 g	Summe	229,00 g	Summe	230,00 g
Zugabe <i>Spirulina platensis</i> beim Würzekühlen unter 40,0 °C: 0,237 kg							
obergärige Hefe: Safale US-05							

HGu = Hauptguss; D = Deutschland

α -Säure der Hopfen: El Dorado (13,3 %), Comet D (9,5 %), Mistral (5,1 %), Hüll Melon (6,8 %), Magnum (12,7 %), Tradition (5,4 %), Relax (0,8 %)

Auch bei diesen Suden ist die Malzzusammensetzung gleich der vorherigen Sude. Die Mengen sind jedoch etwas höher, da der Extraktgehalt der Anstellwürze nun 13,0 °P betragen soll. Sud 8 und 9 beinhalten neben Pilsner Malz auch Reisflocken, welche anteilig 10,0 % vom Gesamtmalz ausmachen. Die Literatur empfiehlt bis zu 15,0 %. Diese Menge führte jedoch bei einer vorangegangenen Arbeit von Beisler (2019) an dieser Brauanlage zu starken Läuterproblemen, weshalb der Anteil an Reisflocken etwas herabgesetzt wurde. Die Hopfenmengen beim Kochen wurden so berechnet, dass die Sude 6 und 7 eine hohe Bitterkraft knapp unter 60,00 IBU bekommen. Die Hopfengabe erfolgte auch in dieser Versuchsreihe entsprechend der angegebenen Reihenfolge und analog zu den drei Kochzeitpunkten der ersten Versuchsreihe. Die letzten beiden Sude sind eher aromatisch betont, weshalb in diesem Fall eine sehr geringe Bitterkeit von ca. 20,00 IBU berechnet wurde. Die Menge des jeweils in Tabelle 2 vorgegebenen Hopfens wurde daher erst nach 45 min Kochzeit zudosiert. Mit allen vier Suden wurde zudem eine Whirlpoolhopfung durchgeführt. Die dafür benötigten Mengen an Hopfen sind ebenfalls der Tabelle 2 zu entnehmen. Zusätzlich wurden die Jungbiere von Sud 8 und 9 nach der Hauptgärung kaltgestopft. Die Menge an Hopfen orientiert sich hierbei an den hergestellten Suden von Beisler (2019), dessen Rezepturen der Anlage 6 zu entnehmen sind.

Für alle neun Sude wurde die obergärige Trockenhefe Safale US-05 (Fa. Fermentis) verwendet. Um den Restextrakt der Sude 8 und 9 (Brut IPAs) auf das größtmögliche Minimum zu reduzieren, wurde das Enzym Glucoamylase GA 500 (Fa. MoonshinersChoice) verwendet. Die detaillierten Produktbeschreibungen dieser beiden Hilfsstoffe und Analysenzertifikate der Rohmaterialien (Hopfen ausgenommen) sind der Anlage 5 zu entnehmen.

3.1.2 Durchführung der Versuche im Technikummaßstab

Bevor der eigentliche Brauvorgang durchgeführt werden konnte, musste die Brauanlage zunächst mit dem dafür bereitgestellten Mittel (Fa. Stache GmbH) gereinigt und desinfiziert werden. Im ersten Schritt wurde daraufhin das Malz geschrotet. Dafür wurde die Edelstahlmalzmühle (Fa. Malthous Star) auf der Mahlstufe 2 verwendet, da mit dieser Einstellung eine optimale Malzschrotkorngrößenverteilung erzielt wird. Anschließend wurde das zerkleinerte Malzschrot durch ein Sieb der Maschenweite 630 µm vom Feinstaub befreit, um dadurch den Spelzenanteil für einen optimalen Läutervorgang zu erhöhen. Dabei wurde erfahrungsgemäß jeweils ca. 3 Sekunden pro Charge gesiebt. Speziell für Sud 8 und 9 wurde ein Sieb mit der Maschenweite 800 µm verwendet und jede Aufnahme so lange gesiebt, bis der Großteil des Feinstaubs abgetrennt war. Somit sollte die in der Arbeit von Beisler (2019) ersichtliche Verschlechterung des Läutervorgangs aufgrund der Reisflocken kompensiert werden. Nach Abschluss der Siebung wurden die benötigten Mengen an Malz ausgewogen. Der Brauprozess konnte gestartet werden, indem für jeden Sud der Hauptguss, bestehend aus 20,0 l entionisiertem Wasser (Restalkalität 0,0 °dH), auf eine Einmaischtemperatur von 52,0 °C erhitzt wurde. Gebraut wurde mit der Mikrobrauanlage Braxonia (Fa. ROSOMA). Diese beinhaltet eine Maisch- bzw. Würzepfanne mit integrierter Heizspirale und einen Läuterbottich mit integriertem Whirlpool bzw. einer Druckregelung. Nach Erreichen der Einmaischtemperatur wurde das Malz dem Brauwasser zudosiert. Zusätzlich zum Malz wurden bei Sud 2 *Spirulina* und bei den Suden 8 und 9 Reisflocken mit zugegeben. Von der Maische wurden anschließend der Ausgangs pH-Wert und das Volumen (Rührer ausschalten!) bestimmt. Im Folgenden wurden drei Rasten gefahren, um die langkettigen Strukturen für die Gärung abzubauen. Nach jeder Rast wurde mit Hilfe einer Schöpfkelle eine Probe für die Bestimmung des pH-Wertes entnommen. Die Rasten sind folgendermaßen festgelegt worden:

Sud 1 - 7:	1. Rast -> 50,0 °C / 10 min	Sud 8 - 9:	1. Rast -> 50,0 °C / 10 min
	2. Rast -> 62,0 °C / 45 min		2. Rast -> 62,0 °C / 30 min
	3. Rast -> 72,0 °C / 20 min		3. Rast -> 72,0 °C / 30 min
			4. Rast -> 60,0 °C / 60 min

Kurz vor dem Ende der dritten Rast wurde bei jedem Sud die Iodprobe mit einer Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugol'sche Lösung) durchgeführt. Dafür wurde etwas Maische entnommen, auf einen Teller gegeben und mit 2 - 3 Tropfen der Lösung versetzt. Bleibt eine Blaufärbung der Lösung aus, ist die Stärke vollständig abgebaut und die Maische kann auf eine Läutertemperatur von 78,0 °C erhitzt werden. Damit die Sude 8 und 9 die erwünschte geringe Restsüße eines Brut IPAs erhalten, mussten die teilweise noch unvollständig abgebauten und

somit nicht vergärbaren Zuckerketten weiter in vergärbare Maltose bzw. Glucose gespalten werden. Dafür wurde für diese beiden Sude eine weitere vierte Rast bei 60,0 °C für 60 min durchgeführt. Die Maische musste dafür zunächst nach der dritten Rast unter Einschalten des Kühlaggregates heruntergekühlt werden. Nach Erreichen der gewünschten Temperatur und anschließender Zugabe von 9,0 ml Glucoamylase (verdünnt mit 1,0 l entionisiertem Wasser 0,0 °dH) begann die Zusatzrast. Zwischen den Rasten wurde das Aufhackwerk für das Läutern in den Läuterbottich eingesetzt und der Warmwasserspeicher auf 78,0 °C vorgeheizt, um die Nachgüsse an die Temperatur der Maische anzupassen.

Nach Erreichen der Läutertemperatur wurde zunächst das Volumen der Maische bestimmt und diese durch Öffnen des Tangentialzulaufs (mittlerer Hebel) mit laufendem Rührer in den Läuterbottich überführt (Achtung: Abwasserventil muss geschlossen sein). In der Maischpfanne noch enthaltene Reste wurden mit einem ersten Nachguss (1,0 l) aus dem Warmwasserspeicher (17,0 °dH) ausgespült und ebenfalls in den Läuterbottich überführt. Nach einer Läuterruhe von 10 min wurden die flüssigen Bestandteile (Vorderwürze) unter Druck (max. 3,0 bar) pneumatisch zurück in die Maischpfanne gepumpt, das Volumen bestimmt und wieder auf 78,0 °C erhitzt, sobald die Heizspirale vollständig bedeckt war. Während der 10-minütigen Ruhephase konnte die Maischpfanne gereinigt werden. In einem zweiten Nachguss (17,0 °dH) aus dem Warmwasserspeicher wurden weitere Extrakte aus dem Treber herausgelöst und zudem ca. ein Drittel der schon überführten Vorderwürze nochmals in den Läuterbottich befördert. Zwischen den Nachgüssen wurde der Treber durch Drehung des Aufhackwerkes aufgelockert. Nach einer weiteren Läuterruhe von 5 min wurde das mit Extrakt angereicherte Filtrat wieder zur Vorderwürze in die Maischpfanne überführt. Neben einer erneuten Volumenbestimmung wurde ein dritter und letzter Nachguss (17,0 °dH, Läuterruhe = 5 min) durchgeführt, um ein definiertes Vorderwürzavolumen von 23,0 l einzustellen. Nachdem das Volumen erreicht war, wurden ca. 600 ml der Vorderwürze mit einem Edelstahlbecher über den Würzeablauf (rechter Hebel) entnommen und mit Hilfe eines Eiswasserbades, bereitgestellt über den Scherbeneisbereiter (Fa. Rolf Gerhards GmbH), auf ca. 20,0 °C abgekühlt. Anschließend wurden anhand dieser Probe der pH-Wert und die Stammwürze mit der Bierspindel (geeicht auf 20,0 °C) bestimmt. Es empfiehlt sich am ersten Brauttag etwas Vorderwürze (ca. 150 ml pro geplanten Sud) abzufüllen und zu autoklavieren, welche dann jeweils für die Rehydrierung der Trockenhefe verwendet werden kann.

Nach dem Läutern wurde die Vorderwürze auf eine Kochtemperatur von 100,0 °C erhitzt. Während des Heizens wurde der Läuterbottich gereinigt. Das beinhaltet das Austrebern (Entfernen des festen Trebers mit Hilfe des Austreberrohres), das Spülen mit Leitungswasser

und den Umbau zum Whirlpool durch Anbringen des Whirlpooleinsatzes. Besonders wichtig ist dabei, einen absolut luftdichten Abschluss am Dichtungsring zu erreichen, da es ansonsten zu starken Verwirbelungen kommt. Der Seitenrand des Dichtungsringes sollte dabei erfahrungsgemäß immer etwas über der Grundfläche stehen. Gegebenenfalls kann der Ring auch etwas verschoben werden. Nach erfolgreichem Einsetzen ist der daran befestigte Schlauch so umzuklappen, dass er beim Umfüllen nicht in die Würze hineinragt. Ein kleiner herausstehender Stahlbolzen an der oberen Bottichwand ermöglicht dafür einen festen Halt.

Ist die Kochtemperatur erreicht, wird zunächst die Kupferhaube aufgesetzt. Nach Zugabe der ersten Bitterhopfen wurde ein Timer von 60 min gestartet. Bei den Suden 1 - 7 erfolgte eine zweite Hopfengabe nach 35 min und eine letzte nach 50 min. Die angegebene Reihenfolge der Hopfen in Tabelle 1 und 2 entspricht dabei der Zugabenfolge im Kochprozess. Bei Sud 8 und 9 erfolgte die einzige Hopfengabe erst nach 45 min, sodass mit dem Erreichen der Kochtemperatur der Prozess automatisch startete. Mit jeder Hopfengabe wurde der Rührer für ca. eine Minute ausgeschaltet. Mit Ablauf der Kochzeit wurde zunächst das Volumen bestimmt, bei Sud 4 das *Spirulina* - Pulver zugegeben und die noch heiße Würze dann über den Tangentialzulauf (Rührer bleibt an!) in den Whirlpool überführt. Bei den Suden 6 - 9 wurde vor der Überführung die für die Whirlpoolhopfung eingeplante Menge an Hopfen in den Whirlpool vorgelegt und die Würze auf 80,0 °C abgekühlt. Die Würze musste derweil für ca. 20 min ruhen und jegliche Erschütterungen vermieden werden. Es empfiehlt sich, die Würzepfanne sofort und schnell, aber dennoch vorsichtig, zu reinigen und während dieser Zeit die Würze mit dem Deckel abzudecken, damit kein Reinigungswasser in den Whirlpool gelangt. Nach dem Reinigen wurde der Deckel wieder entfernt. Waren nach der 20-minütigen Ruhephase immer noch Trubstoffe an der Oberfläche zu erkennen, ist die Wartezeit entsprechend erhöht worden. Nachdem eine klare Würze erkennbar war, wurde der umgeklappte Schlauch vorsichtig mit dem bereitliegenden Haken in die Würze getaucht, der Deckel fest verschlossen und die klare Würze in die gereinigte Würzepfanne zurückgepumpt (Ablaufventil ist jetzt geschlossen!). Dieser Vorgang wurde erst unterbrochen, als die zum Boden sedimentierten Trubstoffe mit der Würze in die Würzepfanne übergingen. Der Druck wurde daraufhin sofort abgelassen. Da durch die Whirlpoolhopfung neben den Trubstoffen auch die Hopfenreste zum Boden sedimentieren und der Schlauch damit direkt in den Trubstoffradius ragte, wurde bei den Suden 6 - 9 der Schlauch um 3 cm verkürzt.

Die Würze konnte nun auf die Anstelltemperatur der Hefe (ca. 20,0 °C) mit Hilfe des Kühlaggregates heruntergekühlt werden. Die Kühlpumpe alleine ist jedoch nicht in der Lage die Würze auf diese Temperatur zu kühlen, weshalb dem Kühlwasser manuell Eiswasser

zugeführt werden musste. Nachdem die Würze eine Temperatur unter 40,0 °C aufwies, wurde bei Sud 5 und den Suden 6 - 9 jeweils das *Spirulina* - Pulver zugegeben und verrührt. Mit weiteren drei kleinen Nachgüssen (0,0 °dH) wurde sich nach und nach der Stammwürze von 12,0 °P (Sud 1 - 5) bzw. 13,0 °P (Sud 6 - 9) angenähert. Dafür war nach jedem Nachguss erneut eine Volumen-, pH-Wert- und Stammwürzebestimmung notwendig. Als die gewünschte Stammwürze von Sud 1 und 2 erreicht war, wurde ein letztes Mal das Volumen gemessen, welches als Ausschlagvolumen bezeichnet wird. Ab Sud 3 musste jedoch in erster Linie darauf geachtet werden, jeweils das gleiche Ausschlagvolumen analog zu Sud 2 einzustellen, damit der Algenanteil in Bezug auf die gesamte Biermenge überall identisch war. Die Stammwürze galt daher für alle weiteren Sude nicht mehr als üblicher Leitparameter.

Die Hefe wurde zum Kühlbeginn oder spätestens 30 min vor dem Anstellen mit der autoklavierten Würze rehydriert. Dafür wurde die Hefe in ca. 120 ml steriler Würze gelöst und umgehend abgedeckt, um Kontaminationen zu unterbinden. Anschließend wurde die rehydrierte Hefe in die abgekühlte Anstellwürze gegeben und einige Minuten eingerührt. Danach erfolgte das Abfüllen über den Würzeablauf in einen zuvor mit der Reinigungslösung gesäuberten 20,0 l Soda-Keg. Inmitten der Abfüllung wurde eine 250 ml Schnellvergärungsprobe in einem Messzylinder abgezogen. Nach vollständiger Überführung der angestellten Würze in den Keg wurde dieser für 10 min belüftet. Der zwischengeschaltete Sterilfilter musste für jeden Sud ausgetauscht werden. Der Keg wurde abschließend luftdicht verschlossen, an die Spundanlage gekoppelt und im Klimaraum bei 18,0 °C - 20,0 °C gelagert. Es erfolgte eine tägliche Überwachung der Hauptgärung anhand der mit der Bierspindel gemessenen Stammwürze der Schnellvergärungsprobe. Als sich die Stammwürze innerhalb von drei aufeinanderfolgenden Tagen nicht mehr verändert hatte bzw. sieben Tage erreicht waren, konnte die Hauptgärung abgebrochen werden. Hierbei wurden die Sedimente und obergärige Hefe abgezogen und das Jungbier unter Druck in einen neuen sauberen Keg umgeschlaucht. Bei Sud 8 und 9 wurden die entsprechenden Hopfen für die Kalthopfung vor dem Umschlauchen in dem neuen Keg vorgelegt. Der neue Keg wurde danach bei gleicher Temperatur eingelagert. Mit einem Monometer wurde der Druckaufbau innerhalb des Kegs überwacht. Nach sieben Tagen wurde erneut umgeschlaucht und letzte Hefereste, Sedimente und speziell bei Sud 8 und 9 die Hopfenreste abgezogen. Die Kegs von Sud 8 und 9 wurden 24 h vor Ende der Nachgärung bei 5,0 °C - 6,0 °C kaltgestellt, um die Sedimentation der Hopfenpartikel zu begünstigen. Bei Sud 3 wurde vor dem Umschlauchen das *Spirulina* - Pulver in den neuen Keg gegeben und nach dem Umfüllen kräftig geschüttelt. Die Reifung erfolgte dann für ca. 4 Wochen bei 5,0 °C - 6,0 °C, bevor die Biere sensorisch verkostet wurden.

3.1.3 Auflistung der zu untersuchenden Prozessparameter und Probenentnahme

Neben den in Punkt 3.1.2 beschriebenen pH-Wert, Volumen-, und Stammwürzebestimmungen wurden während des gesamten Brauprozesses zudem sämtliche Aufheiz-, Abkühl-, Teilprozess- und Wartezeiten dokumentiert. Zudem fand eine strukturelle Temperaturermittlung statt. Diese Messungen dienten der Überwachung und Kontrolle, damit ein optimaler Brauverlauf gewährleistet und mögliche Fehlerquelle schnell erkannt werden konnten.

Für die Auswertung und Analyse der Biere wurden bei jedem Sud gleichermaßen vier Proben mit je ca. 40 ml in einer Zentrifugen Tube entnommen:

1. Probe von der abgekühlten Würze vor der Hefezugabe
2. Probe vom Jungbier nach der Hautgärung
3. Probe vom Jungbier nach der Nachgärung
4. Probe vom fertigen Bier nach der Reifung

Zusätzlich wurde für die Sude 1 - 5 nach dem Anstellen der Hefe je eine separate Probe von ca. 1,0 l entnommen, von der nach jedem Hauptgärungstag eine kleine Probe für die Bestimmung der Farbe, reduzierenden Zucker und des freien Aminostickstoffes (FAN) entnommen wurde.

3.2 Verwendete Geräte

Geräte für den Brauprozess

- Scherbeneisbereitungsmaschine ESW 75:
 - > Nr.: 1769, Rolf Gerhards GmbH, 51570 Windeck, Deutschland
- Mikrobrauanlage Braxonia mit Zubehör:
 - > ROSOMA GmbH, 18069 Sievershagen / Rostock, Deutschland
- Soda-Keg 20,0 l mit NC Ventilanschlusssystem und PVC-Bierschlauch / -hahn und Deckel
- selbstgebautes Monometer von Herrn Rolf Kretzschmar für die Soda-Kegs
- pH-Meter 330i:
 - > Nr.: 01450048, WTW, 82362 Weilheim, Deutschland
- Analysensieb 630 µm, 800 µm:
 - > Nr.: 475589, Retsch GmbH, 42759 Haan, Deutschland
- Analysenwaage CP6201:
 - > Nr.: 14802883, Sartorius AG, 37079 Göttingen, Deutschland
- Edelstahlmalzmühle Malthous Star mit Zubehör:
 - > Versand durch Braupartner, 74080 Heilbronn, Deutschland

- Air Filter Midisart 2000 PTFE, sterilisiert, 0,2 µm Porengröße:
 - > Sartorius AG, 37079 Göttingen, Deutschland
- Bierwürzespindel 0,0 °P - 20,0 °P, geeicht auf 20,0 °C
 - > MHV Hausbraushop, 09579 Borstendorf, Deutschland
- Spundapparat:
 - > Barby + Kühnert GmbH, 96253 Untersiemau, Deutschland
- Handthermometer TTX 100type T:
 - > Nr.: 50021669, Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG ebro, 85055 Ingolstadt, Deutschland
- Elektronische Stoppuhr stopstar 2:
 - > Nr.: n.a., hanhart 1882 GmbH, 78148 Gütenbach, Deutschland
- Zentrifugen Tubes mit Schraubverschluss 50 ml / 25 ml:
 - > Nr.: 943C0 - 943C, VWR International, West Chester (PA), USA
- Chemikalienschutzhandschuhe aus Nitrilkautschuk
- Stahleimer 10,0 l, Stahlschüsseln, Kunststoffbehälter, Topfhandschuhe
- Standzylinder 250 ml, Bechergläser, Messbecher 2,0 l, Einwegplastebecher, Kleingeräte

Geräte für die Bestimmung der reduzierenden Zucker und des FAN

- UV/VIS Spektralphotometer UV-3100PC:
 - > Nr.: ULC 1703008, VWR International bvba, 3001 Leuven, Belgien
- Ultraschallbad Bandalin Sonorex Super RK 512 H:
 - > Medizin und Labortechnik, 18059 Rostock, Deutschland
- Vortex Genie 2:
 - > Nr.: 2E-174360, Scientific Industries INC, 11716 Bohemia (New York), USA
- Reagenzgläser 20 ml / 10 ml mit Verschlussdeckel und Reagenzglasständer aus Metall
- Faltenfilter 150 µm:
 - > Nr.: 311645, Schleicher & Schuell, 37586 Dassel, Deutschland
- pH-Meter 330i:
 - > Nr.: 01450048, WTW, 82362 Weilheim, Deutschland
- Magnetrührer Monotherm mit Rührfisch:
 - > Nr.: 60100, H+P Labortechnik GmbH, 85764 München, Deutschland
- Messkolben 500 ml / 200 ml / 100 ml / 50 ml / 10 ml
- Finnpipetten 0,5 ml - 5,0 ml / 10 µl - 100 µl / 100 µl - 1000 µl mit Einwegpipettenspitzen
- Glasgefäße mit Schraubverschluss 1000 ml / 500 ml / 200 ml

- Bechergläser, belgische Wägeschiffchen

Geräte für die Bestimmung des Alkoholgehaltes:

- Destillationsanlage:
 - > Heizpilz; Rundkolben 250 ml; Thermometer; Stativ mit Klemme; Kühler mit Vorstoß, Zufluss und Abfluss
- Messkolben, Messzylinder (100 ml)
- Pyknometer Nr. 90, Nr. 156 und Nr. 171

Geräte für die Bestimmung der Farbe (L*a*b*)

- Spektralphotometer Color Flex EZ mit Zubehör:
 - > FMS Jansen GmbH & Co. KG Hunterlab, 82418 Murnau, Deutschland

Geräte für die Bestimmung der Polyphenole

- Heraeus Labofuge 400 Centrifuge:
 - > Nr.: 41099970, Thermo Fisher Scientific, 37520 Osterode, Deutschland
- UV/VIS Spektralphotometer UV-3100PC:
 - > Nr.: ULC 1703008, VWR International bvba, 3001 Leuven, Belgien
- Faltenfilter 150 µm:
 - > Nr.: 311645, Schleicher & Schuell, 37586 Dassel, Deutschland
- Messkolben 1000 ml / 100 ml / 25 ml
- Finnpipetten 0,5 ml - 5,0 ml / 100 µl - 1000 µl mit Einwegpipettenspitzen
- Becherglas, belgische Wägeschiffchen

Geräte für die Bestimmung des Phycocyanin - Gehaltes

- Spektralphotometer Typ 1510:
 - > Nr.: 1510-01527C, Thermo Fisher Scientific, 01620 Vantaa, Finnland
- Heraeus Labofuge 400 Centrifuge:
 - > Nr.: 41099970, Thermo Fisher Scientific, 37520 Osterode, Deutschland
- Messkolben 10 ml

Die weiterhin aufgeführten Geräte sind für alle Bestimmungen geltend:

- Präzisionswaage Sartorius BP 210 S:
 - > Nr.: 60906602, Sartorius AG, 37070 Göttingen, Deutschland

- Wasserbad Typ 1002:
 - > Nr.: 10827599 I, Gesellschaft für Labortechnik GmbH, 30938 Burgwedel, Deutschland
- Wasserbad M 12 Lauda:
 - > Nr.: V07032, Lauda Dr. R Wobser GmbH & Co. KG, 97922 Lauda-Königshofen, Deutschland
- Rotilabo-Einwegküvetten XK21 10 mm mit Küvettenständer
 - > Nr.: 71022051, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland

3.3 Verwendete Materialien

Rohstoffe und Chemikalien für den Brauprozess

- Weyermann® Pilsner Malz (Extraktgehalt TrS.: 81,8 %):
 - > Chargen-Nr.: U273-21110025-03, Mich. Weyermann GmbH & Co. KG, 96052 Bamberg, Deutschland, MHD: 30.03.2021
- Weyermann® Pilsner Malz (Extraktgehalt TrS.: 82,1 %):
 - > Chargen-Nr.: U320-21110025-02, Mich. Weyermann GmbH & Co. KG, 96052 Bamberg, Deutschland, MHD: 16.05.2021
- Reisflocken vorgekocht:
 - > Art-Nr.: M-1028, Hopfen und Mehr GmbH, 88099 Neukirch, Deutschland, MHD: 05.06.2020
- Hopfen Pellets Typ 90:

Tabelle 3: Verwendete Hopfensorten mit ihrem α -Säuregehalt

Hopfen	α -Säuregehalt [%]	Hopfen	α -Säuregehalt [%]
Hallertau Blanc	8,8	Hüll Melon	6,8
Amarillo	9,4	Magnum	12,7
El Dorado	13,3	Tradition	5,4
Comet (D)	9,5	Relax	0,8
Mistral	5,1		

- > Hopfen der Welt, 91792 Ellingen, Deutschland
- Organic Spirulina Powder (Nährwerttabelle siehe Anlage 5, Abbildung 30):
 - > Chargen-Nr.: L 261A902-25, MySuperfoods Ltd, 73B High Street, Bridge, Canterbury, Kent, CT4 5LB, MHD: 28.03.2022
- Obergärige Trockenhefe Fermentis Safale US-05:
 - > Art.-Nr.: H-5002, Hopfen und Mehr GmbH, 88099 Neukirch, Deutschland, MHD: 01.03.2022

- Amylase GA 500 „MoonshinersChoice®“ 30 ml:
 - > Art.-Nr.: E-6782, UNICOBRES GmbH & Co.KG, 36132 Eiterfeld (Buchenau), Germany, MHD: Oktober / 2021
- CO₂ - Flasche Protadur® E290:
 - > Chargen-Nr.: 01/10/18, Art.-Nr.: 0200 75 20 Westfalen AG, 48155 Münster, Deutschland, MHD: 30.09.2021
- Iod-Kaliumiodid-Lösung (Lugol'sche Lösung)
 - > Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Bierleitungsreiniger G Spezial N:
 - > Chargen-Nr.: 1709102411, Art.-Nr.: 00157601, WIGOL W. Stache GmbH, 67547 Worms, Deutschland, MHD: 28.09.2020
- destilliertes Wasser + Leitungswasser der Hochschule Neubrandenburg (0,0 °dH, 17,0 °dH)

Chemikalien für die Bestimmung der reduzierenden Zucker

- 3,5-Dinitrosalicylsäure (C₇H₄N₂O₇):
 - > CAS-Nr.: 85-38-1, Chargen-Nr.: MKBH9356V, Merck KGaA, 64293 Darmstadt, Deutschland
- Natriumsulfit (Na₂SO₃):
 - > CAS-Nr.: 7757-83-7, Chargen-Nr.: 047254412, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Natriumhydroxid (NaOH):
 - > CAS-Nr.: 1310-73-2, Chargen-Nr.: 050150485, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Kalium-Natrium-Tartrat (C₄H₄KNaO₆):
 - > CAS-Nr.: 6381-59-5, Chargen-Nr.: 442180/1, Fluka Chemie GmbH, 9471 Buchs, Schweiz
- D(+)-Glucose (C₆H₁₂O₆):
 - > CAS-Nr.: 50-99-7, Chargen-Nr.: 471176868, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland

Chemikalien für die Bestimmung des FAN - Gehaltes

- Dinatriumhydrogenphosphat Dodecahydrat (Na₂HPO₄ * 12 H₂O)
 - > CAS-Nr.: 10039-32-4, Chargen-Nr.: 493206108, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland

- Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4):
 - > CAS-Nr.: 7778-77-0, Chargen-Nr.: B687808 526, Merck KGaA, 64293 Darmstadt, Deutschland
- Ninhydrin ($\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_4$):
 - > CAS-Nr.: 485-47-2, Chargen-Nr.: 077253204, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- D(-)-Fructose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$):
 - > CAS-Nr.: 57-48-7, Chargen-Nr.: 39467342, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Kaliumiodat (KIO_3):
 - > CAS-Nr.: 7758-05-6, Chargen-Nr.: B252851, Merck KGaA, 64293 Darmstadt, Deutschland
- Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, 96,0 %, vergällt):
 - > CAS-Nr.: 64-17-5, Chargen-Nr.: 356248827, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Glycin ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_3$):
 - > CAS-Nr.: 56-40-6, Chargen-Nr.: n.a., Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Natriumhydroxid (NaOH):
 - > CAS-Nr.: 1310-73-2, Chargen-Nr.: 050150485, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- bidestilliertes Wasser sowohl für reduzierende Zucker als auch FAN

Chemikalien für die Bestimmung des Alkoholgehaltes

- Natriumhydroxid (NaOH):
 - > CAS-Nr.: 1310-73-2, Chargen-Nr.: 050150485, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Silicon-Antischaumemulsion:
 - > Art.-Nr.: 0734.1, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland
- Siedesteine aus PTFE:
 - > Art.-Nr.: 1691.1, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland

Chemikalien für die Bestimmung der Polyphenole

- Carboxymethylcellulose Natriumsalz ($C_8H_{16}O_8Na$):

-> CAS-Nr.: 9004-32-4, Chargen-Nr.: n.a., Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185
Karlsruhe, Deutschland

- Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) Dinatriumsalz-Lösung B:

-> Chargen-Nr.: 1749869, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185 Karlsruhe, Deutschland

- Ammoniumeisen(III)-citrat 18,0 % Eisen ($C_6H_8O_7 \times nFe \times nH_3N$):

-> CAS-Nr.: 1185-57-5, Chargen-Nr.: 248 K16801262, Merck KGaA, 64293
Darmstadt, Deutschland

- Ammoniaklösung 25,0 % (NH_3):

-> CAS-Nr.: 1336-21-6, Chargen-Nr.: 049279778, Carl Roth GmbH & Co. KG, 76185
Karlsruhe, Deutschland

3.4 Angewandte analytische Messmethoden

Bestimmung der Prozessparameter

Die Prozess- und Gärtemperatur wurde mit dem Handthermometer TTX 100type T (Fa. ebro) ermittelt. Für die Bestimmung des pH-Wertes wurde jeweils eine kleine Probe vom laufenden Prozess entnommen, auf 20,0 °C gekühlt und mit dem pH-Meter 330i (Fa. WTW) gemessen. Mit der bereitgestellten Bierwürzespindel 0,0 °P - 20,0 °P, geeicht auf 20,0 °C (Fa. MHV Hausbraushop), konnte anschließend die Stammwürze der heruntergekühlten Probe bestimmt werden. Jegliche Prozesszeiten wurden mit einer elektronischen Stoppuhr (Fa. hanhart) aufgenommen. Alle Messungen erfolgten in einer Einfachbestimmung.

Bestimmung der reduzierenden Zucker

Die Bestimmung der reduzierenden Zucker erfolgte bei allen Proben nach der vom Zentrum für Ernährung und Lebensmitteltechnologie gGmbH (ZELT Neubrandenburg, gültig ab: 16.05.2018) entwickelten Methodik in Anlehnung an Miller (1959). Die reduzierenden Zucker beschreiben einen Teil des Extraktgehaltes in der Würze bzw. im Bier und geben Auskunft über den Erfolg der Gärung, da diese Zucker von den Hefen verstoffwechselt werden. Die Grundlage dieser Methode ist die Reaktion einer 3,5-Dinitrosalicylsäure-Lösung (DNSS) mit diesen Zuckern. Das DNSS-Reagenz wird dabei unter Zuführung von Wärme zu 3-Amino-5-nitrosalicylsäure reduziert. Hierbei handelt es sich um eine Farbreaktion, bei der diese von orange - gelb nach rot umschlägt. Die Intensität des Umschlags wird photometrisch gemessen.

Für die Bestimmung musste zunächst das DNSS-Reagenz und ein Glucose-Standard hergestellt werden. Für 100 ml des Reagenzes wurden 1,00 g Natriumhydroxid in einen 100 ml Messkolben eingewogen und mit etwas bidestilliertem Wasser vollständig im Ultraschallbad gelöst. Im Anschluss wurden 1,00 g 3,5-Dinitrosalicylsäure, 0,05 g Natriumsulfit und 30,00 g Kalium-Natrium-Tartrat zugegeben, im Ultraschallbad vollständig aufgelöst und mit bidestilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt. Im Folgenden musste das Reagenz durch einen Faltenfilter (150 μm) filtriert werden. Für den Glucosestandard wurden 0,10 g D(+)-Glucose in einem 100 ml Messkolben eingewogen und mit bidestilliertem Wasser gelöst bzw. aufgefüllt. Für die Quantifizierung musste zunächst eine Kalibriergerade in einem Konzentrationsbereich von 0,00 g/l - 1,00 g/l aufgestellt werden. Für die Kalibrierung wurden sieben verschiedene Konzentrationen ausgewählt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgezeigt.

Tabelle 4: Konzentrationen der Standardlösung zur Bestimmung der reduzierenden Zucker

Konzentration [g/l]	Menge an Standardlösung [ml]	Menge an Wasser [ml]
0,00 (Blindwert)	0,00	10,00
0,05	0,50	9,50
0,10	1,00	9,00
0,25	2,50	7,50
0,50	5,00	5,00
0,75	7,50	2,50
1,00	10,00	0,00

Um die Messung vorzubereiten, wurden zunächst 1,0 ml der Kalibrierlösung oder verdünnten Probe (Würze: 1:100 / Bier: 1:50) in ein verschließbares 20,0 ml Reagenzglas pipettiert und anschließend mit 2,0 ml DNSS-Reagenz versetzt. Das Reagenzglas wurde verschlossen und im Vortex Genie 2 (Fa. Scientific Industries) durchgemischt. Anschließend wurde die Probe in einem Wasserbad (Fa. GfL GmbH) nach leichtem Öffnen des Verschlusses am Reagenzglas für 15 min bei 99,9 °C erhitzt. Nach einem 20-minütigen Abkühlprozess in einem anderen, auf 20,0 °C temperierten Wasserbad (Fa. Lauda), wurde das Reagenzglas mit bidestilliertem Wasser auf 20,0 ml aufgefüllt und nach Verschluss durch dreimaliges Auf- und Abschwenken geschüttelt. Im Anschluss wurden ca. 3,50 ml der Probe in eine 10 mm Einwegküvette gegeben und im Spektralphotometer UV-3100PC (Fa. VWR) bei einer Wellenlänge von 505 nm gegenüber Wasser gemessen. Mit Hilfe der Funktionsgleichung der zuvor aufgestellten Kalibriergeraden wurde anschließend der Gehalt an reduzierenden Zuckern berechnet. In einer Dreifachbestimmung wurden hierbei der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ ermittelt.

Für eine optimale Gärung sollte die Würze eine Konzentration zwischen 60,00 g/l - 90,00 g/l aufweisen (Kunze, 2016). Der Gehalt an reduzierenden Zuckern im fertigen Bier richtet sich nach der Gärleistung der Hefe, weshalb es hierzu keine genauen Literaturangaben gibt. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der 2. Studienarbeit von Liedek (2019) (15,00 g/l - 28,00 g/l) und speziell für die beiden Brut IPAs 8 und 9 von Beisler (2019) (5,00 g/l - 10,00 g/l) mit herangezogen.

Bestimmung freier Aminostickstoff (FAN)

Der freie Aminostickstoff, kurz FAN, ist Bestandteil im Malz bzw. in *Spirulina* und geht während des Brauprozesses in die Würze über. Für das Wachstum der Hefen sind diese Stoffe essentiell, weshalb ein zu geringer Gehalt ein frühzeitiges Absterben der Hefe und folglich einen unvollständigen Abbau der Zucker zu Alkohol und CO₂ zur Folge hat (Mebak, 2012). Die Bestimmung des FAN erfolgte nach der Ninhydrin-Methode 2.6.4.1.1 der Mebak® e.V. (2012) bei allen entnommenen Proben. In einer Dreifachbestimmung sind der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ ermittelt worden. Aufgrund einer zu dunklen Bierfarbe sind bei den Suden 5 - 9 im Ergebnisteil die Korrekturwerte E_K bereits mit einbezogen. Da es sich bei dieser Methode ebenfalls um eine photometrische Messung handelt, musste für eine quantitative Bestimmung eine weitere Kalibriergerade mit dem Glycin-Standard in einem Konzentrationsbereich von 0,00 mg/l - 2,00 mg/l erstellt werden. Innerhalb des Bereiches wurden folgende sieben Konzentrationen in Tabelle 5 ausgewählt.

Tabelle 5: Konzentrationen der Glycin-Standardlösung zur Bestimmung des FAN

Konzentration [mg/l]	Menge an Standardlösung [ml]	Menge an Wasser [ml]
0,00 (Blindwert)	0,00	10,00
0,20	1,00	9,00
0,50	2,50	7,50
0,80	4,00	6,00
1,00	5,00	5,00
1,50	7,50	2,50
2,00	10,00	0,00

Damit die Gärung zufriedenstellend bzw. vollständig ablaufen kann, sollten FAN - Werte zwischen 160,00 mg/l und 250,00 mg/l in der Ausschlagwürze (Stammwürze 12,0 °P) vorhanden sein. Im fertigen Bier empfiehlt die Literatur FAN - Werte im Bereich 10,00 mg/l - 120,00 mg/l. Ein zu hoher Gehalt kann zu Problemen beim Geschmack und der mikrobiologischen Stabilität führen (Kunze, 2016; Mebak, 2012).

Bestimmung der Farbe mit L*a*b*

Die Farbe der einzelnen Proben nach L*a*b* wurde mit Hilfe des Spektralphotometers (Fa. Color Flex EZ) untersucht. Die Prüfkombination entsprach der Vorgabe für niedrigviskose Flüssigkeiten.

- Messblende: 34 mm
- Rundglasküvette: 34 mm, dazu ein Messblendeeinsatz (schwarzer Ring), Abstandhalter mit Referenzweiß und lichtundurchlässiger Becher

Für die Messung mussten die Biere zunächst durch Rühren entgast werden. In einer Fünffachbestimmung wurden anschließend der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ ermittelt.

Bestimmung des Alkoholgehaltes

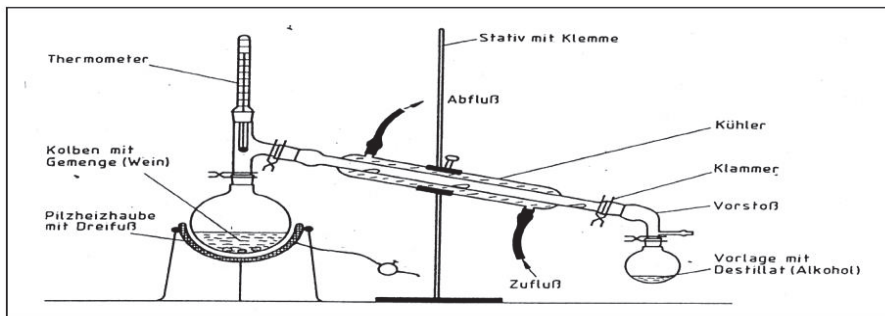


Abbildung 3: Aufbau der Destillationsapparatur im Laborversuch (schule-bw.de)

Der Alkoholgehalt der gereiften Biere wurde mittels Destillation und anschließender pyknometrischer Dichtebestimmung dreifach ermittelt. Nach Aufbau der Destillationsapparatur (siehe Abbildung 3) und Einstellung des pH-Wertes der Probe auf 7,0 (mit 2 M Natriumhydroxid) wurden ca. 100 ml der Probe in einen 250 ml Rundkolben überführt und langsam mit dem Heizpilz bis auf 90,0 °C erhitzt. Zu der Probe wurden zwei bis drei Siedesteine und einige Tropfen des silikonhaltigen Entschäumers gegeben. Der siedende Alkohol floss durch den Kühler in einen 100 ml Messkolben. Dieser wurde vor dem Prozessbeginn mit etwas bidestilliertem Wasser gefüllt, damit sich Teile des Alkohols nicht verflüchtigen. Das Ergebnis der Destillation war eine farblose klare Flüssigkeit mit einem hohen Alkoholgehalt. Nachdem nur noch Wasser in den Messkolben übergang, wurde der Prozess abgebrochen, der Messkolben mit bidestilliertem Wasser aufgefüllt und auf 20,0 °C temperiert. Die heruntergekühlte Probe wurde daraufhin in ein leeres Pyknometer blasenfrei überführt und erneut für ca. 5 min auf 20,0 °C temperiert. Anschließend wurde die Masse des Pyknometers samt enthaltener Probe ermittelt und das Tauchgewichtsverhältnis $d_{20/20}$ anhand folgender Formel 1 auf vier Dezimalstellen berechnet:

Formel 1: Berechnung des Tauchgewichtsverhältnisses zur Bestimmung des Alkoholgehaltes

$$d_{20/20} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}$$

m_1 = Masse des leeren Pyknometers [g]

m_2 = Masse des mit bidestillierten Wasser gefüllten Pyknometers bei 20,0 °C [g]

m_3 = Masse des mit Probe gefüllten Pyknometers bei 20,0 °C [g]

Die Werte von m_1 und m_2 sind vorgegeben und können der Tabelle 39 in Anlage 3 je nach verwendetem Pyknometer entnommen werden. Für diesen Versuch sind die Pyknometer „Nr. 90“, „Nr. 156“ und „Nr. 171“ in Betracht zu ziehen. Nachdem das Tauchgewichtsverhältnis ermittelt wurde, konnte der Alkoholgehalt anhand der im Labor ausliegenden Tabellensammlung von Rauscher et al. (1986) abgelesen werden. Ausgehend davon wurden zuletzt der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ abgeleitet.

Bestimmung des Alkoholspektrums

Die Bestimmung des Alkoholspektrums erfolgte nur bei den Suden 1 und 5 nach der Hauptgärung, da bei diesen beiden der direkte Vergleich zwischen der algenfreien Referenz und dem Bier mit frischen nicht weiter thermisch behandelten Algen betrachtet werden konnte. Die beiden Biere wurden dafür im laufenden Praktikum des Moduls „Instrumentelle Analytik LTB.18.005“ im Masterstudium von den Studierenden mit der GC-MS analytisch untersucht. Vor der Messung wurden die beiden Proben zunächst im Ultraschallbad vollständig entschäumt und danach aufdestilliert, um den Alkoholgehalt der Probe auf mindestens 40,0 % anzuheben. Ohne diesen Schritt würde zu viel Wasser in die Säule gelangen und der stationären Phase schaden. Zudem wurden dadurch jegliche Farb- und Zuckerbestandteile abgetrennt, welche während der laufenden Messung die Peakbildung negativ beeinflussen würden (Gottwald, 1996). Die Prozessparameter und der Ablauf der Messung sind dem auf der CD-ROM beigefügten Protokoll und der Praktikumsanleitung zu entnehmen.

Bestimmung des Glucosegehaltes

Bei den Suden 8 und 9 wurde zusätzlich nach der dritten und vierten Rast der Glucosegehalt entsprechend der Methode 2.7.4 der Mebak® e.V. (2012) ermittelt. Dafür wurde der optisch-enzymatische Test von „R-Biopharm“ verwendet. Mit diesem Testkit konnte die Effizienz der nach der dritten Rast zugegebenen Glucoamylase, Di- und Oligosaccharide weiter

zu Glucose abzubauen, in einer Dreifachbestimmung überprüft werden. Der typische Gehalt an Glucose in einem hellen Bier beträgt dabei zwischen 10,00 g/l und 13,00 g/l (Mebak, 2012).

Bestimmung des Phycocyaningehaltes

Der Phycocyaningehalt der Biere wurde photometrisch mit dem Spektralphotometer Typ 1510 (Fa. Thermo Fisher Scientific) bestimmt. Dafür wurden sowohl die Jungbiere der Haupt- und Nachgärung als auch die gereiften Biere zunächst im Ultraschallbad entgast, bei 3000 rpm für 10 min zentrifugiert, 10-fach mit bidestilliertem Wasser verdünnt und zuletzt mittels Photometer jeweils ein Farbwellenlängenspektrum von 300 nm - 800 nm aufgenommen. Das Photometer wurde dafür so konfiguriert, dass im angegebenen Spektrum jede einzelne Wellenlänge automatisch binnen weniger Sekunden gemessen und tabellarisch aufgenommen wurde. Die Wellenspektren wurden zudem graphisch dargestellt und sind in der Anlage 2 einzusehen. Schlussendlich wurde der farbgebende Gesamtphycocyaningehalt mit Hilfe der folgenden Berechnungsformeln 2 und 3 von Böcker et al. (2019) berechnet. Die Extinktionswerte der beiden Wellenlängen wurden vor der Berechnung jeweils um den Wert bei 800 nm reduziert, um Störfaktoren, ausgelöst durch die Trübungen im Bier, zu unterbinden.

Formel 2: Berechnung des C-Phycocyaningehaltes cPC, verändert nach Böcker et al. (2019)

$$\text{cPC [g/l]} = 0,162 * (A_{620} - A_{800}) - 0,098 * (A_{650} - A_{800})$$

A_{620} = Extinktion bei 620 nm

A_{650} = Extinktion bei 650 nm

A_{800} = Extinktion bei 800 nm

Formel 3: Berechnung des A-Phycocyaningehalt aPC, verändert nach Böcker et al. (2019)

$$\text{aPC [g/l]} = 0,180 * (A_{650} - A_{800}) - 0,042 * (A_{620} - A_{800})$$

Die Summe der beiden Gehalte aPC und cPC entspricht dem farbgebenden Gesamtphycocyaningehalt.

Um mögliche Verluste an Phycocyanin grob abschätzen zu können, wurden die Literaturwerte (Gehalt an Phycocyanin pro Gramm getrocknete *Spirulina*) von Hultberg et al. (2017) und Shimamatsu (2004) mit einbezogen und so umgerechnet (siehe Punkt 4.3.6), als wenn dieses Pulver dem Brauprozess im selben Anteil von 0,237 kg/19,5 l Bier zudosiert wurde.

Dieses musste angewandt werden, da der Phycocyaningehalt vom eigentlich verwendeten *Spirulina* - Pulver (Fa. MySuperfoods) nicht bekannt war.

Bestimmung des Gesamtphenolgehaltes

Polyphenole gelangen über das Malz, den Hopfen und auch *Spirulina* in die Würze und sind in bestimmter Konzentration maßgebend für die chemisch-physikalische Stabilität, den Geschmack und die Schaumqualität des Bieres. In Anwesenheit von Luftsauerstoff können Polyphenole zu geschmacklich unerwünschten Folgeprodukten reagieren (Mebak, 2012). Die Bestimmung dieser Stoffgruppe erfolgte bei den gereiften Bieren nach der photometrischen Methode 9.9.1 (D157) der Analytica-EBC (1987), aktualisiert von der Methode 2.16.1 der Mebak® e.V. (2012). Sud 9 wurde nach dem Zentrifugieren zusätzlich durch Faltenfilter filtriert. In einer Dreifachbestimmung wurden anschließend der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ ermittelt. Im Bier sind charakteristische Werte zwischen 150,00 mg/l und 200,00 mg/l zu erwarten (Mebak, 2012).

Für die Ergebnispräsentation sind ausschließlich die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben worden. Sämtliche Einzelwerte sind der Anlage 2 zu entnehmen.

3.5 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA):

Hierbei wird die statistische Signifikanz von mehr als zwei Messreihen geprüft. Dabei ergibt sich die Prüfgröße F und ein kritischer F-Wert $F_{\text{krit.}}$, welche beide miteinander verglichen wurden. Ist dabei der F-Wert größer als $F_{\text{krit.}}$, besteht ein signifikanter Unterschied. Anschließend erfolgte der paarweise Mittelwertvergleich anhand des post-hoc Tests nach Tukey (Bortz und Schuster, 2016).

Dieser Test wurde mit Hilfe von „XLSTAT (Version: 2020.1.1.64431)“ durchgeführt.

Ermittlung der signifikanten Unterschiede der Farbwerte:

Um signifikante Differenzen zwischen den ermittelten Farbwerten festzustellen, wurde ΔE anhand der folgenden Formel 4 berechnet:

Formel 4: Berechnung des Farbabstandes zwischen den Koordinaten zweier Proben

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

ΔE ist ein Maß für den empfundenen Farbabstand zwischen zwei Produkten im Farbraum.

Dabei gilt:

0,0 – 0,5 -> nahezu unmerklich

0,5 – 1,0 -> für das geübte Auge bemerkbar

1,0 – 2,0 -> geringer Farbunterschied

2,0 – 4,0 -> wahrgenommener Farbunterschied

4,0 – 5,0 -> wesentlicher aber selten tolerierter Farbunterschied

> 5,0 -> als andere Farbe bewertet

(Gierling, 2006)

Alle Ergebnisse der statistischen Auswertung befinden sich in der Anlage 4.

3.6 Sensorische Betrachtung der Produkte

Um die Akzeptanz der hergestellten Sude und die geschmacklichen Veränderungen durch den unterschiedlichen Einsatz der Algen in Erfahrung zu bringen, wurden drei sensorische Untersuchungen durchgeführt. Bei allen drei Prüfungen wurde darauf geachtet geschulte Personen auszuwählen, welche weiterhin nach DIN 10961 Teil 1 „motiviert“ sind und auf das zu bewertende Produkt eine positive Einstellung haben. Dafür wurden vor der eigentlichen Testdurchführung Fragen über das Empfinden und die Bereitschaft Bier zu trinken gestellt. Entsprechend der DIN 10950 Teil 1 werden Panelisten dieser Art als „Prüfer“ bezeichnet und stehen an zweiter Stelle der Rangordnung. Da nur die angehenden Lebensmitteltechnologe ab dem 3. Semester diesen Vorgaben entsprechen und zudem derartige Prüfungen schon einmal durchgeführt haben, wurde das Panel dementsprechend auch nur aus diesem Sektor zusammengestellt. Weitere Kriterien zur Verkostung von Bier sind ein Mindestalter von 18 Jahren und eine Versuchsdurchführung ab frühestens 16:00 Uhr, da zu diesem Zeitpunkt keine Lehrveranstaltungen mehr stattfinden (Busch-Stockfisch, 2014). Die Durchführung der sensorischen Untersuchungen erfolgte in dem nach DIN 10962 ausgestatteten Sensoriklabor der Hochschule Neubrandenburg und beinhaltete eine hedonische - (Beliebtheitstest), Einfach beschreibende Prüfung und die Bewertung anhand von Just-About-Right-Fragen (JAR).

Beliebtheitsprüfung

Bei der Beliebtheitsprüfung wurden die Biere mittels einer hedonischen 9-Punkte-Skala eingestuft, um die Akzeptanz der verschiedenen Biere festzustellen. Hierbei symbolisiert die „9“ die höchste und die „1“ die niedrigste Gefallenstufe. Die Einteilung der Skala erfolgt in zwei Bereiche: 9 - 6 und 4 - 1. Die Note 5 steht einzeln und markiert den Wendepunkt.

Die gereiften Biere wurden nacheinander verkostet und bewertet. Ein Rückkosten ist hierbei nicht erlaubt, da der Ersteindruck zählt. Da es sich um geschulte Personen handelt, ist eine Panelgröße von 10 - 12 ausreichend. Nachdem alle Proben verkostet wurden, erfolgte die Auswertung anhand des Gruppenprotokolls von Flidner und Wilhelmi (1993). Anhand der Mittelwerte konnten die Ergebnisse statistisch ausgewertet werden. Einen weiteren Auswertungsansatz bietet die hedonische Skala. Damit ein Produkt als beliebt eingestuft werden kann, müssen mindestens 80,0 % der Prüferurteile im oberen Bereich (9 - 6) liegen (Flidner und Wilhelmi, 1993). Die Prüfung der Akzeptanz erfolgte mit allen neun Suden. Beide Versuchsreihen Sud 1 - 5 und Sud 6 - 9 wurden jedoch separat voneinander bewertet.

Einfach beschreibende Prüfung

Dieses Prüfverfahren dient der detaillierten Beschreibung von Produkten nach den Merkmalen Aussehen, Geruch, Geschmack bzw. Mundgefühl und wurde nachträglich zur Beliebtheitsprüfung durchgeführt. So können gezielt Unterschiede, Eigenschaften und Gründe für ein Gefallen oder Missfallen des bewerteten Produktes herausgefunden werden. Die Durchführung erfolgte nach DIN 10964, in der die Proben nacheinander kritisch beschrieben wurden. Für die Auswertung wurden die am meisten genannten Attribute zusammengefasst und verglichen. Dieses Prüfverfahren wurde nur mit den ersten fünf Suden durchgeführt.

Just-About-Right-Fragen (JAR-Fragen)

Just-About-Right-Fragen werden ergänzend zur Beliebtheitsprüfung angewendet. Hierbei ist es möglich, gezielt spezifische Produkteigenschaften zu bewerten, weshalb dieses Verfahren eine wichtige Stütze für die Produktentwicklung darstellt. Die Bewertung erfolgt üblicherweise anhand einer 5-Punkte-Skala, indem der Prüfer die Intensität einer vorgegebenen Eigenschaft nach den Kriterien „viel zu stark“, „etwas zu stark“, „genau richtig“, „etwas zu schwach“ und „viel zu schwach“ einstuft. Der Prüfer wird somit „gezwungen“ auf ein bestimmtes Merkmal zu achten. Der Vorteil dieser Methode ist, dass der Prüfer gezielt auf die für den Prüfenden wichtigen Attribute hingeführt wird. Andererseits werden dem Prüfer dadurch schon vor der eigentlichen Verkostung Informationen über das Produkt geliefert. Das kann zu verfälschten Wahrnehmungen führen, welche den Prüfer mitunter in der Bewertung beeinflussen (Stone et al., 2012). Für diese Arbeit wurden die Produkteigenschaften „Algengeschmack“, „Bitterkeit“ und „Vollmundigkeit“ ausgewählt. Zunächst mussten die Prüfer nacheinander und ohne Rückkosten die Intensität der genannten Attribute an den ersten fünf Suden testen; die Sude 6 - 9 wurden nur auf die Intensität des „Algengeschmacks“ und der „Bitterkeit“ überprüft.

Die Auswertung dieser sensorischen Analyse erfolgte anhand eines Säulendiagramms (Stone et al., 2012). Um den Einfluss der empfundenen Intensität der Produkteigenschaften auf die Akzeptanz zu prüfen, wurde zusätzlich eine Penalty-Analyse durchgeführt. Durch die Zusammenführung der Ergebnisse aus der Beliebtheitsprüfung und den JAR-Fragen wurden sogenannte Penalties (Penalty-Punkte = „Bestrafung“) ermittelt, welche letztendlich den möglichen Einfluss auf die Akzeptanz beschreiben. Die Berechnung dieser Punkte erfolgte nach der Anleitung von Giechau (2009) in Kombination mit „XLSTAT (Version: 2020.1.1.64431)“, wobei die jeweiligen Penalties in der Anlage 4 aufgeführt sind. Die Penalties können dabei negative und positive Werte einnehmen. Da aber nur die Höhe der reinen Zahlenwerte ausschlaggebend für die Beurteilung ist, kann das Vorzeichen jeweils vernachlässigt werden. Für die Auswertung sind schließlich die Einzelstrafen von größerer Bedeutung, da diese den direkten Einfluss im jeweiligen „zu stark“ - oder „zu schwach“ - Bereich ausdrücken. Zur Beurteilung der Penalties bei einer hedonischen 9-Punkte-Skala wird folgende Regelung empfohlen: Werte < 40 sind zu vernachlässigen, Werte zwischen 40 und 80 zeigen einen möglichen Einfluss auf das Produkt, bei Werten > 80 wird die Akzeptanz deutlich beeinflusst; das Produkt sollte in dieser Eigenschaft dringend modifiziert werden (Busch-Stockfisch, 2008).

Die Probendarreichung erfolgte bei allen Methoden in der gleichen Weise. Die Biere wurden eine halbe Stunde vor der Durchführung von den Kegs entnommen und auf $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ gehalten. Von den Proben wurden anschließend jeweils 100 ml in einen 250 ml durchsichtigen Plastikbecher überführt. Dabei wurde darauf geachtet, die Biere schräg einzufüllen, um den CO_2 - Verlust zu minimieren. Das entweichende Gas würde sich sonst im Kopfraum des Bechers sammeln und die Aromawahrnehmung hemmen. Nach dem Einfüllen ist zudem eine 30-sekündige Wartezeit zu berücksichtigen, damit sich dennoch herausgelöste CO_2 - Anteile verflüchtigen konnten. Anschließend wurde dem Prüfer die Probenreihe auf einem Tablett mit Wasser und Knäckebrot zur Neutralisierung gereicht. Brot ist bei Bier besonders wichtig, da damit die Bitterstoffe besser neutralisiert werden. Die Proben wurden zudem blind und randomisiert gereicht, indem jeder Probe eine zufällige dreistellige Nummer verliehen wurde (Busch-Stockfisch, 2014). In einer ersten Periode erfolgte die sensorische Analyse zunächst anhand einer Befragung zum Empfinden gegenüber Bierprodukten mit anschließender Beliebtheitsprüfung und Beantwortung der JAR-Fragen. Daraufhin wurde in einem zweiten Lauf die Einfach beschreibende Prüfung durchgeführt, indem den Prüfern die gleiche Produktreihe erneut, jedoch mit neuer Codierung und Anordnung, dargereicht wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Berechnung der für die Rezepturen benötigten Mengen

4.1.1 Berechnung der Malzzusammensetzung

Vor dem eigentlichen Brauen war es zunächst von großer Wichtigkeit, die benötigte Menge von dem Malz zu ermitteln. Denn schon hierbei wurde die für die Gärung ausschlaggebende und letztendlich für die charakteristischen Eigenschaften des gereiften Bieres verantwortliche Stammwürze indirekt eingestellt. Somit waren im Brauprozess nur noch geringe Veränderungen für die exakte Einstellung der Stammwürze nötig.

Für die Berechnung der Malzzusammensetzung wurde dafür die fünfstufige Schrittfolge von Bürkle (2020) befolgt, welche in der Anlage 3 ausführlich dargestellt ist. Die ermittelten Mengen an Malz sind den Rezepturen der Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

4.1.2 Kalkulation der Hopfenmenge und Berechnung der Bitterkeit

Neben der Malzzusammensetzung war es ebenso von großer Bedeutung, die jeweilig benötigten Hopfenmengen für die einzelnen Sude zu berechnen. Nur so konnte sichergestellt werden, dass die Sude 1 - 5, 6 - 7 und 8 - 9 jeweils die gleiche Bittere besaßen und dadurch eine optimale Vergleichbarkeit bezüglich der veränderten Produkteigenschaften und Prozessbedingungen möglich war.

Die genaue Ermittlung der Hopfenmengen erfolgte mit Hilfe der von Wolf (2020) beschriebenen Gleichung von Tinseth und der gewünschten Bitterkraft, welche vor dem Brauvorgang festgelegt wurde. Die tatsächlich im Bier vorhandene Bitterkeit kann erst nach dem Brauprozess bestimmt werden, da hierfür die Zeit der Nachisomerisierung und neben der Gleichung von Tinseth zusätzlich der integrierte Isomerisierungsgeschwindigkeitsfaktor (IGF) zu berücksichtigen sind. Sämtliche Berechnungen dafür sind ebenfalls der Anlage 3 zu entnehmen. Die einzelnen Werte sind in der folgenden Tabelle 6 zusammengefasst; die benötigten Mengen an Hopfen sind in den Rezepturtabellen 1 und 2 aufgeführt.

Tabelle 6: Wichtige Parameter und Werte zur Berechnung der Bitterkeit

	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
gewünschte Bittere [IBU]	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	< 60,00	< 60,00	20,00	20,00
theoretische Bittere nach Brauen [IBU]	31,47	31,47	31,47	31,47	31,47	58,03	58,15	19,74	19,63
IGF	0,26	0,28	0,35	0,34	0,28	0,11	0,11	0,11	0,11
zusätzliche Kochzeit	7 min	8 min	8 min	7 min	7 min	1 min	1 min	1 min	1 min
tatsächliche Bittere mit IGF [IBU]	33,38	33,61	33,61	33,38	33,38	58,91	58,75	20,68	20,57

4.2 Ablauf des Brauprozesses unter Berücksichtigung der Prozessparameter

4.2.1 Erste Versuchsreihe Sud 1 - 5 - Algenzugabe zu verschiedenen Prozesszeitpunkten

Bevor der Brauprozess gestartet wurde, ist die Brauanlage zunächst gereinigt und desinfiziert worden. Weiterhin wurde die benötigte Menge an Malz auf Stufe 2 geschrotet, der Feinanteil mit einem Sieb der Maschenweite 600 µm teilweise entfernt (2 - 3 Sekunden pro Siebcharge sieben) und für jeden Sud der entsprechende Anteil (siehe Tabelle 1) abgewogen. Der Brauvorgang konnte nachfolgend gestartet werden, indem das entionisierte Wasser mit 0,0 °dH (Hauptguss) in die Maischpfanne gegeben und auf die Einmischtemperatur von 50,0 °C erhitzt wurde. Damit ein optimaler Prozessablauf gewährleistet war und mögliche Fehler schnell erkannt und behoben werden konnten, wurden stetig Messungen der Temperatur, des pH-Wertes, des Volumens, der Zeit und der Stammwürze dokumentiert, welche in der folgenden Tabelle 7 für die Sude 1 - 5 zusammengefasst sind.

Tabelle 7: Überwachung des Prozessverlaufes bis zum Gärbeginn von Sud 1 - 5

Parameter	Sud 1 - Ref.	Sud 2 - Einm.	Sud 3 - NaGä	Sud 4 - WüKo	Sud 5 - WüKü
Braudatum	15.10.19	16.10.19	16.10.19	17.10.19	18.10.19
Maischen					
Hauptguss (0,0 °dH)	20,01				
pH-Wert Maische	5,56	6,00	5,63	5,84	5,71
Iodprobe nach 3. Rast	Gelbfärbung				
Volumen Maische nach Rasten	22,81	23,31	23,21	23,01	23,01
pH-Wert nach Rasten	5,65	5,99	5,67	5,66	5,66
Gesamtdauer Maischen	150 min	128 min	127 min	124 min	122 min
Läutern					
3 Nachgüsse (17,0 °dH)	6,01	6,21	6,01	6,51	6,21
Endvolumen Vorderwürze	23,01	23,31	23,01	23,21	23,01
pH-Wert Vorderwürze	5,69	6,00	5,72	5,74	5,72
Stammwürze Vorderwürze	14,0 °P	15,5 °P	14,0 °P	14,5 °P	14,5 °P
Gesamtdauer Läutern	53 min	78 min	42 min	45 min	49 min
Würzekochen					
maximale Kochtemperatur	98,1 °C	98,1 °C	98,1 °C	98,2 °C	98,1 °C
Dauer bis zum Whirlpool	3 min				
Gesamtdauer Kochprozess mit Aufheizen	85 min	84 min	82 min	82 min	81 min

Whirlpool					
Temperatur vor Zugabe zum Whirlpool	98,0 °C	98,0 °C	97,8 °C	98,1 °C	98,1 °C
Ruhezeit im Whirlpool	25 min	25 min	19 min	18 min	20 min
Nachisomerisierung	28 min	28 min	22 min	21 min	23 min
Volumen Würze	14,5 l	15,0 l	17,0 l	16,0 l	16,0 l
pH-Wert Würze	5,52	5,92	5,63	6,16	5,60
Stammwürze Würze	16,5 °P	16,0 °P	14,5 °P	15,0 °P	15,5 °P
Würzetemperatur vor Kühlung	56,2 °C	58,0 °C	65,2 °C	64,8 °C	58,8 °C
Würzekühlen					
3 Nachgüsse (0,0 °dH)	4,5 l	4,5 l	2,5 l	3,5 l	3,5 l
Stammwürze (Tag 0)	12,0 °P	11,8 °P	12,0 °P	11,8 °P	12,0 °P
pH-Wert Würze vor Anstellen	5,56	5,96	5,64	6,19	6,25
Ausschlagvolumen	19,0 l	19,5 l	19,5 l	19,5 l	19,5 l
Temperatur Algenzugabe	-	50,0 °C	19,0 °C	98,1 °C	39,9 °C
Gesamtdauer Kühlen vor Anstellen	80 min	67 min	66 min	129 min	65 min
Anstellen					
Anstelltemperatur	22,0 °C	20,2 °C	20,0 °C	21,0 °C	19,8 °C
Begasung	10 min				
Gesamtdauer Brauprozess	419 min	410 min	358 min	426 min	369 min

Nach ca. 20 min - 21 min wurde die Einmischtemperatur erreicht und das Malz konnte dem Hauptguss zugegeben werden. Speziell bei Sud 2 - Einm. wurde in diesem Abschnitt auch die benötigte Menge an *Spirulina* von 0,237 kg (5,0 % der Gesamtschüttung) zudosiert. Das Algenpulver blieb dabei zunächst auf der Schaumoberfläche der Maische und wurde bei laufendem Rührer sofort an die Innenwand der Maischpfanne gedrückt. Somit bildete sich ein breiter Film an der Innenwand, welcher immer wieder manuell abgestrichen werden musste, damit es letztendlich in die Maische gelöst wird. Bei den weiteren Suden wurde deshalb der Rührer vor der Zugabe des *Spirulina* - Pulvers ausgeschaltet und manuell eingerührt, welches eine verbesserte Löslichkeit zur Folge hatte. Auffällig war weiterhin, dass der pH-Wert des 2. Sudes im Vergleich zu den anderen (5,56 - 5,84) mit 6,00 etwas höher lag. Das Maischen verlief fortlaufend ohne weitere Probleme, sodass dieser Vorgang nach ca. 120 min - 150 min beendet war und anschließend geläutert werden konnte. Beim Läutern traten einzig bei Sud 2, in welchem *Spirulina* schon enthalten war, Schwierigkeiten auf, weshalb der Vorgang bei diesem Sud mit 78 min im Vergleich ca. 20 min - 30 min länger dauerte. Die Nachgüsse (17,0 °dH) wurden entsprechend ausgewählt, sodass vor dem Kochen jeweils ein Vorderwürzvolumen von 23,0 l eingestellt war. Bei Sud 2 und 4 wurden dabei mit 23,3 l und

23,2 l etwas höhere Volumina erreicht. Der pH-Wert der Sude änderte sich nur minimal. Erstmals wurde in diesem Prozessschritt auch die Stammwürze bestimmt, welche jeweils zwischen 14,0 °P und 14,5 °P lag. Ausnahme war wiederum Sud 2, welcher eine etwas höhere Stammwürze von 15,5 °P aufwies. Nach einer ca. 20-minütigen Aufheizzeit wurde der erste Hopfen zugegeben. Dafür und für die jeweils weiteren Gaben wurde das Rührwerk für ca. 2 min ausgeschaltet. Auffällig war, dass die Kochtemperatur einen Wert von 98,2 °C nicht überschreiten konnte. Unmittelbar nach dem Kochende wurde Sud 4 - WüKo die gleiche Menge an *Spirulina* (0,237 kg) zugegeben. Nach einer bei allen Suden einheitlichen Wartezeit von 3 min wurde die Würze in den Whirlpool überführt. Dabei waren die Ruhezeiten aller fünf Sude mit Werten zwischen 19 min und 25 min relativ nahe beieinander, sodass auch die Zeiten der Nachisomerisierung (21 min - 28 min) nur gering voneinander abwichen. Der pH-Wert verringerte sich jeweils im Vergleich zu den Vorwerten leicht, mit Ausnahme von Sud 4, welcher nach dem Whirlpool einen erhöhten Wert von 6,12 aufwies. Die Stammwürzen erhöhten sich ebenso gering (14,5 °P - 16,5 °P), während die Volumina deutlich abnahmen (14,5 l - 17,0 l). Im darauffolgenden Prozessabschnitt wurde die Temperatur der Würze auf die Anstelltemperatur der Hefe (ca. 20,0 °C) heruntergekühlt und die Stammwürze durch weitere Nachgüsse (0,0 °dH) auf 12,0 °P eingestellt. Dabei erreichte der Referenzsud 1 (ohne Algen) nach dem Einstellen der angestrebten Stammwürze ein Ausschlagvolumen von 19,0 l. Sud 2 - 5 besaßen jeweils identische Volumina von 19,5 l. Die Stammwürze bei Sud 2 und 4 war mit je 11,8 °P etwas geringer. Zudem erfolgte nun auch bei Sud 5 - WüKü die äquivalente Zugabe von *Spirulina* (0,237 kg), sobald die Temperatur der Würze 40,0 °C unterschritt. Der pH-Wert der Sude stieg dabei etwas an und zeigte Werte zwischen 5,52 und 5,92. Sud 5 war in diesem Parameter besonders auffällig, da sich der pH-Wert mit 6,25 am deutlichsten erhöhte. Das Abkühlen dauerte mit Zeiten zwischen 65 min und 80 min sehr lange. Bei Sud 4 war dieser Vorgang mit 130 min zeitaufwendiger. Nach Erreichen der Anstelltemperatur (bei diesen Suden zwischen 19,8 °C und 22,0 °C) und Zugabe der rehydrierten Trockenhefe wurden alle Sude abgefüllt, für 10 min belüftet, verschlossen und schlussendlich bei ca. 18,0 °C - 20,0 °C gelagert. Die weitere Überwachung der Gärung und Reifung ist der Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Überwachung des Gärverlaufes und der Reifung von Sud 1 - 5

Parameter	Sud 1 - Ref.	Sud 2 - Einm.	Sud 3 - NaGä	Sud 4 - WüKo	Sud 5 - WüKü
Hauptgärung zwischen 18,0 °C und 20,0 °C					
Stammwürze nach Tag 1	9,5 °P	10,5 °P	11,5 °P	9,5 °P	9,5 °P
Stammwürze nach Tag 2	6,0 °P	4,6 °P	7,5 °P	3,5 °P	4,0 °P
Stammwürze nach Tag 3	5,0 °P	3,0 °P	5,5 °P	3,0 °P	3,5 °P
Stammwürze nach Tag 4	4,0 °P	2,5 °P	4,5 °P	2,5 °P	3,0 °P
Stammwürze nach Tag 5	3,5 °P	2,5 °P	3,7 °P	2,3 °P	3,0 °P
Stammwürze nach Tag 6	3,0 °P	2,5 °P	3,0 °P	2,3 °P	3,0 °P
Stammwürze nach Tag 7	3,0 °P	-	2,5 °P	2,3 °P	-
pH-Wert nach der Hauptgärung	4,12	4,51	4,37	4,86	5,17
Temperatur nach der Hauptgärung	19,4 °C	19,8 °C	19,2 °C	19,3 °C	19,4 °C
Nachgärung zwischen 18,0 °C und 20,0 °C					
scheinbarer Restextrakt	2,5 °P	2,5 °P	2,5 °P	2,5 °P	3,0 °P
Endvergärungsgrad	75,0 %	78,8 %	79,2 %	80,5 %	75,0 %
pH-Wert nach 7 Tagen Nachgärung	4,35	4,68	4,38	4,90	5,24
Stammwürze nach 7 Tagen Nachgärung	2,7 °P	2,7 °P	2,7 °P	2,7 °P	3,2 °P
Reifung zwischen 5,0 °C und 6,0 °C					
pH-Wert nach der Reifung	4,54	4,89	5,29	5,10	5,47
Stammwürze nach 28 Tagen Reifung	2,5 °P	2,7 °P	2,7 °P	2,5 °P	3,0 °P
Gesamtdauer bis Verkostung	29 Tage	29 Tage	28 Tage	28 Tage	28 Tage

Für die Überwachung der Hauptgärung wurde täglich die Stammwürze ermittelt. Die aufgelisteten Werte zeigen dabei im Verlauf der Gärung eine exponentielle Abnahme der Stammwürze bei jedem Sud. Nach ca. vier Tagen war die Stammwürze so weit gesunken, dass an den darauffolgenden Tagen keine wesentlichen Veränderungen mehr auftraten. Auffällig war Sud 3, welcher im Vergleich immer etwas erhöhte Stammwürzen aufwies. Die Sude 2, 4 und 5, in denen *Spirulina* enthalten ist, zeigen außerdem eine viel schnellere Abnahme der Stammwürze als die algenfreien Sude 1 und 3. Somit nahm diese nach dem zweiten Tag der Hauptgärung bei den algenfreien Suden Werte zwischen 6,5 °P und 7,0 °P an, während die Stammwürzen der Sude mit *Spirulina* im Bereich 3,5 °P - 4,5 °P lagen. Nach der Nachgärung bzw. Reifung sind die Stammwürzen mit 2,5 °P - 2,7 °P bei allen Suden wieder relativ identisch gewesen. Lediglich Sud 5 fiel dabei mit 3,0 °P etwas aus der Reihe. Während der Hauptgärung waren alle Sude an einer Spundanlage angeschlossen, um den überschüssigen Druck zu entfernen. Beim Anschluss des letzten Kegs schäumte das Jungbier der anderen schon angeschlossen vier Kegs über und floss durch den am Keg befestigten Schlauch in die

Spundlage. Da die Gefahr der Kreuzkontamination bestand, wurden die Kegs umgehend von der Spundanlage getrennt. Von den Suden 1 - 4 wurde der Druck vollständig manuell abgelassen. Die Kegs wurden geöffnet und jeweils 1,0 l Jungbier entfernt, um ein weiteres Überlaufen zu unterbinden. Die Kegs wurden nachfolgend erneut an die Spundanlage angeschlossen und täglich ohne weitere Komplikationen überwacht. Das Umschlauchen verlief bei allen Suden ohne Probleme. Auffällig war lediglich, dass die Umschlauchverluste bei den Suden mit *Spirulina* (ca. 1,0 l) im Vergleich etwa doppelt so hoch waren. Die Sude 2 und 5 wurden zudem schon nach sechs Tagen umgeschlaucht, da sich die Stammwürze innerhalb von drei Tagen nicht mehr veränderte. Die umgeschlauchten Jungbiere wurden anschließend für weitere sieben Tage bei gleicher Temperatur gelagert. Zuvor wurde bei allen Suden durch Zugabe von CO₂ ein einheitlicher Druck von ca. 0,7 bar eingestellt. Nach der Nachgärung wurde ein zweites Umschlauchen durchgeführt. In diesem Abschnitt erfolgte schließlich die Algenzugabe bei Sud 3 - NaGä, indem die benötigte Menge in den neuen Keg vorgelegt und der Keg nach dem Umfüllen kräftig geschüttelt wurde. Da zwischen den Umschlauchvorgängen mehrere Liter verloren gegangen waren, musste folglich eine geringere Menge von 0,177 kg *Spirulina* (nachzuvollziehen in Anlage 3) zugegeben werden, um den prozentualen Anteil der Algen im Bier (ca. 1,22 %) nicht zu verändern. Anschließend wurde der Druck im Keg jeweils erneut auf 0,7 bar eingestellt. Nach weiteren vier Wochen bei ca. 5,0 °C - 6,0 °C war die Reifung beendet und die Biere wurden sofort verkostet. Bei Sud 3 mussten dafür zunächst noch die sedimentierten Partikel des Algenpulvers abgeschlaucht und verworfen werden. Zum pH-Wert ist zu erwähnen, dass dieser bei allen Suden während der Hauptgärung sehr stark abgenommen hat und Werte zwischen 4,12 und 4,86 ermittelt wurden. Dabei lagen die pH-Werte der Sude 2 und 4 mit Algenzusatz im oberen, die der anderen beiden ohne Algen im unteren Bereich. Der pH-Wert von Sud 5 - WüKü war mit 5,17 am höchsten. Nach der Reifung konnte jeweils eine geringe Erhöhung des pH-Wertes festgestellt werden. Der pH-Wert bei Sud 3 stieg dabei abweichend sehr stark auf 5,29 an.

4.2.2 Zweite Versuchsreihe Sud 6 - 7 (India Pale Ale) und Sud 8 - 9 (Brut India Pale Ale)

Auch für diese Versuchsreihe erfolgte vor Braubeginn zunächst die Reinigung bzw. Desinfektion der Anlage und das Schrotten des Malzes. Das Aussieben des Feinanteils wurde bei den Brut IPAs 8 und 9 jedoch mit einem neuen Sieb der Maschenweite 800 µm so lange durchgeführt, bis kaum noch Feinstaub abfiel. Neben dem benötigten Malz wurde weiterhin der 10 %-ige Anteil der Reisflocken (siehe Tabelle 2) für die Brut IPAs von Sud 8 und 9 bereitgestellt. Nach der Zugabe des Hauptgusses (0,0 °dH) und Erwärmen auf eine

Einmischtemperatur von 50,0 °C wurde das Malz, bei Sud 8 und 9 zusätzlich die Reisflocken, zugegeben. Fortlaufend wurden auch hier stetig die Prozessparameter für eine optimale Überwachung ermittelt und in der untenstehenden Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Überwachung des Prozessverlaufes bis zum Gärbeginn von Sud 6 - 9

Parameter	Sud 6 - IPA fru.	Sud 7 - IPA wär.	Sud 8 - Brut fru.	Sud 9 - Brut wär.
Braudatum	20.01.20	21.01.20	22.01.20	23.01.20
Maischen				
Hauptguss (0,0 °dH)	20,0 l			
pH-Wert Maische	5,96	5,97	6,02	6,01
Iodprobe nach 3. Rast	Gelbfärbung			
Menge Glucoamylase + Wasser (0,0 °dH)	-		9,0 ml + 1,0 l	
Volumen Maische nach der 3. + 4. Rast	22,5 l	22,8 l	23,8 l	24,2 l
pH-Wert nach Rasten	5,82	5,87	5,90	5,86
Gesamtdauer Maischen	126 min	125 min	192 min	200 min
Läutern				
3 Nachgüsse (17,0 °dH)	7,2 l	7,0 l	6,5 l	6,0 l
Endvolumen Vorderwürze	23,0 l	23,0 l	23,0 l	24,0 l
pH-Wert Vorderwürze	5,89	5,89	5,91	5,91
Stammwürze Vorderwürze	14,5 °P	14,8 °P	14,8 °P	14,8 °P
Gesamtdauer Läutern	40 min	56 min	52 min	43 min
Würzekochen				
maximale Kochtemperatur	98,2 °C	98,2 °C	98,2 °C	98,2 °C
Abkühlzeit auf 80,0 °C / Nachisomerisierung	9 min	7 min	9 min	8 min
Gesamtdauer Kochprozess mit Aufheizen	90 min	85 min	88 min	85 min
Whirlpool				
Temperatur vor Zugabe zum Whirlpool	79,1 °C	79,8 °C	78,9 °C	79,2 °C
Ruhezeit im Whirlpool	22 min	20 min	22 min	21 min
Volumen Würze	16,0 l	17,0 l	16,5 l	17,2 l
pH-Wert Würze	5,69	5,68	5,76	5,76
Stammwürze Würze	14,5 °P	15,0 °P	15,5 °P	15,2 °P
Würzekühlen				
3 Nachgüsse (0,0 °dH)	2,0 l	2,5 l	3,0 l	2,3 l
Stammwürze (Tag 0)	12,8 °P	13,2 °P	13,2 °P	13,3 °P
pH-Wert Würze vor dem Anstellen	6,29	6,28	6,32	6,30
Ausschlagvolumen	18,0 l	19,5 l	19,5 l	19,5 l
Temperatur Algenzugabe	39,7 °C	37,8 °C	39,1 °C	39,1 °C
Gesamtdauer Kühlen vor Anstellen	63 min	70 min	67 min	73 min

Anstellen				
Anstelltemperatur	19,8 °C	19,9 °C	19,9 °C	20,0 °C
Begasung	10 min			
Gesamtdauer Brauprozess	376 min	378 min	435 min	442 min

Nach Erreichen der Einmischtemperatur und Zugabe von Malz bzw. Reisflocken wurde zunächst der pH-Wert gemessen. Dieser Wert war mit ca. 6,00 bei allen Suden nahezu identisch. Mit dem Ende der drei Rasten war die Iodprobe bei allen Suden positiv, d.h. keine Blaufärbung der Maische. Für die Sude 8 und 9 wurde zusätzlich die 60-minütige vierte Rast durchgeführt, sobald 9,0 ml des Enzyms Glucoamylase der Maische zugegeben wurden. Dabei wurde die Enzymmenge mit ca. 1,0 l entionisiertem Wasser (ca. 20,0 °C) verdünnt. Das Maischen verlief generell ohne Probleme, sodass der Vorgang bei Sud 6 - 7 nach ca. 125 min und bei Sud 8 - 9 ca. 70 min später beendet war. Auch die pH-Werte am Ende des Maischens zeigten keine Auffälligkeiten und lagen in einem sehr engen Bereich zwischen 5,82 und 5,90. Das anschließende Läutern verlief ebenfalls reibungslos und war nach spätestens 56 min bei allen Suden beendet. Die Nachgüsse (17,0 °dH) wurden so ausgewählt, dass auch in dieser Versuchsreihe einheitliche Vorderwürzvolumen von 23,0 l erreicht werden konnten. Bis auf Sud 9, welcher ein Volumen von 24,0 l aufwies, konnte diese Menge bei jedem Versuch eingestellt werden. Die pH-Werte änderten sich in diesem Verlauf kaum. Nach der Volumeneinstellung wurde die Stammwürze bestimmt, welche bei allen Suden relativ identische Werte im Bereich 14,5 °P - 14,8 °P hervorbrachte. Nach einer ca. 18- bis 21-minütigen Aufheizzeit war die maximale Kochtemperatur von 98,2 °C erreicht. Jetzt konnte die Kochzeit bei Sud 8 bzw. 9 automatisch und bei Sud 6 bzw. 7 mit der ersten Hopfenzugabe gestartet werden. Während der Hopfengabe wurde auch hier wieder das Rührwerk für ca. 2 min ausgeschaltet. Mit dem Ende der 60-minütigen Kochzeit wurde die Würze für die anschließende Whirlpoolhopfung sofort auf 80,0 °C heruntergekühlt. Dieser Vorgang verlief bei allen Suden mit 7 min - 9 min relativ zeitgleich und ist mit der Zeit der Nachisomerisierung gleichzusetzen. Der Whirlpool bereitete keine Komplikationen, welches die nahezu identischen Ruhezeiten zwischen 20 min und 22 min zeigen. Lediglich bei Sud 6 wurde die Würze relativ schnell wieder trüb, weshalb das Überfüllen der klaren Würze frühzeitig abgebrochen werden musste und im Vergleich zu den anderen Suden mit 16,0 l etwas weniger Würze bereitstand. Die anschließende pH-Wert - Messung zeigte nunmehr zwischen 5,68 und 5,76 etwas geringe Werte als noch vor dem Kochbeginn auf. Die Stammwürzen hingegen wiesen bis auf Sud 6 leicht erhöhte Werte zwischen 15,0 °P und 15,5 °P auf. Das nachfolgende Herunterkühlen der Würzen dauerte auch in dieser Versuchsreihe mit ca. 63 min - 73 min sehr lange. Im Unterschied zur ersten

Versuchsreihe, in der *Spirulina* zu unterschiedlichen Zeitpunkten zudosiert worden war, wurde in diesem Prozessabschnitt allen Suden zur gleichen Zeit die entsprechende Menge an *Spirulina* von 0,237 kg zugeführt. Auch hierbei musste die Temperatur der Würze zunächst die 40,0 °C Grenze unterschreiten. Bei Sud 6 - IPA fru. wurde jedoch etwas weniger Algenpulver (0,219 kg) zugegeben, da bei einem Ausschlagvolumen von 18,0 l die angestrebte Stammwürze von 13,0 °P bereits unterschritten war. Weitere Nachgüsse hätten den Sud zu stark von den anderen abweichen lassen, weshalb daraufhin entschieden wurde, die Algenmenge dem niedrigeren Volumen anzupassen. Die restlichen Sude konnten auf ein zur ersten Versuchsreihe äquivalentes Ausschlagvolumen von 19,5 l eingestellt werden, sodass der Algenanteil letztendlich bei allen Bieren (Sud 2 - 9) identisch war. Zudem konnte die angestrebte Stammwürze von 13,0 °P mit Werten von 13,2 °P und 13,3 °P annähernd erreicht werden. Auffällig war der pH-Wert, welcher nach dem Kühlprozess bei allen Suden nun sichtbar höher lag (ca. 6,30). Nachdem die Anstelltemperatur von ca. 20,0 °C eingestellt war, wurde die mit steriler Würze rehydrierte Hefe zugegeben, die Sude in Kegs abgefüllt, für 10 min belüftet, verschlossen und zwischen 18,0 °C und 20,0 °C gelagert. Bei der Abfüllung wurde pro Sud lediglich eine Menge von 15,0 l - 16,0 l überführt. Damit sollte das Übersäumen in die Spundlage (analog der ersten Versuchsreihe) verhindert werden.

Der weitere Verlauf der Gärung bis zum gereiften Bier ist auch hierbei der untenstehenden Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Überwachung des Gärverlaufes und der Reifung von Sud 6 - 9

Parameter	Sud 6 - IPA fru.	Sud 7 - IPA wü.	Sud 8 - Brut fru.	Sud 9 - Brut wü.
Hauptgärung zwischen 18,0 °C und 20,0 °C				
Stammwürze nach Tag 1	12,5 °P	11,5 °P	11,5 °P	12,5 °P
Stammwürze nach Tag 2	6,5 °P	6,0 °P	6,5 °P	-
Stammwürze nach Tag 3	4,0 °P	4,0 °P	-	-
Stammwürze nach Tag 4	3,5 °P	-	-	2,8 °P
Stammwürze nach Tag 5	-	-	2,5 °P	2,5 °P
Stammwürze nach Tag 6	-	3,2 °P	2,5 °P	2,5 °P
Stammwürze nach Tag 7	3,0 °P	3,2 °P	2,5 °P	2,3 °P
pH-Wert nach der Hauptgärung	4,99	4,84	4,74	4,67
Temperatur nach der Hauptgärung	19,6 °C	19,4 °C	19,5 °C	19,2 °C
Nachgärung zwischen 18,0 °C und 20,0 °C				
scheinbarer Restextrakt	3,0 °P	3,2 °P	2,8 °P	2,5 °P
Endvergärungsgrad	76,6 %	75,8 %	81,1 %	82,7 %
pH-Wert nach 7 Tagen Nachgärung	4,96	4,91	4,91	4,89
Stammwürze nach 7 Tagen Nachgärung	2,8 °P	3,0 °P	2,3 °P	2,5 °P

Reifung zwischen 5,0 °C und 6,0 °C				
pH-Wert nach der Reifung	4,96	4,86	4,96	4,84
Stammwürze nach 28 Tagen Reifung	3,2 °P	3,4 °P	2,3 °P	2,5 °P
Gesamtdauer Reifung bis Verkostung	36 Tage	35 Tage	34 Tage	33 Tage

Für die Überwachung der Hauptgärung wurde analog täglich (bis auf Samstag und Sonntag) die Stammwürze bestimmt. Bei jedem Sud ist eine gleichmäßige exponentielle Abnahme zu erkennen, wobei sich schon nach zwei Tagen Werte im Bereich 6,0 °P - 6,5 °P einstellten. Nach ca. vier Tagen war die Stammwürze so weit gesunken, dass kaum bzw. nur noch geringe Veränderungen gemessen wurden. Nach dem Ende der Hauptgärung betrug die Stammwürze der Sude 6 und 7 jeweils 3,0 °P bzw. 3,2 °P. Die Brut IPAs 8 und 9 zeigten im Vergleich schon ab Tag fünf geringere Werte und wiesen letztendlich Stammwürzen im Bereich 2,5 °P - 2,3 °P auf. Während der Hauptgärung waren die vier Sude an die Spundanlage angeschlossen. Das Jungbier lief jedoch nicht, wie in der ersten Versuchsreihe, in die Schläuche über. Das erste Umschlauchen verlief bei allen Suden ohne weitere Schwierigkeiten. Jedoch waren die Restpartikel des Algenpulvers nicht vollständig sedimentiert, sodass beim Umschlauchen kein sichtbarer Übergang zwischen den Trubstoffen und dem eigentlichen Jungbier gefunden werden konnte. Der Verlust war deshalb mit ca. 2,5 l - 3,0 l sehr viel größer als bei den Suden 1 - 5. Vor dem Umschlauchen wurde bei den Suden 8 und 9 jeweils der Hopfen für das Kaltstopfen in den neuen Keglose vorgelegt. Die Kegs waren bei allen Suden nach dem Prozess nahezu drucklos, welches nicht weiter verändert wurde. Nach einer weiteren siebentägigen Nachgärphase bei gleicher Temperatur erfolgte das zweite Umschlauchen. Während bei Sud 6 und 7 keine Probleme auffielen, mussten die anderen beiden Kegs geöffnet und das Bier manuell umgefüllt werden, da die sedimentierten Hopfenreste das Auslaufventil verstopft hatten. Anschließend wurde der Druck einheitlich auf 0,7 bar (Sud 6 und 7) bzw. 1,3 bar (Sud 8 und 9) eingestellt und die Kegs bei ca. 5,0 °C - 6,0 °C für ca. vier Wochen gelagert. Eine weitere Woche später wurden die Biere verkostet. Der pH-Wert sank ebenfalls sehr deutlich. Dazu wurden bei den Suden 6 und 7 Werte von 4,99 und 4,84 ermittelt. Die beiden Brut IPAs zeigten mit 4,74 und 4,67 einen etwas geringeren pH-Wert auf. Nach der Nachgärung und auch Reifung konnten diesbezüglich bei den Suden 6 und 7 kaum Veränderungen festgestellt werden. Der pH-Wert der Brut IPAs stieg auf ca. 4,80 - 4,90 an und lag damit schlussendlich im Bereich der anderen beiden Sude. Bei der Stammwürze waren diesbezüglich keine Auffälligkeiten erkennbar.

4.3 Physikalische und chemische Analysenergebnisse

4.3.1 Bestimmung der Glucosekonzentration der Brut IPAs 8 und 9 zwischen den Rasten

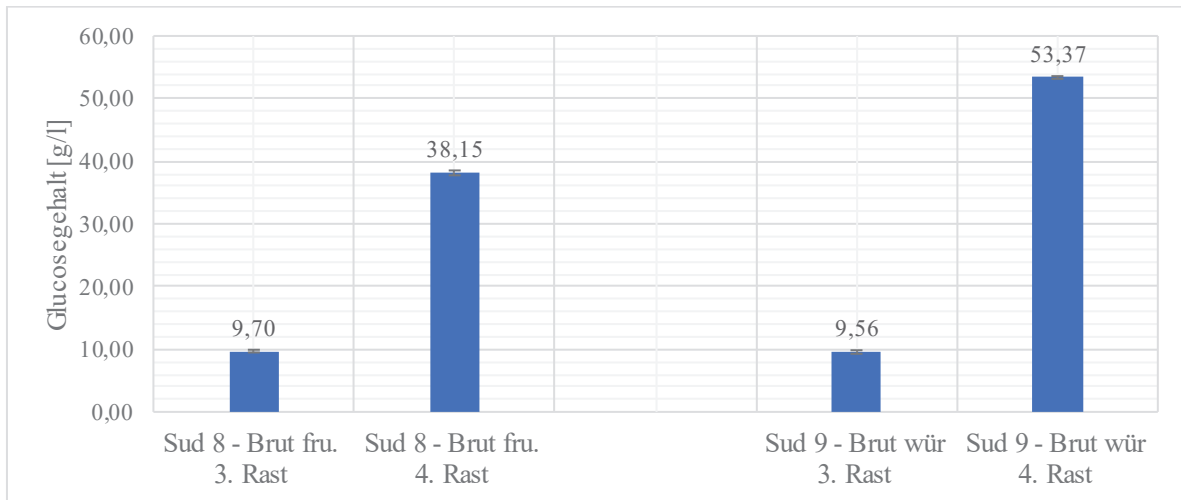


Abbildung 4: Veränderung der Glucosekonzentration der beiden Brut IPA's (Sud 8 und 9) zwischen der 3. und 4. Rast

Abbildung 4 zeigt die Veränderung der Konzentration von Glucose nach der zusätzlichen vierten Rast. Zunächst ist zu erkennen, dass sich die beiden Ausgangsgehalte nach der dritten Rast mit 9,70 g/l und 9,56 g/l kaum voneinander unterscheiden. Nach der vierten Rast war bei beiden Suden eine deutlich signifikante Erhöhung des Glucosegehaltes eingetreten. Dabei enthält Sud 9 - Brut wür. mit 53,37 g/l im Vergleich die signifikant größere Konzentration. Der Gehalt konnte mehr als verfünffacht werden. Bei Sud 8 - Brut fru. wurde der Gehalt durch die zusätzliche Rast um den Faktor vier erhöht und erreicht einen Wert von 38,15 g/l.

4.3.2 Bestimmung der reduzierenden Zucker

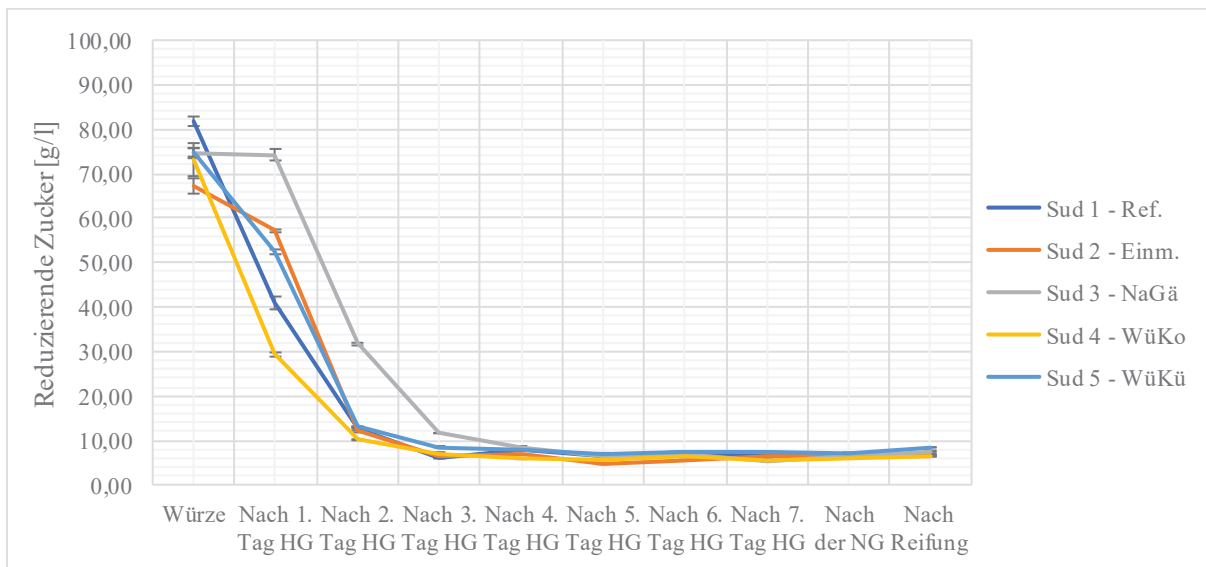


Abbildung 5: Darstellung der Konzentrationen an reduzierenden Zuckern zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 1 - 5

Die Abbildung 5 zeigt die Veränderung der reduzierenden Zucker während der Gärung bis zum gereiften Bier und vergleicht dabei die Sude 1 - 5 der ersten Versuchsreihe. Bei jedem Sud ist hierbei eine signifikant exponentielle Abnahme der reduzierenden Zucker zu erkennen. Aus den Graphen können zwei Bereiche unterteilt werden. Zum einen fällt die Phase von Gärbeginn bis zum dritten Hauptgärungstag auf, in der die Werte relativ schnell um ca. 60,00 g/l - 70,00 g/l abnehmen. Sud 1 - Ref. zeigt dabei mit 81,76 g/l den signifikant größten Ausgangswert. Die Abnahme bei Sud 1 und 4 erfolgt relativ parallel, wobei die Konzentration der reduzierenden Zucker von Sud 4 (29,28 g/l) nach dem ersten Tag signifikant geringer ist als bei Sud 1 mit 40,89 g/l. Der Abstieg der Graphen nach dem ersten Hauptgärungstag verläuft bei den Suden 2 und 5 zunächst etwas flacher. Nach dem zweiten und dritten Tag ist die Konzentration aller Sude relativ dicht auf ca. 6,00 g/l - 12,00 g/l gesunken. Ein signifikanter Unterschied besteht kaum noch. In dieser Phase ist vor allem Sud 3 - NaGä auffällig, welcher bis zum dritten Hauptgärungstag abweichend stets die signifikant größten Werte besitzt. In der zweiten Phase werden zum anderen die Messwerte des vierten Hauptgärungstages bis zum Ende der Reifung betrachtet. Hierbei fällt deutlich auf, dass sich bei allen Suden schon ab dem fünften Tag nahezu konstante Werte einstellen, welche sich voneinander nicht signifikant unterscheiden lassen. Auch Sud 3 ist nach dem fünften Tag im Konzentrationsbereich der anderen Sude. Schlussendlich wurden die reduzierenden Zucker soweit abgebaut, dass alle Sude nach der Reifung Konzentrationen zwischen 6,00 g/l und 9,00 g/l aufweisen.

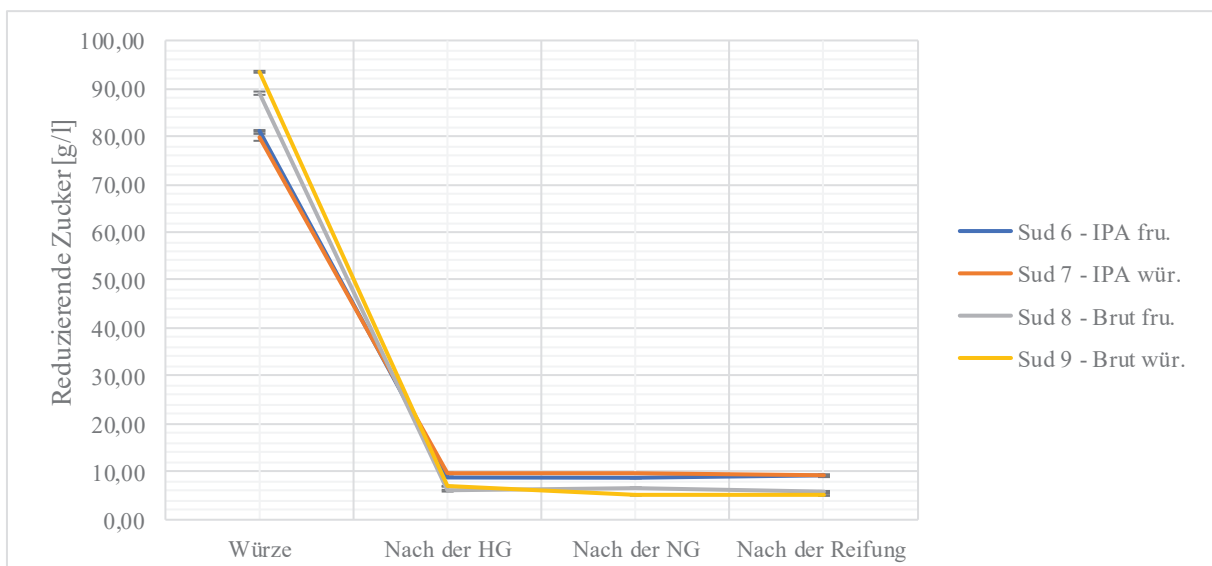


Abbildung 6: Darstellung der Konzentrationen an reduzierenden Zuckern zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 6 - 9

Abbildung 6 zeigt nunmehr die Veränderung der reduzierenden Zucker von den Suden der zweiten Versuchsreihe. Hierbei weisen die Brut IPAs 8 und 9 mit 88,99 g/l bzw. 93,46 g/l

zunächst die signifikant höchsten Werte auf, während bei den anderen beiden ein etwas niedrigerer Gehalt von ca. 80,00 g/l zu verzeichnen ist. Während der Hauptgärung ist eine starke signifikante Abnahme bei allen Suden zu beobachten. Dabei sinkt der Gehalt der Sude 6 und 7 auf ca. 10,00 g/l. Die Brut IPAs besitzen vergleichsweise einen um ca. 3,50 g/l niedrigeren Wert. Bis zum Ende der Reifung sind keine weiteren signifikanten Veränderungen ersichtlich.

4.3.3 Bestimmung des freien Aminostickstoffs (FAN)

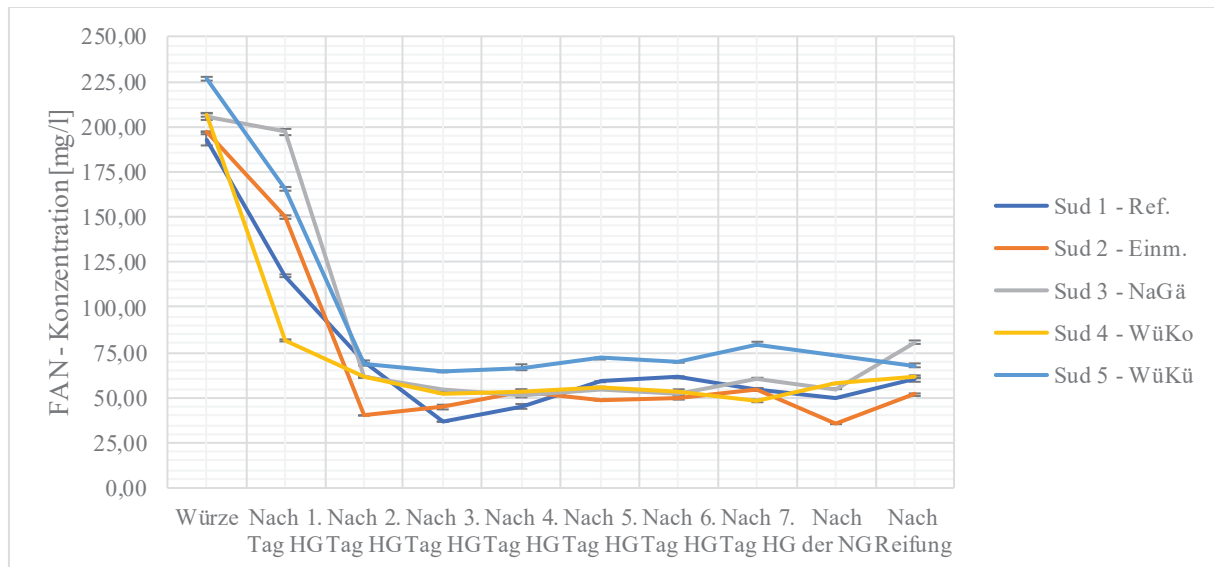


Abbildung 7: Darstellung der Konzentrationen der FAN - Gehalte zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 1 - 5

In Abbildung 7 ist die Veränderung des FAN - Gehaltes während der Gärung und Reifung für alle fünf Sude der ersten Versuchsreihe dargestellt. Wie auch beim reduzierenden Zucker ist in dieser Darstellung generell eine exponentielle Abnahme bei allen Suden zu erkennen. Daneben können wiederum zwei Phasen voneinander abgegrenzt werden. Der erste Bereich umfasst erneut den Zeitpunkt bis zum Ende des zweiten Hauptgärungstages. Hierbei nehmen die FAN - Werte signifikant und sehr rapide aber unregelmäßiger ab. Dabei hat Sud 5 mit 226,52 mg/l den signifikant höchsten Ausgangsgehalt. Die geringste Konzentration besitzt Sud 1 mit 192,70 mg/l. Nach dem ersten Tag ist zu vernehmen, dass der FAN bei Sud 4 mit ca. 125,00 mg/l am stärksten abnimmt. Besonders fällt auch hierbei Sud 3 auf, bei welchem zunächst nur ein sehr geringer Abbau von ca. 8,00 mg/l ermittelt wurde. Zum Ende dieser Phase liegt das Spektrum aller Sude (ca. 40,00 mg/l - 70,00 mg/l) etwas dichter zusammen.

Den zweiten Bereich bilden die restlichen Stichproben ab dem dritten Tag. In diesem Verlauf verändern sich die FAN - Werte jeweils im gleichen Sud sprunghaft, indem die Werte immer wieder signifikant um ca. 2,00 mg/l - 20,00 mg/l ansteigen bzw. abnehmen. Die geringsten

Schwingungen verursachen dabei die Sude 3 und 4. Auffällig ist hierbei Sud 5 - WüKü, welcher im Vergleich zu den anderen zum jeweils selben Zeitpunkt der Gärung stets um ca. 10,00 mg/l - 25,00 mg/l signifikant höhere FAN - Werte besitzt. Nach der Reifung fällt weiterhin auf, dass der Gehalt beim dritten Sud mit 80,71 mg/l im Vergleich zum Vorwert der Nachgärung deutlich angestiegen ist und von allen Suden den signifikant größten Gehalt aufweist.

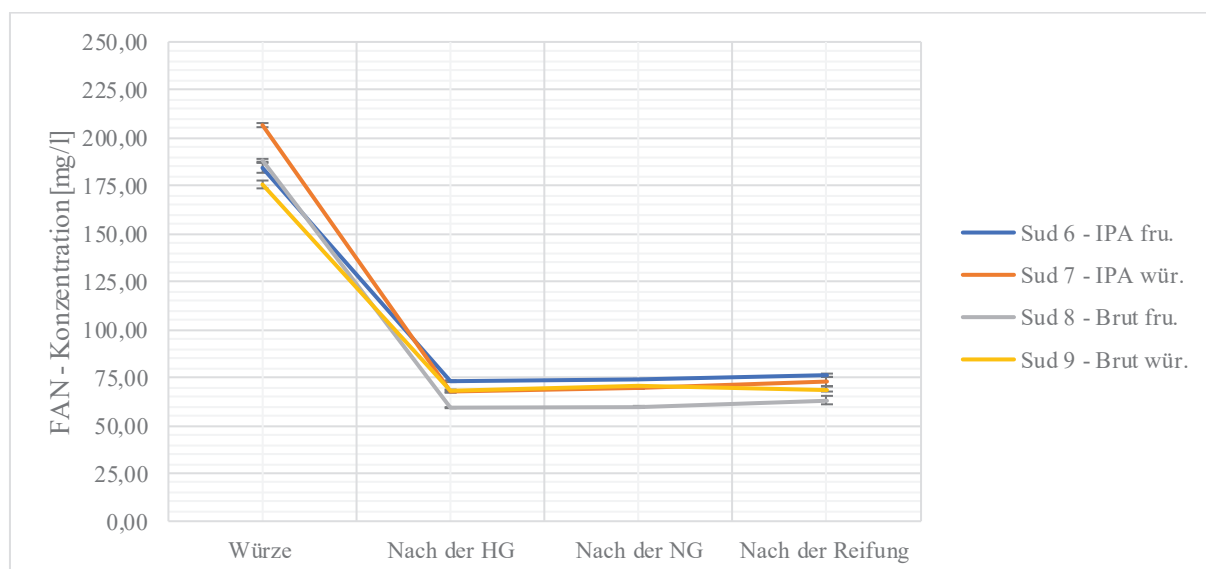


Abbildung 8: Darstellung der Konzentrationen der FAN - Gehalte zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 6 - 9

Abbildung 8 zeigt die Veränderung des FAN - Gehaltes der Sude 6 - 9 während des Gärverlaufes und der Reifung. Dabei wird zunächst ersichtlich, dass Sud 7 mit einer Konzentration von 206,60 mg/l den signifikant größten Gehalt besitzt, gefolgt von Sud 8, 6 und 9 mit dem niedrigsten Gehalt von 175,65 mg/l. Bis zu Ende der Hauptgärung ist bei allen Suden eine deutlich signifikante FAN - Abnahme auf ca. 77,00 mg/l - 59,00 mg/l zu erkennen. Hierbei ist der Wert von Sud 6 signifikant am höchsten und bei Sud 8 am niedrigsten. Bis hin zum gereiften Bier sind kaum signifikante Veränderungen zu dokumentieren.

4.3.4 Alkoholgehalt der Sude und Vergleich der Alkoholspektren von Sud 1 und 5

Tabelle 11: Alkoholgehalte der Sude 1 - 5 nach der Reifung

Probe	Sud 1 - Ref.	Sud 2 - Einm.	Sud 3 - NaGä	Sud 4 - WüKo	Sud 5 - WüKü
Alkoholgehalt [% vol.]	5,41 ± 0,04	4,76 ± 0,06	5,11 ± 0,09	4,64 ± 0,09	5,49 ± 0,07

Tabelle 11 zeigt die jeweiligen Alkoholgehalte der ersten fünf hergestellten Biere. Den höchsten Wert nimmt dabei Sud 5 mit 5,49 % vol. ein, dicht gefolgt vom Referenzsud 1. Ein signifikanter Unterschied besteht nicht. Sud 2 und 4 besitzen mit Alkoholgehalten von 4,76 % vol. bzw. 4,64 % vol. im Vergleich die signifikant niedrigsten Werte.

Tabelle 12: Alkoholgehalte der Sude 6 - 9 nach der Reifung

Probe	Sud 6 - IPA fru.	Sud 7 - IPA wär.	Sud 8 - Brut fru.	Sud 9 - Brut wär.
Alkoholgehalt [% vol.]	5,62 ± 0,13	5,62 ± 0,19	6,25 ± 0,10	6,15 ± 0,16

In Tabelle 12 sind die Alkoholgehalte der weiteren vier Sude dargestellt. Hierbei lassen sich zwei eindeutige Gruppen abgrenzen. Zum einen besitzen die beiden IPAs 6 und 7 einen identischen Alkoholgehalt von 5,62 % vol.. Die beiden Brut IPAs 8 und 9 hingegen enthalten mit 6,25 % vol. bzw. 6,15 % vol. einen signifikant höheren Alkoholgehalt. Innerhalb der beiden Gruppen sind keine wesentlichen Unterschiede festzustellen.

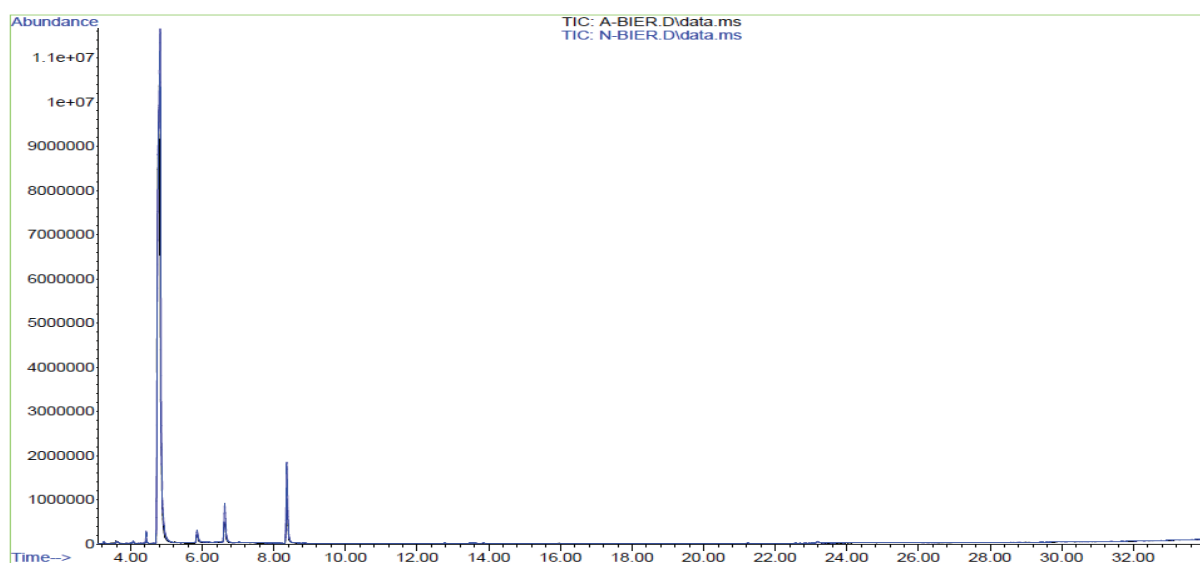


Abbildung 9: Overlay plot der beiden Sude 1 - Ref. und 5 - WüKü nach der Hauptgärung
Sud 1 = N-Bier, Sud 5 = A-Bier

Tabelle 13: Identifizierte Stoffe und Mengenanteile der beiden untersuchten Proben

Retentionszeit [min]	Analyt	Anteil Sud 1 (N-Bier) [%]	Anteil Sud 5 (A-Bier) [%]
4,436	Essigsäureethylester	0,55	-
4,795 - 4,810	Ethanol	86,85	90,62
5,854 - 5,857	1-Propanol	1,45	1,09
6,621 - 6,630	2-Methyl-1-Propanol	3,77	2,69
8,363 - 8,366	3-Methyl-1-Butanol	6,87	4,64
		$\Sigma = 99,59$	$\Sigma = 99,04$

Abbildung 9 zeigt die beiden Chromatogramme (Alkoholspektren) der untersuchten Proben. Diese wurden für diese Darstellung übereinandergelegt, um einen besseren Vergleich darstellen zu können. In der beigefügten Tabelle 13 sind die anhand der Retentionszeit und des Massenspektrums identifizierte Stoffe mit den jeweiligen Mengenanteilen, bezogen auf die Gesamtmenge an Alkohol, aufgezeigt. In beiden Bieren ist Ethanol mit über 85,00 % mengenmäßig am meisten vertreten. Das Bier mit Algenzusatz besitzt hierbei im Vergleich einen etwas höheren Anteil. Weiterhin konnten in beiden Proben jeweils drei weitere Alkohole (1-Propanol, 2-Methyl-1-Propanol und 3-Methyl-1-Butanol) nachgewiesen werden. Während 1-Propanol bei Sud 1 und 5 nahezu identisch vorliegt, ist der Mengenanteil der anderen beiden Stoffe beim Referenzsud ohne Algen etwas höher gelegen. Zudem konnte bei diesem Sud neben Alkoholen auch Essigsäureethylester mit 0,55 % nachgewiesen werden. Die aufgeführten Stoffe machen einen Gesamtanteil von ca. 99,60 % bzw. 99,00 % aus.

4.3.5 Bestimmung des farblichen Eindruckes der Sude

4.3.5.1 Farbbestimmung nach $L^*a^*b^*$

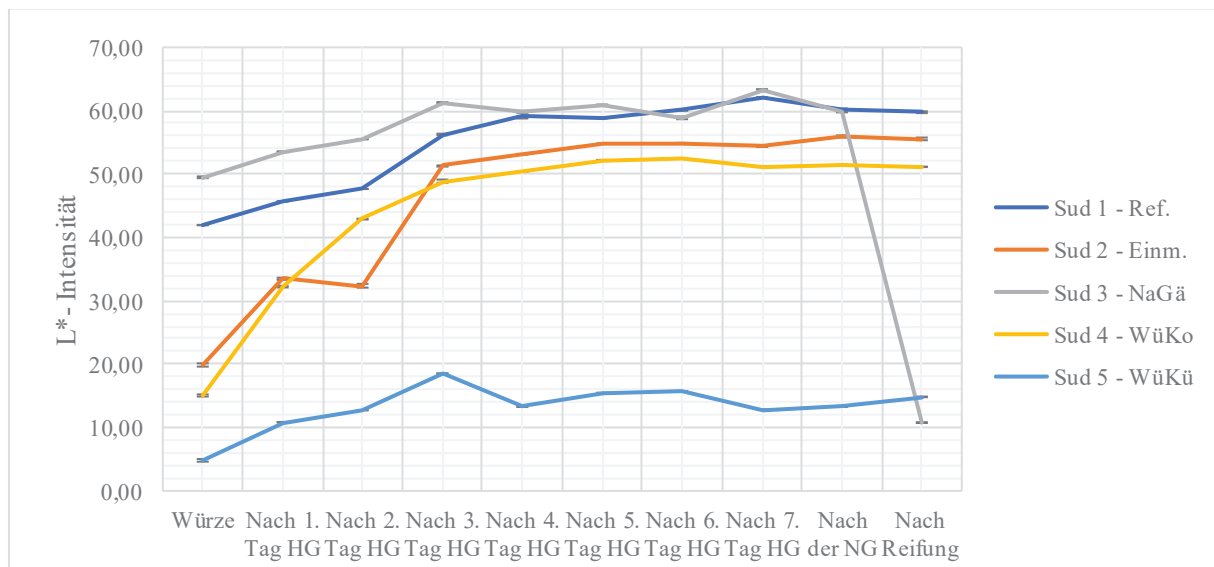


Abbildung 10: Vergleich der L^* -Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

In Abbildung 10 wird die Helligkeit (100 - weiß; 0 - schwarz) der einzelnen Sude der ersten Versuchsreihe entlang des Vergärungsprozesses dargestellt. Dabei zeigen die Sude 1 und 3 ohne Algen mit 41,96 Einheiten bzw. 49,50 Einheiten vor der Gärung zunächst die signifikant höchsten Intensitäten auf. Sud 5 besitzt im Vergleich dazu mit 4,83 Einheiten den niedrigsten L^* -Wert. Bis zum dritten Hauptgärungstag ist bei allen Suden anschließend ein signifikanter Anstieg des L^* -Wertes zu erkennen, welcher bei den algenfreien Suden 1 und 3 bzw. Sud 5

etwas flacher verläuft. Im weiteren Verlauf bis zum Ende der Reifung sind die L*-Werte im jeweiligen Sud auf relativ stabilen Bahnen. Lediglich bei den Suden 1, 2 und 4 ist weiterhin eine geringe aber signifikante Intensitätserhöhung des L*-Wertes von ca. 4,00 Einheiten - 5,00 Einheiten zu beobachten. Generell lassen sich in dieser stabilen Phase zwei Bereiche unterscheiden. Einen bilden die Sude 1 - 4, welche relativ hohe L*-Werte über 50,00 Einheiten besitzen. Dabei sind die Intensitäten der algenfreien Sude 1 und 3 nahezu aufeinander und in jedem Messpunkt um ca. 3,00 Einheiten - 8,00 Einheiten höher als die der beiden anderen. Sud 2 besitzt im Vergleich zu Sud 4 ebenfalls signifikant höhere L*-Werte. Den zweiten Bereich bildet Sud 5, welcher im Vergleich deutlich geringere L*-Werte von unter 20,00 Einheiten aufweist. Nach dem Ende der Reifung fällt Sud 3 besonders auf, da die Intensität auf einen Wert von 10,78 Einheiten sehr stark abnimmt.

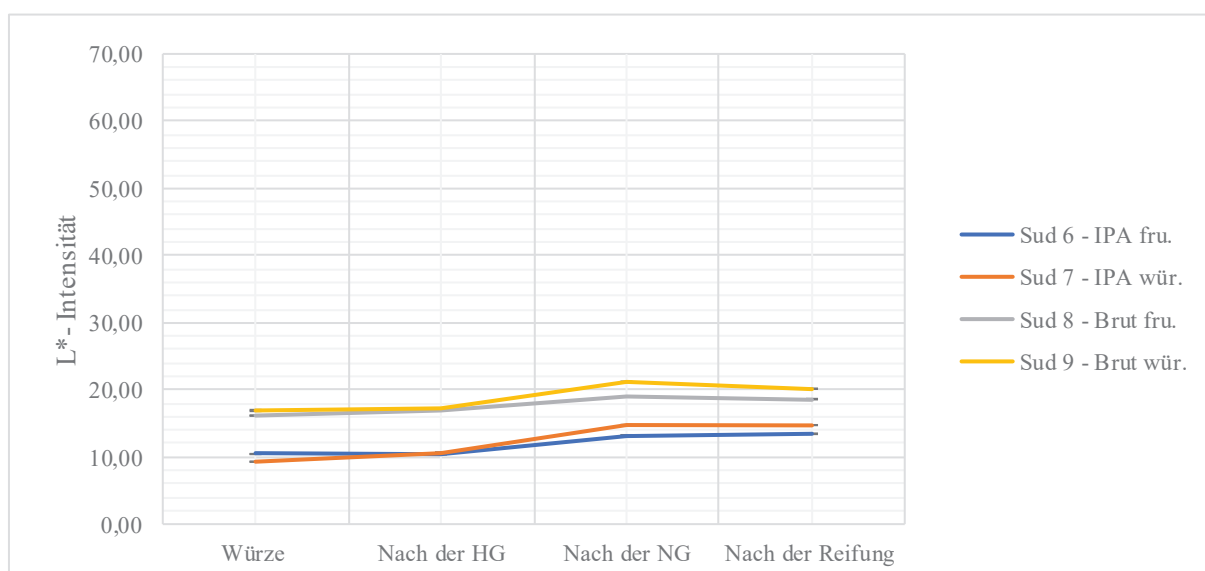


Abbildung 11: Vergleich der L*-Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

Abbildung 11 zeigt anschließend die Helligkeit der weiteren vier Sude. Hierbei besitzen die Brut IPA's 8 und 9 die signifikant höheren Ausgangs - L*-Werte. Nach dem Ende der Gärung ist bei allen Suden, vor allem nach der Nachgärung, ein gleichmäßig signifikanter Anstieg der Helligkeit von ca. 4,00 Einheiten zu beobachten. Während der Reifung ist bei den Suden 8 und 9 wiederum eine leichte signifikante Abnahme der Intensität zu verzeichnen. Die Werte der anderen beiden Sude bleiben unverändert, sodass die Sude 8 und 9 auch nach der Reifung die höchste Helligkeit besitzen.

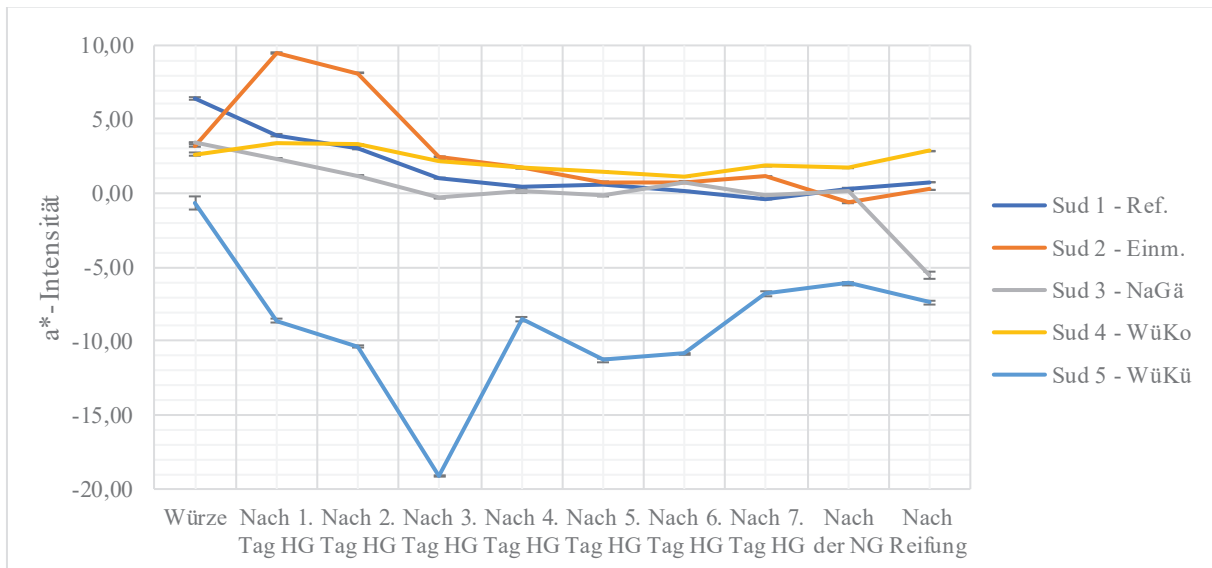


Abbildung 12: Vergleich der a^* -Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

In Abbildung 12 werden die Sude 1 - 5 anhand der a^* -Intensität (negativ - grün; positiv - rot) verglichen. Auffällig ist, dass die Sude 1 - 4 vor Gärbeginn ersichtlich positive Werte zwischen 2,00 Einheiten und 7,00 Einheiten einnehmen. Sud 5 besitzt mit -0,65 Einheiten als einziger einen negativen Wert. Im Laufe der Gärung ist bei den Suden 1 - 4 eine leicht signifikante Abnahme der Intensitäten von bis zu 6,00 Einheiten zu beobachten, wobei die Werte am gleichen Messtag im direkten Vergleich nur gering auseinander liegen. Ein Unterschied ist erst beim Übergang zur Reifung sichtbar, indem die Intensität des a^* -Wertes von Sud 4 leicht aber signifikant zunimmt. Im Gegenzug erfolgt bei Sud 3 eine deutlich signifikante Abnahme in den negativen Bereich. Daneben sind jedoch die Werte nach dem ersten und zweiten Hauptgärungstag von Sud 2 auffällig, welche mit ihrer Intensität deutlich herausstechen.

In einem ganz anderen Intensitätsbereich befindet sich Sud 5, welcher sich zunächst in einem gering negativen Intensitätsbereich aufhält und nach dem dritten Tag auf ca. -19,00 Einheiten ausreißt. Erst zum Ende der Hauptgärung steigt der a^* -Wert wieder signifikant auf ca. -6,50 Einheiten an, welcher sich jedoch bis nach der Reifung nur noch vernachlässigbar gering verändert.

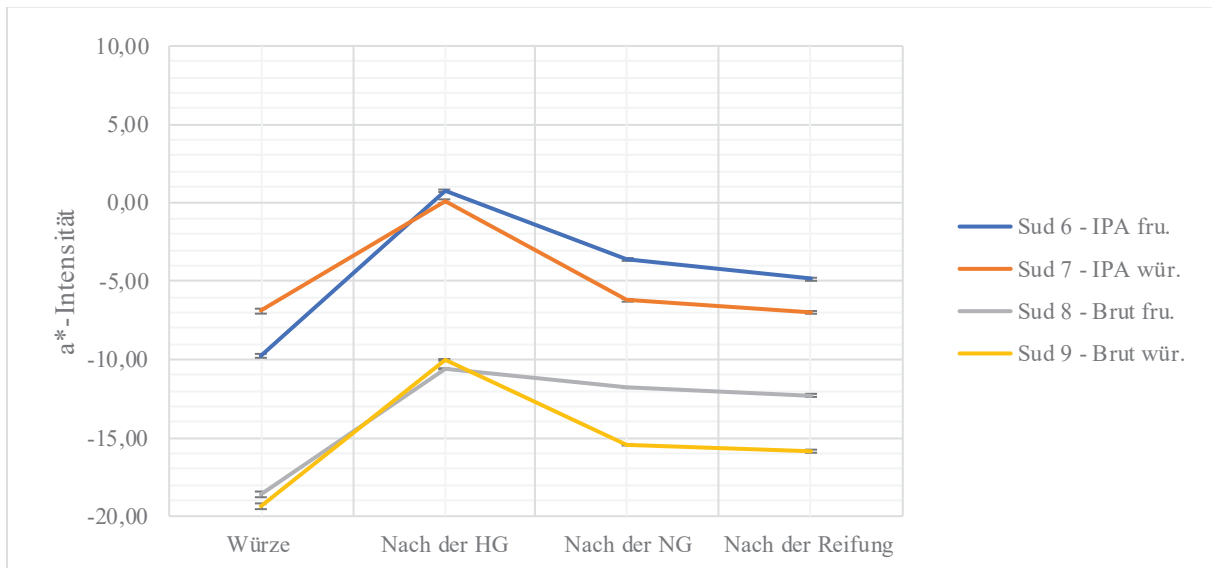


Abbildung 13: Vergleich der a*-Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

Abbildung 13 zeigt die Veränderungen der a*-Intensität der weiteren vier Sude zu den jeweiligen Prozessstadien. Es ist zunächst zu beobachten, dass die Sude 8 und 9 im Vergleich zu den anderen beiden stets die signifikant höheren Negativintensitäten besitzen. Die Differenz liegt dabei zwischen 8,00 Einheiten und 13,00 Einheiten. Nach der Hauptgärung ist bei allen Suden zunächst eine deutliche, nahezu parallele, Abnahme der Negativintensität um ca. 8,50 Einheiten zu erkennen. Im Laufe der Nachgärung und Reifung zeigen alle Sude (bis auf Sud 8) in diesem Bereich wiederum eine signifikante Zunahme der a*-Intensität. Somit hat Sud 9 mit -15,85 Einheiten letztendlich den höchsten Negativwert, gefolgt von Sud 8, 7 und 6.

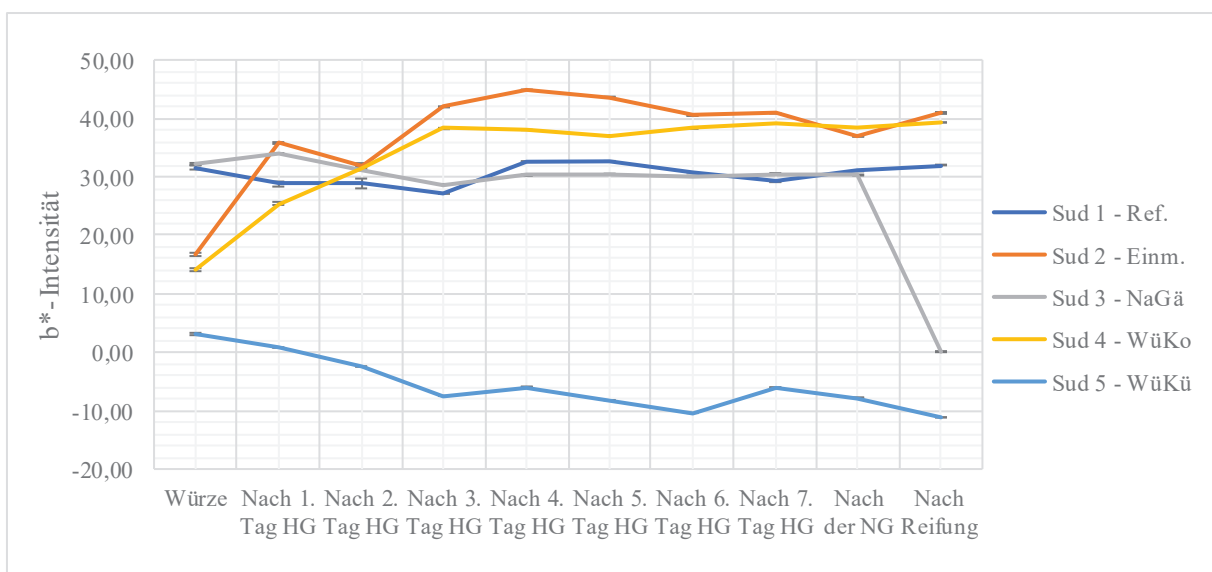


Abbildung 14: Vergleich der b*-Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

Abbildung 14 zeigt die b^* -Intensitäten (positiv - gelb; negativ - blau) der fünf Sude zu den verschiedenen Prozessstufen. Auch in dieser Darstellung lassen sich zwei Bereiche gut voneinander abgrenzen. Die erste Gruppierung bilden erneut die Sude 1 - 4. Hierbei ist zunächst auffällig, dass die Würzen der mit Algen versetzten Sude 2 und 4 mit b^* -Werten von 16,72 Einheiten bzw. 14,11 Einheiten im Vergleich zu den algenfreien Suden 1 und 3 (ca. 32,00 Einheiten) die signifikant niedrigeren Intensitäten aufweisen. Während des Gärverlaufes steigt die Intensität der Sude 2 und 4 so stark an, dass die gereiften Biere mit Werten im Bereich von ca. 40,00 Einheiten letztendlich die signifikant höheren Werte besitzen. Die Intensitäten der b^* -Werte von Sud 1 und 3 verändern sich dazu bis zum Ende der Reifung kaum. Einzige Ausnahme stellt Sud 3 dar, bei welchem nach der Reifung eine stark signifikante Abnahme auf 0,09 Einheiten ersichtlich ist. In einem völlig separaten Intensitätsbereich bewegt sich Sud 5, welcher zu Beginn der Messreihe mit 3,10 Einheiten den signifikant niedrigsten b^* -Wert aufzeigt. Im weiteren Verlauf sinkt dieser signifikant bis in den Negativbereich ab und erreicht letztendlich eine Intensität von -11,15 Einheiten.

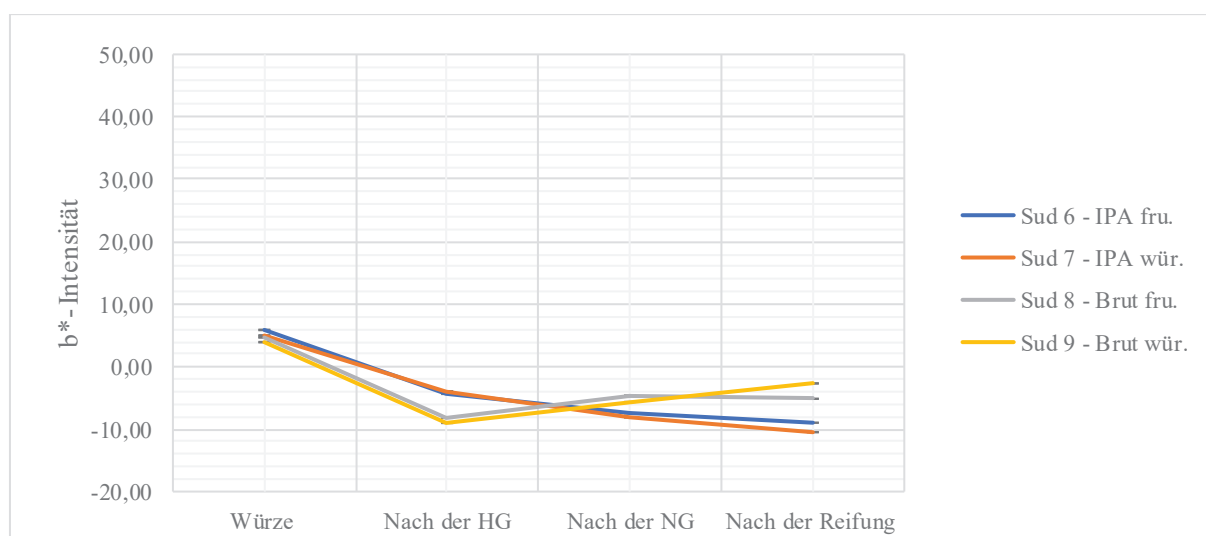


Abbildung 15: Vergleich der b^* -Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten

In dieser Darstellung Abbildung 15 sind schlussendlich die Veränderungen der b^* -Intensitäten der weiteren vier Sude aufgezeigt. Zunächst wird ersichtlich, dass die Werte aller Sude vor Beginn der Gärung in einem relativ engen Bereich um 5,00 Einheiten liegen. Nach der Reifung ist eine signifikante Abnahme der Werte von den Suden 6 und 7 um ca. 14,00 Einheiten in den negativen Bereich ersichtlich. Der b^* -Wert der Sude 8 und 9 ist nur während der Hauptgärung um ca. 13,00 Einheiten abgefallen. Nach der Reifung ist wiederum ein signifikanter Anstieg von ca. 3,00 Einheiten - 6,00 Einheiten ersichtlich. Demnach besitzt Sud 7 nach der Reifung mit -10,50 Einheiten die höchste negative b^* -Intensität, gefolgt von Sud 6, 8 und 9.

Tabelle 14: Veränderung der Farbe im Verlauf des Brauprozesses von Sud 2 - Einm.

Probe	L*	a*	b*
Sud 2 - beim Einmaischen	18,99 ± 0,05	-10,99 ± 0,07	-0,70 ± 0,02
Sud 2 - nach 1. Rast	17,70 ± 0,03	-8,15 ± 0,04	0,60 ± 0,02
Sud 2 - nach 2. Rast	18,50 ± 0,08	-4,39 ± 0,01	12,22 ± 0,05
Sud 2 - nach 3. Rast	15,79 ± 0,13	-0,24 ± 0,07	12,22 ± 0,12
Sud 2 - nach Läutern	14,87 ± 0,39	1,64 ± 0,11	13,14 ± 0,15
Sud 2 - Würze	19,88 ± 0,03	3,23 ± 0,03	16,72 ± 0,04

Um die Farbveränderung der Bierwürze auch während des Brauprozesses zu erfassen, wurden zudem ausgewählte Stichproben, vor allem am Brauanfang, gezogen und in Tabelle 14 ausgewertet. Dabei ist Sud 2 von besonderem Interesse, da in dieser Variante die Algen schon direkt am Anfang mit dem Malz in den Brauprozess integriert wurden und somit allen Temperaturstufen ausgesetzt war. Beim L*-Wert ist zu erkennen, dass die Intensitäten in allen Stufen relativ gering sind und während des Brauens keine großen Veränderungen auffielen. Beim a*- und b*-Wert sind deutlichere Unterschiede zu beobachten. Direkt nach der Algenzugabe beim Einmaischen sind negative Messwerte von -10,99 Einheiten beim a*-Wert und eine b*-Intensität von -0,70 Einheiten ersichtlich. Schon nach dem Läutern verändern sich diese deutlich signifikant um jeweils ca. 13,00 Einheiten in den positiven Bereich. Auffällig ist weiterhin, dass die b*-Werte, nicht wie bei den a*-Werten linear, sondern schon nach der zweiten Rast sehr stark ansteigen. Bei einer zusammenfassenden Betrachtung aller drei Farbkoordinaten und den ermittelten Farbabständen ΔE in Tabelle 84 lässt sich das Aussehen der Maische bzw. Würze zwischen einigen Stufen im Brauprozess statistisch als eine eindeutig andere Farbe bewerten ($\Delta E > 5,0$).

4.3.5.2 Optische Farbeindrücke aller Sude nach dem Brauprozess

Probe	L*	a*	b*
Sud 1	59,77	0,75	32,02
Sud 2	55,56	0,23	40,92
Sud 3	10,78	-5,54	0,09
Sud 4	51,15	2,85	39,30
Sud 5	14,85	-7,40	-11,15



Abbildung 16: Optischer Farbeindruck mit L*a*b* der gereiften Biere der ersten Versuchsreihe; Sud 1 (links) bis Sud 5 (rechts) (eigene Abbildung, 2020)

Abbildung 16 zeigt zusammenfassend die farbliche Ausprägung der gereiften Biere von Sud 1 - 5. Es fallen deutlich optische Unterschiede zwischen den einzelnen Suden auf, welche auch die ermittelten Koordinaten L^* , a^* und b^* belegen. Sud 1 tritt hierbei mit einer hellgelben bis gold - gelben Farbgebung in den Vordergrund. Sud 2 geht dabei eher in die bernsteinfarbige, bräunliche Richtung, welches ein leicht niedrigerer L^* - und erhöhter b^* -Wert belegen. Der Abstand ist hierbei so groß, sodass zwischen diesen beiden Suden eine andere Farbe bewertet wird ($\Delta E = 9,86$). Noch etwas dunkler ist Sud 4, da die Helligkeit mit knapp über 50,00 Einheiten noch etwas tiefer ausfällt. Auch der a^* -Wert liegt etwas höher in Richtung rot. Mit diesem Abstand ist die Farbe von Sud 4 ebenfalls als eine andere Farbe zu bewerten ($\Delta E = 5,38$). Eine deutlich dunklere Farbgebung ist bei den Suden 3 und 5 zu verzeichnen. Entsprechend des optischen Eindrucks und der Farbwerte geht Sud 5 dabei eher in die tief dunkelblaue Richtung ($b^* = -11,15$ Einheiten) mit einer geringen Intensität in Richtung grün ($a^* = -7,40$ Einheiten). Sud 3 zeigt eher eine grünliche Farbe auf, wobei der b^* -Wert nahezu an der 0-Grenze liegt und zudem etwas dunkler ist. Im direkten Vergleich ist der optische Eindruck zwischen beiden Suden ebenfalls als eine andere Farbe zu bewerten ($\Delta E = 12,09$).

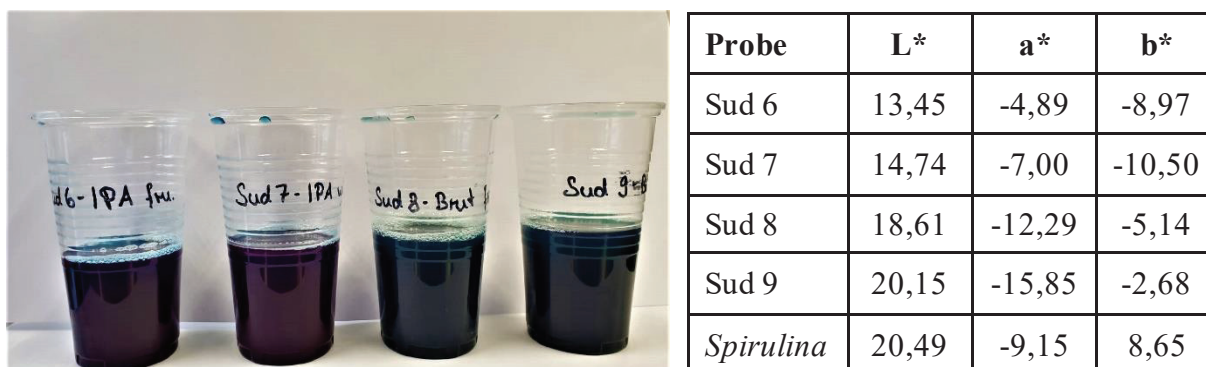


Abbildung 17: Optischer Farbeindruck mit $L^*a^*b^*$ der gereiften Biere der zweiten Versuchsreihe; Sud 6 (links) bis Sud 9 (rechts) (eigene Abbildung, 2020)

Abbildung 17 zeigt das optische Aussehen der gereiften Biere von Sud 6 - 9. Unterstützend sind auch hierbei die Werte der ermittelten Koordinaten L^* , a^* und b^* aufgelistet. Die farblichen Unterschiede sind in dieser Versuchsreihe nicht so deutlich. Dennoch lassen sich auffällige Differenzen beobachten. Sud 6 und 7 sehen farblich sehr ähnlich aus. Neben einer geringen L^* -Intensität fällt eine Tendenz in Richtung tiefblau mit einer geringeren Intensität in Richtung grün, analog zu Sud 5, auf. Im Vergleich zu Sud 5 sind alle drei Farbkoordinaten bei Sud 6 etwas weniger intensiv, während Sud 7 mit den Werten von Sud 5 fast übereinstimmt und ein farblicher Unterschied nahezu unmerklich ist ($\Delta E = 0,78$). Der Abstand zwischen Sud 6 und 7 ist trotz der leichten Differenzen so gering, dass mitunter eine optische Unterscheidung

wahrgenommen, aber nicht als eine andere Farbe bewertet wird ($\Delta E = 2,90$ bzw. $3,61$). Sud 8 und 9 sehen ebenfalls sehr identisch aus. Die ermittelten Farbkoordinaten zeigen jedoch bei Sud 9 einen etwas helleren Ton auf und eine etwas erhöhte Intensität in Richtung grün (a^* - Wert), sodass die Farbgebung beider Biere fast als eine andere Farbe bewertet werden kann ($\Delta E = 4,60$). Generell ist die a^* -Intensität bei diesen beiden Suden in Richtung grün viel größer als bei den Suden 6 und 7, während das Blau im Vergleich dazu etwas dezenter auftritt. Der Abstand ist demnach so groß, dass zwischen diesen beiden Gruppen 6 und 7 bzw. 8 und 9 jeweils eine andere Farbe erkannt wird ($\Delta E = 8,00 - 13,00$).

4.3.6 Bestimmung des Phycocyaninanteils

Tabelle 15: Konzentration des Gesamtphycocyaningehaltes der Biere während der unterschiedlichen Gärzeitpunkte inklusive Lagerversuch und Literaturwerte

Probe	Phycocyanin [g/l]	Probe	Phycocyanin [g/l]
Sud 1 - Hauptgärung	0,028	Sud 6 - Hauptgärung	0,780
Sud 1 - Nachgärung	0,008	Sud 6 - Nachgärung	0,716
Sud 1 - Reifung	0,002	Sud 6 - Reifung	0,727
Sud 2 - Hauptgärung	0,007	Sud 7 - Hauptgärung	0,682
Sud 2 - Nachgärung	0,008	Sud 7 - Nachgärung	0,737
Sud 2 - Reifung	0,008	Sud 7 - Reifung	0,619
Sud 3 - Hauptgärung	0,002	Sud 8 - Hauptgärung	0,614
Sud 3 - Nachgärung	0,005	Sud 8 - Nachgärung	0,333
Sud 3 - Reifung	0,372	Sud 8 - Reifung	0,344
Sud 4 - Hauptgärung	0,017	Sud 9 - Hauptgärung	0,464
Sud 4 - Nachgärung	0,020	Sud 9 - Nachgärung	0,348
Sud 4 - Reifung	0,021	Sud 9 - Reifung	0,275
Sud 5 - Hauptgärung	0,717	Literatur (63,3 mg/g)	0,769
Sud 5 - Nachgärung	0,674	Literatur (162,0 mg/g)	1,969
Sud 5 - Reifung	0,468		
Sud 5 - Lagerversuch	0,689		

(Hultberg et al. (2017) - 63,3 mg/g; Shimamatsu (2004) - 162,0 mg/g)

Tabelle 15 zeigt den ermittelten Gesamtphycocyaningehalt der einzelnen Proben im Vergleich mit den Literaturwerten. Hierbei ist zunächst zu erwähnen, dass bei den Suden 1 - 3 in allen Phasen vernachlässigbar geringe Werte zwischen 0,002 g/l und 0,008 g/l ermittelt wurden. Lediglich bei Sud 3 - NaGä ist nach der Reifung ein erhöhter Phycocyaningehalt von 0,372 g/l zu verzeichnen. Sud 4 - WüKo besitzt im Vergleich zu den ersten drei Bieren leicht höhere Werte im Bereich 0,017 g/l - 0,021 g/l. Bei den Suden 5, 6 und 7 sind deutlich höhere Gehalte

ersichtlich. Dabei liegen diese in der Regel zwischen 0,600 g/l und 0,800 g/l. Bis auf Sud 7 ist generell eine leichte Abnahme zu verzeichnen, während sich die Werte im Laufe der Reifung relativ stabil halten. Bei Sud 5 sinkt der Gehalt jedoch weiter bis auf einen Wert von 0,468 g/l ab. Zusätzlich zu den drei Messpunkten wurde bei Sud 5 eine weitere Probe nach ca. 14 Wochen Lagerung untersucht. Da im Vergleich zur Gärung ein nahezu stabiler Gehalt von 0,689 g/l ermittelt wurde, ist der angegebene Wert von 0,468 g/l kritisch zu betrachten und wird im Diskussionsteil (Punkt 5) weiter begründet. Die Sude 8 und 9 zeigen schon ab der Hauptgärung niedrigere Gehalte auf. Im weiteren Verlauf nehmen die Werte noch weiter ab, sodass die Sude letztendlich nur noch einen Gehalt von 0,344 g/l bzw. 0,275 g/l aufweisen. Da jedoch dieselbe Konzentration an *Spirulina* enthalten ist, sind diese Werte ebenfalls kritisch zu bewerten. Neben den Proben wurden zudem die Literaturwerte (Phycocyaningehalt im Algenpulver) mit einbezogen und mussten vorerst auf die im Bier enthaltene Konzentration (237 g je 19,5 l Bier) umgerechnet werden. Dabei ergeben sich, bezogen auf die oben aufgeführte Einheit g/l Bier, die entsprechenden Gehalte. Die Berechnung ist der folgenden Formel 5 nachzuvollziehen:

Formel 5: Berechnung des Phycocyaningehaltes aus den Literaturwerten

$$\text{Gehalt}_{\text{Phycocyanin}} [\text{g/l}] = \left(\frac{\text{Menge } \textit{Spirulina} \text{ - Pulver } [\text{g}]}{\text{Volumen Bier } [\text{l}]} * \text{Menge}_{\text{Phycocyanin}}/\text{g Biomasse } [\text{mg/g}] \right) / 1000$$

$$\text{Gehalt}_{\text{Phycocyanin}} = \left(\frac{237 \text{ g}}{19,5 \text{ l}} * 63,3 \text{ mg/g} \right) / 1000 = \underline{\underline{0,769 \text{ g/l}}}$$

$$\text{Gehalt}_{\text{Phycocyanin}} = \left(\frac{237 \text{ g}}{19,5 \text{ l}} * 162,0 \text{ mg/g} \right) / 1000 = \underline{\underline{1,969 \text{ g/l}}}$$

4.3.7 Gesamtphenolbestimmung

Tabelle 16: Gesamtphenolgehalt der gereiften Sude

Bierprobe (nach der Reifung)	Phenolgehalt [mg/l]
Sud 1 - Ref.	156,62 ± 4,39
Sud 2 - Einm.	107,15 ± 5,37
Sud 3 - NaGä	146,23 ± 5,41
Sud 4 - WüKo	133,66 ± 4,07
Sud 5 - WüKü	103,87 ± 3,37
Sud 6 - IPA fru.	105,78 ± 4,69
Sud 7 - IPA wü.	101,95 ± 3,37
Sud 8 - Brut fru.	470,35 ± 9,74
Sud 9 - Brut wü.	347,95 ± 6,74

Der Gesamtphenolgehalt wurde mit Hilfe der Methode D157 der EBC-Analytica (erweitert nach Mebak 2.16.1) ermittelt. Dabei wurden alle gereiften Biere entsprechend untersucht und die ermittelten Werte in Tabelle 16 aufgelistet. Besonders auffällig sind dabei die Sude 8 und 9, welche mit Werten über 300,00 mg/l bzw. 450,00 mg/l mit Abstand die signifikant größten Gehalte besitzen. Diese scheinen jedoch fehlerhaft zu sein und werden im Diskussionsteil (Punkt 5) weiter erörtert. Die anderen Biere enthalten deutlich weniger Phenole, wobei die Sude 1, 3 und 4 mit 133,00 mg/l - 157,00 mg/l im Vergleich die signifikant größten Gehalte aufweisen. Die übrigen Sude 2, 5, 6 und 7 enthalten noch geringere Konzentrationen knapp über 100,00 mg/l, welche sich untereinander nicht weiter signifikant voneinander unterscheiden lassen.

4.4 Sensorische Auswertung der hergestellten Sude

4.4.1 Beliebtheitstest (Hedonische 9-Punkte Skala)

Mit einer Panelstärke von 21 der Stufe „Prüfer“ wurden die Sude der ersten Versuchsreihe (1 - 5) sensorisch untersucht. Dabei wurden die Prüfer zunächst mit einigen Fragen zum Thema Bier entsprechend eingestuft. Nach einer Auswertung dieser Einführungsfragen kam heraus, dass 19 der 21 Panelisten generell Bier mögen. Zum Verzehr ist zu erwähnen, dass 3 Personen mehrmals wöchentlich, 8 einmal die Woche und 10 mehrmals im Monat Bier konsumieren. Da 2 der 21 Panelisten Bier nicht mögen, wurden die Bewertungen dieser beiden bei der Beliebtheit und den JAR-Fragen nicht mit herangezogen, weshalb das Panel nur noch aus 19 Personen bestand.

Tabelle 17: Auswertung der Beliebtheit der ersten fünf Sude anhand der festgelegten Notenbereiche, Gruppenprotokoll 2

	Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung									
Notenbereich	Proben - Nr. 723		Proben - Nr. 429		Proben - Nr. 564		Proben - Nr. 672		Proben - Nr. 236	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9 – 6	18	94,7	13	68,4	3	15,8	14	73,7	12	63,1
5	0	0,0	0	0,0	3	15,8	3	15,8	1	5,3
4 – 1	1	5,3	6	31,6	13	68,4	2	10,5	6	31,6
Summe Σ	19	100,0	19	100,0	19	100,0	19	100,0	19	100,0
\bar{x}	7,42		6,00		4,16		6,11		6,00	
σ	0,99		1,75		1,87		1,29		1,78	
Proben	Sud 1 - Ref.		Sud 2 - Einm.		Sud 3 - NaGä		Sud 4 - WüKo		Sud 5 - WüKü	

Das Gruppenprotokoll der Tabelle 17 zur Beliebtheit der Sude 1 - 5 zeigt bei Sud 1 mit einem Durchschnitt von 7,42 die beste Bewertung, gefolgt von Sud 2, 4 und 5 mit jeweils 6,00 bzw. 6,11. Ein signifikanter Unterschied zu Sud 1 besteht jedoch nicht, weshalb zusätzlich der Gefallenbereich 9 - 6 der hedonischen Skala heranzuziehen ist. Hierbei ist zu sehen, dass der Referenzsud 1 mit 94,7 % die meisten Stimmen bekommen hat. Sud 4 folgt mit 73,7 %, während die Sude 2 und 5 jeweils 68,4 % bzw. 63,1 % erhalten. Die signifikant schlechteste Bewertung von 4,16 ist bei Sud 3 zu erkennen. Dieses zeigt auch die Bewertung im hedonischen Bereich 9 - 6, in welchem nur 15,8 % ihre Stimme abgegeben haben.

Begründet wird die Entscheidung mit den Attributen „tolles Aroma“, „arttypisch“ und „angenehm bitter“ bei Sud 1. Sud 2 und 4 werden mit den Attributen „süßlich“, „präsender Algengeschmack“ und einem „fremden Beigeschmack“ bzw. von wenigen als „abgestanden“ beschrieben. Speziell Sud 3 und 5 bekommen mit „zu intensiver Algengeschmack“, „Abneigung der Farbe“ und „eigenartig, untypisch“ sehr viel Kritik, während die Bewertung bei Sud 5 im Einzelnen mit „leicht süßlich“, „tolle Farbe“ und „Algengeschmack nicht zu dominant“ etwas positiver ausfällt.

Die sensorische Untersuchung der Sude 6 - 9 der zweiten Versuchsreihe wurde mit einem neuen Panel von 25 Prüfern durchgeführt. Mit Beantwortung der selbigen Einführungsfragen ist folgende Einstufung bekannt: Alle 25 Prüfer mögen generell Bier, wovon 4 mehrmals wöchentlich, 6 einmal die Woche und 15 Prüfer mehrmals im Monat Bier verzehren.

Tabelle 18: Auswertung der Beliebtheit der weiteren vier Sude 6 - 9 anhand der festgelegten Notenbereiche, Gruppenprotokoll 2

Notenbereich	Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung							
	Proben - Nr.		Proben - Nr.		Proben - Nr.		Proben - Nr.	
	815		929		268		374	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9 - 6	22	88,0	20	80,0	11	44,0	17	68,0
5	1	4,0	2	8,0	1	4,0	1	4,0
4 - 1	2	8,0	3	12,0	13	52,0	7	28,0
Summe Σ	25	100,0	25	100,0	25	100,0	25	100,0
\bar{x}	7,12		6,64		4,76		5,92	
σ	1,31		1,79		2,21		1,70	
Proben	Sud 6 - IPA fru.		Sud 7 - IPA wür.		Sud 8 - Brut fru.		Sud 9 - Brut wür.	

Tabelle 18 zeigt die Auswertung der Beliebtheitsprüfung. Hierbei zeigt Sud 6 mit einem Durchschnitt von 7,12 die beste Bewertung, gefolgt von Sud 7 mit 6,64 und Sud 9 mit 5,92. Ein

signifikanter Unterschied besteht jedoch nicht, weshalb analog zur oberen Beliebtheitsprüfung erneut die Wertung im oberen Bereich 9 - 6 der hedonischen Skala heranzuziehen ist. Sud 6 nimmt dabei die höchste Bewertung mit 88,0 % aller Stimmen ein. Dicht dahinter liegt Sud 7 mit 80,0 %. Sud 9 erreicht in diesem Bereich eine prozentuale Bewertung von 68,0 %. Die signifikant schlechteste Bewertung erhält Sud 8 mit einem Durchschnitt von 4,76. Dieses zeigt auch ein prozentualer Anteil von nur 44,0 % im oberen Bereich 9 - 6 der hedonischen Skala. Die Begründung der Ergebnisse erfolgt bei Sud 6 und 7 mit den Attributen „angenehm bitter“, „angenehmer Algengeschmack“ und einer „sehr guten Aromatik“. Zudem wird bei beiden Suden die „intensive blaue Farbe“ gelobt und ein „süßlicher Geschmack“ zugeordnet. Bei Sud 7 wird im Einzelnen ein „zu intensiver Algengeschmack“ aber auch „ein zu mildes Aroma“ kritisiert. Sud 8 und 9 werden von den meisten Prüfern als „zu bitter“ und „zu hopfig“ empfunden. Zudem wird ein „zu starker Algengeschmack“ empfunden; Den Prüfern ist weiterhin die intensive „grüne“ bis „türkise“ Farbe bei beiden Suden aufgefallen.

4.4.2 Just-About-Right-Fragen (JAR-Fragen)

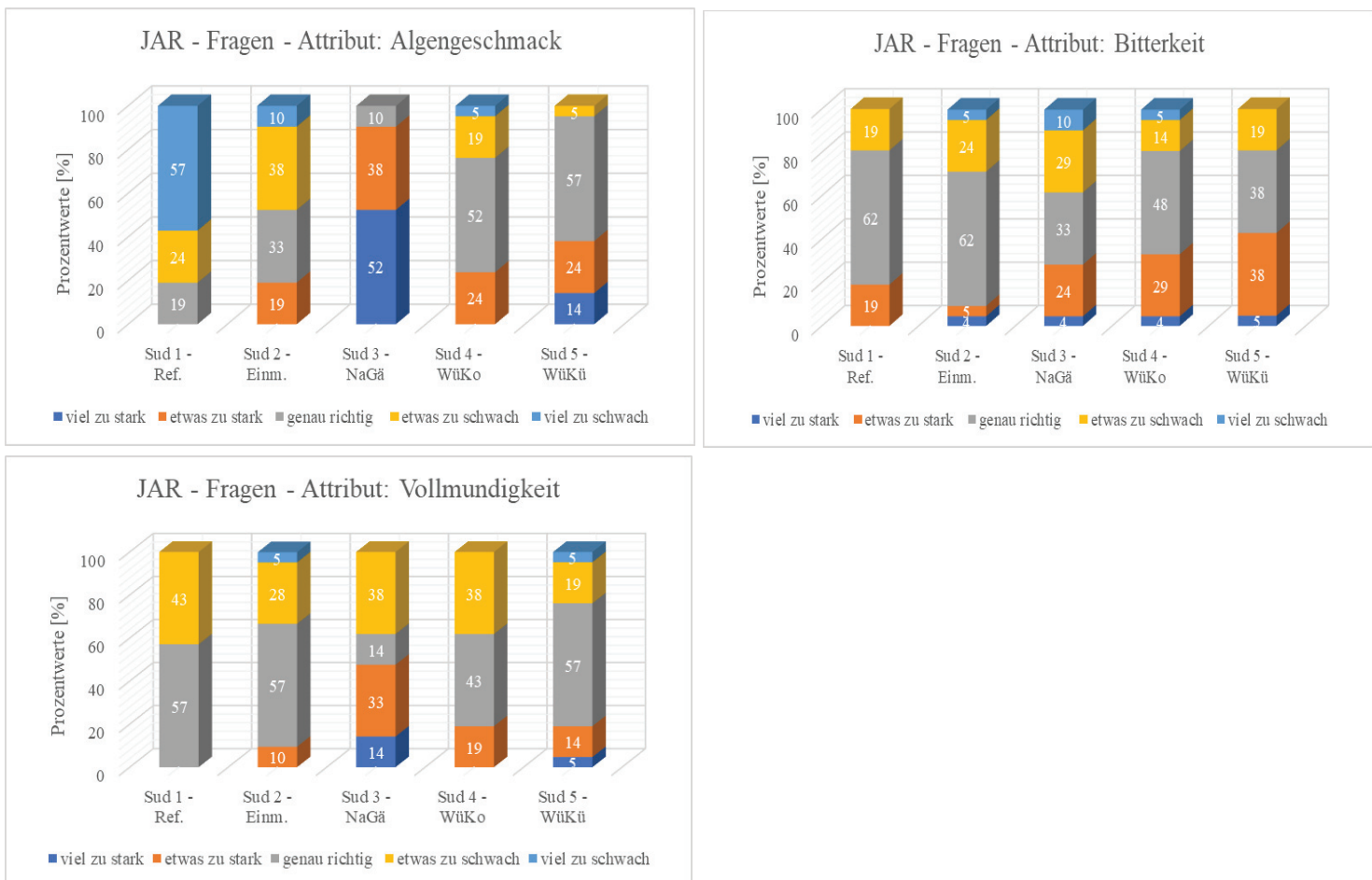


Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der JAR-Skala der Sude 1 – 5; Attribute: Algengeschmack, Bitterkeit, Vollmundigkeit

In Abbildung 18 ist das Intensitätsempfinden der Panelisten in Bezug auf die Attribute „Algengeschmack“, „Bitterkeit“ und „Vollmundigkeit“ dargestellt. Dabei entspricht die Einstufung der Prüfer dem der Beliebtheitsprüfung von den Suden 1 - 5. Beim Algengeschmack ist zu beobachten, dass das Intensitätsbefinden bei Sud 1 fast ausschließlich im „zu schwach“ - Bereich bewertet wird. Bei Sud 2 und 4 liegen die Werte etwas verteilter auf der Skala. Jedoch nehmen bei Sud 2 prozentual mehr Panelisten die Intensität der Algen als „etwas zu schwach“ wahr, während der Algengeschmack bei Sud 4 von knapp über der Hälfte als „genau richtig“ eingestuft wird. Die einzelnen Penalty-Punkte (siehe Anlage 4, Tabelle 85) liegen dabei unter 40. Die Algenintensität bei Sud 5 wird ebenfalls von mehr als 50,0 % als „genau richtig“ eingestuft, jedoch sind der Anteil und auch der Penalty-Wert (> 100) im „zu stark“ - Bereich deutlicher größer als bei den Suden 1, 2 und 4. Sud 3 fällt besonders auf, da in diesem Fall 90,0 % der Prüfer diesen mit „etwas zu stark“ oder „viel zu stark“ bewerten. In diesem Bereich liegt der Penalty-Wert deutlich über 400.

Das Attribut „Bitterkeit“ zeigt bei Sud 1 vorwiegend Bewertungen bei „genau richtig“. Jeweils der gleiche Anteil ordnet dem Bier die Bereiche „etwas zu schwach“ bzw. „etwas zu stark“ zu. Bei Sud 2 ist die Verteilung etwas größer. Während die anteilige Bewertung der Bitterkeit bei „genau richtig“ analog zu Sud 1 erfolgt, ist das Gesamtempfinden generell etwas schwächer. Die Einzelpenalties (siehe Tabelle 86) liegen hierbei unter 30. Bei Sud 3 sind die Anteile der drei Bereiche „zu schwach“, „genau richtig“ und „zu stark“ nahezu identisch. Bei Sud 4 und 5 ist der „zu stark“ - Bereich anteilig etwas größer, wobei im direkten Vergleich Sud 5 als noch intensiver in der Bitterkeit eingestuft wird. Die Penalties liegen bis auf Sud 4 ebenso in einem etwas höheren Bereich zwischen 40 und 65.

Bei der Vollmundigkeit wird Sud 1 als am schwächsten eingestuft. Bewertungen im „zu stark“- Bereich sind nicht vorhanden. Die Intensität der Vollmundigkeit liegt bei Sud 2 und 4 etwas höher. Sud 5 zeigt eine ähnliche Einteilung, jedoch argumentieren erstmalig auch 5,0 % der Prüfer mit „viel zu stark“. Bis auf Sud 4 liegen die Penalties (siehe Tabelle 87) im „zu schwach“ - Bereich mit Werten zwischen 40 - 65 etwas höher. Bei Sud 3 wird die Intensität der Vollmundigkeit von ca. 50,0 % als zu stark bewertet. Die Penalty-Punkte sind jedoch mit Werten unter 10 sehr gering.

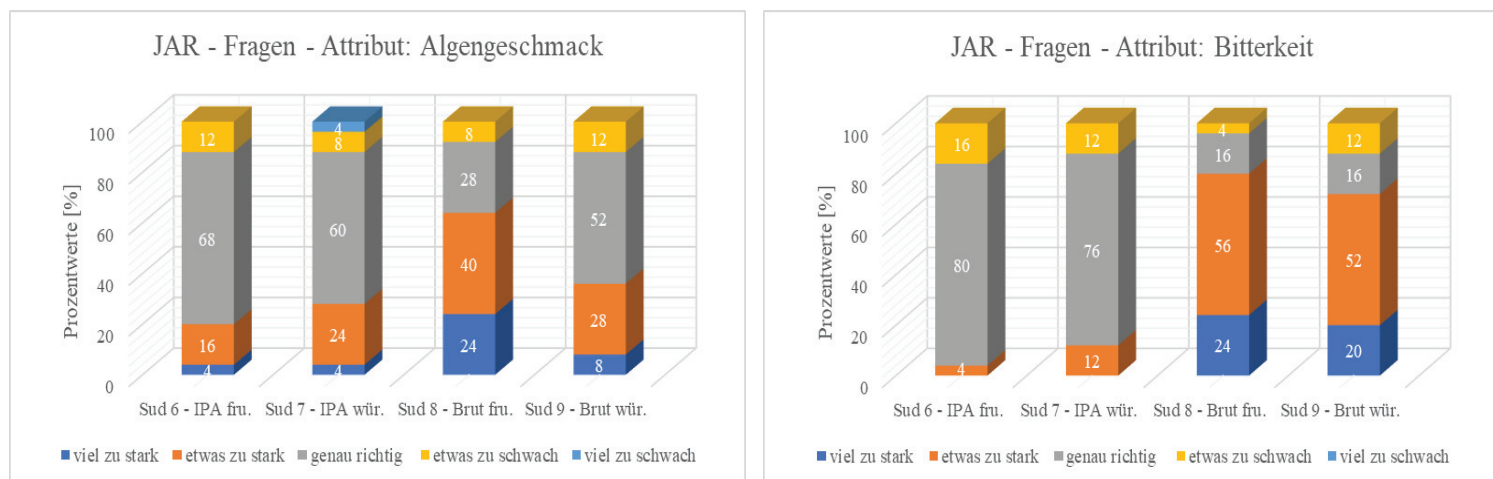


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der JAR-Skala der Sude 6 - 9; Attribute: Algengeschmack und Bitterkeit

Die Einteilung der Intensitäten bei den Suden 6 - 9 ist in der Abbildung 19 ersichtlich. Die „Vollmundigkeit“ wurde nicht mehr mit einbezogen. Beim Algengeschmack sind zwei Gruppierungen abzuschätzen. Zunächst die Sude 6, 7 und 9, bei welchen über 50,0 % der Prüfer dieses Attribut als „genau richtig“ einstufen, während zwischen 20,0 % und 30,0 % den Algengeschmack als „zu stark“ bewerten. Bei Sud 9 liegt der prozentuale Anteil in diesem Bereich sogar noch etwas höher. Die Penalty-Werte sind hierbei gleichermaßen im mittleren Bereich von 40 - 80 vertreten. Den zweiten Bereich umfasst Sud 8, bei welchem die Intensität der Algen mit einem Anteil von 64,0 % deutlich intensiver wahrgenommen wird. Damit ist auch der Penalty-Wert mit über 160 sehr hoch.

Bei der Bitterkeit sind deutlichere Unterschiede erkennbar, wobei wiederum zwei Gruppen abgegrenzt werden können. In der ersten liegen die Sude 6 und 7, bei welchen die Intensität der Bitterkeit von ca. 80,0 % als „genau richtig“ eingestuft werden. Das Empfinden bei Sud 6 ist jedoch etwas schwächer als bei Sud 7, da hierbei eine um 8,0 % höhere Bewertung im „zu stark“-Bereich erfolgt. Die Penalty-Werte liegen hierbei bei ca. 10. Den zweiten Abschnitt bilden die beiden Brut IPAs 8 und 9. Bei diesen beiden Suden wird die Bitterintensität deutlich höher bewertet, da bei beiden ca. 70,0 % - 80,0 % der Prüfer mit „zu stark“ bzw. „viel zu stark“ argumentieren. Die Penalties liegen in diesem Bereich zwischen 85 und 100.

4.4.3 Einfach beschreibende Prüfung

Die Einfach beschreibende Prüfung dient einer detaillierteren Beschreibung der unterschiedlichen Biere und wirkt daher unterstützend zu den anderen beiden Prüfverfahren. Die Beschreibung der ersten fünf Sude der ersten Versuchsreihe erfolgte mit demselben

21 Prüfer starken Panel aus der ersten sensorischen Verkostung. Die Ergebnisse dieses Verfahrens sind in den untenstehenden Tabellen 19 und 20 aufgezeigt. Die Sude 6 - 9 wurden mit dieser Art der sensorischen Prüfung nicht weiter untersucht.

Tabelle 19: Auswahl der meist genannten Attribute zur Beschreibung der Sude 1 - 5 aus den Gruppenprotokollen; Kriterien Teil 1: Aussehen / Farbe, Geruch

Proben Kriterien	Sud 1 - Ref.	Sud 2 - Einm.	Sud 3 - NaGä	Sud 4 - WüKo	Sud 5 - WüKü
Aussehen / Farbe	hellgelb (3)	dunkelgelb (3)	dunkelblau (5)	grün - bräunlich (8)	bläulich (5)
	gelb (4)	gelb - grünlich (4)	dunkelblau - grün (15)	gelb- bräunlich (4)	dunkelblau (11)
	gold - gelb (10)	grün - bräunlich (3)	trüb (9)	bräunlich (7)	blau - lila (4)
	klar, transparent (15)	gelb - bräunlich (8)	hellgrüner Schaum (3)	trüb (19)	hellblauer Schaum (4)
		trüb (12)	Sediment (3)	gelb - gräulich (2)	trüb (9)
Geruch	süßlich (5)	süßlich (10)	algig (7)	süßlich (11)	süßlich (10)
	hopfig, fruchtig (11)	hopfig, fruchtig (8)	süßlich (9)	algig (4)	algig (4)
	herb (5)	herb, bitter (7)	muffig (3)	hopfig, fruchtig (5)	hopfig, fruchtig (7)
	arttypisch, pilsähnlich (10)	arttypisch, bierartig (7)	Fremd- geruch, unangenehm (5)	leicht muffig (4)	untypisch (4)
	gärig, alkoholisch (4)	leichte Fremdnote (5)	fischig (3)	gärig (4)	muffig (4)

Tabelle 19 zeigt hierbei zunächst die am häufigsten verwendeten Attribute der Sude 1 - 5 in Bezug auf die sensorischen Eigenschaften „Aussehen / Farbe“ und „Geruch“. Zum Aussehen bzw. zur Farbe äußern die Prüfer bei Sud 1 vorwiegend eine „hellgelbe“ bis „gold - gelbe“ Farbgebung, während ca. dreiviertel der Prüfer diesen Sud als „klar“ bzw. „transparent“

beschreiben. Bei Sud 2 und 4 wird ebenfalls eine gelbe Farbgebung beobachtet, jedoch häufig in Kombination mit „grün“, „gräulich“ oder „bräunlich“. Die Häufigkeit dieser drei abweichenden Farben ist bei Sud 4 etwas größer. Hinzu kommt bei diesem Sud eine häufige Beschreibung von „grün - bräunlich“. Zudem werden beide Sude vom Großteil der Prüfer als „trüb“ wahrgenommen. Das Attribut „klar“ tritt nur noch vereinzelt auf. Bei Sud 3 und 5 sind deutliche Abweichungen in der Farbe aufgefallen. Während Sud 5 größtenteils als „blau“, „dunkelblau“ oder sogar „blau - lila“ beschrieben wird, wird bei Sud 3 von ca. 75,0 % der Prüfer die Farbe „grün“ in Kombination mit „dunkelblau“ sehr häufig genannt. Bei beiden Suden wird von einzelnen Prüfern jeweils ein „hellgrüner / hellblauer Schaum“ erkannt und werden zudem oftmals als „trüb“ beschrieben. Bei Sud 3 fällt bei drei Prüfern weiterhin ein „Sediment“ am Boden des Bechers auf.

Beim Geruch treten bei allen Suden die Attribute „hopfig, fruchtig“ und „gärig, alkoholisch“ nahezu identisch auf. Zudem werden alle Sude mit „süßlich“ beschrieben. Sud 1 besitzt dabei im Vergleich den geringsten Anteil (fünf Prüfer), während bei den anderen vier Suden ca. die doppelte Anzahl dieses Attribut verwendet. Es werden jedoch auch deutliche Unterschiede ersichtlich. Während Sud 1 und 2 von ca. 50,0% als „artypisch, pilsähnlich“ eingestuft werden, schätzen fünf Prüfer bei Sud 2 zusätzlich eine „leichte Fremdnote“ ab. Bei Sud 4 fällt dieses Attribut nicht mehr, jedoch wird von vier Prüfern ein „muffiger“ und „algiger“ Geruch festgestellt. Bei Sud 5 treten die gleichen Attribute zum Vorschein; hinzu kommt außerdem die Beschreibung „untypisch“. Die Wahrnehmung des Geruchs bei Sud 3 wird neben „muffig“ und „algig“ weiterhin mit „unangenehm“ und „fischig“ ergänzt.

Tabelle 20: Auswahl der meist genannten Attribute zur Beschreibung der Sude 1 - 5 aus den Gruppenprotokollen; Kriterien Teil 2: Geschmack, Mundgefühl

Proben Kriterien	Sud 1 - Ref.	Sud 2 - Einm.	Sud 3 - NaGä	Sud 4 - WüKo	Sud 5 - WüKü
Geschmack	ausgewogen (3)	mild (5)	leicht sauer (4)	leicht bitter (6)	bitter, herb (8)
	bitter (12)	bitter (10)	sehr süßlich (6)	süßlich (13)	süßlich (12)
	arttypisch nach Bier (7)	süßlich (4)	bitter (8)	leicht algig (3)	algig (5)
	hopfig, fruchtig (5)	arttypisch, bierartig (6)	algig (7)	herb, bitter (7)	stark algig (4)
	leicht süßlich (4)	fruchtig, hopfig (5)	untypisch (3)		untypisch (3)
	sauer (7)	minimale Algennote (3)	abgestanden (5)		
Mundgefühl	prickelnd (11)	prickelnd (7)	vollmundig (4)	vollmundig (9)	prickelnd (8)
	vollmundig (5)	vollmundig (7)	prickelnd (10)	prickelnd (9)	vollmundig (6)
	dünnflüssig, leicht (11)	wenig prickelnd (5)	adstrin- gierend (5)	adstrin- gierend (3)	adstrin- gierend (4)
		dünnflüssig, leicht (10)	dünnflüssig, leicht (5)	dünnflüssig, leicht (7)	dünnflüssig, leicht (5)
Summe der Beschreibungen	193	197	167	183	171
Anzahl der Prüfer	21	21	21	21	21

Tabelle 20 legt weiterführend die Beschreibung der nächsten beiden sensorischen Eigenschaften „Geschmack“ und „Mundgefühl“ dar. Dabei zeigen die aufgeführten Attribute beim Geschmack Parallelen zum Geruch. Zunächst ist zu erkennen, dass die Prüfer den Geschmack nur noch bei Sud 1 und 2 mit „hopfig, fruchtig“ beschreiben, während wiederum ein „süßlicher“ Geschmack bei allen Suden erkannt wird. Die „Süße“ tritt jedoch bei Sud 4

und 5 am häufigsten (über 50,0% der Prüfer) auf. Sud 1 wird neben den genannten Attributen geschmacklich häufig als „ausgewogen“ und „arttypisch“ eingestuft. Hinzu kommen weitere Attribute wie „sauer“ und „bitter“. Auch Sud 2 wird in dieser Eigenschaft oft mit „bitter“ und „arttypisch“ beschrieben. Drei Prüfer schmecken zudem eine „minimale Algennote“ heraus, während fünf den Geschmack generell als „mild“ eingliedern. Sud 4 zeigt ähnliche Bewertungen, jedoch findet eine Beschreibung wie „arttypisch“ keine Anwendung. Die Sude 3 und 5 werden ebenfalls mehrfach als „bitter“ bezeichnet. Weiterhin wird von mehreren Prüfern ein „starker Algen-“ und „untypischer“ Geschmack wahrgenommen. Im Unterschied dazu fallen bei Sud 3 weitere Attribute wie „abgestanden“ und „fischig“.

Beim Mundgefühl werden alle Sude durchweg mit denselben Attributen „prickelnd“, „vollmundig“ und „dünnflüssig, leicht“ beschrieben. Im direkten Vergleich stehen die Attribute „vollmundig“ und „dünnflüssig, leicht“ im gleichen Verhältnis. Weitere Differenzen sind bei Sud 2 ersichtlich, wobei fünf Prüfer „wenig prickelnd“ hinzufügen. Die Sude 3, 4, und 5 sind dahingegen interessant, da das Mundgefühl hierbei von ca. fünf Prüfern als „adstringierend“ wahrgenommen wird.

5 Abschlussdiskussion

Bei Betrachtung aller Ergebnisse der beiden Versuchsreihen (Sud 1 - 9) sind viele Zusammenhänge und gegenseitige Beeinflussungen festzustellen. Insgesamt ist hierbei aufgefallen, dass bei allen Suden eine ausreichende Gärung stattgefunden hat und charakteristische Biere entstanden sind. Dabei liegen sowohl der scheinbare Restextrakt und Alkoholgehalt, als auch die für den Erfolg der Gärung wichtigen Größen (reduzierende Zucker und FAN) im Bereich der von der Literatur angegebenen Größenordnungen. Trotz der veränderten Zugabe des Algenpulvers, vor allem bei den Suden 1 - 5 der ersten Versuchsreihe, verlief der Brauprozess an sich und entsprechend der ermittelten Prozessgrößen (pH-Wert, Volumen, Zeit, Stammwürze) ohne folgenschwere Komplikationen. Lediglich beim Läutern und Umschlauchen der Biere gab es etwas größere Probleme, die jedoch den erfolgreichen Abschluss des Brauens nicht verhinderten. Bei der Farbe ist zwischen der Würze und dem gereiften Bier generell ein leichter Anstieg der Helligkeit (L^* -Wert) zu verzeichnen. Auch die a^* - bzw. b^* -Intensitäten zeigen in ihrer jeweiligen Farbrichtung, positiv oder negativ, eine leichte Erhöhung. Interessant ist zudem, dass die entlang des Brauprozesses veränderte Algenzugabe einen hohen Einfluss auf die letztendliche Bierfarbe mit sich zieht. Dabei gilt: Je früher die Algenzugabe erfolgt, desto größer ist der Farbverlust und desto mehr entspricht der optische Farbeindruck dem Referenzsud (Sud 1) ohne Algen.

Werden die Sude bzw. die beiden Versuchsreihen im Einzelnen betrachtet, fallen weitere und für die Sude spezifische Besonderheiten auf, die im weiteren Verlauf separat voneinander bewertet werden.

Betrachtung der Rezeptur und des Brauprozesses

Bei allen Suden der ersten Versuchsreihe (1 - 5) wurden als Grundlage die gleiche Malz-, Hopfenzusammensetzung und Algenkonzentration gewählt; lediglich der Zeitpunkt der Algenzugabe variierte. Dieses ermöglichte einen besseren Vergleich der Sude, da aufgetretene Unterschiede hauptsächlich der veränderten Algenzugabe zu Grunde lagen. Bei den Suden 6 - 9 sollte vorwiegend der Einfluss des Hopfens auf den Algengeschmack untersucht werden, weshalb die Malzzusammensetzung ebenso gleichblieb und nun auch die Zugabe der Algen jeweils zum gleichen Zeitpunkt erfolgte. Um den Einfluss des Hopfens auf die Intensität des Algengeschmacks noch detaillierter zu bewerten, wurden einerseits zwei Varianten erhöhter Bitterkeit mit wenig Hopfenaromen und nochmals zwei, jedoch mit vertauschten Eigenschaften (geringe Bitterkeit und viele Hopfenaromen), gebraut. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Hopfen (fruchtige bzw. würzige) konnte außerdem differenziert werden, ob eine bestimmte

Aromakomponente besonders gut harmonierte. Im Vergleich zu den Suden 1 - 7 wurden bei Sud 8 und 9 die Rastzeiten so angepasst, dass die zweite Rast 15 min verkürzt und die dritte Rast 10 min verlängert vorlag. Damit sollte ein gezielter Abbau der langketten Zuckerstrukturen von der α -Amylase in mehrere einzelne kurze Strukturen erreicht werden, sodass der Glucoamylase in der folgenden vierten Rast zusätzliche Kontaktstellen zur Verfügung stehen und vermehrt vergärbare Zucker (Glucose) abgespalten werden. Die Hefe kann diese anschließend verwerten, welches die Restsüße im gereiften Bier minimiert und dem Bier die charakteristische Trockenheit verleiht (Beer & Wine Journal, 2018).

Bei allen Suden wurde vor allem zum Braubeginn hauptsächlich mit entionisiertem Wasser 0,0 °dH gearbeitet. Helle Biere werden grundsätzlich mit sehr weichem Wasser eingebraut, da helle Malze den pH-Wert der Maische nicht zu stark herabsetzen. Die Minerale des Brauwassers würden den pH-Wert gegenläufig wieder anheben. Wenn beispielsweise hartes Wasser mit vielen Mineralien verwendet wird, würde der pH-Wert zu sehr in die alkalische Richtung steigen, wodurch die Malzenzyme nicht optimal arbeiten und damit die spätere Gärung negativ beeinflussen (Brücklmeier, 2018; Hanghofer, 2016). Bei den Nachgüssen während des Läuterns wurde dennoch auch hartes Leitungswasser mit 17,0 °dH verwendet, da durch die gelösten Mineralien die Stabilisierung des Geschmacks und Schaums zusätzlich verbessert werden (Brücklmeier, 2018).

Während des Brauprozesses gab es kleinere Probleme zu bewältigen. Bei der Zugabe von *Spirulina* blieb das Pulver zunächst an der Oberfläche und ging mit der Maische bei Sud 2 bzw. der Würze bei Sud 4 und 5 - 9 nicht in Suspension. Da der Rührer bei der ersten Zugabe eingeschaltet war, wurde zudem ein Großteil des Pulvers an die Innenwand gedrückt und blieb dort haften. Das liegt daran, da es durch die Sprühtrocknung eine sehr hohe Feinheit besitzt und deshalb zu leicht ist, um durch den an der Oberfläche schwimmenden Schaum zu dringen. Das Algenpulver wurde daraufhin manuell eingerührt. Vor der Zugabe wurde zudem der Rührer gleich ausgeschaltet, um ein zusätzliches Anhaften an der Innenwand zu vermeiden. Während sich beim Maischen keine Komplikationen zeigten, traten beim Läutern bei Sud 2 die ersten Probleme auf, da die Rückflussgeschwindigkeit der Vorderwürze in die Maischpfanne sehr gering war. Grund dafür ist das in der Maische gelöste Algenpulver, dessen feine Struktur den Filterkuchen zunehmend verdichtete und ein Rückstau der Vorderwürze verursachte. Da der Rückfluss immer geringer wurde, musste der Läuterbottich mehrmals geöffnet und der Filterkuchen aufgelockert werden (Brücklmeier, 2018). Im Gegensatz dazu verlief der

Läutervorgang bei beiden Brut IPA's (8 und 9), im Vergleich zur Arbeit von Beisler (2019), auffallend besser. Ein Reisflockenanteil von 10,0 % scheint demnach in dieser Brauanlage keinen sichtbaren negativen Einfluss auf das Läutern hervorzubringen.

Zwei weitere Auffälligkeiten ergaben sich beim Kochen. Zum einen wurde ein starkes Überschäumen der Würze beobachtet, sofern die Solltemperatur auf 99,9 °C eingestellt wurde. Die Anlage schaffte jedoch nur einen maximalen Wert von 98,2 °C, womit die Heizrate stetig auf 100,0 % lag und zum besagten Überschäumen führte. Es erwies sich als fördernd, die Solltemperatur auf max. 98,5 °C festzulegen. Mit dieser Einstellung wurde das Bier nicht allzu stark beheizt, aber dennoch ausreichend, um die Temperatur stabil zu halten. Das zweite Problem fiel bei der Hopfenzugabe auf. Durch die starke Rührströmung wurde der zugegebene Hopfen direkt an die Innenwand gedrückt und blieb dort haften, sodass das Lösen der Bitter- und Aromastoffe im Bier nicht ausreichend gewährleistet war. Der Rührer wurde bei den nachfolgenden Suden deshalb während der Zugabe für ca. 2 min ausgeschaltet.

Der anschließende Whirlpool verlief bei allen Suden ohne Komplikationen. Lediglich bei Sud 6 musste das Überführen der Würze früher beendet werden, da der Überlauf relativ schnell trüb wurde. Grund dafür war ein zu schnelles Abbrechen der Ruhephase, da bis zum Ende immer noch Trubstoffe an die Oberfläche aufstiegen und beim Überführen wahrscheinlich noch nicht wieder vollständig sedimentiert sind.

Im Laufe der Hauptgärung traten zunächst keine Schwierigkeiten auf. Erst als der fünfte und letzte Keg der ersten Versuchsreihe an die Spundanlage angeschlossen wurde, lief das Jungbier der anderen vier Kegs in die Spundanlage über, weshalb diese umgehend von der Spundanlage abgetrennt wurden. Gründe hierfür liegen bei den zu stark gefüllten Kegs und in der Spundanlage selbst, die eine gleichzeitige Belastung von fünf Kegs nicht mehr steuern konnte. Die obergärige Hefe stieg mit der Zeit an die Bieroberfläche und bildete im Kopfraum eine Schaumkrone aus. Der Kopfraum war jedoch sehr gering, da die Kegs bis zum Maximum gefüllt wurden, weshalb der Hefeschäum letztendlich über das mit der Spundanlage verbundene Auslassventil in den Schlauch überlief (siehe Anlage 7, Abbildung 33). Als Konsequenz wurden die Kegs der zweiten Versuchsreihe nur bis max. 16,0 l - 17,0 l befüllt, welches ein erneutes Überlaufen unterband.

Bei Sud 8 und 9 wurde zusätzlich kaltgestopft. Dafür wurde der Hopfen jeweils lose in die neuen Kegs vorgelegt. Beim nachfolgenden Umschlauchen führte dieses zu Problemen, da die fein verteilten Hopfenpartikel das Auslassventil verstopften. Für zukünftige Versuche empfiehlt es sich daher, den Hopfen in sogenannte Hopfennetze oder Teefilter vorzulegen und im Inneren des Kegs zu fixieren bzw. hineinzuhängen (Brücklmeier, 2018).

Betrachtung der Prozessparameter (Zeit, Volumen, Temperatur, pH-Wert und Stammwürze)

Damit der jeweilige Brauprozess optimal überwacht werden konnte, wurden die im Punkt 3.1.3 aufgelisteten Prozessparameter stetig ermittelt und in den Tabellen 7 - 10 dokumentiert. Bei der Temperatur sind keine Auffälligkeiten aufgetreten. Jegliche Rast- und Läutertemperaturen wurden eingehalten, sodass auch die Temperatur der zusätzlichen vierten Rast bei Sud 8 und 9 im oberen optimalen Wirkungsbereich der Glucoamylase (siehe Anlage 5, Abbildung 31) lag. Die Kochtemperatur war bei allen Suden identisch, weshalb von einem gleichmäßigen Übergang der erwünschten Hopfenbestandteile in die Würze auszugehen ist. Bei den Suden 6 - 9 wurde die Temperatur vor der Whirlpoolhopfung einheitlich auf unter 80,0 °C gekühlt, sodass keine weiteren Bitterstoffe in die Würze übergingen (Knorr und Kremkow, 1972). Die Zugabe von *Spirulina* zu den Suden 5 - 9 beim Würzekühlen erfolgte jeweils bei einer Temperatur zwischen 39,0 °C und 40,0 °C. Damit wurde ein thermischer Abbau der wertvollen Inhaltsstoffe unterbunden (Sarada et al., 1999). Die Anstelltemperatur der Sude wurde zwischen 19,8 °C und 22,0 °C eingestellt und lag somit in dem vom Hersteller (siehe Anlage 5, Abbildung 32) empfohlenen Bereich von 15,0 °C - 22,0 °C. Auch die jeweilige Gärtemperatur wurde über die gesamte Zeit im vorgegebenen Bereich gehalten, sodass für die Gärung stets optimale Bedingungen herrschten.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist das Volumen. Ein Meilenstein war die Einstellung des Volumens vor dem Kochen auf mindestens 23,0 l, welches bei allen Suden erreicht wurde. Nach dem Whirlpool hat das Volumen der Würze bei allen Suden um bis zu 7,0 l abgenommen, da einerseits Verdampfungsverluste beim Kochen auftraten und mit Abbruch des Überführens der klaren Würze aus dem Whirlpool immer mindestens 4,0 l - 5,0 l mit den Trubstoffen zurückblieben (Narziss et al., 1992). Da das *Spirulina* - Pulver der Würze schon hinzugefügt wurde, bevor das endgültige Volumen eingestellt war, konnte die Algen - Konzentration im Bier nur noch über diesen Parameter beeinflusst werden. Deshalb wurde während des Würzekühlens bei allen Suden primär darauf Wert gelegt, ein identisches Ausschlagvolumen zu erreichen. Mit einem einheitlichen Volumen von 19,5 l konnte diese Vorgabe bei fast allen Suden mit Algenzusatz erfüllt werden. Eine Ausnahme stellt Sud 6 mit einem Ausschlagvolumen von 18,0 l dar, da hierbei die Stammwürze von 13,0 °P, aufgrund des zeitigen Abbruchs des Whirlpools, bereits unterschritten war und weitere Nachgüsse eine zu hohe Abweichung verursacht hätten.

Neben dem Volumen ist auch die Zeit ein wichtiger Faktor. Bei allen Suden wurden die vorgegebenen Rastzeiten eingehalten. Bei Sud 1 verursachten die letzten Vorbereitungen nach Kochende eine 3-minütige Wartezeit. Damit ein einheitlicher Herstellungsablauf gewährleistet werden konnte, wurde diese Wartezeit für alle Sude der ersten Versuchsreihe übernommen. Somit wurde auch die Zeit der Nachisomerisierung und die Bitterkeit gleichermaßen verändert. Die Gesamtdauer des Brauprozesses bis zum Beginn der Gärung unterschied sich zwischen den Suden um bis zu 84 min. Die großen Unterschiede kamen vorwiegend durch auftretende Schwierigkeiten beim Läutern und Würzekühlen zustande. Zudem wurde der Maischvorgang der Sude 8 und 9 durch die zusätzliche vierte Rast um 60 min verlängert.

Zur Bestimmung des pH-Wertes wurden zu unterschiedlich festgelegten Zeitpunkten Stichproben entnommen und untersucht. Nach dem Einmaischen ist zunächst zu erwähnen, dass die pH-Werte aller Sude in dem von der Literatur angegebenen Bereich zwischen 5,20 und 6,00 und damit im optimalen Wirkungsbereich der Malzenzyme lagen (Narziss et al., 1992). Damit war die Auswahl des Brauwassers für diese Versuche geeignet. Bei den Suden der ersten Versuchsreihe fiel Sud 2 besonders auf, da der pH-Wert mit 6,00 von den anderen Suden leicht abwich. Grund hierfür ist das durch die Vielzahl an basischen Mineralien stark alkalische *Spirulina* - Pulver (Belkin und Boussiba, 1991). Dieser leicht höhere pH-Wert war auch bei Sud 4 nach dem Kochen, bei Sud 5 - 9 während des Würzekühlens und bei Sud 3 nach der Reifung zu verzeichnen, da zu diesen Zeitpunkten jeweils die Zugabe von *Spirulina* erfolgte. Im Laufe des Brauprozesses blieb der pH-Wert nahezu unverändert. Nach dem Kochen ist der pH-Wert aufgrund der zugeführten Hopfenbittersäuren, der Bildung von sauer reagierenden Maillardprodukten und der Ausscheidung von alkalischen Phosphaten um ca. 0,2 gesunken (Narziss et al., 1992). Ein Ausgleich erfolgte durch die nahezu neutralen Nachgüsse beim Würzekühlen, wobei der pH-Wert wieder leicht anstieg. Während der pH-Wert der noch algenfreien Sude 1 und 3 bei ca. 5,60 lag, wurden bei den anderen Suden Werte zwischen 5,90 und 6,40 ermittelt. Dabei war der pH-Wert umso höher, je später die Algenzugabe erfolgte, da die Struktur durch vorzeitiges Zugeben durch die hohe Temperatur intensiver zerstört und damit die alkalische Wirkung minimiert wurde. Dieses Verhältnis blieb bis zum Ende der Reifung bestehen. Ersichtlich ist weiterhin, dass sich der pH-Wert im Laufe der Hauptgärung aufgrund der Bildung von „Kohlensäure“ aus CO₂ und H₂O rapide reduziert und bei den algenfreien Suden Werte im Bereich 4,10 - 4,40 und 4,50 - 5,20 bei den anderen Suden mit Algenzusatz annimmt (Brücklmeier, 2018). Bei Sud 3 ist aufgrund der Zugabe von *Spirulina* nach der Nachgärung ein um ca. 1,00 höherer pH-Wert zu verzeichnen. Der vorherige Grundsatz:

„Der pH-Wert ist umso höher, je später die Algenzugabe erfolgt“ gilt hierbei aber nicht, da sich ein Großteil des Algenpulvers durch mechanisches Schütteln im Jungbier nicht löste und mit dem anschließenden Umschlauchen aus dem Keg entfernt wurde. Werden die pH-Werte der gereiften Biere betrachtet, liegen nur die Sude 1 und 2 in dem von der Literatur angegebenen pH-Wert - Bereich (4,60 - 4,80). Alle weiteren Biere besitzen aufgrund von *Spirulina* einen etwas höheren pH-Wert, welcher die mikrobiologische Stabilität aber nicht kritisch gefährdet. Die Biere konnte daher ohne gesundheitliche Gefahr verkostet werden (Brücklmeier, 2018).

Neben dem pH-Wert ist auch die Stammwürze maßgebend für den Brauerfolg. Dieser Parameter wurde nach dem Läutern das erste Mal dokumentiert und zeigte bei allen Suden bis auf Sud 2 einheitliche Werte zwischen 14,0 °P und 14,5 °P. Bei Sud 2 brachte das zusätzlich zum Malz zugeführte *Spirulina* - Pulver weitere Extrakte, hauptsächlich in Form von Eiweiß, in die Vorderwürze, welches die Stammwürze erhöhte (Kunze, 2016). Nach dem Whirlpool war die Stammwürze bei allen Suden leicht angestiegen, welches dem verdunsteten Wasser und folgendem Volumenverlust bei prozentualem Extraktanstieg geschuldet war. Obwohl das Hauptaugenmerk auf eine Einstellung gleicher Ausschlagvolumen gelegt wurde, waren die Stammwürzen vor dem Anstellen innerhalb der festgelegten Größe dicht beieinander. Im Laufe der Gärung nahm die Stammwürze bis auf einen Wert zwischen 3,2 °P und 2,5 °P ab und liegt bei allen Suden im angegebenen Literaturbereich von 4,0 °P - 2,5 °P. Es kann daher von einem optimalen Gärverlauf und einer optimalen Hefeaktivität ausgegangen werden. Weiterhin ist auffällig, dass sich die Stammwürze der Sude 2, 4 und 5 mit Algenzusatz im Vergleich zu den algenfreien viel schneller reduziert. Zu erklären ist diese Erkenntnis damit, dass die Algen den Eiweißgehalt (FAN) in der Würze erhöhen und die Hefe damit mehr Nährstoffe für Wachstums- und Umwandlungsprozesse zur Verfügung hat. Somit wurde das Wachstum beschleunigt und die Hefeaktivität nahm sehr viel früher ihr Optimum ein (Kunze, 2016, Mebak, 2012). Ein Vergleich der Sude 6 - 9 zeigt, dass bei den Suden 8 und 9 eine um 0,7 °P - 0,9 °P geringere Stammwürze auftritt. Das liegt an der zusätzlichen vierten Rast, wobei die von der dritten Rast noch verbliebenen kurzkettigen, nichtvergärbaren Zucker weiter zu vergärbaren Glucose abgebaut werden. Abbildung 4 zeigt dabei einen um das Dreifache bzw. Fünffache gestiegenen Glucosegehalt in der Maische. Zum einen wird dadurch die erfolgreiche Anwendung der Glucoamylase deutlich. Zum anderen wird ersichtlich, dass die Hefe diesen zusätzlich verfügbaren vergärbaren Zucker auch tatsächlich verwertet hat. Sud 8 und 9 erreichten jeweils eine Stammwürze von 2,5 °P bzw. 2,3 °P. Ziel war es jedoch die Stammwürze auf nahezu 0,0 °P (Endvergärungsgrad von 100,0 %) einzustellen. Es wird daher vermutet, dass die Hefe

US-05 einen zu niedrigeren Endvergärungsgrad besitzt und demnach für die Herstellung eines Brut IPAs nicht geeignet ist. Anhand der gegebenen Messwerte konnte diesbezüglich nur ein Endvergärungsgrad von max. 83,0 % (siehe Tabelle 10) erzielt werden. Es ist daher ratsam, entweder eine andere geeignete Hefe zu verwenden oder nach der Hauptgärung erneut etwas Hefe bzw. gleich beim Anstellen erneut 9,0 ml des Enzyms Glucoamylase zuzugeben (Beer & Wine Journal, 2018; Kunze, 2016). Im weiteren Verlauf der Nachgärung und Reifung sind innerhalb der Sude leichte Veränderungen der Stammwürze zu beobachten. Diese sind jedoch zu vernachlässigen, da mit abweichenden CO₂ - und Alkoholgehalten auch das Messverhalten der Bierspindel (CO₂ lässt die Spindel zusätzlich auftreiben) beeinflusst wird (Brücklmeier, 2018).

Betrachtung reduzierende Zucker, FAN und Alkoholgehalt

Zwischen diesen drei charakteristischen Messgrößen ist bei allen Suden ein einheitlicher Zusammenhang festzustellen. Im Verlauf der Gärung reduziert sich der Gehalt an reduzierenden Zuckern und FAN analog zur Stammwürze, während die Konzentration an Alkohol zunimmt. Dieses zeigt, dass genügend Nährstoffe in der Würze vorlagen, sodass die Hefe ihre Funktion erfüllen konnte. Unterstützt wird diese Annahme auch durch die in der Würze enthaltenen reduzierenden Zucker und FAN, welche, bis auf die reduzierenden Zucker bei Sud 8 und 9 (bei denen aber ein höherer Gehalt erwünscht ist), in dem von der Literatur empfohlenen Bereich von 60,00 g/l - 90,00 g/l bzw. 160,00 mg/l - 250,00 mg/l liegen (Kunze, 2016; Mebak, 2012). Sud 1 - 5 zeigen dabei reduzierende Zucker zwischen 67,00 g/l und 82,00 g/l. Bei Sud 6 und 7 sind etwas höhere Gehalte zwischen 80,00 g/l und 82,00 g/l ersichtlich, da durch die höhere Stammwürze (13,0 °P) auch mehr Malz und folglich mehr Extrakt in die Würze extrahiert wird. Noch höher (88,00 g/l - 94,00 g/l) war die Menge der reduzierenden Zucker bei Sud 8 und 9, da durch die zusätzliche vierte Rast und Wirkung der Glucoamylase mehr vergärbare Zucker in Form von Glucose gebildet wurden.

Beim FAN sind in der Würze generell Gehalte zwischen 175,00 mg/l und 227,00 mg/l ersichtlich, wobei die sehr große Spanne mit der unterschiedlichen Algenzugabe zu begründen ist. Bei den Suden 2 und 4 wurden die Algen frühzeitig und bei hoher Temperatur zugegeben, sodass das Eiweiß der Alge denaturierte und mit dem Läutern bzw. Whirlpool aus der Würze größtenteils entfernt wurde. Bei Sud 5 ist der FAN - Gehalt am höchsten, da das Algenpulver erst nach dem Whirlpool und bei einer für das Eiweiß unschädlichen Temperatur zudosiert wurde, sodass nahezu das gesamte Eiweiß in der Würze blieb. Bei den Suden 8 und 9 sind die

FAN - Gehalte aufgrund des Einsatzes der Reisflocken etwas geringer, welche nachweislich einen geringeren Proteingehalt von ca. 7,0 % (siehe Anlage 5, Abbildung 29) besitzen.

Der gesamte Verlauf der Gärung lässt sich bei beiden Messgrößen anhand der Sude 1 - 5 in zwei deutliche Bereiche abgrenzen. Der erste Bereich umfasst dabei den Beginn bis hin zum Ende des zweiten Hauptgärungstages. In dieser Phase nehmen sowohl die reduzierenden Zucker als auch der FAN sehr stark ab, da die Hefeaktivität in diesem Zeitraum am größten ist (Weinfurtner, 1963). Hierbei ist Sud 3 auffällig, da er in diesem Bereich immer stark signifikant höhere Gehalte an reduzierenden Zuckern und FAN aufweist und nach dem ersten Hauptgärungstag nahezu keine Reduktion ersichtlich ist. Das liegt daran, dass dieser Sud noch am selben Tag direkt nach Sud 2 eingebraut wurde. Da jedoch die Probennahme bei allen Suden gleichzeitig erfolgte, war die Wirkungszeit der Hefe immer um einen halben Tag geringer, welches zudem auch durch die Messung der Stammwürze ersichtlich wird.

Der zweite Bereich beginnt beim dritten Hauptgärungstag und endet mit dem Abschluss der Reifung. Hierbei reduzieren sich beide Messgrößen nur noch gering und nehmen spätestens ab dem vierten Hauptgärungstag nahezu konstante Werte an, welche innerhalb der Sude kaum signifikante Unterschiede aufweisen. Zu begründen ist dieser Verlauf mit den an die Oberfläche aufsteigenden Hefeverbänden und einer dadurch reduzierten Hefeaktivität. Zudem war der größte Anteil an vergärbaren Zuckern aufgebraucht (Weinfurtner, 1963). Ausnahme ist jedoch Sud 5, welcher aufgrund des deutlich höheren Ausgang - FAN - Gehaltes auch im gesamten Verlauf der Gärung stets die höchsten Werte besitzt.

Während der Verlauf beim reduzierenden Zucker nahezu waagrecht erfolgt, sind beim FAN innerhalb der ersten Versuchsreihe sprunghafte Veränderungen zu erkennen. Das liegt voraussichtlich an der von jedem Sud der ersten Versuchsreihe (1 - 5) separat bereitgestellten Probe von einem Liter, von denen nach jedem Hauptgärungstag eine kleine Probe entnommen wurde. Mit der Zeit haben sich von der Ein-Literprobe jegliche Trub- und Algenreste im Erlenmeyerkolben abgesetzt (siehe Anlage 7, Abbildung 34). Bei der täglichen Probenahme wurde der Kolben teilweise so stark bewegt, dass sich das Sediment aufwirbelte. Eine repräsentative Probennahme war dadurch nicht möglich und führte schlussendlich zu den sprunghaften Ergebnissen.

Nach der Reifung sind bei den Suden 1 - 9 reduzierende Zucker zwischen 5,00 g/l und 9,00 g/l ersichtlich. Der FAN - Gehalt nimmt Werte im Bereich 51,00 mg/l - 77,00 mg/l an. Damit befinden sich diese Werte in der von der Literatur vorgegebenen Spanne (10,00 mg/l - 120,00 mg/l), während die reduzierenden Zucker unter den von Liedek (2019) ermittelten Werten liegen (Mebak, 2012). Somit war der Anteil vergärbbarer Zucker in der

Würze letztendlich größer, welcher von der Hefe in Alkohol und CO₂ umgewandelt wurde. Sud 8 und 9 haben mit ca. 5,00 g/l bzw. 6,00 g/l den geringsten Gehalt, da durch die zusätzliche vierte Rast der Anteil an vergärbaren Zuckern noch größer war. Im direkten Vergleich mit den ermittelten Werten (5,00 g/l - 10,00 g/l) von Beisler (2019) sind relativ identische Gehalte ersichtlich. Somit lässt sich auch anhand der reduzierenden Zucker feststellen, dass die verwendete Hefe für die Herstellung eines BrutIPAs nicht optimal ist, da das Ziel, die Restsüße auf ein Minimum (am besten 0,0 °P bzw. 0,00 g/l) zu reduzieren, nicht erreicht wird.

Weiterhin ist der FAN - Gehalt der Sude 6 - 9 im Vergleich etwas größer, welches der höheren Stammwürze von 13,0 °P und der späten Algenzugabe analog zu Sud 5 zu Grunde liegt. Eine letzte Auffälligkeit zeigt Sud 3 NaGä, bei welchem sich der FAN - Gehalt nach der Reifung stark um ca. 25,00 mg/l erhöht. Dieser Anstieg kommt zustande, da bei diesem Sud das *Spirulina* - Pulver und damit zusätzliches Eiweiß erst nach der Nachgärung zugegeben wurde, welches sich entsprechend auf den FAN - Gehalt auswirkt.

Die Gehalte der beiden Messgrößen beeinflussen maßgebend den Alkoholgehalt der einzelnen Biere. Der FAN ist bei allen Suden sehr hoch, dass selbst der niedrigste Gehalt keinen negativen Einfluss auf die Hefeaktivität ausübt (Kunze, 2016). Da auch die weiteren Bedingungen bei allen Suden vergleichbar sind und innerhalb des Wirkungsraumes der Hefe liegen, beeinflusst hauptsächlich der reduzierende Zucker die gebildete Menge an Alkohol. Dabei lässt sich bei Betrachtung aller Sude feststellen, dass umso mehr Alkohol gebildet wird, je höher der Gehalt an reduzierenden Zuckern in der Würze ist. Somit haben die Sude 8 und 9 mit ca. 6,20 % vol. von allen Bieren den signifikant meisten Alkohol, da auch der Gehalt an reduzierenden Zuckern aufgrund der in der zusätzlichen Rast wirkenden Glucoamylase bei diesen Suden zu Beginn der Gärung am größten ist.

Betrachtung des Alkoholspektrums

Neben dem Gesamtalkoholgehalt ist auch das im Jungbier enthaltene Alkoholspektrum charakterisiert worden. Dafür wurden der Referenzsud 1 ohne Algen und Sud 5 - WüKü nach der Hauptgärung gaschromatographisch untersucht und beide Chromatogramme als „Overlay plot“ übereinandergelegt. Dabei können zwischen beiden Suden kaum Unterschiede festgestellt werden, sodass von *Spirulina* keine sichtbare Beeinflussung auf die Stoffwechselprozesse der Hefe im Gärverlauf ausgeht. Auch der bei beiden Suden mit ca. 90,00 % hohe Ethanolanteil zeigt einen jeweils optimalen und gleichmäßigen Gärverlauf. Den restlichen Anteil bilden vorwiegend für obergärige Biere übliche und vor allem erwünschte

Bukettstoffe wie 1-Propanol, 2-Methyl-1-Propanol und 3-Methyl-1-Butanol. Der Anteil dieser Stoffe ist jedoch bei Sud 5 etwas höher als beim Referenzsud ohne Algen. Das liegt an dem höheren FAN - Gehalt von Sud 5, ausgelöst durch die spätere Algenzugabe, wodurch die Hefe eine intensivere Gärung und dadurch erhöhte Bukettstoffproduktion betreiben konnte. Diese Bukettstoffe bleiben bis zum Ende im Bier enthalten, weshalb die Ergebnisse somit auch auf die gereiften Biere übertragen werden können. Beim Referenzsud wurde zudem auch Essigsäureethylester nachgewiesen, welcher in geringer Konzentration ebenfalls zu den erwünschten Bukettstoffen zählt und im Bier eine fruchtige Komponente ausmacht (Brücklmeier, 2018). In der Summe machen die aufgezählten Stoffe einen Anteil von ca. 99,5 % aus. Das hängt mit den weiteren identifizierten Stoffen zusammen, dessen Peaks jedoch nur gering über dem Grundrauschen und damit unterhalb der kleinsten noch nachweisbaren Menge liegen. Für die Auswertung sind diese deshalb zu vernachlässigen (Gottwald, 1996).

Auf diese wichtigen Parameter beziehend lässt sich daher zusammenfassend die von Ozdemir et al. (2004) und Abedin et al. (2008) beschriebene aktive Hemmung und Veränderung der verschiedenen Stoffwechselprozesse der Hefen, zumindest auf den Brauprozess, durch die Algen widerlegen. Denn im direkten Vergleich der „Algenbiere“ mit dem Referenzsud 1 fallen diesbezüglich keine grundlegenden negativen oder aktiv förderlichen Beeinflussungen auf.

Betrachtung der Farbe

Anhand der Messergebnisse wird zunächst ersichtlich, dass im Laufe der Gärung die Helligkeit (L^*) bei allen Suden zunimmt. Bei intensiverer Betrachtung ist der Anstieg der Helligkeit bis hin zum Ende des dritten Hauptgärungstages sehr viel stärker, während im weiteren Verlauf die Zunahme etwas abflacht bzw. konstante Werte einnimmt. Zu begründen ist dieser Verlauf mit den sich vor allem am Anfang absetzenden Trubstoffen, welche eine automatische Klärung und damit einhergehende Aufhellung des Bieres bewirken. Im direkten Vergleich zeigen die Sude 1 + 3 (ohne Algen) mit über 50,00 Einheiten stets die höchsten L^* -Werte und erscheinen damit am hellsten, gefolgt von Sud 2 - Einm., Sud 4 - WüKo und schlussendlich die Sude 5 - 9, welche die mit Abstand niedrigsten L^* -Werte besitzen. Diese Einstufung ist mit der unterschiedlichen Algenzugabe zu begründen. Bei Sud 2 wurde das dunkle und durch die farbgebenden Stoffe Chlorophyll und Phycocyanin grün - blaue Algenpulver ($L^*a^*b^*$ -Werte siehe Abbildung 17) direkt beim Einmaischen hinzugefügt, während die Zugabe bei Sud 4 erst beim Kochen und bei den Suden 5 - 9 noch später bei einer für die beiden Farbstoffe unempfindlichen Temperatur

innerhalb des Würzekühlens erfolgte (Becker, 1994; Coher, 1999). Je früher die Algen zugegeben werden, desto intensiver ist die thermische Belastung. Dieses führt folglich zu einem intensiveren Farbverlust (siehe Tabelle 14; Abnahme der negativen und anschließende Zunahme der positiven Intensität vom a^* - und b^* -Wert). Das Bier erscheint damit wieder in seinem charakteristischen gelb - braunen Farbton (Weemaes et al., 1999; Sarada et al., 1999). Bei den Suden 5 - 9 wird diese thermische Belastung auf nahezu null reduziert, weshalb die dunkle Farberscheinung des Algenpulvers vollständig erhalten bleibt. Dennoch treten bei Sud 8 und 9 immer etwas höhere L^* -Werte auf, da die aufgrund der Reisflocken im Bier bestehende hell weiß - gelbe Trübung der dunklen Farbgebung von *Spirulina* etwas gegensteuert.

Beim a^* -Wert sind im Gärverlauf generell nur leichte Abnahmen bei allen Suden zu verzeichnen, sodass die sedimentierten Trubstoffe auf diesen Farbraum kaum Einfluss haben. Dabei liegen die Werte der Sude 1 - 4 im leicht positiven Bereich immer relativ nahe beieinander, wobei Sud 4 ab der Nachgärung stets die höchste Intensität aufzeigt und daher einen etwas höheren Rot- bzw. Braunton aufweist. Gegenläufig zeigen die Sude 5 - 9 negative a^* -Intensitäten im Bereich -5,00 Einheiten bis -10,00 Einheiten und bewegen sich daher im grünen Farbbereich, ausgelöst durch das thermisch unbeschadete Chlorophyll im Algenpulver (Weemaes et al., 1999). Weiterhin fällt auf, dass die negative Intensität bei den Suden 8 und 9 etwas höher liegt. Auch das ist mit der weiß - gelblichen Trübung der Reisflocken zu begründen, welche mit den blauen Farbelementen vermischt und das sonst tiefblaue Bier grün - türkis erscheinen lässt (siehe Abbildung 17). Bei Betrachtung der Abbildung 12 sind zudem zwei Ausreißer aufgefallen. Zum einen die höheren Werte bei Sud 2 nach dem ersten und zweiten Hauptgärungstag. Vermutlich wurden bei der täglichen Probennahme neben dem Jungbier auch Hefe bzw. Trubstoffe entnommen (siehe Abbildung 34), welche aufgrund der dunkelbraunen Farbe fälschlicherweise den a^* -Wert in Richtung rot erhöhten.

Der b^* -Wert verändert sich im Gärverlauf bei den algenfreien Suden 1 und 3 kaum und liegt stets im positiven und damit gelben Bereich rundum 30,00 Einheiten, sodass das Sedimentieren der Trubstoffe diese Farbkoordinate nicht beeinflusst. Die Intensität der Sude 2 und 4 ist zu Beginn zunächst signifikant geringer. Während der ersten Hauptgärungstage ist jedoch ein deutlicher Anstieg der b^* -Werte zu verzeichnen, sodass die Intensität letztendlich die der Sude 1 und 3 übertrifft. Dieses ist abermals mit den dunkleren Trubstoffen zu begründen, welche den Gelbton zunächst übertönen und das Jungbier, nachdem sie sedimentiert sind, sowohl heller als auch gelblicher erscheinen lassen. Im Gegensatz dazu wechseln die b^* -Werte der Sude 5 - 9 im Laufe der Gärung in den negativen und damit blauen Farbraum bis auf ca. -10,00 Einheiten. Das blau kommt durch das in *Spirulina* enthaltene und tiefblaue Antennenpigment

Phycocyanin, welches aufgrund der angepassten Algenzugabe beim Würzekühlen und unter 40,0 °C nicht zerstört und somit im Bier erhalten bleibt (Cohen, 1999; Sarada et al., 1999). Auch beim b^* -Wert wird der Einfluss der durch die Reisflocken bestehenden Trübung bei Sud 8 und 9 ersichtlich, indem bei diesen beiden eine etwas geringere Blauintensität besteht. Nach der Reifung fällt Sud 3 besonders auf, da aufgrund des nach der Nachgärung zugeführten Algenpulvers die Helligkeit sehr stark um ca. 50,00 Einheiten abnimmt. Auch der a^* - und b^* -Wert verändern sich stark, indem bei beiden der Übergang in den negativen Bereich und damit ein Wechsel von rot zu grün bzw. gelb zu blau erfolgt. Damit nimmt dieser Sud die Farbakzente der Sude 5 - 7 an, zeigt jedoch eine höhere Intensität im Grünbereich.

All diese Erkenntnisse bzw. auch die Kurvenverläufe innerhalb der Sude von den jeweiligen Farbkoordinaten L^* , a^* und b^* in den Abbildungen 10 und 17 spiegeln sich auch statistisch in den Tabellen 77 - 81 und 83 wider, indem der ermittelte Farbabstand ΔE zwischen zwei benachbarten Proben mit voranschreitendem Gärtag immer weiter abnimmt. Ab dem fünften Hauptgärungstag ist ΔE sogar $< 5,0$, unter dieser die Farbe zwischen zwei Proben als keine andere mehr bewertet wird (Gierling, 2006).

Auch der intensive Farbverlust bei den Suden 2 - Einm. und 4 - WüKo und einer folglich annähernd gleichen Farbgebung wie beim Referenzsud 1 (siehe Abbildung 16) kann mit Hilfe der Literatur belegt werden, indem die von anderen Brauereien bereits hergestellten „Algenbiere“ betrachtet werden. Dabei wird die Farbe des Bieres der Braumanufaktur „Am Forsthaus Templin“ so beschrieben, dass sie optisch von bekannten hellen Biersorten nicht zu unterscheiden ist. Auch die „Klüvers“- bzw. „De Koperen Kat“ Brauerei charakterisieren ihr Bier mit einer hellen gold - gelben bzw. hellgelben (8,0 EBC) Farbe. Ein Vergleich ist deshalb möglich, da alle drei Brauereien die Algenzugabe direkt mit dem Malz tätigen (Algenbier.nl; Bierbasis.de, 2013; Klüvers Manufaktur).

Betrachtung des Phycocyaninanteils

Entlang der ermittelten Messwerte lässt sich ein deutlicher Zusammenhang mit der Bierfarbe feststellen. Dabei ist der Phycocyaningehalt umso höher, je tiefer das Bier optisch erscheint, sodass die Sude 5 - 7 im Endeffekt die mit Abstand höchsten Gehalte zwischen 0,600 g/l und 0,700 g/l aufzeigen. Dieses ist mit der sehr späten Zugabe des Algenpulvers bei einer für das Phycocyanin unbedenklichen Temperatur zu begründen.

Der direkte Vergleich mit den umgerechneten Literaturwerten (siehe Tabelle 15) zeigt selbst bei der geringsten Annahme von 63,3 mg/g Pulver (Hultberg et al., 2017) niedrigere Gehalte.

Auch wenn der genaue Phycocyanin - Gehalt des verwendeten Algenpulvers nicht bekannt ist, lassen sich dadurch trotzdem geringe Verluste während der Gärung und Reifung ableiten. Da die kritischen Parameter Temperatur und der pH-Wert (4,9 - 5,4) in dem für das blaue Farbpigment stabilen Bereich (unter 40,0 °C, pH = 5,0 - 6,0) lagen, kann der Verlust folglich nur durch das Umschlauchen oder durch Oxidationsprozesse entstanden sein, da durch das Öffnen von Sud 5 und dem geringeren Füllstand bei Sud 6 + 7 der Sauerstoffeintrag automatisch erhöht wurde. Trotz der identischen Algenzugabe ist bei den Suden 8 und 9 ein deutlich niedrigerer Phycocyaningehalt unter 0,400 g/l ersichtlich. Für die Messung ist es wichtig, dass die zu untersuchenden Proben nach dem Zentrifugieren klar sind. Durch die Reisflocken besteht jedoch in diesen beiden Bieren eine starke Trübung, welche selbst durch mehrmaliges Zentrifugieren nicht entfernt werden kann und die Blauintensität herabsetzt. Dieses zeigte sich in der anschließenden Bestimmung mit einer geringeren Extinktion (Böcker et al., 2019).

Es wurde zudem auch der Phycocyaningehalt der anderen Sude untersucht, um die Funktionsweise dieser Methode zu prüfen und zudem mögliche Verluste zu ergründen. Hierbei fällt zunächst auf, dass bei den algenfreien Suden 1 und 3, welche praktisch kein Phycocyanin enthalten, dennoch geringe aber vernachlässigbare Konzentrationen unter 0,010 g/l aufzufinden sind. Das liegt daran, da die Biere auch nach dem zentrifugieren noch eine geringe Trübung aufweisen. Da die photometrische Messung gegenüber Trübungen sehr empfindlich reagiert, spiegelt es sich letztendlich durch leicht erhöhte Extinktionen im gesamten Spektrum wider. Auch Sud 2, bei dem das *Spirulina* - Pulver direkt am Anfang enthalten ist, zeigt zu den oben genannten Suden 1 und 3 die gleichen Messwerte, sodass von einer vollständigen Zerstörung des Phycocyanins während des Brauprozesses auszugehen ist. Bei Sud 4 sind etwas höhere Konzentration von ca. 0,020 g/l nachweisbar, welches mit einer späteren Algenzugabe zum Ende des Kochens zu begründen ist. Demnach ist noch ein geringer Anteil an Phycocyanin enthalten und erklärt unterstützend die etwas dunklere Bierfarbe (Abbildung 16).

Bei Sud 3 ist nach der Reifung aufgrund der sehr späten Algenzugabe nach der Nachgärung ein sprunghafter Anstieg ersichtlich. Die bestehende Konzentration ist aber trotz des gleichen Algenanteils im Bier mit unter 0,400 g/l etwas niedriger. Da sich das Algenpulver im Bier sehr schlecht gelöst hat, war das Bier durch die Algenpartikel sehr trüb und inhomogen, welches wiederum die Ergebnisse analog zu Sud 8 und 9 verfälschte.

Bei Sud 5 wurde zusätzlich ein Lagerversuch über 18 Wochen durchgeführt und erneut der Phycocyaningehalt ermittelt. Dabei ist festzustellen, dass über diesem Zeitraum kein Verlust aufgetreten ist. Somit können einerseits die Erkenntnisse von Sarada et al. (1999) bestätigt und andererseits ein negativer Einfluss der Lagerbedingungen bzw. der Eigenschaften des Bieres

(vor allem der pH-Wert) auf dieses Pigment ausgeschlossen werden. Demnach ist bei Sud 5 der Wert nach der Reifung (0,468 g/l) kritisch als Ausreißer zu betrachten, welcher mit einer vermutlich fehlerhaften Verdünnung zu begründen ist.

Betrachtung der Polyphenole

Anhand der Gesamtphenolbestimmung ist zu erkennen, dass die ermittelten Werte aller Sude in Tabelle 16 (zwischen 100,00 mg/l und 147,00 mg/l) bis auf Sud 1 (ca. 157,00 mg/l) unter dem von der Literatur angegebenen Bereich zwischen 150,00 mg/l und 200,00 mg/l liegen (Mebak, 2012). Demnach scheint *Spirulina* trotz des hohen Phenolgehaltes von 25,00 mg/g Pulver und auch die zugegebene Menge keinen großen Einfluss auf die Gesamtphenolkonzentration im Bier zu nehmen (Machu et al., 2015). Aufgrund des hohen Gehaltes müssten die Sude mit Algenzusatz jedoch einen höheren Phenolgehalt als der Referenzsud aufweisen, da allein durch die Algen (bei 0,237 kg je 19,5 l Bier bzw. umgerechnet ca. 12 g je Liter Bier) schon ca. 300,00 mg/l in das Bier gelangen. Bei Sud 2 und 4 sind die niedrigen Werte mit der früheren Algenzugabe zu begründen, sodass die Polyphenole durch die zeitweilige Hitzebehandlung zum Großteil zerstört und durch den Whirlpool aus der Würze entfernt werden (Brennan et al., 2011). Nach der Algenzugabe bei den Suden 3 und 5 - 9 ist eine Hitzebehandlung nicht mehr gegeben, weshalb in diesem Punkt keine thermische Phenolreduktion stattfindet. Die ermittelten Gesamtphenolgehalte sind dennoch niedrig, wobei zwei Ursachen in Frage kommen: Zum einen können die Phenole beim Umschlauchen verloren gegangen sein. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass mit dieser Methode lediglich die Phenole vom Malz erfasst werden, weshalb der Referenzsud 1 den größten Phenolgehalt besitzt und lediglich dieser innerhalb der Literaturangabe zu finden ist (Mebak, 2012).

Zuletzt sind die Sude 8 und 9 zu erwähnen, bei welchen abweichend ein viel höherer Wert von über 300,00 mg/l vorliegt. Dieser hohe Gehalt kann mit der starken Trübung der beiden Biere begründet werden, da laut Methodenbeschreibung vor der Messung eine klare Flüssigkeit vorliegen muss. Sehr trübe Biere sind demnach nicht mit dieser Methode messbar.

Betrachtung der sensorischen Ergebnisse

Die sensorische Beurteilung der einzelnen Sude erfolgte anhand drei verschiedener Prüfverfahren; Beliebtheitsprüfung (9-Punkte-Skala), Einfach beschreibende Prüfung und JAR-Fragen (5-Punkte-Skala, Algengeschmack, Bitterkeit, Vollmundigkeit) mit anschließender Penalty-Analyse. Während die Sude 1 - 5 der ersten Versuchsreihe mit allen drei Methoden untersucht wurden, ist bei den Suden 6 - 9 nur die Beliebtheitsprüfung und die

Beantwortung der JAR-Fragen durchgeführt worden. Die Ergebnisse der Einfach beschreibenden Prüfung sollten lediglich Aufschluss auf die weitere Versuchsplanung geben, weshalb bei den Suden 6 - 9 keine Notwendigkeit für dieses Prüfverfahren mehr bestand. Zudem wurde bei den JAR-Fragen die „Vollmundigkeit“ nicht mehr berücksichtigt, da die Prüfer diese Eigenschaft teilweise missverstanden haben und generell sehr niedrige Penalty-Punkte ohne signifikanten Einfluss ermittelt wurden (Giechau, 2009).

Zu den Panels ist zu sagen, dass diese an beiden Sitzungen der Kategorie „Prüfer“ zuzuordnen sind, welche Bier generell mögen und dieses Produkt zudem in regelmäßigen Abständen verzehren. Somit war gewährleistet, dass die Panelisten mit „Motivation“, „Ausdauer“ und der nötigen Erfahrung in die Verkostung hineingingen, da eine Zusammenstellung auch nur mit Studierenden ab dem dritten Semester und mit sensorischen Vorkenntnissen erfolgte. Auch die Panelgröße von 19 bzw. 25 ist ausreichend gewesen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen (Busch-Stockfisch, 2014; Fliedner und Wilhelmi, 1993; Norm DIN 10950 Teil 1, 1999).

Innerhalb der ersten Versuchsreihe erreicht lediglich der Referenzsud 1 mit ca. 94,0 % im Gefallenbereich (6 - 9) einen Wert über 80,0 % und kann damit als beliebt angesehen werden. Dieses zeigt sowohl einen optimalen Brauprozess als auch eine geeignete Auswahl der Malz- und Hopfenkomponenten. Die Panelisten untermauern ihre Bewertung häufig mit den Attributen „ausgewogen“ und „arttypisch“ und loben zudem das „Aroma“ und die „helle gold - gelbe Farbe“ (siehe Tabelle 19 und 20). Das Bier wird gleichermaßen als „bitter“ und „mild“ beschrieben. Jedoch ist ein Einfluss auf die Akzeptanz nicht zu erkennen, da die Einzelpenalties bei dieser Produkteigenschaft unter der 40 Punkte - Grenze liegen. Sud 2 und 4 werden mit einem Mittelwert von ca. 6,00 (9-Punkte-Skala) und ca. 70,0 % im Bereich 6 – 9 insgesamt schlechter bewertet und sind demnach nicht mehr als beliebt anzusehen. Neben einer positiven Bewertung in Richtung „noch arttypisch“ und einer „guten fruchtigen Note“ (bei Sud 2 besser als bei Sud 4), wird die schlechtere Bewertung vor allem durch Attribute wie „Fremdgeschmack“ und „abgestanden“ (mehr bei Sud 4) begründet. Auch die in Abbildung 16 sichtbare und laut dem Farbabstand ΔE (siehe Tabelle 76) als andere Farbe bewertete ($\Delta E > 5,00$) dunklere Farbgebung bei beiden Suden wurde von dem Panel erkannt. Anhand der JAR-Fragen werden der Algengeschmack und die Bitterkeit bei beiden und im direkten Vergleich auch bei Sud 4 für stärker empfunden. Ein Einfluss auf die Akzeptanz ist dennoch nicht ersichtlich, da die Einzelpenalties (siehe Tabelle 85 und 86) ebenso unter 40 sind. Auch Sud 5 liegt in der Bewertung bei ca. 6,00, weist jedoch im Gefallenbereich mit ca. 63,0 % eine etwas schlechtere Bewertung auf. Neben einer positiven Resonanz auf die „tiefblaue Farbe“

bzw. den „blauen Schaum“, das „intensive fruchtige Aroma“ und eine gewisse „Frische bzw. Spritzigkeit“, resultiert die schlechtere Bewertung aus Attributen wie „zu starkes, unangenehmes Algenaroma“ bzw. „adstringierend“ und einer gegenläufigen „Farbabneigung“ von wenigen Panelisten. Die Auswertung der JAR-Fragen zum „Algengeschmack“ unterstützt diese Beschreibung, indem eine Zunahme der Bewertung im „zu stark“ - Bereich und ein starker Einfluss auf die Akzeptanz (Einzelpenalty > 80) besteht. Somit sollte diese Produkteigenschaft modifiziert werden, um die Verbraucherakzeptanz zu erhöhen. Sud 3 besitzt mit einem Mittelwert von ca. 4,00 und einem prozentualen Anteil von nur ca. 16,0% im Gefallenbereich die signifikant schlechteste Beliebtheit. Die Panelisten begründen diese Bewertung sehr häufig mit den Attributen „untypisch, eigenartig“, „adstringierend“, „zu intensives Algenaroma“ und empfinden den Geschmack sogar als „fischig“. Auch die „tiefdunkel blau - grüne Farbe“ und „am Boden abgesetztes Sediment“ sind abwertend zu deuten. In den JAR-Fragen spiegelt sich dieses ebenfalls wider, indem 90,0% des Panels den Algengeschmack als zu stark bewerten. Dieses zeigt auch der ermittelte Penalty von 430, sodass ein deutlich höherer Einfluss auf die Akzeptanz besteht (Fliedner und Wilhelmi, 1993; Giechau, 2009; Gierling, 2006).

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Intensität des Algenaromas mit einer späteren Zugabe von *Spirulina* deutlich stärker bemerkbar wird, sodass letztendlich bei Sud 5 - WüKü und Sud 3 - NaGä das als zu stark empfundene Algenaroma erstmals einen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanz nach sich zieht. Dieser Verlauf zeigt sich, da durch die spätere Algenzugabe und einer daraus resultierenden geringeren thermischen Belastung weniger Aromen von *Spirulina* zerstört werden und sich im Bier entfalten können. Diese Annahme wird auch bei der Brauerei „De Koperen Kat“ ersichtlich, welche das Algenpulver direkt zum Braubeginn hinzufügen und dieses im Bier letztendlich zu einem nur „dezenten Algengeschmack“ führt (vice, 2015). Da sich das Bitterempfinden zum Großteil im „genau richtig“ - Bereich eingliedert und auch die Penalty-Analyse kaum Auffälligkeiten zeigt, scheint die unterschiedliche Algenzugabe keinen relevanten Einfluss auf diese Eigenschaft zu haben. Die Vollmundigkeit zeigt hingegen eine Zunahme im „zu stark“ - Bereich bei späterer Algenzugabe. Ein Einfluss auf die Akzeptanz (siehe Tabelle 87) ist jedoch nicht ersichtlich (Giechau, 2009).

Im Gesamten fällt weiterhin auf, dass die Sude mit *Spirulina* - Zusatz im Vergleich zum Referenzsud 1 als „süßer“ empfunden werden. Demnach scheinen die Algen in einem milden und weniger hopfenbetonten Bier einen süßen Beigeschmack zu verursachen.

Aufgrund der sensorischen und auch chemischen Erkenntnisse der Sude 1 - 5 war es für die zweite Versuchsreihe von Bedeutung, die Produkteigenschaft, mit dem von der Penalty-Analyse charakterisierten größten negativen Einfluss auf die Akzeptanz (Algengeschmack), auf ein akzeptables Minimum zu reduzieren, ohne dabei die Algenkonzentration im Bier zu verändern. Dafür wurde bei den Suden 6 - 9 mit unterschiedlichen Hopfenzugaben, -aromen und Bitterextremen (siehe Punkt 3.1.1) versucht, den Algengeschmack auf ein akzeptables Maß zu überdecken (Giechau, 2009).

Die beiden Sude 6 und 7 mit einer sehr hohen Bitterkraft von ca. 60,00 IBU bekommen dabei mit 6,64 und 7,12 die beste Bewertung. Auch der prozentuale Anteil im Gefallenbereich liegt mit 88,0 % bzw. 80,0 % höher und die Sude können nunmehr als beliebt eingestuft werden. Damit ist das Ziel einer höheren Akzeptanz im Vergleich zu Sud 5 erreicht. Die höhere Bewertung wird von dem Panel mit einer „angenehmen Bittere bzw. Fruchtigkeit“ und einem „angenehmen Algengeschmack“ begründet. Dennoch gibt es noch wenige Prüfer, die das Algenaroma als „zu dominant“ und das Bier allgemein als „abgestanden“ empfinden. Bei Betrachtung der JAR-Fragen und Penalty-Analyse ist dennoch eine deutliche Reduktion der Einzelpenalties zu erkennen. Jedoch sind diese beim Algengeschmack im „zu stark“ - Bereich immer noch zwischen 40 und 80, sodass weiterhin ein möglicher Einfluss auf die Akzeptanz besteht und weitere Modifizierungsmaßnahmen zur Verbesserung empfehlenswert sind. Die beiden stark hopfenbetonten Sude 8 und 9 mit einer sehr geringen Bitterkeit erhalten wiederum mit Mittelwerten von 4,76 bzw. 5,92 und einem 44,0 %-igen bzw. 68,0 %-igen Anteil im Gefallenbereich eine vergleichsweise schlechtere Bewertung. Der Unterschied wird durch die genannten Attribute wie „zu starker Algengeschmack“ und „zu bitter“ deutlich. Innerhalb dieser beiden Sude macht die „gute Aromatik“ und geringere Auffassung eines „zu starken Algenaromas“ bei Sud 9 die etwas positivere Bewertung aus. Das wirkt sich auch auf die Einzelpenalties aus, sodass bei der Bitterkeit beide Werte im „zu stark“ - Bereich über 80 liegen und demnach mit Sicherheit ein Einfluss auf die Akzeptanz besteht. Bei Sud 8 liegt der Einzelpenalty („zu stark“) beim Algengeschmack mit ca. 160 noch deutlich höher, weshalb auch hierbei ein Einfluss auf die Akzeptanz besteht (Fliedner und Wilhelmi, 1993; Giechau, 2009). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die unterschiedliche Hopfengabe und -menge einen sichtbaren und signifikanten Einfluss auf die Intensität des Algengeschmacks verursachen. Einerseits zeigt sich hierbei bei Sud 6 und 7 im Vergleich zu Sud 5 eine deutlich geringe Bewertung im „zu stark“ - Bereich. Zusätzlich scheint *Spirulina* entsprechend der JAR-Fragen und Einzelpenalties bei sehr bitteren Bieren den Bittereindruck zu überdecken. Das könnte jedoch auch an den zwei unterschiedlichen Panels liegen, indem bei beiden das von Natur aus

stark abweichende Bitterempfinden der einzelnen Prüfer zu sehr streut und somit auch die Gesamtintensität anders aufgefasst wird (Busch-Stockfisch, 2014).

Eine andere Beobachtung zeigt sich bei den Suden 8 und 9. Der Algengeschmack wird hierbei viel stärker negativ wahrgenommen. Dementgegen scheint bei einer sehr geringen Bitterkeit in Kombination mit besonders vielen fruchtigen Hopfenaromen ein negativer Einfluss einzutreten. *Spirulina* scheint bei diesen Bedingungen das Bitterempfinden deutlich anzuheben, welches durch die vermehrte „zu stark“ - Bewertung über 70,0 % und mit höheren Einzelpenalties über 80 einhergeht (Giechau, 2009).

Ausblick auf weiterführende Versuche

Nach der Auswertung aller physikalischen und chemischen Messmethoden und Erfahrungen, die bei den beiden Versuchsreihen gesammelt werden konnten, haben sich die Sude 6 - IPA fru. und 7 - IPA wü. als die beliebtesten Varianten und somit als am besten geeignet herausgestellt. Da der Algengeschmack dennoch etwas zu dominant heraussticht sind diesbezüglich weitere Maßnahmen in Bezug auf Rezeptur und Technologie vorzunehmen. Es besteht dazu die Möglichkeit, durch eine veränderte Hopfengabe bzw. weitere Erhöhung der Bitterkraft (IBU) die Algenaromatik vermehrt zu überdecken. Dabei eignet sich die Verwendung fruchtiger Hopfen (Sud 6) besonders gut, da der Einzelpenalty im Vergleich einen geringeren Wert aufzeigt. Eine Überdeckung durch vermehrte Hopfenaromen (Kaltstopfen), sowohl fruchtige als auch würzige Hopfen, stellt sich bei Sud 8 und 9 als nicht förderlich heraus, weshalb davon abzuraten ist. Eine Verringerung der Algenaromatik durch eine frühere Zugabe im Brauprozess (Sud 2 und 4) ist aufgrund hoher Farb- und Inhaltsstoffverluste ebenfalls nicht zu empfehlen. Es bietet sich weiterhin an, anhand der bestehenden Rezepturen und Eigenschaften die Sude 5 (mild, wenig Hopfenaromen), 6 (sehr bitter, wenig Hopfenaromen) und 8 (sehr mild, viele Hopfenaromen) erneut zu brauen und einem intensiveren bzw. aufwendigeren sensorischen Prüfverfahren zu unterziehen. Dabei sollten die verwendeten Rohstoffe (Hopfenmenge ausgenommen), die Technologie des Brauprozesses (Hopfenzugabe ausgenommen) und die Prozessparameter (vor allem die Stammwürze) identisch sein, damit nur der Einfluss der veränderten Hopfenaromatik und Bitterkeit auf die Intensität von *Spirulina* betrachtet werden kann. Dazu empfiehlt es sich, die Biere mit Hilfe der Beliebtheitsprüfung (9-Punkte-Skala) und JAR- Fragen (5-Punkte-Skala) zunächst in einem größeren Umfang mit einer speziell dazu abgestimmten Schulung zu untersuchen und final einem Verbrauchertest zu unterziehen. Neben den Produkteigenschaften „Algengeschmack“ und „Bitterkeit“ ist es durchaus auch sinnvoll, die Attribute „Süße“ und „Fruchtigkeit“ mit aufzunehmen. Außerdem sollte zur weiteren

Beurteilung eine Profilprüfung mit einem speziell auf diese Biere geschulten Panel nach DIN 10967 durchgeführt werden, da hierbei die Attribute zunächst festgelegt, eindeutig definiert und anschließend von jedem Prüfer repräsentativ beschrieben werden.

Soll sich der Fokus auf die chemische Analyse beziehen, empfiehlt es sich bei der Bestimmung der Gesamtphenole und des Phycocyaninanteils gegebenenfalls auch auf andere Messmethoden zurückzugreifen. Somit besteht die Möglichkeit durch die Folin-Ciocalteu-Methode die Polyphenole, sowohl der Biere als auch von dem Rohstoff, zu ermitteln. Wiederum kann mit Hilfe der HPLC-DAD der Gehalt an Phycocyanin exakter quantifiziert und die Eignung verschiedener Berechnungsvarianten aus photometrischen Messungen geprüft und verglichen werden. Zusätzlich können auch weitere charakteristische Inhaltsstoffe von *Spirulina*, wie Chlorophyll a oder auch die in hohen Anteilen vorhandenen Vitamine und Mineralien, sowohl im Bier, als auch im Rohstoff quantifiziert werden, um Verluste beim Brauen und ein mögliches Spektrum dieser im Bier befindlichen Stoffe darzulegen.

Um noch tiefere Einblicke auf den Einfluss der Algen im Gärverlauf zu erhalten, wird neben den bereits durchgeführten Methoden die Messung der Hefeaktivität während der Gärung mit Hilfe der Durchflusszytometrie empfohlen.

Sobald die Rezeptur und ein optimaler Brauprozess für *Spirulina* final festgelegt werden, kann ferner die Eignung anderer Mikro- und Makroalgen geprüft werden.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, herauszufinden, ob das zugegebene Algenpulver den Brau- und Vergärungsprozess positiv oder negativ beeinflusst, indem es zu unterschiedlichen Zeitpunkten dem Brauprozess beigelegt wird. Zudem wurde durch einen unterschiedlichen Einsatz von Hopfen der Einfluss auf die Wahrnehmung des Algengeschmacks untersucht. Dabei sollte zusätzlich der Gehalt an Polyphenolen und Phycocyanin in Bier ermittelt werden. Zunächst lässt sich sagen, dass am Ende ein geschmackvolles und bierähnliches Produkt mit zum Referenzsud 1 ohne Algen vergleichbaren Eigenschaften (reduzierende Zucker, FAN und Alkoholgehalt) entstanden ist. Deshalb ist es generell möglich, Algen in den Brauprozess zu integrieren, ohne dass die Hefe in ihrer Funktion derart negativ beeinflusst wird. Vielmehr wird durch die in *Spirulina* in hohem Anteil enthaltenen Eiweiße der FAN - Gehalt der Würze erhöht und der Hefe damit mehr Nährstoffe für eine optimale Gärung zur Verfügung gestellt.

Da die Inhaltsstoffe von *Spirulina* größtmöglich erhalten bleiben sollen, ist besonders die Zugabeform während des Würzekühlens und unter einer Temperatur von 40,0 °C von Interesse. Daher sind für eine weitere Bearbeitung die Vorgaben von Sud 5 - WüKü, Sud 6 - IPA fru. und Sud 7 - IPA wür. anzuwenden. Auch deshalb, da diese Sude die höchste Beliebtheit aufzeigen. Darüber hinaus wird dem Bier durch das in seiner nativen Form vorliegende Antennenpigment Phycocyanin eine auffällige tiefblaue Farbe verliehen.

Bei Betrachtung der sensorischen Ergebnisse konnte bei den modifizierten Suden 6 und 7 eine relativ hohe Akzeptanz (mind. 80,0 % im Gefallenbereich) erzielt werden. Jedoch zeigt die Penalty-Analyse bei diesen Suden immer noch leicht erhöhte Werte zwischen 40 und 80 im „zu stark“ - Bereich des Algengeschmacks, sodass ein möglicher Einfluss auf die Akzeptanz gegeben und folglich an Verbesserungen zu arbeiten ist. Die Rezeptur sollte aber möglichst nicht verändert werden. Um die Verbraucherezufriedenheit in diese Richtung dennoch weiter zu steigern, sollten vor allem beim Hopfen und der Hopfenzugabe Anpassungen vorgenommen werden. Der Fokus sollte dennoch zunächst vorrangig auf der chemischen Analyse der wichtigen Inhaltsstoffe (Polyphenole, Phycocyanin und Chlorophyll a) von *Spirulina* gelegt werden. Auch deshalb, da besonders bei der Bestimmung des Phenolgehaltes sehr unrealistische Werte auftreten. Beim Phycocyaningehalt sind bei einer Algenzugabe während des Würzekühlens unter 40,0 °C auffallend hohe Werte ersichtlich. Auch der Lagerversuch von Sud 5 zeigt, dass dieses blaue Pigment über längere Zeit im Bier stabil bleibt.

Da der Versuch, Algen und Bier zu kombinieren bisher kaum durchgeführt wurde und Algen viele gesundheitsfördernden Eigenschaften zugeschrieben werden, besteht in dieser Richtung viel Potenzial, welches in nachfolgenden Studien ausgiebig ausgeschöpft werden sollte.

7 Literaturverzeichnis

Abedin, R. M. A.; Taha, H. M.: Antibacterial and Antifungal Activity of cyanobacteria and Green Microalgae. Evaluation of Medium Components by Plakett-Burman Design for Antimicrobial Activity of *Spirulina platensis*. In: Global Journal of Biotechnology and Biochemistry 3 (2008), Nr. 1, S. 22 - 31

Adeniyi, O. M.; Azimov, U.; Burluka, A.: Algae biofuel: Current status and future applications. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 90 (2018), S. 316 - 335

Algenbier.nl: D-AL-G, heerlijk algenbier gebrouwen met gezonde algen. <http://algenbier.nl/>; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

Ariede, M. B.; Candido, T. M.; Morocho Jacome, A. L.; Velasco, M. V. R.; de Carvalho, J. C. M.; Baby, A. R.: Cosmetic attributes of algae - A review. In: Algal Research 25 (2017), S. 483 - 487

Barsanti, L.; Gualtieri, P.: Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Boca Raton (Florida, USA): CRC Taylor & Francis Group, 2006

Becker, E. W.: Microalgae: Biotechnology and Microbiology. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 1994

Beckmanns Braumischung: Das New England IPA - unsere Rezepttipps. 506 <https://braumischung.de/das-new-england-ipa-unsere-rezepttipps/>. 2018; (letzter Zugriff: 22.01.2020)

Beer & Wine Journal: Brut IPA I - V. <http://beerandwinejournal.com/2018/05/>. 17.05.2018; (letzter Zugriff: 22.01.2020)

Beisler, N.: Recipe development of a beer for the German Hobby Brewing Championship. Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, Masterproject, Abgabe: 18.07.2019

Belkin, S.; Boussida, S.: Resistance of *Spirulina platensis* to Ammonia at High pH Values. In: Plant and Cell Physiology 32 (1991), Nr. 7, S. 953 - 958

Bierbasis: Heute Gönn` ich mir ein Algenbier!. <https://bierbasis.de/news/Heut-goenn-ich-mir-ein-Algenbier/89>. 21.01.2013; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

Bierverordnung BierV (idF. v. 05.07.2017) § 1: Schutz der Bezeichnung Bier

BMEL: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Nationale Verzehrstudie II. https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/GesundeErnaehrung/_Texte/NationaleVerzehrsstudie_Zusammenfassung.html;nn=373490. 30.01.2018; (letzter Zugriff: 06.01.2020)

Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag, 2016

Brennan, C.; Brennan, M.; Derbysire, E.; Tiwari, B.: Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. In: Trends in Food Science & Technology 22 (2011), Nr. 22, S. 570 - 575

Brücklmeier, J.: Bier brauen: Grundlagen, Rohstoffe, Brauprozess. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG, 2018

Busch-Stockfisch, M. (Hrsg.): Praxishandbuch Sensorik: In der Produktentwicklung und Qualitätssicherung Band 4. Abschnitt 2. Hamburg: Behr's Verlag, 2008

Busch-Stockfisch, M. (Hrsg.): Praxishandbuch Sensorik: In der Produktentwicklung und Qualitätssicherung Band 2. Loseblatt - Ausgabe. 42. Aktualisierung. Hamburg: Behr's Verlag, 2014

Böcker, L.; Ortmann, S.; Surber, J.; Leeb, E.; Reineke, K.; Mathys, A.: Biphasic short time heat degradation of the blue microalgae protein phycocyanin from *Arthrospira platensis*. In: Innovative Food Science Emerging Technologies 52 (2019), S. 116 - 121

Bürkle, A.: Internetforum. Mathe für Hobbybrauer: Bierrezepte berechnen. <http://www.mathe-fuer-hobbybrauer.de/bierrezepte/>. 05.02.2020; (letzter Zugriff: 05.02.2020)

Chaiklahan, R.; Chirasuwan, N.; Bunnag, B.: Stability of phycocyanin extracted from *Spirulina* sp.: Influence of temperature, pH and preservatives. In: *Process Biochemistry* 47 (2012), Nr. 4, S. 659 - 664

Cohen, Z.: *Chemicals from Microalgae*. London (UK): Taylor & Francis Ltd., 1999

Der Bierblog: Klüvers Brauhaus bringt ein Algenbier auf den Markt. <http://bierblog.info/?p=5554>. 28.03.2018; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

DGE (Hrsg.): *Vegan Diet. Position of the German Nutrition Society (DGE)*. In: *Ernährungsumschau International* 63 (2016), S. 92 - 102

Dornbusch, H.: *Die Biersorten der Brauwelt: Ihre Geschichte und Rezepturen*. Nürnberg: Hans Carl Verlag, 2014

Doughman, S. D.; Krupanidhi, S.; Sanjeevi, C. B.: Omega-3 Fatty Acids for Nutrition and Medicine: Considering Microalgae Oil as a Vegetarian Source of EPA and DHA. In: *Current Diabetes Reviews* 3 (2007), Nr. 3, S. 198 - 203

EatSmarter!: *Getränke auf Algenbasis*. <https://eat-smarter.de/blogs/die-getraenkepruefer/getraenke-auf-algenbasis>. 11.02.2019; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

EBC-Analysen-Komitee (Hrsg.): *Analytica-EBC*. 4. Auflage. Zürich (Schweiz): Brauerei- und Getränke-Rundschau, 1987

Ettl, H.: *Grundriß der allgemeinen Algologie*. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1980

Fliedner, I.; Wilhelmi, F.: *Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik*. 2. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 1993

Friedies Brauhaus: Brut IPA - Brautag. <https://friediesbrauhaus.blog/2018/04/25/brut-ipa/>. 25.04.2018; (letzter Zugriff: 17.04.2020)

GEO: Algen: Was sie über Algen wissen sollten. <https://www.geo.de/natur/oekologie/4203-rtkl-algen-was-sie-ueber-algen-wissen-sollten>. 16.08.2011; (letzter Zugriff: 05.02.2020)

Gibson, B.; Vidgren, V.; Peddinti, G.; Krogerus, K.: Diacetyl control during brewery fermentation via adaptive laboratory engineering of the lager yeast *Saccharomyces pastorianus*. In: Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 45 (2018), Nr. 12, S. 1103 - 1112

Giechau, S.: Auswirkung des Reifegrades von Bananen auf die Just-About-Right- und Akzeptanzeinstufung durch Konsumenten. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Ökotoxikologie, Diplomarbeit, Abgabe: 06.07.2009

Gierling, R.: Farbmanagement. 3. Auflage. Heidelberg: mitp-Verlag, 2006

Gottwald, W.: Instrumentell-analytisches Praktikum. Weinheim: VCH, 1996

Greenpeace magazin: Algen als Superfood - wichtige Nährstoffquelle oder riskante Jodschleuder?. <https://www.greenpeace-magazin.de/nachrichten/algen-als-superfood-wichtige-naehrstoffquelle-oder-riskante-jodschleuder>. 18.04.2018; (letzter Zugriff: 05.02.2020)

Hanghofer, H.: Gutes Bier selbst brauen. 8. Auflage. München: BLV Buchverlag GmbH & Co KG, 2016

Heyse, K.: Handbuch der Brauerei Praxis. 3. Auflage. Nürnberg: Hans Carl, 1995

Hultberg, M.; Lind, O.; Birgersson, G.; Asp, H.: Use of the Effluent from Biogas Production for Cultivation of Spirulina. In: Bioprocess and Biosystems Engineering 40 (2017), S. 625 - 631

Kissoudi, M.; Sarakatsianos, I.; Samanidou, V.: Isolation and purification of food-grade C-phycocyanin from *Arthrospira platensis* and its determination in confectionery by HPLC with diode array detection. In: Journal of Separation Science 41 (2018), Nr. 4, S. 975 - 981

Klüvers Manufaktur: Klüvers Seegang. <https://kluevers.com/kluevers-seegang.html>; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

Knorr, F.; Kremkow, C.: Chemie und Technologie des Hopfens. Nürnberg: Hans Carl, 1972

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

Liedek, M.: Entwicklung eines Campusbieres. Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, 2. Studienarbeit, Abgabe: 21.01.2019

Mebak®: Jacob, F. (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden: Würze, Bier, Biermischgetränke. Freising-Weihenstephan: Mebak® e.V., 2012

Miller, G. L.: Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. In: Analytical Chemistry 31 (1959), Nr. 3, S. 426 - 428

MMR: Medical Marine Research: Biophotonen reiche Lebensmittel: Phycocyanin aus Arthrospira für mehr Energie, Gesundheit und Lebenskraft. <http://marine-therapy.com/wp-content/uploads/2016/03/Biophotonen-reiche-Lebensmittel-Phycocyanin-aus-Arthrospira%C3%BCr-mehr-Energie-Gesundheit-und-Lebenskraft.pdf>. 2013; (letzter Zugriff: 12.02.2020)

Nayak, B.; Hai Liu, R.; Tang, J.: Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains - A Review. In: Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55 (2015), Nr. 7, S. 887 - 918

Nakos, M.; Pepelanova, I.; Beutel, S.; Krings, U.; Berger R. G.; Scheper, T.: Isolation and analysis of vitamin B12 from plant samples. Food Chemistry 216 (2017), Nr. 1, S. 301 - 308

Narziss, L.; Back, W.: Brauwissenschaft und Brauereitechnologie. In: Chemie Ingenieur Technik 88 (2016), Nr. 12, S. 1869 - 1879

Narziss, L.; Back, W.; Gastl, M.; Zarnkow, M.: Abriss der Bierbrauerei. 8. Auflage. Weinheim: WILEY-VCH, 2017

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

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

Natur-Kompendium: Spirulina - Wirkung, Inhaltsstoffe, Anwendung und Studien: Wunderalge oder doch Abzocke. <https://www.natur-kompendium.com/spirulina/>. 07.2018; (letzter Zugriff: 07.02.2020)

Neumann, C.: Ernährungsphysiologische Bewertung von *Spirulina platensis* für den Einsatz in nachhaltig ressourcenschonenden Ernährungskonzepten der Schweine- und Hähnchenmast. Georg-August Universität Göttingen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Dissertation, Abgabe: September 2018

Norm DIN 10950 Teil 1 April 1999. Sensorische Prüfung Teil 1; Begriffe

Norm DIN 10961 August 1996. Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfungen

Norm DIN 10962 Oktober 1997. Prüfbereiche für sensorische Prüfungen - Anforderungen an Prüfräume

Norm DIN 10964 Februar 1996. Sensorische Prüfverfahren - Einfach beschreibende Prüfung

Ozdemir, G.; Karabay, N. U.; Dalay, M. C.; Pazarbasi, B.: Antibacterial Activity of Volatile Component and Various Extracts of *Spirulina platensis*. In: Phytotherapy Research 18 (2004), S. 754 - 757

Pan-utai, W.; Kahapana, W.; Iamtham, S.: Extraction of C-phycoyanin from *Arthrospira* (*Spirulina*) and its thermal stability with citric acid. In: Journal of Applied Phycology 20 (2018), Nr. 1, S. 231 - 242

Plaza, M.; Herrero, M.; Cifuentes, A.; Ibanez, E.: Innovative Natural Functional Ingredients from Microalgae. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 57 (2009), Nr. 16, S. 7159 - 7170

Rauscher, K.; Engst, R.; Freimuth, U.: Untersuchung von Lebensmitteln: Einführung und Anleitung zur Untersuchung der Lebensmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft einschließlich Fremdstoffe und Trinkwasser. 2. Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag, 1986

Reitz, M.: Die Alge im System der Pflanzen: *Nanochlorum eucaryotum*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1986

Rothmaler, W.; Handke, H. H.; Pankow, H.; Schubert, R.: Exkursionsflora: Niedere Pflanzen. 3. Auflage. Berlin: Volk und Wiese Verlag GmbH, 1990

Sarada, R.; Pillai, M. G.; Ravishankar, G. A.: Phycocyanin from *Spirulina* sp: influence of processing of biomass on phycocyanin yield, analysis of efficacy of extraction methods and stability studies on phycocyanin. In: Process Biochemistry 34 (1999), Nr. 8, S. 795 - 801

Shimamatsu, H.: Mass Production of Spirulina, an Edible Microalga. In: Hydrobiologia 512 (2004), S. 39 - 44

Stone, H.; Bleibaum, R. N.; Thomas, H. A.: Sensory Evaluation Practices. 4. Auflage. Boston (Massachusetts, USA): Elsevier / Academic Press, 2012

Van den Hoek, C.; Jahns, H. M.; Mann, D. G.: Algen. 3. Auflage, Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1993

Verordnung zur Durchführung des Vorläufigen Biergesetzes BierStDB (idF. v. 08.12.2000)
§ 19

Vice: Bier: Stell dir vor, Biertrinken wäre entschlackend. <https://www.vice.com/de/article/bmp4vm/stell-dir-vor-biertrinken-ware-entschlackend-365>. 16.02.2015; (letzter Zugriff: 21.04.2020)

Vitalisis: Info *Spirulina Platensis*. <https://www.vitalisis.com/spirulina-platensis.htm>. 2017; (letzter Zugriff: 12.02.2020)

Vorläufiges Biergesetz VorlBierG (idF v. 29.07.1993) § 9

Wang, H.-M. D.; Chen, C.-C.; Huynh, P.; Chang, J.-S.: Exploring the potential of using algae in cosmetics. In: *Bioresource Technology* 184 (2015), S. 355 - 362

Watanabe, F.: Vitamin B12 Sources and Bioavailability. In: *Experimental Biology and Medicine* 232 (2007), Nr. 10, S. 1266 - 1274

Weemaes, C. A.; Oomes, V.; Van Loey, A. M.; Hendrickx, M. E.: Kinetics of Chlorophyll Degradation and Color Loss in Heated Broccoli Juice. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47 (1999), Nr. 6, S. 2404 - 2409

Weinfurtner, F.; Schuster, K.: Die Bierbrauerei 3. Band: Die Technologie der Gärung, Das fertige Bier. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1963

Wells, M. F.; Potin, P.; Craigie, J. S.; Raven, J. A.; Merchant, S. S.; Helliwell, K. E.; Smith, A. G.; Camire, M. E.; Brawley, S. H.: Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. In: *Journal of Applied Phycology* 29 (2017), Nr. 2, S. 949 - 982

Wesseloh, O.; Wesseloh J.: Bier Leben: Die neue Braukultur. Reinbek (Hamburg): Rowohlt Taschenbuchverlag, 2015

Wolf, S.: IBU-Rechner nach Tinseth. <https://www.maischemalzundmehr.de/index.php?inhalt=toolsiburechner>. 2020; (letzter Zugriff: 23.04.2020)

Wu, H.-L.; Wang, G.-H.; Xiang, W.-Z.; Li, T.; He, H.: Stability and Antioxidant Activity of Food-Grade Phycocyanin Isolated from *Spirulina platensis*. In: *International Journal of Food Properties* 19 (2016), Nr. 10, S. 2349 - 2362

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fließschema zur Herstellung von Bier (eigene Abbildung, 2019).....	8
Abbildung 2: Graphische Darstellung des Versuchsaufbaus (eigene Abbildung, 2020).....	24
Abbildung 3: Aufbau der Destillationsapparatur im Laborversuch (schule-bw.de).....	41
Abbildung 4: Veränderung der Glucosekonzentration der beiden Brut IPA's (Sud 8 und 9) zwischen der 3. und 4. Rast	58
Abbildung 5: Darstellung der Konzentrationen an reduzierenden Zuckern zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 1 - 5.....	58
Abbildung 6: Darstellung der Konzentrationen an reduzierenden Zuckern zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 6 - 9.....	59
Abbildung 7: Darstellung der Konzentrationen der FAN - Gehalte zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 1 - 5	60
Abbildung 8: Darstellung der Konzentrationen der FAN - Gehalte zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten in Sud 6 - 9	61
Abbildung 9: Overlay plot der beiden Sude 1 - Ref. und 5 - WüKü nach der Hauptgärung; Sud 1 = N-Bier, Sud 5 = A-Bier.....	62
Abbildung 10: Vergleich der L^* -Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	63
Abbildung 11: Vergleich der L^* -Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	64
Abbildung 12: Vergleich der a^* -Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	65
Abbildung 13: Vergleich der a^* -Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	66
Abbildung 14: Vergleich der b^* -Werte der ersten fünf Sude zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	66
Abbildung 15: Vergleich der b^* -Werte der weiteren vier Sude 6 - 9 zu den unterschiedlichen Prozesszeitpunkten.....	67
Abbildung 16: Optischer Farbeindruck mit $L^*a^*b^*$ der gereiften Biere der ersten Versuchsreihe; Sud 1 (links) bis Sud 5 (rechts) (eigene Abbildung, 2020)	68

Abbildung 17: Optischer Farbeindruck mit L*a*b* der gereiften Biere der zweiten Versuchsreihe; Sud 6 (links) bis Sud 9 (rechts) (eigene Abbildung, 2020)	69
Abbildung 18: Prozentuale Verteilung der JAR-Skala der Sude 1 – 5; Attribute: Algengeschmack, Bitterkeit, Vollmundigkeit	74
Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der JAR-Skala der Sude 6 - 9; Attribute: Algengeschmack und Bitterkeit	76
Abbildung 20: Kalibriergerade für die Bestimmung der reduzierenden Zucker; Sud 1 - 5 ...	117
Abbildung 21: Kalibriergerade für die Bestimmung der reduzierenden Zucker; Sud 6 - 9 ...	117
Abbildung 22: Kalibriergerade für die Bestimmung des FAN; Sud 1 - 5	118
Abbildung 23: Kalibriergerade für die Bestimmung des FAN; Sud 6 - 9	118
Abbildung 24: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Hauptgärung	131
Abbildung 25: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Nachgärung	131
Abbildung 26: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Reifung	132
Abbildung 27: Analysenzertifikat Pilsner Malz der Charge U273-21 110025-03, verwendet bei den Suden 1 - 5	155
Abbildung 28: Analysenzertifikat Pilsner Malz der Charge U320-21 110025-02, verwendet bei den Suden 6 - 9	156
Abbildung 29: Auszug Produktspezifikation der Reisflocken (vorgekocht)	157
Abbildung 30: Nährwerttabelle des Spirulina - Pulvers (Fa. MySuperfoods)	157
Abbildung 31: Produktbeschreibung des Enzyms Glucoamylase (Fa. MoonshinersChoice)	158
Abbildung 32: Produktbeschreibung der obergärigen Hefe Safale US-05 (Fa. Fermentis) ...	159
Abbildung 33: Überlaufender Hefeschäum der Sude 1 - 5 (eigene Abbildung, 2020)	162
Abbildung 34: Während der Hauptgärung für die tägliche Probenahme bereitgestellte Proben; Sud 1 (links) - 5 (rechts) (eigene Abbildung, 2019)	162

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rezepturen der ersten fünf hergestellten Sude (erste Versuchsreihe).....	25
Tabelle 2: Rezeptur der nachfolgenden hergestellten vier Sude (zweite Versuchsreihe)	26
Tabelle 3: Verwendete Hopfensorten mit ihrem α -Säuregehalt	35
Tabelle 4: Konzentrationen der Standardlösung zur Bestimmung der reduzierenden Zucker.	39
Tabelle 5: Konzentrationen der Glycin-Standardlösung zur Bestimmung des FAN.....	40
Tabelle 6: Wichtige Parameter und Werte zur Berechnung der Bitterkeit	48
Tabelle 7: Überwachung des Prozessverlaufes bis zum Gärbeginn von Sud 1 - 5.....	49
Tabelle 8: Überwachung des Gärverlaufes und der Reifung von Sud 1 - 5.....	52
Tabelle 9: Überwachung des Prozessverlaufes bis zum Gärbeginn von Sud 6 - 9.....	54
Tabelle 10: Überwachung des Gärverlaufes und der Reifung von Sud 6 - 9.....	56
Tabelle 11: Alkoholgehalte der Sude 1 - 5 nach der Reifung.....	61
Tabelle 12: Alkoholgehalte der Sude 6 - 9 nach der Reifung.....	62
Tabelle 13: Identifizierte Stoffe und Mengenanteile der beiden untersuchten Proben.....	62
Tabelle 14: Veränderung der Farbe im Verlauf des Brauprozesses von Sud 2 - Einm.....	68
Tabelle 15: Konzentration des Gesamtphycocyaningehaltes der Biere während der unterschiedlichen Gärzeitpunkte inklusive Lagerversuch und Literaturwerte	70
Tabelle 16: Gesamtphenolgehalt der gereiften Sude	71
Tabelle 17: Auswertung der Beliebtheit der ersten fünf Sude anhand der festgelegten Notenbereiche, Gruppenprotokoll 2	72
Tabelle 18: Auswertung der Beliebtheit der weiteren vier Sude 6 - 9 anhand der festgelegten Notenbereiche, Gruppenprotokoll 2	73
Tabelle 19: Auswahl der meist genannten Attribute zur Beschreibung der Sude 1 - 5 aus den Gruppenprotokollen; Kriterien Teil 1: Aussehen / Farbe, Geruch.....	77
Tabelle 20: Auswahl der meist genannten Attribute zur Beschreibung der Sude 1 - 5 aus den Gruppenprotokollen; Kriterien Teil 2: Geschmack, Mundgefühl.....	79
Tabelle 21: Einzelwerte der reduzierenden Zucker der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	119
Tabelle 22: Einzelwerte der reduzierenden Zucker der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	120

Tabelle 23: Einzelwerte des FAN der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	121
Tabelle 24: Einzelwerte des FAN der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	122
Tabelle 25: Einzelwerte des L*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	123
Tabelle 26: Einzelwerte des L*-Wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	124
Tabelle 27: Einzelwerte des a*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	125
Tabelle 28: Einzelwerte des a*-Wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	126
Tabelle 29: Einzelwerte des b*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	127
Tabelle 30: Einzelwerte des b*-Wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	128
Tabelle 31: Einzelwerte der Farbkoordinaten von Spirulina und Sud 2 im Brauprozess	129
Tabelle 32: Einzelwerte des Glucosegehaltes der Brut IPAs vor und nach der 4. Rast.....	129
Tabelle 33: Einzelwerte des Alkoholgehaltes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5).....	130
Tabelle 34: Einzelwerte des Alkoholgehaltes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9).....	130
Tabelle 35: Einzelwerte der Gesamtpolyphenole aller Sude.....	130
Tabelle 36: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 24	131
Tabelle 37: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 25	132
Tabelle 38: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 26	132
Tabelle 39: Leer- und mit Wasser gefüllten Gewichte der vorhandenen Pyknometer zur Berechnung des Tauchgewichtsverhältnisses.....	133
Tabelle 40: Umrechnungstabelle - Stammwürze in SG (verändert nach Bürkle, 2020).....	133
Tabelle 41: Ergebnisse des Nachisomerisierungseinflusses aller Sude.....	140
Tabelle 42: Ergebnisse der Bittere, inklusive des Einflusses der Nachisomerisierung	140
Tabelle 43: Auszug: Dichte von Bier bei unterschiedlichen Stammwürzegehalten 2,0 °P - 3,0 °P (bier-kompodium, 2020).....	141
Tabelle 44: Statistische Auswertung der ANOVA für reduzierende Zucker von Sud 1 - 5...142	142
Tabelle 45: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	142
Tabelle 46: Statistische Auswertung der ANOVA für reduzierende Zucker von Sud 6 - 9...142	142
Tabelle 47: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	143

Tabelle 48: Statistische Auswertung der ANOVA für den FAN von Sud 1 - 5.....	143
Tabelle 49: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	143
Tabelle 50: Statistische Auswertung der ANOVA für den FAN von Sud 6 - 9.....	143
Tabelle 51: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	144
Tabelle 52: Statistische Auswertung der ANOVA für den Glucosegehalt von Sud 8 und 9 .	144
Tabelle 53: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	144
Tabelle 54: Statistische Auswertung der ANOVA für den L*-Wert von Sud 1 - 5	144
Tabelle 55: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	145
Tabelle 56: Statistische Auswertung der ANOVA für den L*-Wert von Sud 6 - 9	145
Tabelle 57: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	145
Tabelle 58: Statistische Auswertung der ANOVA für den a*-Wert von Sud 1 - 5.....	145
Tabelle 59: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	146
Tabelle 60: Statistische Auswertung der ANOVA für den a*-Wert von Sud 6 - 9.....	146
Tabelle 61: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	146
Tabelle 62: Statistische Auswertung der ANOVA für den b*-Wert von Sud 1 - 5.....	146
Tabelle 63: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	147
Tabelle 64: Statistische Auswertung der ANOVA für den b*-Wert von Sud 6 - 9.....	147
Tabelle 65: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	147
Tabelle 66: Statistische Auswertung der ANOVA für den Alkoholgehalt von Sud 1 - 5.....	147
Tabelle 67: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	148
Tabelle 68: Statistische Auswertung der ANOVA für den Alkoholgehalt von Sud 6 - 9.....	148
Tabelle 69: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	148
Tabelle 70: Statistische Auswertung der ANOVA für den Polyphenolgehalt von Sud 1 - 9.	148
Tabelle 71: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	148
Tabelle 72: Statistische Auswertung der ANOVA der Beliebtheitsprüfung von Sud 1 - 5 ...	149
Tabelle 73: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	149
Tabelle 74: Statistische Auswertung der ANOVA der Beliebtheitsprüfung von Sud 6 - 9 ...	149

Tabelle 75: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)	149
Tabelle 76: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen zum selben Zeitpunkt der Probennahme.....	150
Tabelle 77: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 1 - Ref.	151
Tabelle 78: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 2 - Einm.....	151
Tabelle 79: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 3 - NaGä.....	151
Tabelle 80: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 4 - WüKo.....	151
Tabelle 81: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 5 - WüKü.....	151
Tabelle 82: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen zum selben Zeitpunkt der Probennahme.....	152
Tabelle 83: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen innerhalb von Sud 5 - 9.....	152
Tabelle 84: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen bei Sud 2 während des Brauprozesses..	153
Tabelle 85: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Algengeschmack".....	153
Tabelle 86: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Bitterkeit"	154
Tabelle 87: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Vollmundigkeit" .	154
Tabelle 88: Auszug der aktuellen Wasserqualität in Neubrandenburg (neu-sw, 2018).....	160
Tabelle 89: Rezepturen der Brut IPAs aus der Arbeit von Beisler (2019)	161

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Tauchgewichtsverhältnisses zur Bestimmung des Alkoholgehaltes.....	42
Formel 2: Berechnung des C-Phycocyaningehaltes cPC, verändert nach Böcker et al. (2019).....	43
Formel 3: Berechnung des A-Phycocyaningehalt aPC, verändert nach Böcker et al (2019)...	43
Formel 4: Berechnung des Farbabstandes zwischen den Koordinaten zweier Proben.....	44
Formel 5: Berechnung des Phycocyaningehaltes aus den Literaturwerten.....	71
Formel 6: Berechnung der Masse der Würze, verändert nach Bürkle (2020).....	134
Formel 7: Berechnung der erforderlichen Extraktmenge, Bürkle (2020).....	134
Formel 8: Berechnung des theoretischen Extraktanteils pro kg Schüttung, Bürkle (2020)...	135
Formel 9: Berechnung des praktischen Extraktanteils, verändert nach Bürkle (2020).....	136
Formel 10: Berechnung der Gesamtmasse der Malzschüttung, Bürkle (2020).....	136
Formel 11: Berechnung der jeweiligen Malzmenge pro Schüttung, Bürkle (2020).....	137
Formel 12: Berechnung der Hopfenbittere nach Tinseth, Wolf (2020).....	138
Formel 13: Berechnung der Hopfenbittere um den Faktor 1,1 erhöht, verändert nach Tinseth	138
Formel 14: Berechnung des integrierten IGF, Wolf (2019).....	139
Formel 15: Berechnung der benötigten Algenmenge bei Sud 3 nach der Nachgärung.....	141
Formel 16: Berechnung der noch vorhandenen Menge an Bier über die Dichte	141

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 - Kalibriergeraden der chemischen Analysen

Anlage 2 - Einzelwerte der physikalischen und chemischen Analysen

Anlage 3 - Berechnungen und weitere Parameter zum Verständnis der Berechnungen

Anlage 4 - Statistische Auswertung der Messergebnisse

Anlage 5 - Analysenzertifikate und Produktbeschreibungen der Rohmaterialien

Anlage 6 - Rezepturen der Brut IPAs von Beisler (2019)

Anlage 7 - Ausgewählte Bilder zum Brauprozess

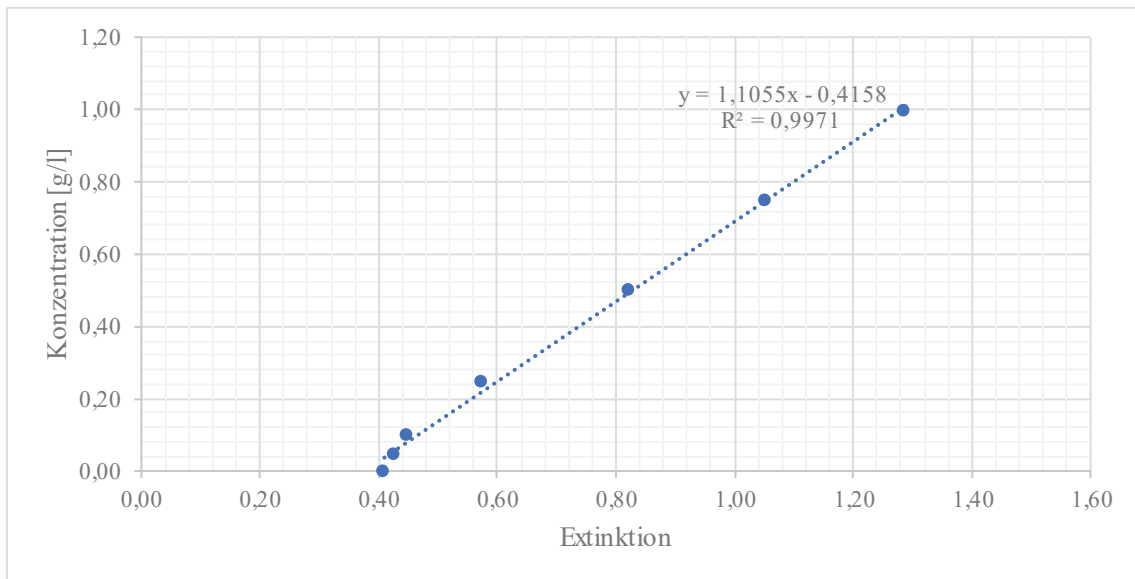
Anlage 1 - Kalibriergeraden der chemischen Analysen

Abbildung 20: Kalibriergerade für die Bestimmung der reduzierenden Zucker; Sud 1 - 5

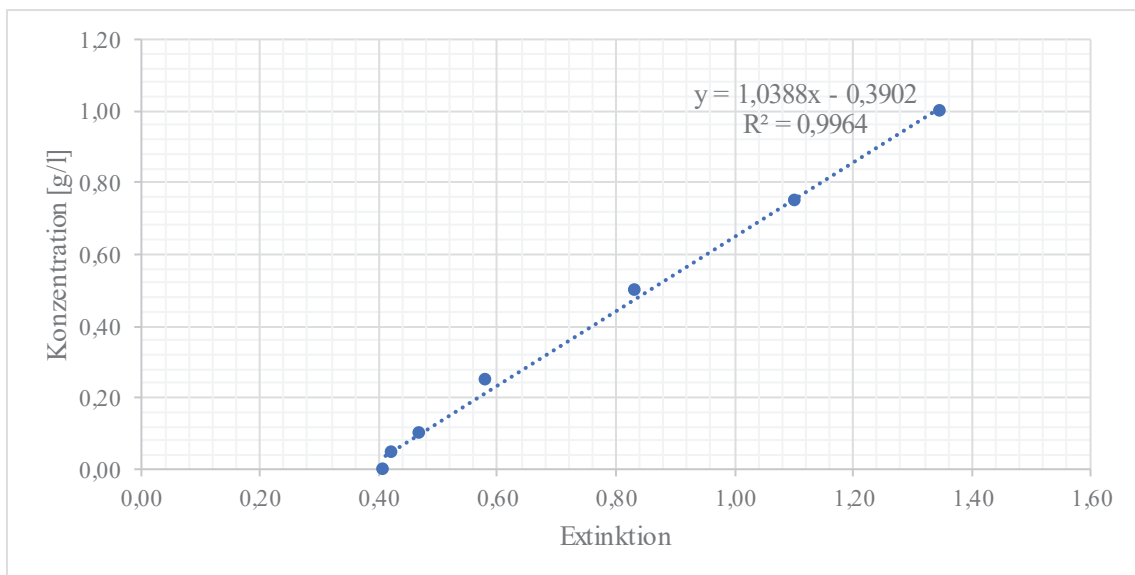


Abbildung 21: Kalibriergerade für die Bestimmung der reduzierenden Zucker; Sud 6 - 9

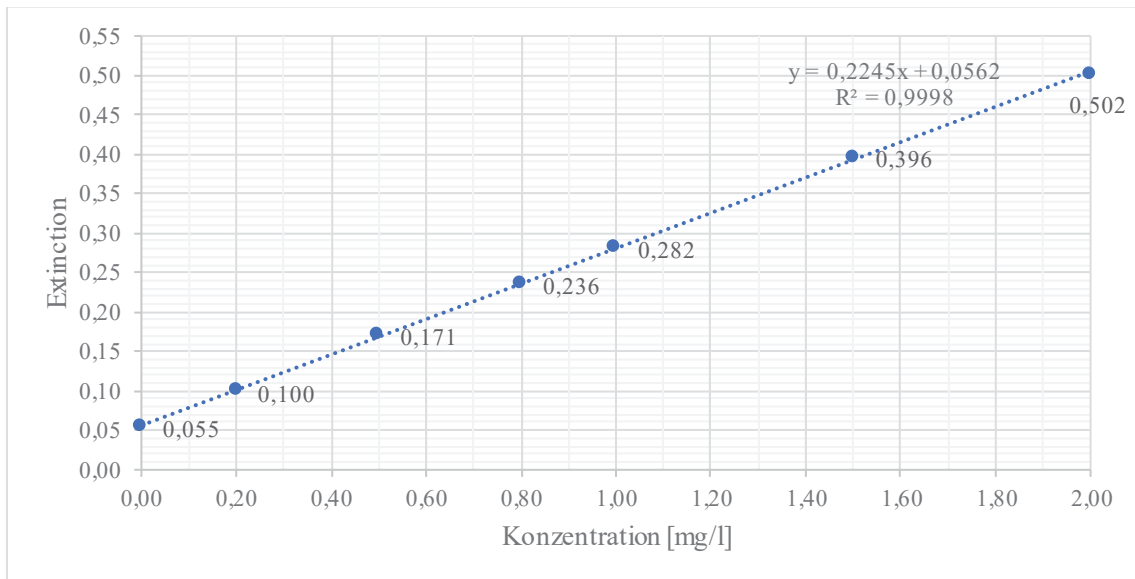


Abbildung 22: Kalibriergerade für die Bestimmung des FAN; Sud 1 - 5

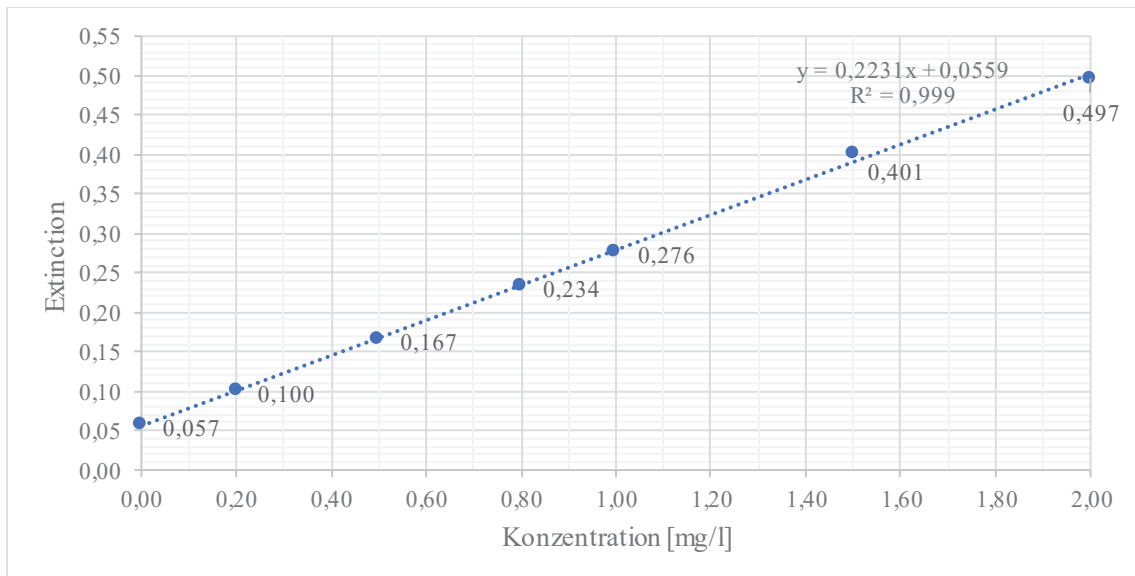


Abbildung 23: Kalibriergerade für die Bestimmung des FAN; Sud 6 - 9

Anlage 2 - Einzelwerte der physikalischen und chemischen Analysen

Reduzierende Zucker

Tabelle 21: Einzelwerte der reduzierenden Zucker der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	reduzierende Zucker [g/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 1 - Würze	80,25	82,57	82,46	81,76	1,0693
Sud 1 - nach 1. Tag HG	39,12	40,89	42,66	40,89	1,4442
Sud 1 - nach 2. Tag HG	13,25	12,48	12,26	12,66	0,4266
Sud 1 - nach 3. Tag HG	5,96	6,18	5,91	6,02	0,1194
Sud 1 - nach 4. Tag HG	7,90	8,01	7,68	7,86	0,1379
Sud 1 - nach 5. Tag HG	6,18	6,13	6,29	6,20	0,0689
Sud 1 - nach 6. Tag HG	7,57	7,18	7,12	7,29	0,1967
Sud 1 - nach 7. Tag HG	6,63	6,74	6,52	6,63	0,0903
Sud 1 - nach NG	6,52	6,57	6,79	6,63	0,1194
Sud 1 - nach Reifung	7,07	6,68	6,79	6,85	0,1627
Sud 2 - Würze	68,31	64,77	68,53	67,20	1,7221
Sud 2 - nach 1. Tag HG	56,70	57,14	57,47	57,10	0,3170
Sud 2 - nach 2. Tag HG	11,71	12,81	12,15	12,22	0,4543
Sud 2 - nach 3. Tag HG	6,13	6,46	6,07	6,22	0,1709
Sud 2 - nach 4. Tag HG	6,90	6,79	6,79	6,83	0,0521
Sud 2 - nach 5. Tag HG	4,58	4,69	4,75	4,67	0,0689
Sud 2 - nach 6. Tag HG	5,52	5,63	5,63	5,59	0,0521
Sud 2 - nach 7. Tag HG	6,13	6,41	6,29	6,28	0,1136
Sud 2 - nach NG	6,41	6,41	6,46	6,42	0,0261
Sud 2 - nach Reifung	6,52	6,63	6,74	6,63	0,0903
Sud 3 - Würze	74,94	73,06	75,71	74,57	1,1141
Sud 3 - nach 1. Tag HG	72,51	74,61	75,60	74,24	1,2903
Sud 3 - nach 2. Tag HG	31,72	31,94	31,22	31,63	0,3005
Sud 3 - nach 3. Tag HG	11,55	11,60	11,66	11,60	0,0451
Sud 3 - nach 4. Tag HG	8,51	8,73	8,23	8,49	0,2035
Sud 3 - nach 5. Tag HG	6,35	6,46	6,29	6,37	0,0689
Sud 3 - nach 6. Tag HG	7,23	7,07	6,41	6,90	0,3582
Sud 3 - nach 7. Tag HG	5,36	5,24	5,19	5,26	0,0689
Sud 3 - nach NG	6,57	6,68	6,63	6,63	0,0451
Sud 3 - nach Reifung	7,40	7,73	7,51	7,55	0,1379
Sud 4 - Würze	77,15	68,20	74,06	73,13	3,7133
Sud 4 - nach 1. Tag HG	28,62	29,61	29,61	29,28	0,4690
Sud 4 - nach 2. Tag HG	10,05	10,00	10,27	10,11	0,1194
Sud 4 - nach 3. Tag HG	7,40	7,01	6,90	7,11	0,2133

Sud 4 - nach 4. Tag HG	5,91	5,80	5,74	5,82	0,0689
Sud 4 - nach 5. Tag HG	5,58	5,58	5,58	5,58	0,0000
Sud 4 - nach 6. Tag HG	6,52	6,57	6,35	6,48	0,0939
Sud 4 - nach 7. Tag HG	5,47	5,52	5,80	5,59	0,1451
Sud 4 - nach NG	6,02	6,18	5,91	6,04	0,1136
Sud 4 - nach Reifung	6,35	6,35	6,35	6,35	0,0000
Sud 5 - Würze	76,16	73,83	74,39	74,79	0,9902
Sud 5 - nach 1. Tag HG	52,06	51,95	53,16	52,39	0,5491
Sud 5 - nach 2. Tag HG	12,93	13,09	13,04	13,02	0,0689
Sud 5 - nach 3. Tag HG	8,56	8,34	8,73	8,54	0,1585
Sud 5 - nach 4. Tag HG	8,01	7,79	8,17	7,99	0,1585
Sud 5 - nach 5. Tag HG	6,96	7,07	7,18	7,07	0,0903
Sud 5 - nach 6. Tag HG	7,40	7,07	7,29	7,25	0,1379
Sud 5 - nach 7. Tag HG	7,57	7,34	7,46	7,46	0,0903
Sud 5 - nach NG	6,74	7,23	7,18	7,05	0,2226
Sud 5 - nach Reifung	8,45	8,34	8,45	8,41	0,0521

Tabelle 22: Einzelwerte der reduzierenden Zucker der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	reduzierende Zucker [g/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 6 - Würze	80,96	81,38	81,07	81,13	0,1766
Sud 6 - nach HG	9,06	8,95	8,85	8,95	0,0848
Sud 6 - nach NG	8,54	8,90	8,85	8,76	0,1606
Sud 6 - nach Reifung	9,52	9,06	8,90	9,16	0,2648
Sud 7 - Würze	78,88	80,65	79,82	79,78	0,7214
Sud 7 - nach HG	9,84	9,73	9,52	9,70	0,1296
Sud 7 - nach NG	9,73	9,73	9,63	9,70	0,0490
Sud 7 - nach Reifung	9,06	9,47	9,32	9,28	0,1714
Sud 8 - Würze	88,75	89,48	88,75	88,99	0,3428
Sud 8 - nach HG	6,30	5,99	5,89	6,06	0,1766
Sud 8 - nach NG	6,72	6,72	6,62	6,69	0,0490
Sud 8 - nach Reifung	5,68	5,99	5,94	5,87	0,1363
Sud 9 - Würze	93,32	93,32	93,74	93,46	0,1959
Sud 9 - nach HG	6,88	7,08	6,98	6,98	0,0848
Sud 9 - nach NG	5,01	5,21	5,37	5,20	0,1489
Sud 9 - nach Reifung	4,95	5,16	5,47	5,20	0,2135

Freier Aminostickstoff (FAN)

Tabelle 23: Einzelwerte des FAN der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	FAN [mg/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 1 - Würze	192,85	196,42	188,83	192,70	3,1036
Sud 1 - nach 1. Tag HG	116,42	117,77	118,21	117,47	0,7596
Sud 1 - nach 2. Tag HG	68,72	70,50	70,28	69,83	0,7953
Sud 1 - nach 3. Tag HG	36,54	36,76	36,98	36,76	0,1825
Sud 1 - nach 4. Tag HG	43,91	44,58	47,04	45,18	1,3449
Sud 1 - nach 5. Tag HG	58,44	58,88	59,11	58,81	0,2787
Sud 1 - nach 6. Tag HG	60,45	61,79	61,56	61,27	0,5865
Sud 1 - nach 7. Tag HG	53,52	54,64	55,53	54,56	0,8227
Sud 1 - nach NG	49,94	49,94	50,39	50,09	0,2107
Sud 1 - nach Reifung	58,44	61,34	60,22	60,00	1,1965
Sud 2 - Würze	196,87	197,32	197,32	197,17	0,2107
Sud 2 - nach 1. Tag HG	148,60	150,39	150,84	149,94	0,9655
Sud 2 - nach 2. Tag HG	40,11	40,11	40,34	40,19	0,1053
Sud 2 - nach 3. Tag HG	43,02	45,25	46,15	44,80	1,3157
Sud 2 - nach 4. Tag HG	53,74	54,86	51,96	53,52	1,1965
Sud 2 - nach 5. Tag HG	48,60	48,38	49,05	48,68	0,2787
Sud 2 - nach 6. Tag HG	49,05	49,50	51,73	50,09	1,1730
Sud 2 - nach 7. Tag HG	54,64	54,86	55,31	54,93	0,2787
Sud 2 - nach NG	35,42	36,09	35,42	35,64	0,3160
Sud 2 - nach Reifung	51,06	52,63	51,28	51,66	0,6908
Sud 3 - Würze	204,47	208,04	204,02	205,51	1,8001
Sud 3 - nach 1. Tag HG	194,64	197,77	198,66	197,02	1,7245
Sud 3 - nach 2. Tag HG	60,89	61,56	61,56	61,34	0,3160
Sud 3 - nach 3. Tag HG	53,52	53,74	54,64	53,97	0,4827
Sud 3 - nach 4. Tag HG	49,72	52,40	51,73	51,28	1,1394
Sud 3 - nach 5. Tag HG	54,19	55,31	55,75	55,08	0,6579
Sud 3 - nach 6. Tag HG	51,06	51,51	52,40	51,66	0,5574
Sud 3 - nach 7. Tag HG	60,67	60,67	61,12	60,82	0,2107
Sud 3 - nach NG	54,64	55,08	55,31	55,01	0,2787
Sud 3 - nach Reifung	79,37	81,38	81,38	80,71	0,9481
Sud 4 - Würze	205,81	205,81	208,04	206,55	1,0534
Sud 4 - nach 1. Tag HG	81,56	81,12	82,46	81,71	0,5574
Sud 4 - nach 2. Tag HG	61,12	61,34	61,12	61,19	0,1053
Sud 4 - nach 3. Tag HG	52,18	52,85	53,07	52,70	0,3798
Sud 4 - nach 4. Tag HG	53,07	54,41	52,63	53,37	0,7596
Sud 4 - nach 5. Tag HG	55,08	55,98	55,98	55,68	0,4214

Sud 4 - nach 6. Tag HG	53,74	54,86	52,85	53,82	0,8227
Sud 4 - nach 7. Tag HG	49,05	48,38	47,26	48,23	0,7374
Sud 4 - nach NG	57,32	57,99	57,99	57,77	0,3160
Sud 4 - nach Reifung	60,45	62,23	62,01	61,56	0,7953
Sud 5 - Würze	228,01	225,77	225,77	226,52	1,0534
Sud 5 - nach 1. Tag HG	164,10	166,33	166,33	165,59	1,0534
Sud 5 - nach 2. Tag HG	67,60	68,27	68,94	68,27	0,5474
Sud 5 - nach 3. Tag HG	64,99	63,87	64,77	64,54	0,4827
Sud 5 - nach 4. Tag HG	64,84	68,86	66,85	66,85	1,6421
Sud 5 - nach 5. Tag HG	71,55	72,44	71,10	71,69	0,5574
Sud 5 - nach 6. Tag HG	69,91	70,35	69,24	69,83	0,4592
Sud 5 - nach 7. Tag HG	81,38	78,92	79,37	79,89	1,0691
Sud 5 - nach NG	73,48	73,71	73,26	73,48	0,1825
Sud 5 - nach Reifung	68,42	66,41	68,86	67,90	1,0691

Tabelle 24: Einzelwerte des FAN der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	FAN [mg/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 6 - Würze	180,66	186,12	186,12	184,30	2,5742
Sud 6 - nach HG	72,96	72,51	73,64	73,04	0,4675
Sud 6 - nach NG	74,18	73,72	74,18	74,02	0,2145
Sud 6 - nach Reifung	75,92	75,24	77,28	76,15	0,8513
Sud 7 - Würze	205,84	205,84	208,12	206,60	1,0726
Sud 7 - nach HG	67,20	67,20	68,56	67,65	0,6436
Sud 7 - nach NG	68,79	69,93	70,16	69,62	0,5972
Sud 7 - nach Reifung	69,55	74,33	74,78	72,89	2,3670
Sud 8 - Würze	187,33	188,24	189,15	188,24	0,7431
Sud 8 - nach HG	58,85	59,54	59,31	59,23	0,2838
Sud 8 - nach NG	59,23	59,23	60,37	59,61	0,5363
Sud 8 - nach Reifung	61,74	61,51	66,29	63,18	2,2008
Sud 9 - Würze	172,77	177,32	176,87	175,65	2,0464
Sud 9 - nach HG	67,27	67,96	68,87	68,03	0,6524
Sud 9 - nach NG	69,02	70,84	70,61	70,16	0,8098
Sud 9 - nach Reifung	68,79	70,61	67,43	68,94	1,3049

Farbe L*a*b*

Tabelle 25: Einzelwerte des L*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	L*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 1 - Würze	41,91	41,92	41,98	41,99	41,99	41,96	0,0354
Sud 1 - nach 1. Tag HG	45,63	45,68	45,71	45,73	45,75	45,70	0,0420
Sud 1 - nach 2. Tag HG	47,64	47,68	47,69	47,64	47,64	47,66	0,0223
Sud 1 - nach 3. Tag HG	56,17	56,13	56,24	56,26	56,48	56,26	0,1214
Sud 1 - nach 4. Tag HG	58,63	58,88	59,16	59,79	59,86	59,26	0,4883
Sud 1 - nach 5. Tag HG	58,81	58,81	58,81	58,84	58,96	58,85	0,0582
Sud 1 - nach 6. Tag HG	59,92	60,04	60,09	60,19	60,23	60,09	0,1104
Sud 1 - nach 7. Tag HG	61,92	62,06	62,12	62,13	62,12	62,07	0,0790
Sud 1 - nach NG	59,99	60,14	60,24	60,32	60,38	60,21	0,1379
Sud 1 - nach Reifung	60,05	59,73	59,72	59,68	59,67	59,77	0,1418
Sud 2 - Würze	19,42	19,80	19,94	20,12	20,12	19,88	0,2595
Sud 2 - nach 1. Tag HG	33,56	33,61	33,67	33,30	33,28	33,48	0,1623
Sud 2 - nach 2. Tag HG	32,58	32,64	32,65	32,02	32,02	32,38	0,2965
Sud 2 - nach 3. Tag HG	51,15	51,24	51,26	51,32	51,42	51,28	0,0895
Sud 2 - nach 4. Tag HG	53,06	53,15	53,13	53,17	53,21	53,14	0,0496
Sud 2 - nach 5. Tag HG	54,77	54,79	54,81	54,78	54,83	54,80	0,0215
Sud 2 - nach 6. Tag HG	54,67	54,85	54,90	54,90	54,88	54,84	0,0869
Sud 2 - nach 7. Tag HG	54,23	54,36	54,35	54,39	54,42	54,35	0,0648
Sud 2 - nach NG	55,75	55,81	55,90	56,05	56,20	55,94	0,1639
Sud 2 - nach Reifung	55,26	55,73	55,34	55,77	55,68	55,56	0,2125
Sud 3 - Würze	49,66	49,63	49,50	49,38	49,31	49,50	0,1363
Sud 3 - nach 1. Tag HG	53,61	53,56	53,52	53,49	53,43	53,52	0,0611
Sud 3 - nach 2. Tag HG	55,56	55,52	55,49	55,54	55,45	55,51	0,0387
Sud 3 - nach 3. Tag HG	61,07	61,19	61,18	61,32	61,41	61,23	0,1184
Sud 3 - nach 4. Tag HG	59,59	59,74	59,98	59,94	59,95	59,84	0,1511
Sud 3 - nach 5. Tag HG	60,70	60,78	60,82	60,99	61,00	60,86	0,1184
Sud 3 - nach 6. Tag HG	58,46	58,90	59,00	58,98	59,05	58,88	0,2145
Sud 3 - nach 7. Tag HG	62,90	63,19	63,32	63,34	63,37	63,22	0,1733
Sud 3 - nach NG	59,56	59,88	60,11	60,21	60,24	60,00	0,2537
Sud 3 - nach Reifung	10,71	10,74	10,75	10,85	10,87	10,78	0,0637
Sud 4 - Würze	14,86	14,92	15,06	15,18	15,33	15,07	0,1711
Sud 4 - nach 1. Tag HG	32,01	32,21	32,35	32,36	32,31	32,25	0,1303
Sud 4 - nach 2. Tag HG	42,95	42,99	42,87	42,85	42,81	42,89	0,0662
Sud 4 - nach 3. Tag HG	48,47	48,74	48,96	49,11	49,15	48,89	0,2529
Sud 4 - nach 4. Tag HG	50,41	50,41	50,39	50,45	50,48	50,43	0,0325
Sud 4 - nach 5. Tag HG	52,15	52,18	52,22	52,23	52,25	52,21	0,0361

Sud 4 - nach 6. Tag HG	52,48	52,48	52,46	52,45	52,46	52,47	0,0120
Sud 4 - nach 7. Tag HG	51,06	51,13	51,19	51,25	51,26	51,18	0,0752
Sud 4 - nach NG	51,49	51,53	51,48	51,44	51,44	51,48	0,0338
Sud 4 - nach Reifung	51,20	51,18	51,15	51,09	51,11	51,15	0,0413
Sud 5 - Würze	4,51	4,66	4,94	5,00	5,05	4,83	0,2101
Sud 5 - nach 1. Tag HG	10,81	10,81	10,88	10,89	10,88	10,85	0,0361
Sud 5 - nach 2. Tag HG	12,71	12,71	12,75	12,74	12,81	12,74	0,0367
Sud 5 - nach 3. Tag HG	18,56	18,55	18,53	18,53	18,51	18,54	0,0174
Sud 5 - nach 4. Tag HG	13,57	13,30	13,28	13,29	13,33	13,35	0,1093
Sud 5 - nach 5. Tag HG	15,42	15,43	15,47	15,52	15,50	15,47	0,0387
Sud 5 - nach 6. Tag HG	15,68	15,74	15,75	15,77	15,73	15,73	0,0301
Sud 5 - nach 7. Tag HG	12,80	12,81	12,83	12,86	12,89	12,84	0,0331
Sud 5 - nach NG	13,34	13,31	13,27	13,28	13,32	13,30	0,0258
Sud 5 - nach Reifung	14,82	14,87	14,78	14,83	14,93	14,85	0,0508

Tabelle 26: Einzelwerte des L*-wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	L*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 6 - Würze	10,45	10,47	10,43	10,42	10,40	10,43	0,0242
Sud 6 - nach HG	10,42	10,35	10,37	10,42	10,47	10,41	0,0422
Sud 6 - nach NG	13,22	13,24	13,29	13,24	13,25	13,25	0,0232
Sud 6 - nach Reifung	13,35	13,44	13,47	13,49	13,49	13,45	0,0523
Sud 7 - Würze	9,29	9,34	9,32	9,25	9,27	9,29	0,0326
Sud 7 - nach HG	10,67	10,64	10,66	10,68	10,69	10,67	0,0172
Sud 7 - nach NG	14,78	14,78	14,75	14,75	14,70	14,75	0,0293
Sud 7 - nach Reifung	14,75	14,72	14,72	14,75	14,76	14,74	0,0167
Sud 8 - Würze	16,12	16,16	16,14	16,13	16,24	16,16	0,0431
Sud 8 - nach HG	16,98	17,03	17,00	16,98	16,94	16,99	0,0294
Sud 8 - nach NG	18,96	19,01	19,01	19,02	19,01	19,00	0,0214
Sud 8 - nach Reifung	18,63	18,51	18,62	18,64	18,64	18,61	0,0496
Sud 9 - Würze	16,78	16,84	16,92	16,99	17,06	16,92	0,1005
Sud 9 - nach HG	16,95	17,07	17,12	17,14	17,16	17,09	0,0752
Sud 9 - nach NG	21,23	21,22	21,19	21,07	21,16	21,17	0,0575
Sud 9 - nach Reifung	20,13	20,12	20,13	20,18	20,21	20,15	0,0350

Tabelle 27: Einzelwerte des a*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	a*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 1 - Würze	6,56	6,44	6,42	6,35	6,30	6,41	0,0885
Sud 1 - nach 1. Tag HG	4,05	3,99	3,92	3,86	3,83	3,93	0,0812
Sud 1 - nach 2. Tag HG	3,23	3,17	3,13	2,96	2,94	3,09	0,1157
Sud 1 - nach 3. Tag HG	1,06	1,06	1,03	0,99	0,97	1,02	0,0366
Sud 1 - nach 4. Tag HG	0,54	0,45	0,41	0,27	0,25	0,38	0,1098
Sud 1 - nach 5. Tag HG	0,61	0,58	0,58	0,56	0,55	0,58	0,0206
Sud 1 - nach 6. Tag HG	0,18	0,15	0,16	0,13	0,12	0,15	0,0214
Sud 1 - nach 7. Tag HG	-0,37	-0,40	-0,41	-0,41	-0,41	-0,40	0,0155
Sud 1 - nach NG	0,40	0,35	0,32	0,30	0,27	0,33	0,0445
Sud 1 - nach Reifung	0,74	0,74	0,74	0,76	0,76	0,75	0,0098
Sud 2 - Würze	3,15	3,13	3,22	3,31	3,33	3,23	0,0811
Sud 2 - nach 1. Tag HG	9,53	9,46	9,42	9,47	9,55	9,49	0,0476
Sud 2 - nach 2. Tag HG	8,18	8,16	8,12	8,16	8,13	8,15	0,0219
Sud 2 - nach 3. Tag HG	2,50	2,49	2,47	2,44	2,41	2,46	0,0331
Sud 2 - nach 4. Tag HG	1,75	1,72	1,71	1,71	1,71	1,72	0,0155
Sud 2 - nach 5. Tag HG	0,80	0,79	0,80	0,77	0,77	0,79	0,0136
Sud 2 - nach 6. Tag HG	0,77	0,72	0,70	0,73	0,72	0,73	0,0232
Sud 2 - nach 7. Tag HG	1,17	1,14	1,14	1,13	1,12	1,14	0,0167
Sud 2 - nach NG	-0,53	-0,55	-0,59	-0,65	-0,71	-0,61	0,0662
Sud 2 - nach Reifung	0,23	0,22	0,23	0,23	0,24	0,23	0,0063
Sud 3 - Würze	3,47	3,43	3,43	3,43	3,42	3,44	0,0174
Sud 3 - nach 1. Tag HG	2,37	2,38	2,37	2,36	2,37	2,37	0,0063
Sud 3 - nach 2. Tag HG	1,23	1,21	1,20	1,20	1,21	1,21	0,0110
Sud 3 - nach 3. Tag HG	-0,28	-0,31	-0,33	-0,34	-0,36	-0,32	0,0273
Sud 3 - nach 4. Tag HG	0,23	0,14	0,09	0,07	0,05	0,12	0,0644
Sud 3 - nach 5. Tag HG	-0,14	-0,17	-0,18	-0,20	-0,22	-0,18	0,0271
Sud 3 - nach 6. Tag HG	0,89	0,76	0,75	0,72	0,71	0,77	0,0647
Sud 3 - nach 7. Tag HG	-0,03	-0,17	-0,19	-0,20	-0,21	-0,16	0,0663
Sud 3 - nach NG	0,30	0,22	0,18	0,17	0,15	0,20	0,0531
Sud 3 - nach Reifung	-5,15	-5,41	-5,60	-5,70	-5,85	-5,54	0,2426
Sud 4 - Würze	2,45	2,64	2,68	2,72	2,77	2,65	0,1098
Sud 4 - nach 1. Tag HG	3,41	3,40	3,40	3,38	3,37	3,39	0,0147
Sud 4 - nach 2. Tag HG	3,30	3,29	3,30	3,30	3,28	3,29	0,0080
Sud 4 - nach 3. Tag HG	2,28	2,25	2,20	2,21	2,19	2,23	0,0338
Sud 4 - nach 4. Tag HG	1,70	1,69	1,70	1,69	1,65	1,69	0,0185
Sud 4 - nach 5. Tag HG	1,47	1,46	1,48	1,46	1,44	1,46	0,0133
Sud 4 - nach 6. Tag HG	1,12	1,11	1,13	1,13	1,13	1,12	0,0080

Sud 4 - nach 7. Tag HG	1,87	1,85	1,82	1,82	1,81	1,83	0,0224
Sud 4 - nach NG	1,70	1,70	1,70	1,72	1,71	1,71	0,0080
Sud 4 - nach Reifung	2,82	2,85	2,86	2,86	2,86	2,85	0,0155
Sud 5 - Würze	0,00	-0,28	-0,81	-1,00	-1,18	-0,65	0,4446
Sud 5 - nach 1. Tag HG	-8,43	-8,53	-8,57	-8,70	-8,81	-8,61	0,1330
Sud 5 - nach 2. Tag HG	-10,24	-10,35	-10,34	-10,39	-10,47	-10,36	0,0747
Sud 5 - nach 3. Tag HG	-19,14	-19,18	-19,08	-19,13	-19,06	-19,12	0,0431
Sud 5 - nach 4. Tag HG	-8,79	-8,37	-8,42	-8,45	-8,53	-8,51	0,1484
Sud 5 - nach 5. Tag HG	-11,13	-11,19	-11,32	-11,42	-11,46	-11,30	0,1275
Sud 5 - nach 6. Tag HG	-10,76	-10,89	-10,91	-10,85	-10,92	-10,87	0,0582
Sud 5 - nach 7. Tag HG	-6,55	-6,73	-6,73	-6,95	-7,02	-6,80	0,1692
Sud 5 - nach NG	-6,01	-6,08	-6,04	-6,16	-6,31	-6,12	0,1075
Sud 5 - nach Reifung	-7,25	-7,41	-7,26	-7,47	-7,59	-7,40	0,1289

Tabelle 28: Einzelwerte des a*-Wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	a*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 6 - Würze	-9,60	-9,64	-9,85	-9,86	-9,90	-9,77	0,1243
Sud 6 - nach HG	0,81	0,79	0,83	0,76	0,61	0,76	0,0785
Sud 6 - nach NG	-3,54	-3,53	-3,57	-3,70	-3,75	-3,62	0,0898
Sud 6 - nach Reifung	-4,71	-4,88	-4,88	-4,97	-4,99	-4,89	0,0989
Sud 7 - Würze	-6,72	-6,88	-6,86	-6,94	-7,20	-6,92	0,1575
Sud 7 - nach HG	0,13	0,24	0,19	-0,01	-0,07	0,10	0,1179
Sud 7 - nach NG	-6,30	-6,16	-6,12	-6,21	-6,35	-6,23	0,0857
Sud 7 - nach Reifung	-6,92	-6,96	-6,92	-7,03	-7,15	-7,00	0,0869
Sud 8 - Würze	-18,30	-18,60	-18,57	-18,77	-18,81	-18,61	0,1808
Sud 8 - nach HG	-10,55	-10,57	-10,60	-10,63	-10,64	-10,60	0,0343
Sud 8 - nach NG	-11,78	-11,78	-11,76	-11,84	-11,83	-11,80	0,0312
Sud 8 - nach Reifung	-12,11	-12,40	-12,30	-12,35	-12,30	-12,29	0,0983
Sud 9 - Würze	-19,27	-19,12	-19,33	-19,46	-19,66	-19,37	0,1824
Sud 9 - nach HG	-9,95	-9,98	-10,04	-10,06	-10,10	-10,03	0,0543
Sud 9 - nach NG	-15,43	-15,47	-15,43	-15,51	-15,38	-15,44	0,0436
Sud 9 - nach Reifung	-15,84	-15,93	-15,71	-15,99	-15,80	-15,85	0,0981

Tabelle 29: Einzelwerte des b*-Wertes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	b*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 1 - Würze	32,23	31,82	31,60	31,39	31,09	31,63	0,3863
Sud 1 - nach 1. Tag HG	29,38	29,05	28,78	28,44	28,15	28,76	0,4344
Sud 1 - nach 2. Tag HG	29,85	29,48	29,25	27,91	27,81	28,86	0,8392
Sud 1 - nach 3. Tag HG	27,29	27,15	27,11	27,12	27,09	27,15	0,0717
Sud 1 - nach 4. Tag HG	32,75	32,59	32,55	32,62	32,53	32,61	0,0776
Sud 1 - nach 5. Tag HG	32,76	32,70	32,61	32,59	32,57	32,65	0,0723
Sud 1 - nach 6. Tag HG	30,78	30,83	30,77	30,78	30,71	30,77	0,0383
Sud 1 - nach 7. Tag HG	29,15	29,14	29,13	29,08	29,08	29,12	0,0301
Sud 1 - nach NG	31,08	31,00	30,97	30,95	30,91	30,98	0,0571
Sud 1 - nach Reifung	32,14	32,00	31,98	31,99	32,00	32,02	0,0595
Sud 2 - Würze	16,40	16,58	16,69	16,70	17,24	16,72	0,2806
Sud 2 - nach 1. Tag HG	35,97	35,86	35,84	35,52	35,72	35,78	0,1532
Sud 2 - nach 2. Tag HG	31,98	31,92	31,85	32,45	30,79	31,80	0,5462
Sud 2 - nach 3. Tag HG	42,06	42,04	42,02	41,88	41,84	41,97	0,0900
Sud 2 - nach 4. Tag HG	44,85	44,82	44,99	44,86	44,84	44,87	0,0605
Sud 2 - nach 5. Tag HG	43,74	43,66	43,61	43,70	43,61	43,66	0,0508
Sud 2 - nach 6. Tag HG	40,48	40,40	40,45	40,45	40,45	40,45	0,0258
Sud 2 - nach 7. Tag HG	40,94	40,92	40,86	40,82	40,80	40,87	0,0546
Sud 2 - nach NG	36,95	36,90	36,85	36,86	36,90	36,89	0,0354
Sud 2 - nach Reifung	40,76	41,01	40,71	41,09	41,05	40,92	0,1572
Sud 3 - Würze	32,46	32,32	32,16	31,99	31,87	32,16	0,2138
Sud 3 - nach 1. Tag HG	34,07	34,01	33,99	33,96	33,89	33,98	0,0592
Sud 3 - nach 2. Tag HG	31,27	31,20	31,14	31,12	30,98	31,14	0,0964
Sud 3 - nach 3. Tag HG	28,80	28,73	28,69	28,72	28,76	28,74	0,0374
Sud 3 - nach 4. Tag HG	30,46	30,37	30,22	30,11	30,18	30,27	0,1283
Sud 3 - nach 5. Tag HG	30,56	30,53	30,43	30,48	30,44	30,49	0,0504
Sud 3 - nach 6. Tag HG	30,27	30,13	30,07	30,03	30,10	30,12	0,0820
Sud 3 - nach 7. Tag HG	30,75	30,51	30,48	30,42	30,46	30,52	0,1167
Sud 3 - nach NG	30,45	30,34	30,28	30,24	30,21	30,30	0,0850
Sud 3 - nach Reifung	-0,05	0,04	0,19	0,07	0,18	0,09	0,0900
Sud 4 - Würze	13,67	13,98	14,24	14,30	14,36	14,11	0,2553
Sud 4 - nach 1. Tag HG	25,79	25,60	25,50	25,34	25,00	25,45	0,2665
Sud 4 - nach 2. Tag HG	31,75	31,66	31,59	31,51	31,42	31,59	0,1146
Sud 4 - nach 3. Tag HG	38,15	38,18	38,18	38,38	38,41	38,26	0,1112
Sud 4 - nach 4. Tag HG	38,05	38,02	38,05	38,00	37,96	38,02	0,0338
Sud 4 - nach 5. Tag HG	37,13	37,14	37,08	37,13	37,09	37,11	0,0242
Sud 4 - nach 6. Tag HG	38,20	38,31	38,24	38,27	38,25	38,25	0,0361

Sud 4 - nach 7. Tag HG	39,09	39,07	39,08	39,05	39,01	39,06	0,0283
Sud 4 - nach NG	38,39	38,45	38,41	38,48	38,46	38,44	0,0331
Sud 4 - nach Reifung	39,30	39,34	39,32	39,28	39,27	39,30	0,0256
Sud 5 - Würze	2,87	2,86	3,17	3,29	3,33	3,10	0,2021
Sud 5 - nach 1. Tag HG	0,83	0,80	0,80	0,81	0,72	0,79	0,0376
Sud 5 - nach 2. Tag HG	-2,41	-2,52	-2,45	-2,46	-2,44	-2,46	0,0361
Sud 5 - nach 3. Tag HG	-7,51	-7,50	-7,50	-7,46	-7,45	-7,48	0,0242
Sud 5 - nach 4. Tag HG	-6,03	-5,97	-5,91	-5,91	-5,85	-5,93	0,0612
Sud 5 - nach 5. Tag HG	-8,24	-8,21	-8,23	-8,22	-8,22	-8,22	0,0102
Sud 5 - nach 6. Tag HG	-10,36	-10,39	-10,43	-10,40	-10,44	-10,40	0,0287
Sud 5 - nach 7. Tag HG	-6,03	-6,02	-6,00	-6,05	-6,04	-6,03	0,0172
Sud 5 - nach NG	-7,77	-7,74	-7,76	-7,79	-7,81	-7,77	0,0242
Sud 5 - nach Reifung	-11,14	-11,13	-11,13	-11,17	-11,20	-11,15	0,0273

Tabelle 30: Einzelwerte des b*-Wertes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	b*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 6 - Würze	5,90	5,91	5,95	5,85	5,80	5,88	0,0519
Sud 6 - nach HG	-4,36	-4,39	-4,40	-4,36	-4,32	-4,37	0,0280
Sud 6 - nach NG	-7,47	-7,45	-7,42	-7,46	-7,50	-7,46	0,0261
Sud 6 - nach Reifung	-8,95	-8,97	-9,01	-8,98	-8,96	-8,97	0,0206
Sud 7 - Würze	4,95	5,07	4,96	4,90	5,05	4,99	0,0641
Sud 7 - nach HG	-3,95	-3,97	-3,91	-3,97	-3,90	-3,94	0,0297
Sud 7 - nach NG	-8,13	-8,14	-8,15	-8,10	-8,12	-8,13	0,0172
Sud 7 - nach Reifung	-10,50	-10,50	-10,44	-10,51	-10,53	-10,50	0,0301
Sud 8 - Würze	4,69	4,70	4,65	4,67	4,65	4,67	0,0204
Sud 8 - nach HG	-8,19	-8,20	-8,25	-8,20	-8,20	-8,21	0,0214
Sud 8 - nach NG	-4,60	-4,65	-4,69	-4,65	-4,61	-4,64	0,0322
Sud 8 - nach Reifung	-5,16	-5,11	-5,18	-5,14	-5,12	-5,14	0,0256
Sud 9 - Würze	4,01	3,92	3,94	3,89	3,86	3,92	0,0508
Sud 9 - nach HG	-8,97	-8,96	-9,02	-9,06	-9,04	-9,01	0,0390
Sud 9 - nach NG	-5,65	-5,67	-5,66	-5,62	-5,64	-5,65	0,0172
Sud 9 - nach Reifung	-2,72	-2,71	-2,67	-2,71	-2,60	-2,68	0,0445

Tabelle 31: Einzelwerte der Farbkoordinaten von *Spirulina* und Sud 2 im Brauprozess

Probe	L*-Wert						
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ
Sud 2 - beim Einmaischen	18,90	18,96	19,02	19,05	19,00	18,99	0,0520
Sud 2 - nach 1. Rast	17,69	17,71	17,75	17,67	17,66	17,70	0,0320
Sud 2 - nach 2. Rast	18,63	18,52	18,49	18,45	18,39	18,50	0,0799
Sud 2 - nach 3. Rast	16,00	15,86	15,79	15,69	15,62	15,79	0,1326
Sud 2 - nach dem Läutern	14,71	15,64	14,58	14,68	14,75	14,87	0,3881
<i>Spirulina</i> - Pulver	20,41	20,45	20,49	20,53	20,58	20,49	0,0595
Probe	a*-Wert						
Sud 2 - beim Einmaischen	-10,87	-10,98	-11,04	-10,99	-11,09	-10,99	0,0734
Sud 2 - nach 1. Rast	-8,09	-8,11	-8,19	-8,14	-8,20	-8,15	0,0432
Sud 2 - nach 2. Rast	-4,39	-4,37	-4,40	-4,41	-4,40	-4,39	0,0136
Sud 2 - nach 3. Rast	-0,31	-0,33	-0,24	-0,16	-0,16	-0,24	0,0718
Sud 2 - nach dem Läutern	1,43	1,62	1,68	1,71	1,76	1,64	0,1144
<i>Spirulina</i> - Pulver	-9,25	-9,21	-9,10	-9,12	-9,06	-9,15	0,0708
Probe	b*-Wert						
Sud 2 - beim Einmaischen	-0,74	-0,68	-0,68	-0,70	-0,71	-0,70	0,0223
Sud 2 - nach 1. Rast	0,58	0,58	0,63	0,60	0,61	0,60	0,0190
Sud 2 - nach 2. Rast	12,20	12,12	12,25	12,28	12,23	12,22	0,0546
Sud 2 - nach 3. Rast	12,03	12,18	12,19	12,36	12,36	12,22	0,1247
Sud 2 - nach dem Läutern	12,95	13,00	13,17	13,24	13,35	13,14	0,1488
<i>Spirulina</i> - Pulver	8,81	8,76	8,64	8,53	8,53	8,65	0,1153

D(+)-Glucose

Tabelle 32: Einzelwerte des Glucosegehaltes der Brut IPAs vor und nach der 4. Rast

Probe	D(+)-Glucosegehalt [g/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 8 - Brut fru. 3. Rast	9,47	9,99	9,64	9,70	0,2154
Sud 8 - Brut fru. 4. Rast	37,63	38,23	38,58	38,14	0,3926
Sud 9 - Brut wür 3. Rast	9,21	9,90	9,56	9,56	0,2821
Sud 9 - Brut wür 4. Rast	53,09	53,43	53,60	53,37	0,2154

Alkoholgehalt

Tabelle 33: Einzelwerte des Alkoholgehaltes der ersten Versuchsreihe (Sud 1 - 5)

Probe	Alkoholgehalt [% vol.]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 1 - Ref.	5,44	5,36	5,44	5,41	0,0377
Sud 2 - Einm.	4,84	4,69	4,76	4,76	0,0613
Sud 3 - NaGä	5,14	4,99	5,21	5,11	0,0918
Sud 4 - WüKo	4,76	4,54	4,62	4,64	0,0909
Sud 5 - WüKü	5,59	5,44	5,44	5,49	0,0707

Tabelle 34: Einzelwerte des Alkoholgehaltes der zweiten Versuchsreihe (Sud 6 - 9)

Probe	Alkoholgehalt [% vol.]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 6 - IPA fru.	5,67	5,44	5,74	5,62	0,1281
Sud 7 - IPA wär.	5,67	5,36	5,82	5,62	0,1915
Sud 8 - Brut fru.	6,27	6,12	6,35	6,25	0,0953
Sud 9 - Brut wär.	6,12	5,97	6,35	6,15	0,1563

Gesamtpolyphenole

Tabelle 35: Einzelwerte der Gesamtpolyphenole aller Sude

Probe	Gesamtpolyphenole [mg/l]				
	1	2	3	\bar{x}	σ
Sud 1 - Ref.	151,70	162,36	155,80	156,62	4,3904
Sud 2 - Einm.	100,86	106,60	113,98	107,15	5,3701
Sud 3 - NaGä	140,22	153,34	145,14	146,23	5,4117
Sud 4 - WüKo	136,94	127,92	136,12	133,66	4,0726
Sud 5 - WüKü	100,04	108,24	103,32	103,87	3,3699
Sud 6 - IPA fru.	105,78	100,04	111,52	105,78	4,6867
Sud 7 - IPA wär.	97,58	102,50	105,78	101,95	3,3699
Sud 8 - Brut fru.	457,56	481,18	472,32	470,35	9,7411
Sud 9 - Brut wär.	340,30	356,70	346,86	347,95	6,7398

Phycocyaningehalt

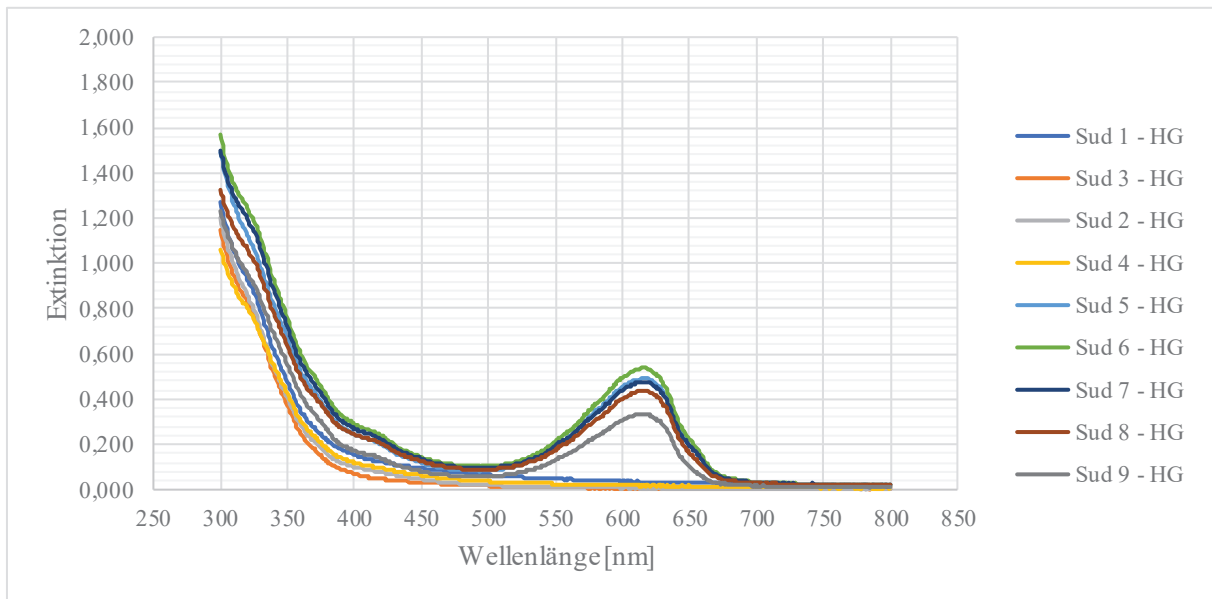


Abbildung 24: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Hauptgärung

Tabelle 36: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 24

	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
A_{620}	0,016	0,004	0,001	0,008	0,472	0,512	0,452	0,413	0,322
A_{650}	0,011	0,002	0,000	0,009	0,183	0,202	0,171	0,143	0,094
A_{800}	0,018	0,003	0,005	0,008	0,015	0,020	0,022	0,018	0,009
cPC [g/l]	0,015	0,005	0,002	0,004	0,586	0,631	0,564	0,529	0,430
aPC [g/l]	0,014	0,002	-0,001	0,013	0,130	0,149	0,119	0,084	0,034
Gesamt PC [g/l]	0,028	0,007	0,002	0,017	0,717	0,780	0,682	0,614	0,464

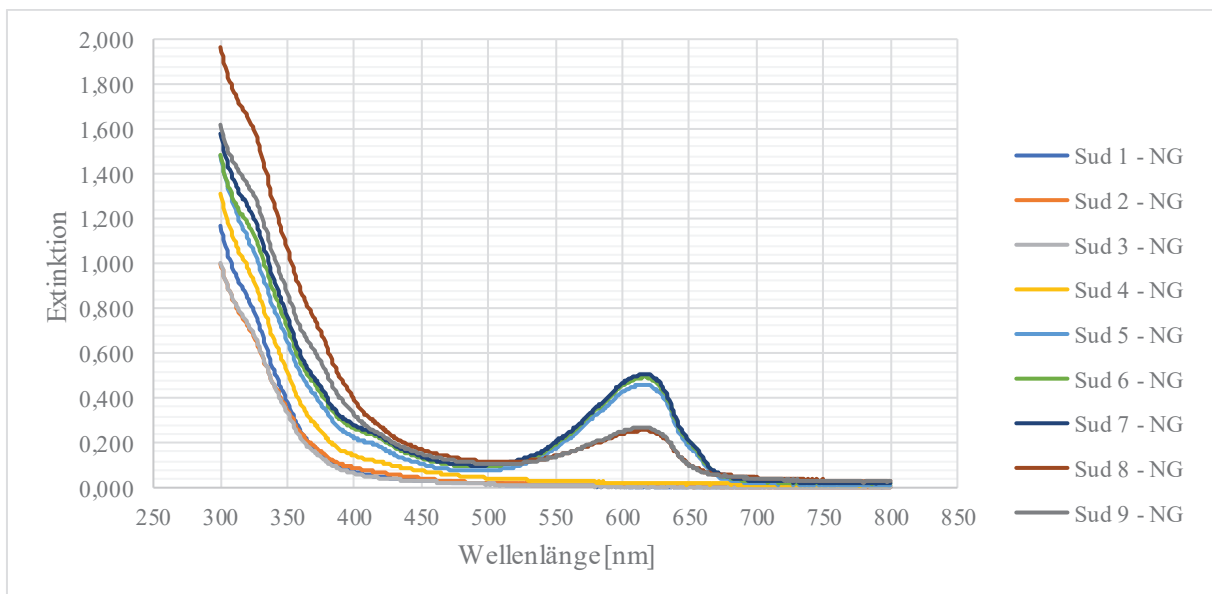


Abbildung 25: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Nachgärung

Tabelle 37: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 25

	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
A ₆₂₀	0,004	0,005	0,002	0,011	0,444	0,470	0,485	0,224	0,240
A ₆₅₀	0,004	0,003	0,003	0,008	0,172	0,186	0,190	0,077	0,074
A ₈₀₀	0,001	0,004	0,003	0,010	0,014	0,019	0,020	0,027	0,026
cPC [g/l]	0,003	0,004	0,000	0,010	0,551	0,579	0,599	0,288	0,315
aPC [g/l]	0,005	0,004	0,005	0,010	0,122	0,137	0,138	0,045	0,033
Gesamt PC [g/l]	0,008	0,008	0,005	0,020	0,674	0,716	0,737	0,333	0,348

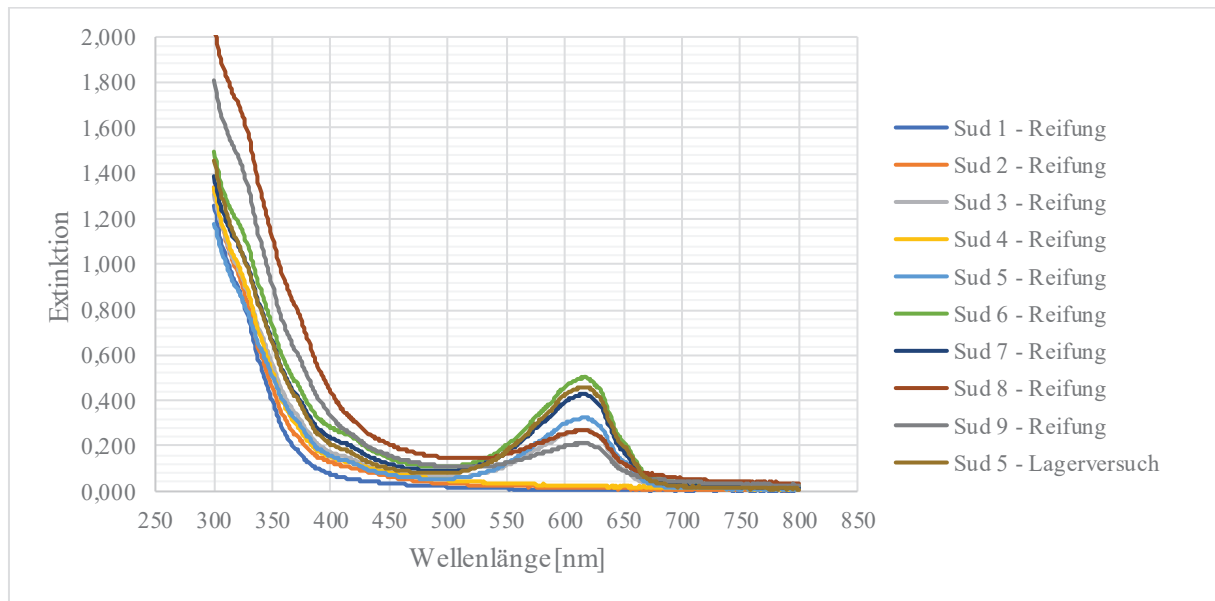


Abbildung 26: Wellenspektren zur Bestimmung des Phycocyaningehaltes nach der Reifung

Tabelle 38: Benötigte Wellenlängen und Berechnung des Phycocyanins aus Abbildung 26

	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9	Sud 5 - Lagerversuch
A ₆₂₀	0,001	0,005	0,254	0,011	0,308	0,472	0,407	0,230	0,184	0,447
A ₆₅₀	0,000	0,003	0,082	0,009	0,121	0,195	0,158	0,084	0,065	0,187
A ₈₀₀	0,005	0,009	0,013	0,012	0,012	0,022	0,017	0,036	0,026	0,011
cPC [g/l]	0,002	0,004	0,331	0,009	0,380	0,573	0,505	0,289	0,235	0,541
aPC [g/l]	-0,001	0,004	0,041	0,012	0,088	0,153	0,114	0,055	0,040	0,148
Gesamt PC [g/l]	0,002	0,008	0,372	0,021	0,468	0,727	0,619	0,344	0,275	0,689

Anlage 3 - Berechnungen und weitere Parameter zum Verständnis der Berechnungen

Tabelle 39: Leer- und mit Wasser gefüllten Gewichte der vorhandenen Pyknometer zur Berechnung des Tauchgewichtsverhältnisses

Pyknometer Nr.	Leergewicht [g]	Gewicht des mit Wasser gefüllten Pyknometers [g] bei 20 °C
171	31,1368	81,4365
140	31,1813	83,4132
90	30,7281	82,9839
156	31,0288	83,3281
168	31,1390	83,0308
172	31,5358	80,5288
20	32,1107	83,9816

Tabelle 40: Umrechnungstabelle - Stammwürze in SG (verändert nach Bürkle, 2020)

Extraktgehalt in % (Stammwürzgehalt)	Extraktgewicht in g (pro Liter Würze)	Specific Gravity (SG) in kg/Liter
6	61	1,024
7	72	1,027
8	83	1,032
9	93	1,036
10	104	1,040
11	115	1,044
12	126	1,048
13	137	1,052
14	148	1,057
15	159	1,060
16	170	1,065
17	182	1,070
18	193	1,074
19	295	1,077
20	217	1,083

Berechnung der Malzzusammensetzung aller Sude

1. Masse der Stammwürze berechnen:

Für die Berechnung wurde zunächst die Specific Gravity (SG) aus der Tabelle 40 je nach Stammwürze abgelesen. Für die Sude gelten folgende Werte:

Sud 1 - 5 (für 12,0 °P) -> SG = 1,048 kg/l

Sud 6 - 7 (für 13,0 °P) -> SG = 1,052 kg/l

Anschließend konnte mit Hilfe der Formel 6 die Masse der Würze berechnet werden:

Formel 6: Berechnung der Masse der Würze, verändert nach Bürkle (2020)

$$\text{Masse der Würze [kg]} = \text{Ausschlagvolumen [l]} \times \text{SG [kg/l]}$$

Das Ausschlagvolumen wurde bei allen Suden auf 20,0 l festgelegt. Mit der Berechnung ergaben sich daraufhin folgende Werte:

$$\text{Sud 1 - 5 (12,0 °P)} \rightarrow \text{Masse der Würze} = 20,0 \text{ l} \times 1,048 \text{ kg/l} = \underline{20,96 \text{ kg}}$$

$$\text{Sud 6 - 9 (13,0 °P)} \rightarrow \text{Masse der Würze} = 20,0 \text{ l} \times 1,052 \text{ kg/l} = \underline{21,04 \text{ kg}}$$

2. Erforderliche Extraktmenge berechnen:

Formel 7: Berechnung der erforderlichen Extraktmenge, Bürkle (2020)

$$\text{Erforderliche Extraktmenge [g/l]} = \text{Masse der Würze [kg]} \times \frac{\text{Extraktgewicht [g/l]}}{\text{SG [kg/l]}}$$

Das Extraktgewicht pro Liter wurde ebenfalls der Tabelle 40 je nach angestrebter Stammwürze entnommen.

$$\text{Sud 1 - 5 (12,0 °P)} \rightarrow \text{Extraktgewicht} = 126 \text{ g/l}$$

$$\text{Sud 6 - 9 (13,0 °P)} \rightarrow \text{Extraktgewicht} = 137 \text{ g/l}$$

Nach Einsetzen der benötigten Werte in Formel 7 ergaben sich folgende Extraktmengen:

$$\text{Sud 1 - 5 (12,0 °P)} \rightarrow \text{Erforderliche Extraktmenge} = 20,96 \text{ kg} \times \frac{126 \text{ g/l}}{1,048 \text{ kg/l}} = \underline{2520 \text{ g}}$$

$$\text{Sud 6 - 9 (13,0 °P)} \rightarrow \text{Erforderliche Extraktmenge} = 21,04 \text{ kg} \times \frac{137 \text{ g/l}}{1,052 \text{ kg/l}} = \underline{2740 \text{ g}}$$

Mit einem Ausschlagvolumen von 20,0 l wurden somit 2520 g Malzextrakt bei 12,0 °P und 2740 g bei einer festgelegten Stammwürze von 13,0 °P benötigt.

3. Extraktanteil berechnen:

Um in diesem Schritt den theoretischen Extraktanteil pro kg Schüttung zu ermitteln, musste zunächst der im Malz enthaltene Extraktanteil aus dem jeweiligen Analysenzertifikat im Anhang 5 bestimmt werden. Für die Sude 1 - 5 wurde das Pilsner Malz der Charge

U273-21110025-03 (Abbildung 27) verwendet. Die weiteren vier Sude (6 – 9) wurden mit dem anderen Pilsner Malz (Abbildung 28) gebraut.

Sud 1 - 5 -> Extraktanteil = 818 g/kg (81,8 %)

Sud 6 - 9 -> Extraktanteil = 821 g/kg (82,1 %)

Die Berechnung des Extraktanteils erfolgte mit Hilfe der Formel 8.

Formel 8: Berechnung des theoretischen Extraktanteils pro kg Schüttung, Bürkle (2020)

$$\text{Theoretischer Extraktanteil [g/kg]} = \frac{\% \text{-Anteil Malz} \times \text{Extraktanteil des Malzes [g/kg]}}{100 \%}$$

Da bei den Suden 1 - 7 nur Pilsner Malz der jeweils gleichen Charge verwendet wurde, ist der %-Anteil auf 100 zu setzen.

$$\text{Sud 1 - 5: Theoretischer Extraktanteil} = \frac{100 \% \times 818 \text{ g/kg}}{100 \%} = \underline{818,0 \text{ g/kg Schüttung}}$$

$$\text{Sud 6 - 7: Theoretischer Extraktanteil} = \frac{100 \% \times 821 \text{ g/kg}}{100 \%} = \underline{821,0 \text{ g/kg Schüttung}}$$

Bei den beiden Brut IPAs (Sud 8 und 9) wurden neben dem Malz 10 % Reisflocken eingesetzt. Die Reisflocken haben laut Analysenzertifikat in Abbildung 29 einen Extraktanteil von 740 g/kg. Die Formel musste demnach für beide Rohstoffe separat angewendet und von beiden Ergebnissen die Summe gebildet werden.

$$\text{Pilsner Malz: Theoretischer Extraktanteil} = \frac{90 \% \times 821 \text{ g/kg}}{100 \%} = \underline{738,9 \text{ g/kg Schüttung}}$$

$$\text{Reisflocken: Theoretischer Extraktanteil} = \frac{10 \% \times 740 \text{ g/kg}}{100 \%} = \underline{74,0 \text{ g/kg Schüttung}}$$

$$\text{Sud 8 - 9: Theoretischer Extraktgehalt} = 738,9 \text{ g/kg} + 74,0 \text{ g/kg} = \underline{812,9 \text{ g/kg Schüttung}}$$

Es lagen damit pro kg Schüttung für die ersten fünf Sude 818,0 g und für den 6. bzw. 7. Sud, 821,0 g Extrakt vor. Die Malzzusammensetzung beider Brut IPAs (Sud 8 und 9) hatte durch die Reisflocken mit 812,9 g einen etwas geringeren Extraktanteil.

Die errechneten Anteile sind jedoch nur theoretische Werte, da erfahrungsgemäß nicht alles an Extrakt in der Würze gelöst wird. Daher musste zur Ermittlung des praktischen Extraktanteils die sogenannte Sudhausausbeute dazu multipliziert werden. Dieser Faktor ist ein Maß für die

Effektivität der eingesetzten Brauanlage, den Extrakt herauszulösen. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem in der Würze gelösten Extrakt und dem Ausgangsgehalt beim zugegebenen Malz, wobei die Angabe in Prozent erfolgt. In modernen Brauereien liegt dieser Wert in der Regel zwischen 75,0 % und 80,0 % (Brücklmeier, 2018). Da die Sudhausausbeute der in dieser Arbeit verwendeten Brauanlage noch nicht wissenschaftlich ermittelt wurde, musste diese abgeschätzt werden. Es wurde davon ausgegangen, dass diese Brauanlage die von der Literatur vorgegebenen Werte nicht schafft, weshalb intern eine Sudhausausbeute von 65,0 % festgelegt wurde.

Der praktische Extraktanteil konnte anschließend mit der Formel 9 berechnet werden.

Formel 9: Berechnung des praktischen Extraktanteils, verändert nach Bürkle (2020)

Praktischer Extraktanteil [g/kg] = Theoretischer Extraktanteil [g/kg] x Sudhausausbeute

Die Sudhausausbeute ist in diesem Fall als Dezimalzahl einzusetzen.

Sud 1 - 5: Praktischer Extraktanteil = 818,0 g/kg x 0,65 = 531,70 g/kg Schüttung

Sud 6 - 7: Praktischer Extraktanteil = 821,0 g/kg x 0,65 = 533,65 g/kg Schüttung

Sud 8 - 9: Praktischer Extraktanteil = 812,9 g/kg x 0,65 = 528,39 g/kg Schüttung

4. Gesamtmasse der Schüttung berechnen:

Im nächsten Schritt wurde die in Formel 7 ermittelte Extraktmenge mit dem praktischen Extraktanteil dividiert. In der Formel 10 ist diese Gleichung dargestellt.

Formel 10: Berechnung der Gesamtmasse der Malzschüttung, Bürkle (2020)

$$\text{Masse Gesamtschüttung [kg]} = \frac{\text{Erforderliche Extraktmenge [g]}}{\text{Praktischer Extraktanteil [g/kg]}}$$

Sud 1 - 5: Masse Gesamtschüttung = $\frac{2520 \text{ g}}{531,70 \text{ g/kg}} = \underline{4,74 \text{ kg}}$

Sud 6 - 7: Masse Gesamtschüttung = $\frac{2740 \text{ g}}{533,65 \text{ g/kg}} = \underline{5,13 \text{ kg}}$

Sud 8 - 9: Masse Gesamtschüttung = $\frac{2740 \text{ g}}{528,39 \text{ g/kg}} = \underline{5,19 \text{ kg}}$

Damit wurden für die Sude 6 - 9 etwas höhere Mengen benötigt. Das lag zunächst an der höheren Stammwürze von 13,0 °P und speziell bei den Brut IPAs (Sud 8 und 9) an den zugegebenen Reisflocken, welche generell einen geringeren Extraktgehalt aufweisen.

5. Konkrete Malzmenge berechnen:

Im fünften und letzten Schritt wurden in Formel 11 von der Gesamtschüttung die jeweiligen prozentualen Anteile multipliziert, sodass letztendlich die Teilmassen ermittelt werden konnten.

Formel 11: Berechnung der jeweiligen Malzmenge pro Schüttung, Bürkle (2020)

$$\text{Masse des Malzes [kg]} = \frac{\% \text{-Anteil Malz pro Schüttung} \times \text{Masse Gesamtschüttung [kg]}}{100 \%}$$

Da bei den Suden 1 - 5 bzw. 6 - 7 jeweils nur Pilsner Malz der gleichen Charge verwendet wurde, ist der %-Anteil auf 100 zu setzen. Somit ist die Masse der Gesamtschüttung gleich der Menge an zuzugebendem Pilsner Malz.

$$\text{Sud 1 - 5: Masse an Pilsner Malz} = \underline{\underline{4,74 \text{ kg Malz}}}$$

$$\text{Sud 6 - 7: Masse an Pilsner Malz} = \underline{\underline{5,13 \text{ kg Malz}}}$$

Die benötigten Mengen an Malz und Flocken bei Sud 8 und 9 ergeben sich aus der oberen Formel 11.

$$\text{Sud 8 - 9: Masse des Malzes} = \frac{90 \% \times 5,19 \text{ kg}}{100 \%} = \underline{\underline{4,67 \text{ kg Malz}}}$$

$$\text{Masse der Flocken} = \frac{10 \% \times 5,19 \text{ kg}}{100 \%} = \underline{\underline{0,52 \text{ kg Reisflocken}}}$$

Die doppelt unterstrichenen Mengen sind schlussendlich dem Brauvorgang beizufügen, um die gewünschte Stammwürze bei 20,0 l Ausschlagwürze zu erzielen.

Berechnung der Hopfenmengen aller Sude

Für die Ermittlung der Hopfenmengen musste zunächst die Bitterkraft festgelegt werden. Zudem wurden das Ausschlagvolumen, die jeweiligen α -Säuregehalte (siehe Tabelle 3) und die einzelnen Kochzeiten der Hopfen benötigt. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe der von Wolf (2020) beschriebenen Gleichung von Tinseth und ist in Formel 12 dargestellt.

Formel 12: Berechnung der Hopfenbittere nach Tinseth, Wolf (2020)

$$IBU = \left(\frac{\text{Menge Hopfen [g]} \times \alpha\text{-Säuregehalt [\%]} \times 10}{\text{Ausschlagvolumen [l]}} \right) \times (1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times \text{Stammwürze [°P]})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times \text{Kochzeit [min]})}}{4,15} \right)$$

Der Term in der ersten Klammer beschreibt dabei die theoretisch benötigte Hopfenmenge, um die gewünschte Bitterkraft zu erreichen. Ähnlich wie beim Malz gehen die α -Säuren aber nicht vollständig in Lösung. Es wird in diesem Umfang von der Bitterstoffausbeute gesprochen, welche von der Kochzeit und Stammwürze abhängig ist. Die aus Versuchen ermittelte Bitterstoffausbeute und weitere Einflussfaktoren werden in den Termen der zweiten („Bigness factor“) und dritten („boil time factor“) Klammer als Dezimalzahlen ausgedrückt. Diese Dezimalzahlen beziehen sich vorwiegend auf den Einsatz von Hopfendolden. Da in dieser Arbeit Pellets verwendet wurden, welche im Vergleich eine höhere Löslichkeit und Oberfläche besitzen, musste eine Faktorerhöhung von 1,1 im mittleren Term vorgenommen werden (Wolf, 2020). In der neue Formel 13 wurde dieser Faktor entsprechend eingefügt.

Formel 13: Berechnung der Hopfenbittere um den Faktor 1,1 erhöht, verändert nach Tinseth

$$IBU = \left(\frac{\text{Menge Hopfen [g]} \times \alpha\text{-Säuregehalt [\%]} \times 10}{\text{Ausschlagvolumen [l]}} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times \text{Stammwürze [°P]})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times \text{Kochzeit [min]})}}{4,15} \right)$$

Für die Sude 1 - 5 sollte eine Bitterkeit von ca. 31,00 IBU mit der gleichen Hopfenzusammensetzung (Hallertau Blanc, Amarillo, Relax) eingestellt werden. Da alle benötigten Parameter bis auf die Hopfenmengen vorlagen, wurde durch mehrmaliges zufälliges Einsetzen von Hopfenmengen eine Annäherung an die gewünschte IBU - Einheit erreicht. Letztendlich wurden die Mengen der Hopfen (siehe Tabelle 1) so ausgewählt, dass die vorläufige Bittere im Bier 31,47 IBU betrug. Da für die richtige Einstellung drei unterschiedliche Hopfen eingesetzt wurden, ist die Formel 13 für jeden Hopfen einzeln anzuwenden und die Einzelergebnisse anschließend zusammen zu addieren.

$$\text{IBU} = \left(\frac{20 \text{ g} \times 8,8 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0 \text{ °P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 60 \text{ min})}}{4,15} \right) +$$

$$\left(\frac{10 \text{ g} \times 9,4 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0 \text{ °P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 25 \text{ min})}}{4,15} \right) +$$

$$\left(\frac{8 \text{ g} \times 0,8 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0 \text{ °P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 10 \text{ min})}}{4,15} \right)$$

$$\underline{\underline{\text{IBU} = 31,47}}$$

Die Hopfengabe der Sude 6 (IPA fruchtig) und 7 (IPA würzig) sollte so eingestellt werden, dass beide Biere eine nahezu gleiche Bitterkeit nahe der 60,00 IBU erreichen. Letztendlich wurden mit den in Tabelle 2 aufgeführten Mengen und selbiger Berechnung vorläufige Werte von 58,03 IBU (Sud 6) und 58,15 IBU (Sud 7) erzielt.

Bei Sud 8 (Brut IPA fruchtig) und 9 (Brut IPA würzig) wurde jeweils nur ein Hopfen beim Kochen eingesetzt, weshalb die Formel auch nur einmal bei einer Kochzeit von 15 min angewendet werden musste. Es wurde bei beiden eine Bitterkraft knapp unter 20,00 IBU angestrebt. Mit den in selbiger Tabelle angegebenen Werten und mit Hilfe der Formel 13 konnten nahezu identische Bittereinheiten von 19,74 IBU (Sud 8) und 19,63 IBU (Sud 9) berechnet werden.

Ein weiterer zu berücksichtigender Parameter ist die Nachisomerisierungszeit, also die Zeit zwischen Kochende und dem Würzekühlen. In dieser Zeit verringert sich die Temperatur stetig, weshalb auch die Isomerisierungsgeschwindigkeit der α -Säuren immer weiter abnimmt. Während dieser Zeit wird die Bitterkraft aber immer noch gering verstärkt. Damit der Einfluss der Nachisomerisierung für eine noch exaktere Berechnung der Bitterkeit ermittelt werden konnte, musste der Formel ein weiterer Faktor hinzugefügt werden, welcher in Formel 14 aufgeführt ist (Wolf, 2020).

Formel 14: Berechnung des integrierten IGF, Wolf (2019)

$$\text{integrierter IGF} = 0,046 \times e^{(0,031 \times \text{Temperatur am Ende der Nachisomerisierung } [^{\circ}\text{C}])}$$

Dieser Faktor wurde anschließend mit der gemessenen Nachisomerisierungszeit multipliziert und als zusätzliche Kochzeit in der Formel 13 nach Tinseth dazu addiert. Da vor Braubeginn die Zeiten der Nachisomerisierung noch nicht feststanden, konnte der IGF nicht mit in die Berechnung der benötigten Hopfenmengen einbezogen werden. Der Einsatz des Hopfens im Whirlpool und während der Nachgärung erfolgte bei einer Temperatur unter 80,0 °C, weshalb

dieser nicht mehr zur Bitterkraft beitrug und für diese Berechnung vernachlässigt werden konnte (Brücklmeier, 2018; Wolf, 2020).

In Tabelle 7 und 9 sind die Zeiten der Nachisomerisierung und die Temperatur aufgelistet, welche für eine exakte Ermittlung der Bitterkraft in Formel 14 eingesetzt wurden. Als Berechnungsbeispiel wurden die Werte von Sud 1 herangezogen.

$$\text{integrierter IGF} = 0,046 \times e^{(0,031 \times 56,2^\circ\text{C})} = 0,2627 \rightarrow 0,2627 \times 28 \text{ min} = \underline{7,35 \text{ min}}$$

Werden die Werte der anderen Sude 2 - 9 eingesetzt, ergeben sich in Tabelle 41 folgende Kochzeiten:

Tabelle 41: Ergebnisse des Nachisomerisierungseinflusses aller Sude

Probe	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
IGF	0,2627	0,2777	0,3472	0,3429	0,2847	0,1141	0,1141	0,1141	0,1141
zusätzliche Kochzeit	<u>7 min</u>	<u>8 min</u>	<u>8 min</u>	<u>7 min</u>	<u>7 min</u>	<u>1 min</u>	<u>1 min</u>	<u>1 min</u>	<u>1 min</u>

Die zusätzliche Kochzeit wurde im letzten Schritt in die Formel 13 integriert, indem sie der allgemeinen Kochzeit zuaddiert wurde. Als Berechnungsbeispiel wurde auch hier wieder Sud 1 herangezogen.

$$\begin{aligned} \text{IBU} = & \left(\frac{20 \text{ g} \times 8,8 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0^\circ\text{P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 60 \text{ min} + 7 \text{ min})}}{4,15} \right) + \\ & \left(\frac{10 \text{ g} \times 9,4 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0^\circ\text{P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 25 \text{ min} + 7 \text{ min})}}{4,15} \right) + \\ & \left(\frac{8 \text{ g} \times 0,8 \% \times 10}{20,01} \right) \times (1,1 \times 1,65 \times 0,000125^{(0,004 \times 12,0^\circ\text{P})}) \times \left(\frac{1 - e^{(-0,04 \times 10 \text{ min} + 7 \text{ min})}}{4,15} \right) \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\text{IBU} = 33,38}}$$

Bei gleicher Berechnungsweise ergeben sich für die Sude 2 - 9 in Tabelle 42 folgende Bittereinheiten:

Tabelle 42: Ergebnisse der Bittere, inklusive des Einflusses der Nachisomerisierung

Probe	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
IBU	33,38	33,61	33,61	33,38	33,38	58,91	58,75	20,68	20,57

Diese zeigt, dass trotz des vorerst nicht bekannten Einflusses der Nachisomerisierung relativ identische aber leicht erhöhte Bittereinheiten bei den Sudgruppierungen 1 - 5, 6 - 7 und 8 - 9 vorliegen.

Berechnung der abweichenden Menge an *Spirulina* - Pulver bei Sud 3:

Formel 15: Berechnung der benötigten Algenmenge bei Sud 3 nach der Nachgärung

$$\text{Menge } \textit{Spirulina}\text{-Pulver Sud 3 [kg]} = \frac{\text{Menge } \textit{Spirulina}\text{-Pulver Sud 2,4,5 [kg]}}{\text{Ausschlagvolumen Sud 2,4,5 [l]}} \times \text{Volumen Sud 3 [l]}$$

$$\text{Menge } \textit{Spirulina}\text{-Pulver Sud 3 [kg]} = \frac{0,237 \text{ kg}}{19,500 \text{ l}} * 14,535 \text{ l} = \underline{\underline{0,177 \text{ kg}}}$$

Die 14,535 l ergaben sich aus einer manuellen Untersuchung. Dafür wurden die Masse des befüllten und leeren Kegs ermittelt. Nach Abzug des Leergewichts konnte eine reine Biermasse von 14,680 kg ermittelt werden. Mit Hilfe der zum Volumen umgestellten Dichteformel (Formel 16) konnte letztendlich das Volumen von Sud 3 berechnet werden. Die Dichte beträgt dabei für Biere mit einer Stammwürze von 2,5 °P (siehe Tabelle 8 und 43) ca. 1,010 kg/l.

Formel 16: Berechnung der noch vorhandenen Menge an Bier über die Dichte

$$\text{Volumen [l]} = \text{Masse [kg]} / \text{Dichte [kg/l]}$$

$$\text{Volumen [l]} = 14,680 \text{ kg} / 1,010 \text{ kg/l} = \underline{\underline{14,535 \text{ l}}}$$

Tabelle 43: Auszug: Dichte von Bier bei unterschiedlichen Stammwürzegehalten 2,0 °P - 3,0 °P (bier-kompendum, 2020)

Dichte SG [kg/l]	Stammwürze [°P]
1,00781	2,0
1,00820	2,1
1,00860	2,2
1,00899	2,3
1,00938	2,4
1,00977	2,5
1,01016	2,6
1,01056	2,7
1,01095	2,8
1,01134	2,9
1,01173	3,0

Anlage 4 - Statistische Auswertung der Messergebnisse

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 5 + Tabelle 21

Tabelle 44: Statistische Auswertung der ANOVA für reduzierende Zucker von Sud 1 - 5

Varianzanalyse (red. Zucker [g/l]):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	49	81528,812	1663,853	2165,709	<0,0001
Fehler	100	76,827	0,768		
Gesamt korrigiert	149	81605,639			
<i>Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)</i>					

Tabelle 45: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen															
Sud 1 - Würze	81,757	0,506	A															
Sud 5 - Würze	74,792	0,506		B														
Sud 3 - Würze	74,571	0,506			B													
Sud 3 - nach 1. Tag HG	74,240	0,506				B												
Sud 4 - Würze	73,134	0,506					B											
Sud 2 - Würze	67,201	0,506						C										
Sud 2 - nach 1. Tag HG	57,104	0,506							D									
Sud 5 - nach 1. Tag HG	52,388	0,506								E								
Sud 1 - nach 1. Tag HG	40,890	0,506									F							
Sud 3 - nach 2. Tag HG	31,629	0,506										G						
Sud 4 - nach 1. Tag HG	29,283	0,506											G					
Sud 5 - nach 2. Tag HG	13,020	0,506												H				
Sud 1 - nach 2. Tag HG	12,663	0,506												H				
Sud 2 - nach 2. Tag HG	12,221	0,506												H				
Sud 3 - nach 3. Tag HG	11,601	0,506												H				
Sud 4 - nach 2. Tag HG	10,109	0,506												H				
Sud 5 - nach 3. Tag HG	8,543	0,506												I				
Sud 3 - nach 4. Tag HG	8,487	0,506												I	J			
Sud 5 - nach Reifung	8,414	0,506												I	J	K		
Sud 5 - nach 4. Tag HG	7,990	0,506												I	J	K	L	
Sud 1 - nach 4. Tag HG	7,861	0,506												I	J	K	L	
Sud 3 - nach Reifung	7,548	0,506												I	J	K	L	
Sud 5 - nach 7. Tag HG	7,456	0,506												I	J	K	L	
Sud 1 - nach 6. Tag HG	7,290	0,506												I	J	K	L	
Sud 5 - nach 6. Tag HG	7,253	0,506												I	J	K	L	
Sud 4 - nach 3. Tag HG	7,105	0,506												J	K	L	M	
Sud 5 - nach 5. Tag HG	7,069	0,506												J	K	L	M	
Sud 5 - nach NG	7,050	0,506												J	K	L	M	
Sud 3 - nach 6. Tag HG	6,903	0,506												J	K	L	M	
Sud 1 - nach Reifung	6,848	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach 4. Tag HG	6,829	0,506												J	K	L	M	
Sud 1 - nach 7. Tag HG	6,626	0,506												J	K	L	M	
Sud 1 - nach NG	6,626	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach Reifung	6,626	0,506												J	K	L	M	
Sud 3 - nach NG	6,626	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach 6. Tag HG	6,479	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach NG	6,424	0,506												J	K	L	M	
Sud 3 - nach 5. Tag HG	6,368	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach Reifung	6,350	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach 7. Tag HG	6,276	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach 3. Tag HG	6,221	0,506												J	K	L	M	
Sud 1 - nach 5. Tag HG	6,203	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach NG	6,037	0,506												J	K	L	M	
Sud 1 - nach 3. Tag HG	6,018	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach 4. Tag HG	5,816	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach 6. Tag HG	5,595	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach 7. Tag HG	5,595	0,506												J	K	L	M	
Sud 4 - nach 5. Tag HG	5,576	0,506												J	K	L	M	
Sud 3 - nach 7. Tag HG	5,263	0,506												J	K	L	M	
Sud 2 - nach 5. Tag HG	4,673	0,506												J	K	L	M	

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 6 + Tabelle 22

Tabelle 46: Statistische Auswertung der ANOVA für reduzierende Zucker von Sud 6 - 9

Varianzanalyse (red. Zucker [g/l]):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	15	55545,119	3703,008	40052,173	<0,0001
Fehler	32	2,959	0,092		
Gesamt korrigiert	47	55548,078			
<i>Berechnet gegen Modell Y=Mean(Y)</i>					

Tabelle 51: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen												
Sud 7 - Würze	206,598	0,933	A												
Sud 8 - Würze	188,244	0,933		B											
Sud 6 - Würze	184,300	0,933		B											
Sud 9 - Würze	175,654	0,933			C										
Sud 6 - nach Reifung	76,147	0,933				D									
Sud 6 - nach NG	74,024	0,933				D	E								
Sud 6 - nach HG	73,038	0,933				D	E	F							
Sud 7 - nach Reifung	72,886	0,933				D	E	F	G						
Sud 9 - nach NG	70,155	0,933					E	F	G	H					
Sud 7 - nach NG	69,625	0,933					E	F	G	H					
Sud 9 - nach Reifung	68,942	0,933						F	G	H					
Sud 9 - nach HG	68,032	0,933							G	H	I				
Sud 7 - nach HG	67,653	0,933								H	I				
Sud 8 - nach Reifung	63,178	0,933									I	J			
Sud 8 - nach NG	59,613	0,933											J		
Sud 8 - nach HG	59,234	0,933												J	

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 4 + Tabelle 32

Tabelle 52: Statistische Auswertung der ANOVA für den Glucosegehalt von Sud 8 und 9

Varianzanalyse (Glucose [g/l]):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	4263,915	1421,305	11607,161	<0,0001
Fehler	8	0,980	0,122		
Gesamt korrigiert	11	4264,895			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 53: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen		
Sud 9 - 4. Rast	53,374	0,202	A		
Sud 8 - 4. Rast	38,145	0,202		B	
Sud 8 - 3. Rast	9,702	0,202			C
Sud 9 - 3. Rast	9,558	0,202			C

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 10 + Tabelle 25

Tabelle 54: Statistische Auswertung der ANOVA für den L*-Wert von Sud 1 - 5

Varianzanalyse (L*-Wert):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	49	85782,296	1750,659	69712,380	<0,0001
Fehler	200	5,023	0,025		
Gesamt korrigiert	249	85787,319			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 55: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen															
Sud 3 - nach 7. Tag HG	63,224	0,071	A															
Sud 3 - nach 7. Tag MG	62,070	0,071	B															
Sud 3 - nach 5. Tag MG	60,204	0,071		C														
Sud 3 - nach 5. Tag HG	60,858	0,071			C													
Sud 1 - nach NG	60,214	0,071				D												
Sud 1 - nach 6. Tag MG	60,094	0,071					D	E										
Sud 3 - nach HG	60,000	0,071							D	E								
Sud 3 - nach 4. Tag MG	59,840	0,071								D	E							
Sud 1 - nach Reifung	59,770	0,071									E							
Sud 1 - nach 4. Tag HG	59,264	0,071						F										
Sud 3 - nach 6. Tag MG	58,878	0,071							F	G								
Sud 1 - nach 3. Tag MG	58,848	0,071								G								
Sud 1 - nach 3. Tag HG	58,250	0,071									H							
Sud 2 - nach NG	55,942	0,071										H	I					
Sud 2 - nach Reifung	55,556	0,071												I	J			
Sud 3 - nach 2. Tag MG	55,512	0,071																
Sud 2 - nach 5. Tag MG	54,940	0,071																
Sud 2 - nach 5. Tag HG	54,790	0,071																
Sud 2 - nach 7. Tag MG	54,350	0,071																
Sud 3 - nach 1. Tag MG	53,522	0,071																
Sud 2 - nach 4. Tag MG	53,144	0,071																
Sud 4 - nach 6. Tag MG	52,462	0,071																
Sud 4 - nach 5. Tag MG	52,206	0,071																
Sud 4 - nach NG	51,476	0,071																
Sud 2 - nach 3. Tag MG	51,378	0,071																
Sud 4 - nach 7. Tag MG	51,178	0,071																
Sud 4 - nach Reifung	51,146	0,071																
Sud 4 - nach 4. Tag MG	50,428	0,071																
Sud 3 - Würze	49,496	0,071										P	Q					
Sud 4 - nach 3. Tag MG	48,886	0,071												R				
Sud 1 - nach 2. Tag MG	48,648	0,071													S			
Sud 1 - nach 1. Tag MG	45,700	0,071													T			
Sud 4 - nach 2. Tag MG	42,894	0,071														U		
Sud 1 - Würze	41,958	0,071															V	
Sud 2 - nach 1. Tag MG	38,468	0,071																
Sud 2 - nach 2. Tag MG	38,382	0,071															W	
Sud 4 - nach 1. Tag MG	32,248	0,071															X	
Sud 2 - Würze	30,880	0,071																
Sud 5 - nach 3. Tag MG	28,530	0,071																
Sud 5 - nach 6. Tag MG	28,734	0,071																
Sud 5 - nach 5. Tag MG	25,462	0,071																
Sud 4 - Würze	25,070	0,071																
Sud 5 - nach Reifung	24,846	0,071																
Sud 5 - nach 4. Tag MG	23,634	0,071																
Sud 5 - nach HG	23,304	0,071																
Sud 5 - nach 7. Tag MG	22,838	0,071																
Sud 5 - nach 2. Tag MG	22,744	0,071																
Sud 5 - nach 1. Tag MG	20,854	0,071																
Sud 3 - nach Reifung	20,794	0,071																
Sud 5 - Würze	14,822	0,071																

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 11 + Tabelle 26

Tabelle 56: Statistische Auswertung der ANOVA für den L*-Wert von Sud 6 - 9

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	15	1026,662	68,444	25730,867	<0,0001
Fehler	64	0,170	0,003		
Gesamt korrigiert	79	1026,832			

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

Tabelle 57: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen															
Sud 9 - nach NG	21,174	0,023	A															
Sud 9 - nach Reifung	20,154	0,023		B														
Sud 8 - nach NG	19,002	0,023			C													
Sud 8 - nach Reifung	18,608	0,023				D												
Sud 9 - nach HG	17,088	0,023					E											
Sud 8 - nach HG	16,986	0,023						E										
Sud 9 - Würze	16,918	0,023							F									
Sud 8 - Würze	16,158	0,023								F								
Sud 7 - nach NG	14,752	0,023									G							
Sud 7 - nach Reifung	14,740	0,023										H						
Sud 6 - nach Reifung	13,448	0,023											H					
Sud 6 - nach NG	13,248	0,023												I				
Sud 7 - nach HG	10,668	0,023													J			
Sud 6 - Würze	10,434	0,023														K		
Sud 6 - nach HG	10,406	0,023															L	
Sud 7 - Würze	9,294	0,023																M

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Abbildung 12 + Tabelle 27

Tabelle 58: Statistische Auswertung der ANOVA für den a*-Wert von Sud 1 - 5

Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	49	6734,080	137,430	11622,791	<0,0001
Fehler	200	2,365	0,012		
Gesamt korrigiert	249	6736,445			

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

Tabelle 67: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen		
Sud 5	5,490	0,052	A		
Sud 1	5,413	0,052	A		
Sud 3	5,113	0,052		B	
Sud 2	4,763	0,052			C
Sud 4	4,640	0,052			C

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Tabelle 12 und Tabelle 34

Tabelle 68: Statistische Auswertung der ANOVA für den Alkoholgehalt von Sud 6 - 9

Varianzanalyse (Alkoholgehalt % vol.):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	1,024	0,341	10,510	0,004
Fehler	8	0,260	0,032		
Gesamt korrigiert	11	1,284			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 69: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen		
Sud 8	6,247	0,104	A		
Sud 9	6,147	0,104	A		
Sud 6	5,617	0,104		B	
Sud 7	5,617	0,104		B	

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Tabelle 16 und Tabelle 35

Tabelle 70: Statistische Auswertung der ANOVA für den Polyphenolgehalt von Sud 1 - 9

Varianzanalyse (Gesamtphenolgehalt [mg/l]):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	8	416195,376	52024,422	1118,896	<0,0001
Fehler	18	836,932	46,496		
Gesamt korrigiert	26	417032,308			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 71: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen			
Sud 8	470,352	3,937	A			
Sud 9	347,953	3,937		B		
Sud 1	156,620	3,937			C	
Sud 3	146,233	3,937			C	D
Sud 4	133,660	3,937				D
Sud 2	107,147	3,937				E
Sud 6	105,780	3,937				E
Sud 5	103,867	3,937				E
Sud 7	101,953	3,937				E

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Tabelle 17

Tabelle 72: Statistische Auswertung der ANOVA der Beliebtheitsprüfung von Sud 1 - 5

Varianzanalyse (Beliebtheit):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	4	102,674	25,668	9,833	<0,0001
Fehler	90	234,947	2,611		
Gesamt korrigiert	94	337,621			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 73: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen	
Sud 1	7,421	0,371	A	
Sud 4	6,105	0,371	A	
Sud 2	6,000	0,371	A	
Sud 5	6,000	0,371	A	
Sud 3	4,158	0,371		B

Einfaktorielle Varianzanalyse mit post-hoc Test (Tukey) für Tabelle 18

Tabelle 74: Statistische Auswertung der ANOVA der Beliebtheitsprüfung von Sud 6 - 9

Varianzanalyse (Beliebtheit):					
Quelle	FG	Summe der Quadratwerte	Mittel der Quadratwerte	F	Pr > F
Modell	3	78,990	26,330	7,979	<0,0001
Fehler	96	316,800	3,300		
Gesamt korrigiert	99	395,790			
<i>Berechnet gegen Modell $Y=Mean(Y)$</i>					

Tabelle 75: Zusammenfassung der paarweisen Vergleiche (Tukey)

Kategorie	Mittelwertschätzer	Standardfehler	Gruppen	
Sud 6	7,120	0,363	A	
Sud 7	6,640	0,363	A	
Sud 9	5,920	0,363	A	B
Sud 8	4,760	0,363		B

Ermittlung ausgewählter Farbabstände der Sude 1 - 5

Tabelle 76: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen zum selben Zeitpunkt der Probennahme

Paarung	ΔE	Paarung	ΔE	Paarung	ΔE
Würze		Nach 1. Tag HG		Nach 2. Tag HG	
1+2	26,83	1+2	15,15	1+2	16,36
1+3	8,12	1+3	9,53	1+3	8,39
1+4	32,31	1+4	13,86	1+4	5,49
1+5	47,35	1+5	46,41	1+5	48,79
2+3	33,40	2+3	21,34	2+3	24,16
2+4	5,50	2+4	12,06	2+4	11,58
2+5	20,66	2+5	45,43	2+5	43,61
3+4	38,88	3+4	22,95	3+4	12,80
3+5	53,44	3+5	55,16	3+5	55,60
4+5	15,39	4+5	34,78	4+5	47,48
Nach 3. Tag HG		Nach 4. Tag HG		Nach 5. Tag HG	
1+2	15,70	1+2	13,77	1+2	11,74
1+3	5,40	1+3	2,42	1+3	3,05
1+4	13,38	1+4	10,44	1+4	8,05
1+5	55,03	1+5	60,60	1+5	60,77
2+3	16,79	2+3	16,15	2+3	14,54
2+4	4,42	2+4	7,37	2+4	7,08
2+5	63,11	2+5	65,34	2+5	66,22
3+4	15,80	3+4	12,29	3+4	11,02
3+5	59,06	3+5	59,55	3+5	60,68
4+5	58,90	4+5	58,40	4+5	59,73
Nach 6. Tag HG		Nach der HG		Nach der NG	
1+2	11,02	1+2	14,14	1+2	7,35
1+3	1,51	1+3	1,84	1+3	0,72
1+4	10,73	1+4	14,92	1+4	11,57
1+5	61,52	1+5	60,83	1+5	61,19
2+3	11,09	2+3	13,69	2+3	7,78
2+4	3,26	2+4	3,72	2+4	5,26
2+5	65,19	2+5	63,13	2+5	62,00
3+4	10,36	3+4	14,90	3+4	11,88
3+5	60,32	3+5	62,60	3+5	60,58
4+5	62,13	4+5	59,81	4+5	60,45
Nach der Reifung					
1+2	9,86				
1+3	58,81				
1+4	11,48				
1+5	62,84				
2+3	60,87				
2+4	5,38				
2+5	66,54				
3+4	56,90				
3+5	12,09				
4+5	63,00				

Tabelle 77: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 1 - Ref.

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 1 - Würze										
Sud 1 - nach 1. Tag HG	5,33									
Sud 1 - nach 2. Tag HG	7,16	2,13								
Sud 1 - nach 3. Tag HG	15,92	11,07	9,01							
Sud 1 - nach 4. Tag HG	18,35	14,54	12,49	6,26						
Sud 1 - nach 5. Tag HG	17,90	14,11	12,07	6,09	0,46					
Sud 1 - nach 6. Tag HG	19,21	15,02	12,92	5,35	2,03	2,29				
Sud 1 - nach 7. Tag HG	21,38	16,94	14,83	6,30	4,55	4,88	2,64			
Sud 1 - nach NG	19,25	15,12	13,03	5,55	1,88	2,17	0,30	2,73		
Sud 1 - nach Reifung	18,70	14,79	12,73	6,01	0,86	1,13	1,42	3,88	1,21	

Tabelle 78: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 2 - Einm.

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 2 - Würze										
Sud 2 - nach 1. Tag HG	24,24									
Sud 2 - nach 2. Tag HG	20,19	4,34								
Sud 2 - nach 3. Tag HG	40,30	20,11	22,20							
Sud 2 - nach 4. Tag HG	43,60	23,01	25,36	3,53						
Sud 2 - nach 5. Tag HG	44,17	24,33	26,41	4,25	2,25					
Sud 2 - nach 6. Tag HG	42,32	23,55	25,18	4,24	4,84	3,22				
Sud 2 - nach 7. Tag HG	42,14	23,04	24,78	3,52	4,22	2,85	0,77			
Sud 2 - nach NG	41,50	24,65	25,65	7,55	8,77	7,01	3,95	4,63		
Sud 2 - nach Reifung	43,21	24,48	26,14	4,94	4,86	2,90	0,99	1,51	4,14	

Tabelle 79: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 3 - NaGä

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 3 - Würze										
Sud 3 - nach 1. Tag HG	4,55									
Sud 3 - nach 2. Tag HG	6,49	3,66								
Sud 3 - nach 3. Tag HG	12,79	9,71	6,39							
Sud 3 - nach 4. Tag HG	11,03	7,67	4,55	2,11						
Sud 3 - nach 5. Tag HG	12,04	8,52	5,56	1,79	1,08					
Sud 3 - nach 6. Tag HG	9,97	6,80	3,55	2,94	1,17	2,23				
Sud 3 - nach 7. Tag HG	14,29	10,61	7,86	2,68	3,40	2,37	4,46			
Sud 3 - nach NG	11,15	7,76	4,68	2,06	0,19	0,96	1,27	3,25		
Sud 3 - nach Reifung	51,07	55,12	54,87	58,25	57,87	58,83	57,05	60,87	58,04	

Tabelle 80: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 4 - WüKo

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 4 - Würze										
Sud 4 - nach 1. Tag HG	20,59									
Sud 4 - nach 2. Tag HG	32,86	12,29								
Sud 4 - nach 3. Tag HG	41,56	21,03	9,03							
Sud 4 - nach 4. Tag HG	42,69	22,17	10,03	1,65						
Sud 4 - nach 5. Tag HG	43,70	23,20	10,98	3,59	2,01					
Sud 4 - nach 6. Tag HG	44,54	24,04	11,87	3,75	2,13	1,22				
Sud 4 - nach 7. Tag HG	43,90	23,37	11,25	2,46	1,29	2,23	1,68			
Sud 4 - nach NG	43,80	23,27	11,10	2,65	1,13	1,53	1,16	0,70		
Sud 4 - nach Reifung	44,00	23,44	11,31	2,57	1,88	2,80	2,41	1,04	1,47	

Tabelle 81: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen von Sud 5 - WüKü

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 5 - Würze										
Sud 5 - nach 1. Tag HG	10,24									
Sud 5 - nach 2. Tag HG	13,70	4,15								
Sud 5 - nach 3. Tag HG	25,31	15,43	11,64							
Sud 5 - nach 4. Tag HG	14,70	7,18	3,98	11,91						
Sud 5 - nach 5. Tag HG	18,84	10,48	6,45	8,43	4,18					
Sud 5 - nach 6. Tag HG	20,14	12,42	8,51	9,19	5,58	2,24				
Sud 5 - nach 7. Tag HG	13,61	7,33	5,05	13,65	1,79	5,66	6,64			
Sud 5 - nach NG	14,83	9,25	6,82	14,01	3,02	5,64	5,95	1,93		
Sud 5 - nach Reifung	18,68	12,65	9,43	12,83	5,54	4,92	3,66	5,54	3,93	

Ermittlung ausgewählter Farbabstände der Sude 6 - 9

Tabelle 82: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen zum selben Zeitpunkt der Probennahme

Paarung	ΔE	Paarung	ΔE	Paarung	ΔE
Würze		Nach der HG		Nach der NG	
5+6	11,05	5+6	8,11	5+6	2,52
5+7	7,92	5+7	7,52	5+7	1,49
5+8	21,29	5+8	6,03	5+8	8,63
5+9	22,29	5+9	6,11	5+9	12,39
6+7	3,20	6+7	0,83	6+7	3,09
6+8	10,60	6+8	13,68	6+8	10,39
6+9	11,75	6+9	13,51	6+9	14,35
7+8	13,56	7+8	13,13	7+8	7,83
7+9	14,64	7+9	13,01	7+9	11,50
8+9	1,31	8+9	0,99	8+9	4,36
Nach der Reifung					
5+6	3,61				
5+7	0,78				
5+8	8,62				
5+9	13,10				
6+7	2,90				
6+8	9,81				
6+9	14,31				
7+8	8,47				
7+9	12,99				
8+9	4,60				

Tabelle 83: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen innerhalb von Sud 5 - 9

Probe	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 6 - Würze			
Sud 6 - nach HG	14,69		
Sud 6 - nach NG	14,96	6,07	
Sud 6 - nach Reifung	15,93	7,90	1,98
Sud 7 - Würze			
Sud 7 - nach HG	11,44		
Sud 7 - nach NG	14,22	8,61	
Sud 7 - nach Reifung	16,41	10,48	2,49
Sud 8 - Würze			
Sud 8 - nach HG	15,19		
Sud 8 - nach NG	11,88	4,27	
Sud 8 - nach Reifung	11,93	3,86	0,81

Sud 9 - Würze			
Sud 9 - nach HG	15,96		
Sud 9 - nach NG	11,19	7,57	
Sud 9 - nach Reifung	8,15	9,13	3,16

Ermittlung der Farbabstände von Sud 2 im Brauprozess

Tabelle 84: Ermittelte ΔE der einzelnen Paarungen bei Sud 2 während des Brauprozesses

Probe	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE	ΔE
Sud 2 - beim Einmischen					
Sud 2 - nach 1. Rast	3,39				
Sud 2 - nach 2. Rast	14,51	12,23			
Sud 2 - nach 3. Rast	17,12	14,19	4,96		
Sud 2 - nach Läutern	19,19	16,16	7,10	2,29	
Sud 2 - Würze	22,51	19,85	8,96	7,00	6,36

Penalty-Analyse der Beliebtheitsprüfung in Bezug auf die Produkteigenschaften

Tabelle 85: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Algengeschmack"

Produkteigenschaft: Algengeschmack									
Kategorien	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
"zu schwach" [%]	78,95	47,37	0,00	26,32	5,26	12,00	12,00	12,00	12,00
"genau richtig" [%]	21,05	31,58	10,53	47,37	57,89	68,00	60,00	28,00	52,00
"zu stark" [%]	0,00	21,05	89,47	26,32	36,84	20,00	28,00	60,00	36,00
Mittelwert Beliebtheit "zu schwach"	7,33	6,22	-	6,00	8,00	7,33	6,33	5,67	7,67
Mittelwert Beliebtheit "genau richtig"	7,75	6,50	8,50	6,56	7,00	7,65	7,53	6,57	6,38
Mittelwert Beliebtheit "zu stark"	-	4,75	3,65	5,40	4,14	5,20	5,00	3,80	4,67
Mean drops "zu schwach"	0,42	0,28	-	0,56	-1,00	0,31	1,20	0,91	-1,28
Mean drops "zu stark"	-	1,75	4,85	1,16	2,86	2,45	2,53	2,77	1,72
Einzelstrafe "zu schwach"	32,90	13,16	-	14,62	-5,26	3,76	14,40	10,86	-15,38
Einzelstrafe "zu stark"	-	36,84	434,19	30,41	105,26	48,94	70,93	166,26	61,85
Differenz "nicht genau richtig"	-	-26,32	89,47	0,00	31,58	8,00	16,00	48,00	24,00
Mittelwert Beliebtheit "nicht richtig"	-	5,77	-	5,70	4,63	6,00	5,40	4,11	5,42
Mean drop "nicht genau richtig"	-	0,73	-	0,86	2,38	1,65	2,13	2,46	0,97
Gesamtstrafe	-	-19,23	-	0,00	75,00	13,18	34,13	118,10	23,23

Tabelle 86: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Bitterkeit"

Produkteigenschaft: Bitterkeit									
Kategorien	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5	Sud 6	Sud 7	Sud 8	Sud 9
"zu schwach" [%]	15,79	31,58	42,11	21,05	21,05	16,00	12,00	8,00	12,00
"genau richtig" [%]	68,42	57,89	36,84	47,37	42,11	80,00	76,00	16,00	16,00
"zu stark" [%]	15,79	10,53	21,05	31,58	36,84	4,00	12,00	76,00	72,00
Mittelwert Beliebtheit "zu schwach"	6,00	6,50	3,75	6,00	7,00	7,50	6,00	6,00	7,00
Mittelwert Beliebtheit "genau richtig"	7,85	6,00	5,29	6,44	6,25	7,15	6,89	5,75	6,75
Mittelwert Beliebtheit "zu stark"	7,00	4,50	3,00	5,67	5,14	5,00	6,00	4,47	5,56
Mean drops "zu schwach"	1,85	-0,50	1,54	0,44	-0,75	-0,35	0,89	-0,25	-0,25
Mean drops "zu stark"	0,85	1,50	2,29	0,78	1,11	2,15	0,89	1,28	1,19
Einzelstrafe "zu schwach"	29,15	-15,79	64,67	9,36	-15,79	-5,60	10,74	-2,00	-3,00
Einzelstrafe "zu stark"	13,36	15,80	48,11	24,56	40,79	8,60	10,74	96,98	86,00
Differenz "nicht genau richtig"	0,00	-21,05	-21,06	10,53	15,79	-12,00	0,00	68,00	60,00
Mittelwert Beliebtheit "nicht richtig"	6,50	6,00	3,50	5,80	5,82	7,00	6,00	4,62	5,76
Mean drop "nicht genau richtig"	1,35	0,00	1,79	0,64	0,43	0,15	0,89	1,13	0,99
Gesamtstrafe	0,00	0,00	-37,61	6,79	6,82	-1,80	0,00	76,90	59,29

Tabelle 87: Berechnung der Penalty-Punkte für die Produkteigenschaft "Vollmundigkeit"

Produkteigenschaft: Vollmundigkeit					
Kategorien	Sud 1	Sud 2	Sud 3	Sud 4	Sud 5
"zu schwach" [%]	42,11	36,84	42,11	42,11	26,32
"genau richtig" [%]	57,89	52,63	15,79	42,11	57,89
"zu stark" [%]	0,00	10,53	42,11	15,79	15,79
Mittelwert Beliebtheit "zu schwach"	6,75	5,43	4,13	6,13	4,60
Mittelwert Beliebtheit "genau richtig"	7,91	6,60	4,33	6,25	7,00
Mittelwert Beliebtheit "zu stark"	-	5,00	4,13	5,67	4,67
Mean drops "zu schwach"	1,16	1,17	0,21	0,13	2,40
Mean drops "zu stark"	-	1,60	0,21	0,58	2,33
Einzelstrafe "zu schwach"	48,81	43,16	8,77	5,26	63,17
Einzelstrafe "zu stark"	-	16,85	8,77	9,21	36,84
Differenz "nicht genau richtig"	-	-26,31	0,00	-26,32	-10,53
Mittelwert Beliebtheit "nicht richtig"	-	5,33	4,13	6,00	4,63
Mean drop "nicht genau richtig"	-	1,27	0,21	0,25	2,38
Gesamtstrafe	-	-33,33	0,00	-6,58	-25,01

Anlage 5 - Analysezertifikate und Produktbeschreibungen der Rohmaterialien



Malzanalyse

Weyermann® Spezialmalze

Qualitätssicherung

Telefon: +49 951 93 22 0 - 0

eMail: QS@weyermann.de



Chargenanalyse

Seite 1 von 1

Batchcode:	U273-21110025-03	Probentyp:	F/F
Artikel:	Weyermann® Pilsner Malz Sack 25kg	Analysennummer:	104779/2.1
		Analysendatum:	30.09.2019
Artikelnummer:	21110025	Mitarbeiter (Kürzel):	malm
Datum Produktion:	30.09.2019	Produktionsort:	Bamberg
MHD:	30.03.2021		

Qualität		Einheit	Qualität		Einheit
Physikalisch			Friabilimeter mehlig	84,6	%
Würzefarbe	4,0	EBC	Friabilimeter ganzglasig	1,6	%
Würzefarbe in °L	2,0	°L	Chemisch		
Kochfarbe Komparator	5,4	EBC	Würze pH	5,86	.
Kochfarbe in Lovibond	2,5	°L	Verzuckerung	15	min.
Viskosität ber. 8.6°P	1,51	mPas	Hartong VZ 45°C	37,1	%
Viskosität ber. 12°P	1,80	mPas	Eiweißgehalt	10,7	%
Wassergehalt	4,4	%	Löslich-N mg/100g	709	mg/100g
Extrakt Feinschrot lfr.	78,2	%	Kolbachzahl	41,4	%
Extrakt Feinschrot TrS.	81,8	%			

Weyermann® Produkte entsprechen den derzeit gültigen Vorschriften für Lebensmittel.

In Weyermann® Produkten sind keine gentechnisch veränderten Organismen (GVO) enthalten, sie bestehen nicht aus GMO, sie werden nicht aus GMO hergestellt und sie enthalten keine Zutaten, die aus GMO hergestellt wurden.

Analysen gemäß EBC/IMEBAK.

Weyermann Specialty Malts -
 Brennerei: 17 - 19 - D - 96052 Bamberg - Tel.: +49 951 - 93220-0
 Plant Halbfurt, Am Hafen 1 - D - 97437 Halbfurt - Tel. +49 9521 - 95 35 40 - Fax +49 9521 - 9535 418
 Plant Clingen, Flattig 36 - D - 99718 Clingen - Tel. +49 3636 - 76170 - Fax +49 3636 761717
 e-Mail: info@weyermann.de - Internet: www.weyermann.de DE-001-Öko-Kontrollstelle

Abbildung 27: Analysezertifikat Pilsner Malz der Charge U273-21110025-03, verwendet bei den Suden 1 - 5



Malzanalyse

Weyermann® Spezialmalze

Qualitätssicherung

Telefon: +49 951 93 22 0 - 0

eMail: QS@weyermann.de



Chargenanalyse

Seite 1 von 1

Batchcode:	U320-21110025-02	Probentyp:	F/F
Artikel:	Weyermann® Pilsner Malz Sack 25kg	Analysennummer:	109879/4.1
		Analysendatum:	16.11.2019
Artikelnummer:	21110025	Mitarbeiter (Kürzel):	doemel
Datum Produktion:	16.11.2019	Produktionsort:	Bamberg
MHD:	16.05.2021		

Qualität		Einheit	Qualität		Einheit
Physikalisch			Friabilimeter mehlig	89,8	%
Würzefarbe	4,5	EBC	Friabilimeter ganzglasig	0,8	%
Würzefarbe in °L	2,1	°L	Chemisch		
Kochfarbe Komparator	5,5	EBC	Würze pH	5,86	.
Kochfarbe in Lovibond	2,5	°L	Verzuckerung	15	min.
Viskosität ber. 8.6°P	1,56	mPas	Hartong VZ 45°C	36,8	%
Viskosität ber. 12°P	1,88	mPas	Eiweißgehalt	10,4	%
Wassergehalt	4,5	%	Löslich-N mg/100g	691	mg/100g
Extrakt Feinschrot l/Tr.	78,4	%	Kolbachzahl	41,5	%
Extrakt Feinschrot TrS.	82,1	%			

Weyermann® Produkte entsprechen den derzeit gültigen Vorschriften für Lebensmittel.

In Weyermann® Produkten sind keine gentechnisch veränderten Organismen (GVO) enthalten, sie bestehen nicht aus GMO, sie werden nicht aus GMO hergestellt und sie enthalten keine Zutaten, die aus GMO hergestellt wurden.

Analysen gemäß EBC/MEBAK.

Weyermann Specialty Malts -
 Brennenstr. 17 - 19 - D - 96052 Bamberg - Tel: +49 951 - 93220 -0
 Plant Haßfurt, Am Hafen 1 - D - 97437 Haßfurt - Tel. +49 9521 - 95 35 40 - Fax + 49 9521 - 9535 418
 Plant Clingen, Flöttig 36 - D - 99718 Clingen - Tel. +49 3636 - 76170 - Fax +49 3636 761717
 e-Mail: info@weyermann.de - Internet: www.weyermann.de DE-001-Öko-Kontrollstelle

Abbildung 28: Analysenzertifikat Pilsner Malz der Charge U320-21110025-02, verwendet bei den Suden 6 - 9



Produktspezifikation		Version:	004
Art.-Nr.: 2315...	Reisflocken	Stand:	03.01.2018
Produktbeschreibung:	Der Reis wird mittels Dampf gekocht und gequetscht.		
Zutaten:	Reis		
Geruch / Geschmack:	arteigen, frisch		
Aussehen / Farbe:	weiß		
Chem. / phys. Daten:	Wassergehalt:	max.	13,5 g / 100 g
	Asche:	ca.	0,5 g / 100 g
Nährwerte:	Hauptbestandteile in 100 g Produkt (Durchschnittswerte):		
	Brennwert:		1.493 kJ / 352 kcal
	Eiweiß:		7,2 g
	Kohlenhydrate:		74,1 g
	-davon Zucker:		0,2 g
	Fett:		2,2 g
	-davon ges. Fettsäuren:		0,6 g
	Ballaststoffe:		2,0 g
	Salz:	<	0,1 g
Mikrobiologie:	aerobe Gesamtkeimzahl:	<	100.000 KbE/g
	Hefen:	<	1.000 KbE/g
	Schimmelpilze:	<	1.000 KbE/g
	Salmonellen / 25 g:		negativ

Abbildung 29: Auszug Produktspezifikation der Reisflocken (vorgekocht)

Origin: China | China | Chine | Cina | China

Typical Values per 100g Durchschnittliche Nährwerte pro 100 g Valeurs types pour 100 g Valori tipici per 100 g Valores Típicos por 100 g		%RI
Energy Energie Énergie Energia Energia	1594kJ / 378kcal	19%
Fat Fett Matières grasses Grassi Grasas -Saturates Gesättigte Fettsäuren Gras saturés Saturi Saturadas	8.2g 1.1g	12% 6%
Carbohydrate Kohlenhydrate Glucides Carboidrati Carbohidratos -Sugars Zucker Sucres Zuccheri Azúcares	9.1g 3g	4% 3%
Fibre Ballaststoffe Fibre Fibre Fibra	7g	28%
Protein Eiweiß Protéines Proteine Proteína	64g	127%
Salt Salz Sel Sale Sal	1.1mg	18%
Vitamin D Vitamin D Vitamine D Vitamina D Vitamina D	6µg	120%
Vitamin E Vitamin E Vitamine E Vitamina E Vitamina E	31.7mg	264%
Thiamin Thiamin Thiamine Tiamina Tiamina	0.53mg	48%
Riboflavin Riboflavin Riboflavine Riboflavina Riboflavina	0.73mg	72%
Potassium Kalium Potassium Potassio Potasio	1328mg	66%
Calcium Calcium Calcium Calcio Calcio	453mg	67%
Phosphorus Phosphor Phospore Fosforo Fósforo	950mg	136%
Magnesium Magnesium Magnésium Magnesio Magnesio	305mg	81%
Iron Eisen Fer Ferro Hierro	123mg	879%
Zinc Zink Zinc Zinco Zinc	3.6mg	36%
Manganese Mangan Manganèse Manganese Manganese	5.2mg	260%
Iodine Jod Iode Iodio Yodo	168µg	112%

• Reference Intake of an Average Adult (8 400 kJ/2 000 kcal) | Referenzmenge für einen durchschnittlichen Erwachsenen (8 400 kJ/2 000 kcal) | Apport de référence chez l'adulte (8 400 kJ/2 000 kcal) | Assunzione di riferimento di un adulto medio (8 400 kJ/2 000 kcal) | Ingesta de referencia de un adulto medio (8 400 kJ/2 000 kcal)

• This Product Should Be Taken as Part of a Healthy Lifestyle and Balanced Diet | Dieses Produkt sollte im Rahmen eines gesunden Lebensstils und einer ausgewogenen Ernährung eingenommen werden | Ces produits ne doivent être utilisés qu'en complément d'une alimentation équilibrée et d'une bonne hygiène de vie | Il prodotto deve essere consumato nel quadro di uno stile di vita sano e di una dieta equilibrata | Este producto debe tomarse como parte de un estilo de vida saludable y una dieta balanceada

• Contains Naturally Occurring Sulphites | Enthält natürlich vorkommende Sulfite | Contient des sulfites d'origine naturelle | Contiene naturalmente solfiti

Abbildung 30: Nährwerttabelle des *Spirulina* - Pulvers (Fa. MySuperfoods)



GLUCOAMYLASE [®]

DESCRIPTION

Glucoamylase is an enzyme preparation which decomposes starch into glucose by tearing-off glucose units from the non-reduced end of the polysaccharide chain.

It is derived by submerged fermentation of a specially selected producer strain of *Asp. niger*.

UNITS OF ACTIVITY

Enzyme activity is expressed in glucoamylase units, representing the amount of enzyme which catalyses liberates 1 μ mol of glucose from 1% of starch solution in 1 min, at pH - 4.7, and at T - 30°C.

STANDARDS

1 000 / 4 000 U/g

PHYSICAL PROPERTIES

External appearance - powder and liquid

Colour - brown

Dry substance - over 35%

Solubility - water-soluble enzyme component

APPLICATION

For saccharification of liquid starch in the preparation of amylaceous hydrolysates and of crystal glucose, in the brewing of beer with low dextrin content, in the production of bread and juices.

STORAGE

Liquid preparation - in dry and well ventilated facilities in maximum temperature 10°C

Powder or granules - in the original container, well-closed, in dry and well-ventilated facilities, protected from direct sunlight.

SHELF LIFE

To maintain optimum enzyme activity, this product should be stored in a cool, dry place in a tightly sealed container. When properly stored, this product can be expected to lose less than 10% of its activity in twelve months for powdered form and six months for liquid preparation.

PACKING

Liquid preparation - Plastic drums of 20, 40, 60 or 120 litres.

Powder or granules - Polyethylene bags of 10, 15 and 20 kg.

Biovet's enzymes are [®] KOSHER certified products. They are produced by non-GM micro organisms.

ENZYME PROPERTIES

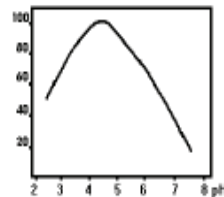
Optimum of pH of action - 4.5

Optimum temperature of action - 55-60°C

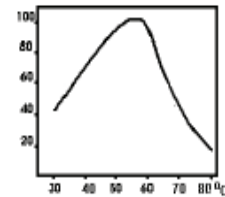
pH stability - 100% of the activity is preserved at pH between 3.5 and 5.5, at temperature of 30°C, during 30 and 60 minutes

Temperature stability - more than 100% of activity is preserved at temperature of 50°C during 60 minutes

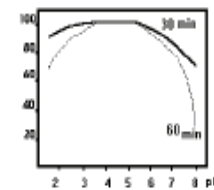
ACTIVITY%



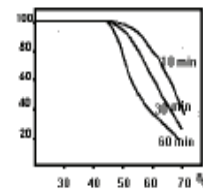
ACTIVITY%



RESIDUAL ACTIVITY%



RESIDUAL ACTIVITY%



Biovet JSC, 39 Petar Rakov, 4550 Peshtera, Bulgaria

Tel.: + 359 350 5619, 5873, Fax: + 359 350 5636, 5607, e-mail: biovet@biovet.com, www.biovet.com

Abbildung 31: Produktbeschreibung des Enzyms Glucoamylase (Fa. MoonshinersChoice)

saFale US-05

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

FERMENTIS

Obergärer Ale-Hefestamm aus Amerika, welcher sich durch ein gutes Schwereverhalten während der Gärung auszeichnet. Dieser Hefestamm eignet sich zur Herstellung von ausgewogenen Bieren mit niedrigen Diacetylwerten und einem sauberen, trockenen frischen Nachtrunk.

<p>ESTER</p> <p>40</p> <p>ppm bei 1BP bei 20°C</p>	<p>HÖHERE ALCOHOLE</p> <p>269</p> <p>ppm bei 1BP bei 20°C</p>	<p>RESTEXTRAKT</p> <p>11 g/l*</p> <p>*Entspricht einem sichtbaren Vergärungsgrad von 81%</p>	<p>SEDIMENTATION</p> <p>mittel</p>
--	---	--	------------------------------------

EMPFOHLENE ANSTELLTEMPERATUR: 12-25°C (53,6-77°F) idealerweise 15-22°C (59-71,6°F)

DOSEIERUNG: 50 - 80 g/hl

ANWENDUNG:
Vor dem Anstellen die Hefe erst in sterilem Wasser oder steriler Würze bei 27°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 einrühren, bis die Mischung cremig wird. Danach den Hefebrei weitere 30 Minuten ruhen lassen. Dann ist die Hefe zum Anstellen im Gärbehälter bereit.

<p>TYPISCHE ANALYSE:</p> <p>Trockengewicht: 94,0 - 96,5 % mas</p> <p>Lebensfähige Zellen zur Zeit der Verpackung: > 6 x 10⁹ /g</p> <p>Bakterien (gesamt)*: < 5 / ml</p> <p>Essigsäurebakterien*: < 1 / ml</p> <p>Laktobacillen*: < 1 / ml</p> <p>Rediokokken*: < 1 / ml</p> <p>Wilde Hefen (Nicht-Saccharomyces)*: < 1 / ml</p> <p>Pathogene Keime: entspricht allen Gesetzen und Verordnungen</p> <p>* bei Hefezugabe von 100g/hl, dh. bei 6 x 10⁹ lebende Zellen pro ml</p>	<p>TRANSPORT</p> <p>Fermentis® Hefen können bei Raumtemperatur 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.</p> <p>HALTBARKEIT</p> <p>Bitte das auf dem Beutel vermerkte Haltbarkeitsdatum beachten. Unter optimalen Lagerbedingungen bis zu 24 Monate ab Herstellungsdatum haltbar. Geöffnete Beutel wieder verschließen, bei 4°C aufbewahren und innerhalb von 7 Tagen aufbrauchen. Weiche bzw. beschädigte Beutel nicht verwenden.</p>
---	--

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

Fermentis Division of Silescoffre
BP 3029 - 137 Rue Gabriel Peri
59003 Marquain Basque Cedex France
Tel. +3303 2038 62 75
© Fermentislesaffre

A LESAFFRE DIVISION

Abbildung 32: Produktbeschreibung der obergärigen Hefe Safale US-05 (Fa. Fermentis)

Tabelle 88: Auszug der aktuellen Wasserqualität in Neubrandenburg (neu-sw, 2018)

Calcium		95,1	mg/l	-
Calcitlösekapazität		-11	mg/l	5
Cadmium	<	0,0003	mg/l	0,003
Chlorid		22	mg/l	250
Cyanid, gesamt	<	0,005	mg/l	0,05
Coliforme Bakterien		0	in 100 ml	0
Chrom, gesamt	<	0,0005	mg/l	0,05
Kupfer, gesamt		0,0047	mg/l	2
gelöster organisch gebundener Kohlenstoff		1,8	mg/l	-
Escherichia coli		0	in 100 ml	0
intestinale Enterokokken		0	KBE/100 ml	0
Fluorid		0,28	mg/l	1,5
Färbung, qualitativ		farblos		-
Eisen, gesamt		0,0014	mg/l	0,2
Gesamthärte		17,1	°dH	-
Hydrogencarbonat		356	mg/l	-
Quecksilber	<	0,0001	mg/l	0,001
Trichlorethen	<	0,0001	mg/l	-
Tetrachlorethen	<	0,0001	mg/l	-
1,2-Dichlorethan	<	0,0001	mg/l	0,003
Kalium		3,5	mg/l	-
Basekapazität bis pH 8,2		0,88	mmol/l	-
Karbonathärte		16,4	°dH	-
Säurekapazität bis pH 4,3		5,84	mmol/l	-
Koloniezahl, 36°C (TrinkwV 2001, Anlage 5.1,d,bb/TrinkwV 90)		0	KBE/ml	100

Anlage 6 - Rezepturen der Brut IPAs von Beisler (2019)

Tabelle 89: Rezepturen der Brut IPAs aus der Arbeit von Beisler (2019)

Raw material	Weight/20 L water (ratio)	Raw material	Weight/20 L water (ratio)	Raw material	Weight/20 L water (ratio)
1st recipe – vineous		2nd recipe – tropical		3rd recipe – wheat	
Malt composition					
Pilsner malt	5.04 kg (100.0 %)	Pilsner malt	4.36 kg (85.0 %)	Pilsner malt	2.20 kg (42.5 %)
Wheat flour	-	Wheat flour	-	Wheat flour	2.20 kg (42.5 %)
Rice flakes	0.89 kg (15.0 %)	Rice flakes	0.77 kg (15.0 %)	Rice flakes	0.78 kg (15.0 %)
Total amount	5.93 kg (115.0 %)	Total amount	5.13 kg (100.0 %)	Total amount	5.18 kg (100.0 %)
Hop composition					
Nelson Sauvín First wort	18.0 g	Chinook – 15 min before ending	16.0 g	Hallertau Blanc -15 min before ending	18.0 g
Nelson Sauvín Whirlpool	50.0 g	Citra Whirlpool	60.0 g	Relax Whirlpool	35.0 g
Vic Secret - Whirlpool	25.0 g	Chinook Whirlpool	45.0 g	Comet Main ferm.	60.0 g
Nelson Sauvín Main ferm.	50.0 g	Mosaic Main ferm.	60.0 g	M. Bavaria Main ferm.	30.0 g
Vic Secret Main ferm.	25.0 g	Amarillo Main ferm.	60.0 g	Comet Post ferm.	30.0 g
		Chinook Post ferm.	30.0 g	Mistral Post ferm.	60.0 g
		Citra Post ferm.	30.0 g		
Total amount	168.0 g	Total amount	301.0 g	Total amount	233.0 g
9 mL amyloglucosidase (during mashing)					
Yeast US-05					

Anlage 7 - Ausgewählte Bilder zum Brauprozess

Abbildung 33: Überlaufender Hefeschaum der Sude 1 - 5 (eigene Abbildung, 2020)



Abbildung 34: Während der Hauptgärung für die tägliche Probenahme bereitgestellte Proben; Sud 1 (links) - 5 (rechts) (eigene Abbildung, 2019)

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

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

Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebene elektronische Fassung mit der eingereichten Arbeit identisch ist.

Neubrandenburg, den 07.06.2020