

Universität Kassel

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Studiengang Ökologische Landwirtschaft

Bachelorarbeit

Zum Thema:

Einfluss der Lagerdauer vor der Trocknung auf die Qualität von
Flavour-Hopfen

1. Prüferin: Dr. habil. Barbara Sturm
2. Prüferin: Annika Bolten

Sarah Wittkamp (geb. 17.08.1988, Hannover)
Matrikelnummer: 33264774

Witzenhausen, 15.10.2018

Inhaltsverzeichnis

I Abkürzungsverzeichnis	I
II Abbildungsverzeichnis	I
III Tabellenverzeichnis	II
IV Formelverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Craft-Bier Revolution	2
2.1 <i>Entwicklung</i>	2
2.1.1 <i>Vermarktung von Craft-Bier</i>	4
2.2 <i>Craft Beer in den USA</i>	5
2.3 <i>Kreativbier in Deutschland</i>	6
3 Hopfen	10
3.1 <i>Hopfenprodukte</i>	12
3.2 <i>Die Bedeutung des Hopfens für Craft-Bier Brauereien</i>	12
3.3 <i>Flavour-Hopfen</i>	13
4 Hopfentrocknung	16
4.1 <i>Trocknungsprozess</i>	17
4.3 <i>Konditionierung</i>	20
4.4 <i>Farbveränderungen während der Trocknung</i>	21
5 Versuch	22
5.1 <i>Literaturübersicht</i>	22
5.2 <i>Material und Methoden</i>	24
5.3 <i>Versuchsergebnisse</i>	30
5.3.1 <i>Trocknungsverlauf</i>	30
5.3.2 <i>Ölmenge</i>	32
5.3.3 <i>Ölkomponenten</i>	33
5.3.4 <i>Farbveränderungen</i>	37
6 Diskussion	38
6.1 <i>Ölgehalt</i>	38
6.2 <i>Ölkomponenten</i>	40
6.3 <i>Trocknungsverlauf</i>	44

6.4 Farbveränderungen	44
7 Fazit	45
8 Zusammenfassung	46
9 Literaturverzeichnis	47
9.1 Quellen der Abbildungen	50
9.2 Quellen der Tabellen	52
10 Anhang	53
11 Eidesstattliche Erklärung	54

I Abkürzungsverzeichnis

BA:	Brewers Association
CIE:	Commission on Illumination
EBC:	European Brewery Convention
s:	Standardabweichung
s ² :	Varianz
TCD:	Total colour difference
aTS:	Angepasste Trockensubstanz
TS:	Trockensubstanz
vgl:	Vergleich
Vk:	Variationskoeffizient

II Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Logo für Craft Beer der Brewers Association (S.6)
Abb. 2:	Logo der Deutschen Kreativbrauer e.V. (S.9)
Abb. 3:	Hopfendolde (S.11)
Abb. 4:	Verteilung der Hopfensorten in den USA 2010, 2015 (S.14)
Abb. 5:	Verteilung der Hopfensorten 2015, Hallertau und USA im Vergleich (S.14)
Abb. 6:	Hordentrockner (S.16)
Abb. 7:	Wassergehaltsentwicklung im Trocknungsprozess von Doldenblätter, Dolde und Spindel (S.18)
Abb. 8:	Veränderung des Luftwiderstands vom Befüllen bis zum Kippen, Schütthöhe: 40cm, Luftgeschwindigkeit: 0,4m/s (S.19)
Abb. 9:	Entwicklung der Temperatur und relativen Feuchte während der Homogenisierung der Hopfendolde (S.21)
Abb. 10:	Destillationsapparatur für ätherisches Öl (S.28)
Abb. 11:	Versuchsapparatur (S.28)
Abb. 12:	Kalibrierkurve Tridecan (S.29)
Abb. 13:	Logger 3 oben (S.31)
Abb. 14:	Logger 6 unten (S.31)
Abb. 15:	Durchschnittlicher Trocknungsverlauf bei der Ofentrocknung (S.32)
Abb. 16:	Myrcen (S.40)
Abb. 17:	R-Linalool (S.41)
Abb. 18:	Geraniol (S.42)
Abb. 19:	β-Caryophyllen (S.43)
Abb. 20:	Humulen (S.44)

III Tabellenverzeichnis

Tab 1:	Anzahl an Brauereien, 1950-2015 (S.3)
Tab 2:	Anzahl an Kleinbrauereien 1985-2015 (S.3)
Tab 3:	Sortenbeschreibung Hüller Flavour-Sorten (S.15)
Tab. 4:	Aufteilung der Datenlogger (S.25)
Tab. 5:	Wassergehalte [%] im Trocknungsverlauf (S.32)
Tab. 6:	Durchschnittliche Ölmenge [ml/100g Hopfen] (S.33)
Tab. 7:	Durchschnittlicher Gehalt der Ölkomponenten zu Beginn der Trocknung (S.33)
Tab. 8:	Menge der einzelnen Ölkomponenten [mg/100g Hopfen] (S.34)
Tab. 9:	Ergebnisse Helligkeit (L*) (S.37)
Tab. 10:	Ergebnisse a* Wert (S.37)
Tab. 11:	Ergebnisse b* Wert (S.37)
Tab. 12:	Ergebnisse Total Colour Difference (ΔE) (S.38)

IV Formelverzeichnis

Formel 1:	$TCD = \Delta E_{Lab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]$ (S.27)
Formel 2:	Feuchtegehalt (F) [%] = $((m[g] - TS_{Einwaage}[g]) / m[g]) * 100$ (S.28)
Formel 3:	$TS_{Probe}[g] = 100 - F[\%]$ (S.28)
Formel 4:	Masse Einwaage [g] = $(\frac{18g}{TS \text{ der Probe [g]}}) * 100$ (S.28)
Formel 5:	Angepasste Trockensubstanz (aTS)[g] = $(Einwaage[g] * (100 - Anfangsfeuchte[\%])) / 100$ (S.30)
Formel 6:	Ölgehalt [ml/100g Hopfen] = $(100 * \text{Ölgehalt}[ml]) / aTS[g]$ (S.30)
Formel 7:	$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ (S.30)
Formel 8:	$s = \sqrt{s^2}$ (S.30)
Formel 9:	$Vk [\%] = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100, \bar{x} > 0$ (S.30)

1 Einleitung

In den letzten Jahren kam es zu großen Veränderungen des Hopfenmarktes durch die wachsende Bedeutung des Craft-Bier Sektors (Barth-Hass Group 2017:7). Viele Craft-Biere werden mit einer deutlich höheren Hopfenmenge gebraut, um besonders hopfenbetonte Aromen herauszuarbeiten (Wesseloh & Wesseloh 2015:127). Aus diesem Grund stieg der Bedarf an Hopfen in der Brauwirtschaft, während die Bierproduktionsmenge weltweit sank (Barth-Hass Group 2017:11). Viele Hopfenbauer*innen stellten ihre Hopfensorten von Bitter- auf Aromasorten um. Im Jahre 2015 wurde bereits auf 69,4% der US-Hopfenflächen Aromahopfen angebaut (Lutz et al. 2016:4,5). Auch in Deutschland sind diese Einflüsse im Hopfenbau und in der Brauereilandschaft zu erkennen. Eine innovative, kreative Brauer*innen Szene ist entstanden, die sich teilweise von der traditionellen Brauwirtschaft abgrenzt und neue Biere braut (Wesseloh & Wesseloh 2015:51).

Craft-Bier Brauer*innen haben andere Qualitätsanforderungen an Hopfen als Großbrauereien. Traditionell werden vor allem die Alpha-Säuren als wertgebende Inhaltsstoffe angesehen. Nun rücken die ätherischen Öle des Hopfens in den Kern des Interesses. Die Qualität dieser Inhaltsstoffe wird durch den Trocknungsprozess stark beeinflusst (Kammhuber 2018).

Im Hopfenforschungszentrum Hüll in der Hallertau, dem weltweit größten Hopfenanbaugebiet, wurden in den letzten Jahren neue Sorten für den Craft-Bier Markt gezüchtet. Diese sogenannten Flavour-Sorten bringen über den hohen Anteil an Hopfenölen fruchtige Aromen ins Bier (Lutz et al. 2013:15).

Vor der Trocknung wird Hopfen in einem Silo gesammelt, bis die Trocknung befüllt wird. Es gibt wenig Kenntnisse darüber, ob sich die Hopfenöle während dieser Lagerung verändern. Aus diesem Grund wurde zur Hopfenernte 2017 von der Universität Kassel und dem Hopfenforschungszentrum Hüll ein Trocknungsversuch mit der Aromasorte Mandarina Bavaria durchgeführt. Es wurde untersucht, ob sich die ätherischen Hopfenöle durch eine Lagerung vor der Trocknung verändern. Die ätherischen Öle der Proben wurden destilliert und im Gaschromatograph ausgewertet. Mit Hilfe von Fotos konnten die Farbveränderungen des Hopfens durch die Trocknung untersucht werden.

Dieser Versuch mit dem Titel „Einfluss der Lagerdauer vor der Trocknung auf die Qualität von Flavour-Hopfen“ ist die Grundlage dieser Arbeit.

Zunächst wird die Entwicklung des Craft-Bier Marktes dargestellt und die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten von Deutschland und den USA herausgearbeitet. Es folgt ein Überblick über die Züchtungsentwicklung von Flavour-Hopfen und eine Einführung in die Hopfentrocknung. Anschließend wird der Versuch dargestellt, ausgewertet und in den Zusammenhang eingeordnet.

2 Craft-Bier Revolution

Die in diesem Teil verwendeten Hauptquellen sind die Bücher „Bier leben“ (2015) von Julia und Oliver Wesseloh und „Economic perspectives on craft beer“ (2017) von Christian Garavaglia und Johan Swinnen.

Oliver Wesseloh gehört zu den führenden Köpfen der deutschen Craft-Bier Szene und ist Gründungsmitglied der „Deutschen Kreativbrauer e.V.“. Er ist Brauer mit eigener Kreativbrauerei in Hamburg. Das Buch entspricht keiner wissenschaftlichen Literatur, ermöglicht jedoch einen aktuellen und umfassenden Überblick in das Thema Craft-Bier.

Das Buch von Garavaglia und Swinnen beinhaltet aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über die Entwicklungen des Craft-Bier Marktes. Neben einer globalen Marktbeschreibung stellen verschiedene Autoren die Entwicklung von Craft-Bier in einzelnen Ländern dar.

Es gibt noch keine internationale einheitliche Bezeichnung bzw. Zertifizierung für Craft-Bier. In den USA wird mehrheitlich der Begriff Craft Beer verwendet, der dort klar definiert ist. In Deutschland gibt es noch sehr viele verschiedene Bezeichnungen und Schreibweisen, hinter denen keine klare Definition oder Zertifizierung steht. In dieser Arbeit, wird für die Beschreibung des deutschen Biermarktes der Begriff „Kreativbier“ bzw. „Kreativbrauerei“ verwendet, der von dem Verein „Deutsche Kreativbrauer e.V.“ in Deutschland etabliert wurde (Deutsche Kreativbrauer e.V. 2018).

2.1 Entwicklung

Das Getränk Bier begleitet die Menschen schon seit dem 4. Jahrtausend v. Chr. Die ältesten Nachweise stammen aus Mesopotamien, wo Brot in Wasser eingeweicht wurde und es zu einer spontanen Gärung kam. Das Getränk war so beliebt, dass damals die Hälfte der Getreideproduktion für die Herstellung von Bier verwendet wurde (Wesseloh & Wesseloh 2015:21).

Die Weiterentwicklung des Brauens fand in Mitteleuropa in den Klöstern statt. Zunächst wurde dort ausschließlich für den internen Verbrauch gebraut. Vor allem in der Fastenzeit ersetzte es die verbotene feste Nahrung. Der Brauprozess wurde von den Mönchen intensiv studiert und wichtige technologische Neuerungen, wie die des Kühlschiffs und des Braukessels, entwickelt. Außerdem kam es in den Klöstern zu den ersten Brauversuchen mit Hopfen, der die Haltbarkeit der Biere verlängerte (ebd:23). Immer mehr Brauereien in Deutschland entstanden, gipfelnd im 19. Jhd in die größte Blütezeit der deutschen Brauindustrie. Viele neue Biersorten, wie Altbier, Eisbock und Dortmunder Export wurden entwickelt (ebd:25). Während des 1. und 2. Weltkrieg wurden Brauanlagen konfisziert und das Kapital der kleinen Brauereien knapp, sodass viele Brauereien aufgelöst wurden (Garavaglia & Swinnen 2017:11). Nach dem zweiten Weltkrieg und zur Zeit des deutschen Wirtschaftswunders investierten

Großbrauereien in Werbung und Marketing und wollten Biere verkaufen, die möglichst der breiten Masse schmeckten. Die Zeit der Einheitsbiere wurde eingeläutet (Wesseloh & Wesseloh 2015:25). Dies geschah nicht nur in Deutschland, sondern auch in vielen anderen Ländern, wie den USA, Italien, Australien, England, Belgien und den Niederlanden (Garavaglia & Swinnen 2017:10). Möglich gemacht wurde diese globale Konsolidierung u.a. durch Optimierung des technologischen Prozesses. Dazu gehörte die Automatisierung des Prozesses, schnelles Abpacken und die einfachere Verteilung über ausgebaute Straßennetze. All dies führte zu Massenproduktionsvorteilen („Economies of Scales“) für die Großbrauereien (ebd:11). Besonders gravierend war diese Entwicklung in den USA. Dort verschwand vom Ende des 20. Jhd. ein Großteil der Kleinbrauereien (vgl. Tabelle 1) (ebd:10). Die zu diesem Wendezeitpunkt weltweit meistverkaufte Biere waren milde Lager Biere mit einheitlichen Geschmacksprofilen (ebd:19). Aus dieser mangelnden Geschmacksvielfalt und Homogenisierung des Biermarktes fingten Pionier*innen in den USA Mitte der 1960'er Jahre an, handwerkliches Bier, sogenanntes „Craft Beer“, zu brauen (Hindy 2014:9).

Tabelle 1: Anzahl an Brauereien, 1950-2015

Land	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015
USA	358	173	65	43	270	1491	1601	1766	3500
Deutschland		2216	1778	1366	1232	1289	1276	1342	1388
Belgien	663	414	232	143	126	113	115	123	199
Italien	31	29	37	31	22	77	148	325	684

(Garavaglia & Swinnen 2017:10)

Den Startzeitpunkt für eine globale Bierrevolution festzulegen ist schwierig, da die Entwicklungen der regionalen Biermärkte unterschiedlich waren. Mitte der 1980-er Jahre war der Craft-Bier Trend aus den USA bereits in vielen Ländern sichtbar, da dort ab diesem Zeitpunkt die Zahl der (Klein-)Brauereien (vgl. Tabelle 2) wieder anstieg.

Tabelle 2: Anzahl an Kleinbrauereien, 1985-2015

Land	1985	1990	1995	2000	2005	210	2015
USA	37	249	998	1469	1591	1756	3490
Deutschland ^a	894	867	1005	1024	1062	1112	1148
Deutschland ^b	632	639	759	844	894	987	1058
Italien		1	7	60	132	311	670

Deutschland^a: Brauereien, die weniger als die Hälfte der Durchschnittsproduktion produzieren.

Deutschland^b: Brauereien mit einer Jahresproduktion <10.000hl

(Garavaglia & Swinnen 2017:14)

Es kam zu einer starken Veränderung der Nachfrage auf den Biermärkten. Die Bierkonsument*innen wünschten sich eine größere geschmackliche Vielfalt. Dies war die Reaktion auf die starke Konzentration der Biermärkte in den Jahrzehnten zuvor (Garavaglia & Swinnen 2017:18).

Wichtig für das Wachstum der Branche war die Verfügbarkeit von Brauausrüstung zum Brauen kleiner Chargen. In den Anfängen wurden häufig Anlagen aus anderen Bereichen (z.B.: Molkereien) umgebaut (ebd:30).

Heute nutzen Brauer*innen, die nicht die Möglichkeit haben, direkt mit einer eigenen Brauerei zu starten, häufig die Möglichkeit sich als sogenannte Vertragsbrauer*innen in Brauereien einzumieten. In den USA werden diese Brauer*innen Gypsy-Brewer genannt (ebd:7).

Lange Zeit haben die internationalen Großbrauereien nicht auf die Entwicklung von Craft-Bier Brauereien geachtet. Inzwischen ist jedoch eine Veränderung des internationalen Biermarktes klar sichtbar, von der nun auch die Großbrauereien profitieren möchten. Großbrauereien beginnen, selbst Biere zu brauen, die als handwerklich und individuell hergestellt wahrgenommen werden (ebd:37). Eine Differenzierung der Kleinbrauereien gegenüber den Großbrauereien wird von Kreativbrauer*innen als wichtig empfunden, da nur so die hohen Preise und ihre Authentizität erhalten werden können (Hindy 2014:228).

2.1.1 Vermarktung von Craft-Bier

Neben Brauereistrukturen haben sich auch Verbraucher*innenstrukturen verändert. Die Personen, die Craft-Bier konsumieren, gehören häufig zur einkommensstarken Bevölkerungsschicht (Garavaglia & Swinnen 2017:18). Craft-Bier wird zu einem weit höheren Preis als normales Bier verkauft.

Zur Verbreitung der neuen Biere kam es auch durch Zusammenschlüsse von Konsument*innen in Assoziationen, die sich dem „Erlebnis Bier“ widmen und Informationen über unterschiedliche Biere verbreiten (z.B.: CAMRA: Campaign for Real Ale in Großbritannien) (ebd:13).

Kleinbrauereien legen häufig Wert auf regionale Vermarktung und entsprechen damit dem Zeitgeist vieler Konsument*innen, die vermehrt Wert auf lokale Produkte und umweltgerechte Produktion legen (ebd:19). Hinzu kommt, dass neue Marketingstrategien genutzt werden. Die Präsentation der Brauereien im Internet bzw. auf Social Media Plattformen spielt eine Schlüsselrolle in der erfolgreichen Verbreitung der neuen Biere. Es werden Events organisiert, in denen das lokale Bier probiert und zelebriert wird. Die Finanzierung der neuen Brauereien wird häufig über Crowdfunding realisiert (ebd:43). Eine Bierkultur mit dem zugehörigen Unterstützer*innenkreis entsteht (wieder), die der Weinkultur sehr ähnlich ist (ebd:19).

Der Glashersteller Rastal hat ein Verkostungsglas für den Craft-Bier Bereich entwickelt: der sogenannte Teku-Pokal. Nach italienischem Design entworfen, hat es einen langen Stiel und

erinnert an ein Rotweinglas. (Rastal 2018). Durch diese Art von Verkostung grenzen sich die Craft-Bier Brauereien von dem/der klassischen Bierkonsument*in ab und richten sich an eine wohlhabende Gesellschaftsschicht, die bereit ist, die höheren Preise zu zahlen und die Teil des neuen individuellen Biertrends sein möchte (Garavaglia & Swinnen 2017:21f).

Ein wichtiger Faktor, um das Interesse der Kund*innen zu wecken, ist das Design der Flasche bzw. des Etiketts. Neueinsteiger*innen in die Craft-Bier Branche wird empfohlen, sich ausreichend Zeit für die Produktentwicklung und Produktdesign zu nehmen, um die Zielgruppe und deren Bedürfnisse klar zu definieren. Je größer der Grad der Abgrenzung von anderen Brauereien ist, desto freier sind die Brauereien bei der Preisgestaltung (Rapp & Artmann 2018:779).

Die Etiketten von Kreativbieren unterscheiden sich von traditionellen Brauereien dadurch, dass diese häufig auch Informationen zu Bittereinheiten, Stammwürze und Alkoholgehalt enthalten. Die Bittereinheiten werden meist als IBU (International Bitter Unit) angegeben (Wesseloh & Wesseloh 2015:202). Die Stammwürze beschreibt den Nährstoffgehalt des Bieres. Angegeben wird die Stammwürze meist in °P (Grad Plato). 1°P bedeutet, dass in 100g Stammwürze 1g Extrakt enthalten sind. Je höher die Stammwürze, desto höher ist auch der Alkoholgehalt. Die Stammwürze eines Bieres wird in Deutschland als Grundlage für die Besteuerung genutzt (Craftbeer Revolution 2018).

In den folgenden Kapiteln wird exemplarisch auf die speziellen Entwicklungen des Craft-Bier Marktes in den USA und in Deutschland eingegangen und deren Unterschiede erläutert.

2.2 Craft Beer in den USA

Die USA wird als die Wiege des Craft-Biers bezeichnet. Der Startpunkt dieser „Craft Beer Revolution“ wird auf das Jahr 1965 verortet, als Fritz Maytag die „Anchor Brewing Company of San Francisco“ kaufte (Garavaglia & Swinnen 2017:12).

In nur wenigen Jahrzehnten wuchs die Anzahl der Kleinbrauereien von 37 im Jahr 1985, auf 3490 im Jahr 2015 (ebd:14).

Die Craft Beer Szene in den USA beschreibt sich als enge Gemeinschaft, die viel Wert auf Austausch und gegenseitige Unterstützung legt (Hindy 2014:209).

Die Einflussnahme der Großbrauereien auf die Craft Beer Szene durch Kauf von Brauereien und die Gründung eigener craft-style Biere wurde von vielen Craft Beer Brauer*innen und Konsument*innen sehr kritisch gesehen (Garavaglia & Swinnen 2017:37f.). Der Wunsch nach einheitlichen Regeln und einer Zertifizierung wurde größer. Am 27.6.2017 brachte die Brewers Association (BA) ein Logo auf den Markt, das an folgende Bestimmungen geknüpft ist.

Die BA definiert Craft Beer wie folgt:

- Klein: Eine maximale Jahresproduktion von 7,2 Millionen Hektolitern(hl).
- Unabhängig: Maximal 25% des Unternehmens dürfen von einem Mitglied der Alkoholindustrie, der kein Craft Beer Brauer ist, kontrolliert werden.
- Traditionell: Der Großteil der produzierten Biere müssen ihren Geschmack durch traditionelle oder innovative Inhaltsstoffe und Gärung erhalten.

(Brewers Association 2018)

Das Logo zeigt eine auf den Kopf gestellte Bierflasche und soll symbolisch für die Veränderungen des Biermarktes durch die Craft Beer Szene in den USA stehen (vgl. Abbildung 1). Das Logo kann frei von Brauereien genutzt werden, die ein gültiges „TTB Brewer’s Notice“ (Brauqualifikation) der TTB (Alcohol and Tobacco Tax and Trade Bureau) haben, den oben dargestellten Craft Beer Definitionen der BA gerecht werden und einen Lizenzvertrag unterzeichnen (Brewers Association 2017).



Abbildung 1: Logo für Craft Beer der Brewers Association

(Brewers Association 2018)

2.3 Kreativbier in Deutschland

Der Kreativbiermarkt in Deutschland unterscheidet sich in einigen Aspekten stark von dem der USA. Dies hat vor allem historische und gesellschaftliche Gründe.

Das weltweit bekannteste Charakteristikum des deutschen Biermarktes ist wohl das Deutsche Reinheitsgebot von 1516. Es erlaubt ausschließlich Biere, die aus Wasser, Hopfen und Gerstenmalz gebraut werden. Ursprünglich war es ein herzoglicher Erlass, dessen Titel *Deutsches Reinheitsgebot* erst später hinzugefügt wurde. Der Begriff *Deutsches Reinheitsgebot* wurde Anfang des 19. Jhd zum ersten Mal benutzt, um die deutschen Brauereien vor dem Import englischer Biere zu schützen.

In Deutschland gilt offiziell das vorläufige Biergesetz von 1993, in dem die Rohstoffe zur Bierherstellung geregelt sind (Wesseloh & Wesseloh 2015:107).

Für untergärige Biere sind Gerstenmalz, Hopfen, Hefe und Wasser zugelassen. In obergärigen Bieren darf auch Malz aus anderen Getreidesorten und Zucker enthalten sein. Auf Antrag kann vom Gesetz abgewichen werden, wenn es sich um die Herstellung sogenannter besonderer Biere handelt. Der Umgang mit diesen besonderen Bieren ist in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich. In Bayern und Baden-Württemberg gilt für die Bierherstellung das strengere Reichsgesetzblatt von 1919. Dies erlaubt keine Abweichung vom Reinheitsgebot (ebd:108).

Zu beachten ist jedoch, dass es viele nicht deklarierungspflichtige Inhaltsstoffe gibt, die durch das Reinheitsgebot nicht eingeschränkt werden. Dazu gehört zum Beispiel die Umfärbung des

Bieres mit Hilfe von Röstmalzkonzentraten. Auch die erlaubte Verwendung von Hopfenextrakten (siehe Kapitel Hopfenprodukte) sehen viele Kreativbrauer*innen kritisch. Im Jahre 2013 stellte der Bayrische Brauerbund bei der UNESCO einen Antrag deutsches Bier als Weltkulturerbe anzuerkennen. Dieser wurde mit der Begründung abgelehnt, dass die Lebensmittelvorschrift zu sehr im Vordergrund stehe und der Brauprozess inzwischen stark industriell geprägt sei, sodass der Mensch als Träger von kulturellem Wissen im Hintergrund stehe (ebd:111).

1987 wurde das Deutsche Reinheitsgebot von der Europäischen Union (EU) als nicht vereinbar mit EU Gesetzen befunden und offiziell aufgegeben. Allerdings beeinflusst es den deutschen Biermarkt noch sehr stark, da die Konsument*innen hauptsächlich Bier nachfragen, welches nach dem Reinheitsgebot gebraut wird. Es dient als Marketing-Werkzeug, um das deutsche Bier von ausländischen Bieren zu unterscheiden. Die herrschende Bierqualität wird von der Gesellschaft als sehr hoch wahrgenommen (Garavaglia & Swinnen 2017:187).

Um die vielfältige Brauereilandschaft in Deutschland zu erhalten, gibt es von staatlicher Seite eine steuerliche Bevorzugung von kleinen Brauereien. Diese gilt bei einer Jahresproduktion von weniger als 200.000hl pro Jahr (ebd:206). Zum Vergleich: In den USA wird eine Brauerei per Definition der Brewers Association ab einer Jahresproduktion unter 7,2 Millionen Hektoliter als klein angesehen (Brewers Association 2018).

In Deutschland gibt es häufig eine vertragliche Bindung zwischen Schankwirtschaft und Brauerei. Diese Verträge helfen kleinen Brauereien sich auf lokalen Märkten zu etablieren, Kund*innen zu binden und reduzieren auf diese Weise die Wettbewerbsdynamik (Garavaglia & Swinnen 2017:185). Die Verträge gelten meist fünf Jahre und geben nicht nur die Bierauswahl vor. Die Brauerei stellt häufig Werbeschilder, Gläser mit Markenschriftzug und gibt manchmal auch Kredite (ebd:205). In einigen Ländern (z.B. England) sind solche Verträge zwischen Brauerei und Schankwirtschaft verboten (ebd:36).

Für viele Kreativbrauereien hingegen ist dies nicht der ideale Vermarktungsweg, da diese oft nur geringe Mengen Bier brauen und bevorzugt in vielen verschiedenen Bars und Wirtshäusern vertreten sein möchten (ebd:205). Die Branche setzt deshalb auf moderne Marketingformen. Dazu gehört ein intensiver Austausch auf Social Media Plattformen und der eigenen Homepage. Diese Werbestrategien sind kostengünstig und effizient (ebd:192). Darüber hinaus entstehen immer mehr sogenannte Craft-Bier Bars, die häufig an eine eigene Kreativbrauerei angeschlossen sind (Craftbeer Revolution 2018).

Deutschland ist der größte Bierproduzent in der EU und der viertgrößte weltweit (nach China, USA und Brasilien). Der Bierverbrauch veränderte sich sehr stark. Bis in die 70-er Jahre stieg der Bierkonsum in Deutschland an und blieb bis in die späten 80-er relativ konstant. Seit diesem Zeitpunkt sinkt der Konsum. Gründe dafür werden in soziokulturellen Veränderungen,

demographischem Wandel und im steigendem Gesundheitsbewusstsein gesehen (Garavaglia & Swinnen 2017:187).

Allgemein lässt sich sagen, dass in Deutschland der Biermarkt weniger stark konzentriert ist als in den USA und damit auch die Nachfrage für neue Biere weniger steigt (ebd:185). Im Jahr 2012 hatten die zwei führenden Brauereien in Deutschland, die Radeberger Group und Anheuser-Busch InBev, weniger als 20% Marktanteil am deutschen Biermarkt.

Obwohl in Deutschland die Bierkultur sehr ausgeprägt ist, liegt es weltweit auf dem 8. Platz der absoluten Zahl an Kreativbrauereien. Die Gründe dafür sind u.a. der große Anteil verschiedener Bierstile, der geringe Marktanteil an Dosenbier und die geringere Haltbarkeit von deutschem Bier, welche komparative Kostenvorteile großer Brauereien reduziert (ebd:190).

Erst langsam wurde Kreativbier auch in Deutschland populär. Ein praktisches Beispiel für das Aufleben der Kreativbierszene ist das „Braukunst Live!“ Festival in München. Seit Beginn des Festivals in 2012 nahm die Zahl der Besucher um 220% zu (ebd:184). Im Jahr 2018 war das Schwerpunktthema des Festivals „Revival deutscher Bierstile“ (Braukunst Live! 2018).

Trotz der relativ großen Auswahl an Bierstilen in Deutschland sind viele in Vergessenheit geraten und es ist zu einer Konzentration auf bestimmte sehr beliebter Bierstile gekommen. Die größten Marktanteile am deutschen Biermarkt 2016 hatten folgende Bierstile: Pils (54%), Export (7,6%) und Weißbier (7,4%). Lokale Spezialitäten wie Kölsch (1,6%) und Alt (0,8%) haben nur einen sehr geringen Anteil (Garavaglia & Swinnen 2017:186). Zu den unbekannteren Bierstilen, deren Rezepte von vielen Kreativbrauereien wiederentdeckt werden, gehören z.B.: Gose, Broyhan und die Braunschweiger Mumme (Busse 2018).

Nun stellt sich die Frage, wie eine Kreativbrauerei in Deutschland definiert werden kann und wie sich diese wiederum von den lokalen Kleinbrauereien unterscheidet.

Es lässt sich zunächst feststellen, dass nicht alle Kleinbrauereien als Kreativbrauereien bezeichnet werden können. Im Jahr 2015 definierten sich 307 von insgesamt 717 deutschen Brauereien mit einer Jahresproduktion <1000hl als Kreativbrauerei. Hinzu kommt, dass inzwischen auch die großen deutschen Bierfirmen in den Kreativbiermarkt eingestiegen sind. Die Radeberger Group hat als größte deutsche Brauerei eine eigene Firma namens „Braufactum“ gegründet, die einen Focus auf Kreativbier legt. Auch Becks produziert unter dem Motto „Taste the world“ drei Bierstile, die dem Kreativbier zugeordnet werden können (Garavaglia & Swinnen 2017:192).

Die Gemeinsamkeit der kleinen Brauereien liegt in der regionalen Vermarktung. Die Kreativbrauereien unterscheiden sich meist im Aspekt der Diversität. Neue unbekannte Bierstile werden gebraut, mit teils ungewöhnlichen Zutaten. Diese Biere liegen oft im hochpreisigen Bereich. Das Selbstverständnis ist weniger traditionell und als Kontinuität zum Craft Beer Markt aus den USA gesehen (ebd:193).

Um die Interessen der Kreativbrauer*innen in Deutschland besser vertreten zu können, gründete sich am 30.01.2016 in Oberelsbach in Unterfranken der Verein Deutsche Kreativbrauer e.V. mit 11 Gründungsmitgliedern. Der Verein setzt sich für deutschlandweite einheitliche Regeln ein, die das Brauen mit natürlichen Zutaten erlauben.

Um besonders dem deutschen Reinheitsgebot etwas entgegenzusetzen, wurde das sogenannte Natürlichkeitsgebot formuliert. Dieses sieht für Inhaltsstoffe und Brauprozess folgende Regelungen vor:

- Brauwasser: Das zum Brauen benutzte Wasser muss der regionalen Trinkwasserversorgung entsprechen.
- Malz: Es sind nur Standardmalze erlaubt. Malzextrakte oder Röstmalzextrakte sind verboten.
- Hopfen: Es darf ausschließlich Doldenhopfen, P90 oder P45 Pellets verwendet werden. Hopfenextrakte sind verboten.
- Hefe: Es darf trockene und flüssige Hefe eingesetzt werden, die keine Zusatzstoffe enthält.
- Sonstige Rohstoffe: Es dürfen alle natürlichen Rohstoffe zum Brauen benutzt werden, die auch für den menschlichen Verzehr geeignet sind. Konzentrate, Farbstoffe und künstliche Zusatzstoffe sind nicht erlaubt. Die Rohstoffe dürfen nicht gentechnisch verändert sein.
- Brauvorgang: Es wird mit handwerklichen Methoden gebraut und es werden keine High-Tech-Verfahren eingesetzt. Das High-Gravity-Verfahren darf nicht angewendet werden (dabei wird das fertige Bier mit Wasser verdünnt).
- Färbung: Das Bier darf nicht nachträglich gefärbt werden.
- Lagerung/Haltbarkeit: Es darf keine künstliche Haltbarkeitsverlängerung (z.B. durch Eiweißstabilisierung oder Pasteurisierung) durchgeführt werden.
- Filtration: Die Biere dürfen nicht filtriert werden.

Das Natürlichkeitsgebot gilt für die Mitglieder des Vereins und Brauereien, die das Logo der Deutschen Kreativbrauer tragen (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Logo der Deutschen Kreativbrauer e.V.

(Deutsche Kreativbrauer e.V.)

Das Logo zeigt einen gehopften Adler und kann gegen eine Lizenzgebühr genutzt werden. Eine Mitgliedschaft im Verein ist dafür nicht verpflichtend. Laut Internetseite hat der Verein 19 Mitglieder. Mitglied werden kann jede natürliche oder juristische Person, die gewerblich Bier braut, vertreibt und folgenden Ansprüchen gerecht wird:

- Unabhängig und Inhabergeführt: Es muss eine Unabhängigkeit von anderen Brauereien gewährleistet sein, die nicht selbst Vereinsmitglied sind. Der/die Hauptanteilseigner*in muss am Tagesgeschäft aktiv teilnehmen.
- Transparent: Rohstoffe, Braustätte, Teilhaber*innen und verwendete Verfahren müssen offengelegt werden.
- Vielfalt fördern: Es dürfen keine exklusiven Lieferverträge geschlossen werden, die dem Kund*innen verbieten, auch andere Biere zu verkaufen.
- Natürlichkeitsgebot: Mindestens eine dauerhaft verfügbare Biersorte muss dem Natürlichkeitsgebot entsprechen.

(Deutsche Kreativbrauer e.V. 2018)

In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob sich der Bekanntheitsgrad des Logos der Deutschen Kreativbrauer erhöht und sich Kreativbiere in Deutschland weiter etablieren können, oder ob sie ein Nischenprodukt bleiben.

3 Hopfen

Da beim Craft-Bier besondere Aromen herausgearbeitet werden sollen, ist die Produktion und Verarbeitung der ausgewählten Hopfensorte besonders bedeutsam. Das Hopfenaroma wird von Sortenauswahl, Anbau, Ernte und Weiterverarbeitung geprägt (Kammhuber 2018:14). Im folgenden Kapitel werden diese Einflussfaktoren daher näher erläutert.

Hopfen ist eine Kletterpflanze, die in ihrer Wildform in der Nähe von Hecken, Bachrändern, Auen und in Laubwäldern vorkommt (Müller 2006:18). Das Wachstum beginnt Ende April und endet Anfang Juli. Hopfen kann zwischen 7-8m lang werden und bei optimaler Witterung bis zu 30cm am Tag wachsen. Mit Hilfe von Kimmhaaren rankt er sich an dem hoch, was ihm geboten wird (Biendl 2012:11).

Hopfen, mit botanischem Namen *Humulus lupulus*, wird wie folgt klassifiziert:

- Abteilung: Samenpflanzen (Spermatophyta)
- Klasse: Zweikeimblättrige (Dicotyleae)
- Ordnung: Nesselgewächse (Urticaceae)
- Familie: Hanfgewächse (Cannabinaceae)
- Gattung: Hopfen (*Humulus*)
- Art: *Humulus lupulus*

(ebd:10)

Hopfen gehört zu den Langtagpflanzen und kann nur bei ausreichend Licht Blüten ausbilden. Aus diesem Grund kann von den Alpen bis zum Äquator kein Hopfen angebaut werden, da es dort zu einer ungenügenden vegetativen Entwicklung vor der Blüte kommt (ebd:12).

Hopfen ist zweigeschlechtlich. Die weibliche Pflanze bildet einen Blütenstand, der aus 20 bis 60 Einzelblüten besteht, aus denen sich der Zapfen (häufig als Dolde bezeichnet) entwickelt (Müller 2006:23).

Die Dolde ist folgendermaßen aufgebaut:

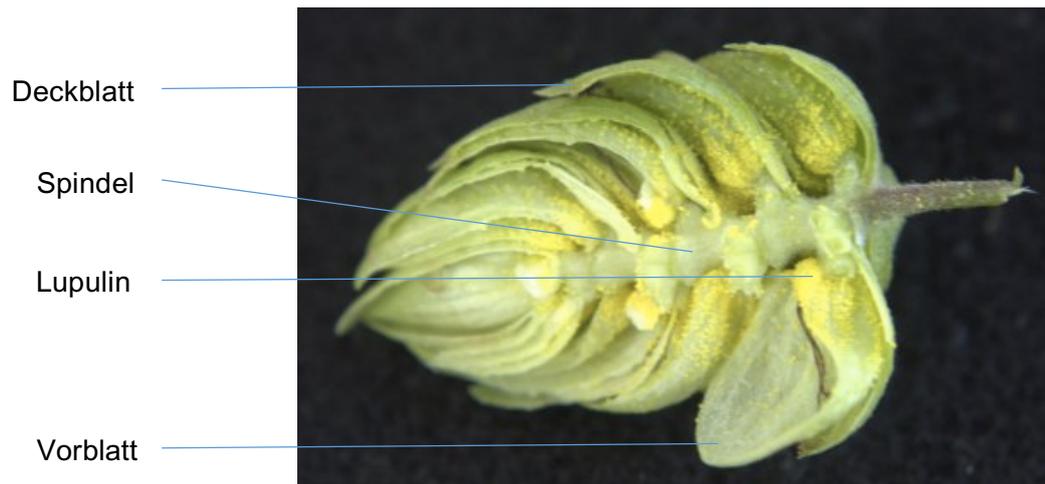


Abbildung 3: Hopfendolde

(Hopfendolde 2018)

Das Lupulin (gelbes Pulver) wird in den Lupulindrüsen gebildet, die an den Vorblättern sitzen. Es enthält die wichtigsten Inhaltsstoffe des Hopfens: Bitterstoffe, ätherische Öle und Polyphenole (Biendl 2012:13).

Die Geschlechter des Hopfens lassen sich erst bei der Blüte erkennen. Die männlichen Pflanzen bilden an Seitentrieben Rispen aus. Diese bestehen aus sehr vielen kleine Blüten, denen Griffel und Narbe fehlen (Müller 2006:25). Der männliche Hopfen wird in den Hopfenanbaugebieten entfernt, da die Ausbildung von Samen unerwünscht ist (Biendl 2012:14). Die Samen enthalten Öle, die die Schaumstabilität negativ beeinflussen (Wesseloh & Wesseloh 2015:128).

Die Vermehrung findet vegetativ über Setzlinge, sogenannte Fehser, statt. Diese werden aus 3-5 Jahre alten Wurzelstöcken geschnitten. Im Frühjahr werden von den 8-10 Trieben nur 2-3 an Drähten aufgeleitet und die anderen entfernt (Müller 2006:17). Nach der Ernte, die von Ende August bis Ende September geht, überwintert der Wurzelstock im Boden. Theoretisch kann dieser 50 Jahre alt werden (Biendl 2012:12). Die meisten Hopfengärten werden jedoch für 20 Jahre angelegt (Müller 2006:21).

3.1 Hopfenprodukte

Der Hopfen kann auf unterschiedliche Weise im Brauprozess verwendet werden. Für Doldenhopfen wird der Hopfen geerntet, getrocknet und verpackt. Die Lagerung erfolgt unter Luftabschluss und trocken (Wesseloh & Wesseloh 2015:133).

Inzwischen werden 95% der Welthopfenernte zu Pellets oder Extrakt weiterverarbeitet (ebd:132). Bei Hopfenpellets werden zwei Typen unterschieden. Beim Typ 90 wird der getrocknete Hopfen mit niedrigen Temperaturen (20°C-50°C) auf 7% bis 9% Wassergehalt getrocknet und anschließend zu Pulver vermahlen. Mit Hilfe einer Pelletier Vorrichtung wird das Hopfenpulver zu Pellets gepresst. Dabei wird der Hopfen erhitzt, was zu einer Wertminderung führen kann. Die Pellets werden luftdicht verpackt und bei Temperaturen von 1°C bis 3°C kühl gelagert, um die Inhaltsstoffe zu erhalten (Kunze & Manger 2011:73). Hopfenpellets vom Typ 45 sind lupulinangereichert. Dafür müssen die Lupulindrüsen aus der Dolde isoliert werden. Dies geschieht über schonende Zerkleinerung und Siebmaschinen. Dieser Vorgang muss aufgrund der klebrigen Substanz des Lupulins bei sehr niedrigen Temperaturen geschehen. Das gesiebte Feingut enthält etwa die Hälfte der getrockneten Doldenmasse (ebd:74).

Für Hopfenextrakt werden mit Hilfe von Ethanol oder flüssigem Kohlendioxid Öle und Harze aus dem getrockneten Hopfen gelöst (ebd:77). Die Bitterstoffe befinden sich im Harz des Hopfen und die aromatischen Bestandteile im Hopfenöl (ebd:61). Die Lösungsmittel werden später verdampft. Der Extrakt hat eine hohe Bitterstoffkonzentration und ist leicht und exakt zu dosieren. Weitere Vorteile sind der wenig benötigte Lagerplatz und die Haltbarkeit ohne Kühlung. Diese Extrakte sind jedoch im deutschen Reinheitsgebot nicht zugelassen (ebd:77-80). Der Verein Deutsche Kreativbrauer e.V. verbietet in ihrem Natürlichkeitsgebot die Verwendung aller Extrakte (Deutsche Kreativbrauer e.V. 2018).

3.2 Die Bedeutung des Hopfens für Craft-Bier Brauereien

In Deutschland werden auf 17000ha Hopfen angebaut. Das seit 1966 weltweit größte zusammenhängende Anbaugelände liegt in der Hallertau (zwischen Ingolstadt und München) (ebd:131).

In den 70-er Jahren hielten Hopfenextrakte und Pellets Einzug in die deutschen Brauereien. Der Hopfen wird nicht nach Hopfenmenge eingekauft, sondern nach der Menge an Bitterstoffen (Menge an Alphasäuren). Aus dieser Nachfrage heraus wurden Hochalphasorten, wie Herkules und Magnum gezüchtet. Der Hopfen macht das Bier länger haltbar, fördert die Schaumbildung und bringt Aroma (Wesseloh & Wesseloh 2015:127).

Das Hopfenaroma hat in der Craft-Bier Brauerei eine besondere Bedeutung. In vielen Craft-Bieren ist ein hoher Anteil an ätherischen Ölen des Hopfens erwünscht, wodurch mit einer deutlich höheren Hopfenmenge gebraut wird, als bei Industriebieren (ebd:134). In den USA kaufen die Craft Beer Brauereien etwa die Hälfte des in den USA verkauften Hopfens ab,

obwohl ihr Marktanteil nur bei etwa 10% liegt (ebd:127). Da die dortige Craft Beer Szene jährlich um 15% wächst, wird der dadurch resultierende erhöhte Hopfenverbrauch den Welthopfenmarkt deutlich verändern (ebd:138).

Eine Besonderheit der Kreativbrauer*innen ist das sogenannte Hopfenstopfen bzw. die Kalthopfung. Bei der Herstellung der Bierwürze gibt der Hopfen nur seine Bitterstoffe ab. Die ätherischen Öle verflüchtigen sich bei diesem Prozess aufgrund der hohen Temperaturen.

Bei der Kalthopfung wird der Hopfen im Lagertank dem Bier zugesetzt. Die niedrigen Temperaturen und der vorhandene Alkohol lösen die ätherischen Öle gut aus dem Hopfen und verleihen dem Bier ein besonderes hopfengeprägtes Aroma.

In Deutschland war es lange ungewiss, ob das Hopfenstopfen mit dem Biergesetz von 1993 vereinbar ist. Im Jahr 2012 kam die Bestätigung, dass dieses Verfahren den gesetzlichen Bestimmungen entspricht (Mitter & Cocuzza 2012:1).

Im Hopfenforschungszentrum in Hüll wurden für diesen Zweck sogenannte Spezial-Flavour-Hopfensorten gezüchtet. Der Anbau von Flavour-Hopfen kann für die Hopfenbauer*innen sehr lukrativ sein, da sich die Preise dieser Sorten gerade auf sehr hohem Niveau befinden (Wesseloh & Wesseloh 2015:138). I

m EU-Erntebericht Hopfen 2017 wird der durchschnittliche Preis ab Hof für Bitterhopfen mit 4,36€/kg und für Aromahopfen mit 5,51€/kg angegeben. Diese Preise gelten für den deutschen Vertragsanbau (Hopfenpflanzerverband & Lfl Pflanzenbau 2017:2)

3.3 Flavour-Hopfen

Der Begriff Flavour-Hopfen wurde vom weltweit größten Hopfenanbieter, der Barth Haas Group, 2011 in Europa eingeführt. Er beschreibt Hopfensorten, die besonders fruchtige, exotische Aromen ins Bier bringen (Lutz et al. 2013:7). Es gibt keine klare Definition, die Flavour-Hopfen von Aromahopfen abgrenzt. In vielen Quellen wird nur in Aromahopfen und Bitterhopfen/Hochalphasorten unterschieden (Barth-Hass Group 2017:10).

Der globale Hopfenmarkt wird zunehmend von der US Hopfenbauer*innen beeinflusst. Historisch wuchsen in 75-80% der US Hopfengärten Bitter- und Hochalphasorten. Seit 2015 hat sich das Verhältnis zwischen Aroma- und Bittersorten umgedreht und die Flavour- und Aromasorten nehmen den Hauptteil der Flächen ein (vgl. Abbildung 4). Dies führte zu einem Mangel an Bitterhopfen und ließ die Vertragspreise wieder steigen. Vor allem deutsche Hopfenbauer*innen profitierten von diesen Entwicklungen (ebd:12).

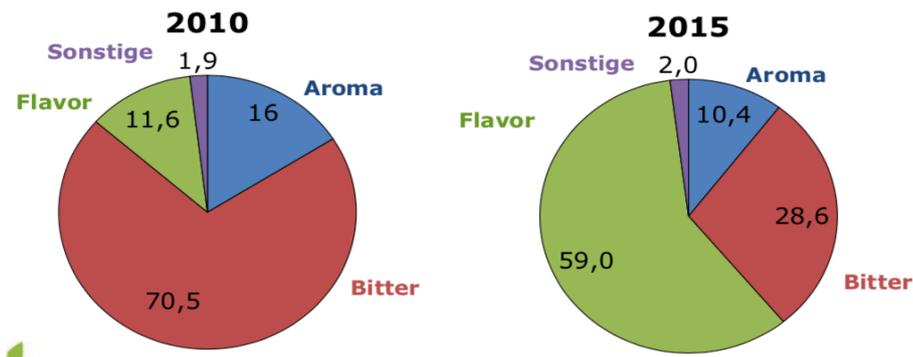


Abbildung 4: Verteilung der Hopfensorten in den USA 2010, 2015

(Lutz et al. 2016:4)

Auch in Deutschland nimmt Aromahopfen schon über die Hälfte der gesamten Anbaufläche ein. Bitterhopfen stellt den zweitgrößten Anteil dar. Der Anteil an Flavour-Hopfen ist noch deutlich geringer als in den USA (vgl. Abbildung 5).

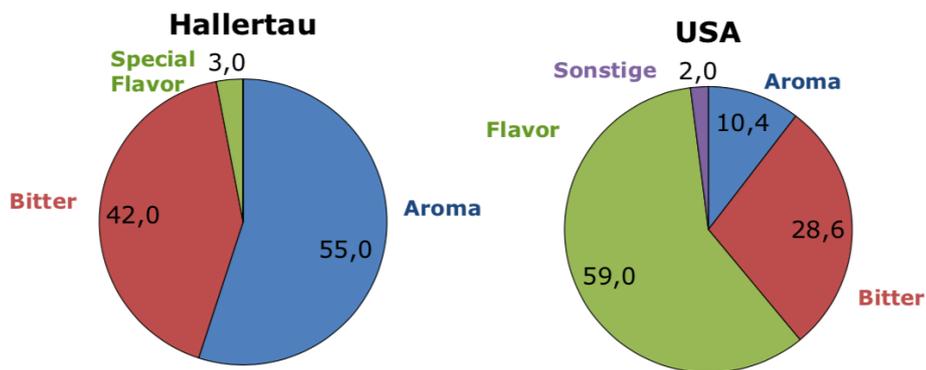


Abbildung 5: Verteilung der Hopfensorten 2015, Hallertau und USA im Vergleich

(Lutz et al. 2016:5)

Hopfen wird in Deutschland zu 95% über Kontrakte zwischen Hopfenbauer*in und Handelsfirma angebaut. Diese Verträge legen Sorten und Preise fest und werden in der Regel über mindestens vier Jahre geschlossen (Barth-Hass Group 2017:25).

Durch die stetige Steigerung der Anbauflächen für Aromahopfen kann inzwischen die Nachfrage gedeckt werden. Die zunächst entstandene Unterversorgung mit Bitterhopfen konnte durch Ausweitung der Bitterhopfenanbauflächen gedeckt werden. Das Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage von Hopfen wird für 2017 als ausgeglichen beschrieben (ebd:30).

In einem Vortrag beschreibt der Hopfenzüchter Anton Lutz die Beweggründe der Flavour-Sorten Züchtung. Die US-Sorten sind wegen eines Patents nicht frei verfügbar (Lutz et al. 2016:3). Der Anbau von US-Sorten in Deutschland gestaltet sich schwierig, da sie nicht an

das hiesige Klima angepasst sind und große Resistenzlücken bestehen. Aus diesem Grund entschied das Hopfenforschungszentrum in Hüll eigene Flavour-Sorten zu züchten (Lutz et al. 2013:11).

Im Jahr 2006 wurde mit gezielten Kreuzungen begonnen. Daraus entstanden folgende Sorten, die 2012 für den Anbau freigegeben wurden (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Sortenbeschreibung Hüller Flavour-Sorten

Sorte	Aroma	Alphasäuren (EBC 7,7 in %)	Gesamt-Ölgehalt (EBC 7,10 in ml/100g Hopfen)
Huell Melon	Honigmelone, Erdbeere, Aprikose	6,3 (4,5-7,8)	1,4-2,1
Hallertau Blanc	Stachelbeere, grüne Früchte, Mango	8,8 (6,2-11,3)	1,5-1,8
Polaris	Fruchtiges Aroma, Minze, „Gletschereisbonbon“	18-23	4,4-4,8
Mandarina Bavaria	<u>Hopfen Aroma:</u> fruchtig, Aromen von Mandarine, Zitrone <u>Aroma im Bier:</u> hopfig, Aromen von Mandarine und Grapefruit	7-10	1,5-2,1

(Lutz et al. 2013:15)

Diese Flavour-Sorten sind über Lizenzverträge verfügbar, die nur mit Hopfenhandelsfirmen, Hopfenpflanzer*innen und Brauereien abgeschlossen werden. Die einmalige Lizenzgebühr für die oben dargestellten Sorten beträgt 3000€, plus eine mengenbezogene Lizenz von 0,50€ pro kg zertifiziertem Hopfen (Lutz et al. 2013:20).

Seit 2016 gibt es zwei neue Spezial Flavour-Sorten aus Hüll:

- Callista: Aromen von süßen Früchten, roten Beeren mit einer Zitrusnote
- Ariana: Aromen von roten Beeren, Grapefruit und süßen Früchten, leicht harzig

(Lutz et al. 2018:1).

Mandarina Bavaria

Die Sorte Mandarina Bavaria wurde aus der Kreuzung von Cascade und einem männlichen Hüller Zuchtstamm gezüchtet (Lutz et al. 2013:14). Sie wird als weniger hopfentypisch, sondern mit ausgeprägten fruchtigen und exotischen Aromanoten von Mandarine und Orange beschrieben (vgl. Tabelle 3) (Lutz et al. 2015:1).

Für den Versuch, der die Grundlage dieser Arbeit bildet, wurde Hopfen der Sorte Mandarina Bavaria verwendet.

In Deutschland wurde 2016 die Anbaufläche von Mandarina Bavaria um 139ha (67,1%) erweitert (Barth-Hass Group 2017:16). Da die Aromausprägung dieser Sorte sehr stark von Boden, Witterung, Erntezeit und Trocknung abhängt, ist ein optimaler Ernte- und Trocknungsverlauf qualitätsprägend. Eine gute Absprache mit den Abnehmer*innen ist Voraussetzung für das gewünschte Aroma und daraus resultierend dem passenden Erntezeitpunkt. Die höchsten Ölgehalte lassen sich bei späten Ernteterminen erzielen. Bei zu spät geerntetem Hopfen können sich ungewünschte zwiebel- und knoblauchartige Aromen entwickeln, die durch einen Anstieg an Schwefelverbindungen zustande kommen.

Bei Versuchen zeichnete sich ab, dass Ende September der optimale Erntezeitpunkt für Mandarina Bavaria erreicht ist. Somit ist diese Sorte im Vergleich zu den anderen Hüller Flavour-Sorten am spätesten erntereif (Münsterer 2017:18).

4 Hopfentrocknung

Die Hopfentrocknung ist ein sehr wichtiger Teil der Produktionskette des Hopfenanbaus. Nur mit einem harmonischen Zusammenspiel von biologischen, technischen und ökonomischen Aspekten kann eine gute Qualität und ein effizienter Produktionsprozess etabliert werden (Rybáček 1991:11).

Die Hopfentrocknung ist so alt wie der Hopfenanbau selbst. Zunächst wurde auf dem blanken Boden oder auf Holzdielen getrocknet. Erst später wurden Horden verwendet, die übereinandergestapelt werden konnten. Diese Hopfentrockner befanden sich häufig in den Dächern von Getreidespeichern (Rybáček 1991:229).

In dieser Arbeit wird die Hopfentrocknung in sogenannten Hordentrocknern beschrieben. Diese bestehen aus 3 übereinander gelagerten Horden, die sich über der Heizquelle befinden (vgl. Abbildung 6). Der frischen Hopfen mit dem höchsten Feuchtegehalt kommt in die Aufschütthorde. Die oberen Horden haben einen perforierten, jalousieartigen Boden, der nach gewünschter Zeit gekippt werden kann, sodass das Trocknungsgut auf die darunterliegende Horde fällt (Gehrmann et al. 2009:104). Der trockene Hopfen wird über den Schubler entnommen und zur Konditionierung transportiert (vgl. Abbildung 6).

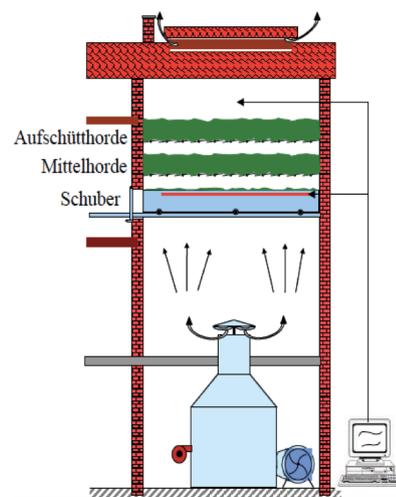


Abbildung 6: Hordentrockner

(Münsterer 2006:13)

4.1 Trocknungsprozess

Bei der Hopfentrocknung können drei Trocknungsphasen unterschieden werden:

1. Trocknungsabschnitt:

Innerhalb der Dolde gibt es noch keine Temperaturunterschiede. Die Verdunstung findet nur an der Oberfläche statt. Es herrscht eine konstante Trocknungsgeschwindigkeit, die von der Luftgeschwindigkeit bestimmt wird.

2. Trocknungsabschnitt:

Die Trocknungsgeschwindigkeit kann nicht aufrechterhalten werden, da nun die Wärme ins Innere geleitet werden muss. Der Wassergehalt an der Oberfläche sinkt schneller als in der Dolde. Das im Inneren verdunstete Wasser muss nun im dampfförmigen Zustand an die Oberfläche transportiert werden. Es folgt ein Temperaturanstieg in und auf der Dolde.

3. Trocknungsabschnitt:

Das physikalisch-chemisch gebundene Wasser wird nach außen abgeführt. Die Verdampfung geht weiter bis die Gleichgewichtsfeuchte erreicht ist.

(Münsterer 2017:27)

Aufbau der Hopfendolde und ihre Bedeutung für den Trocknungsprozess

Die Hopfendolde besteht aus einer Spindel als Hauptachse und den Deckblättern, die an der Spindel sitzen. Zu beachten ist, dass die Deckblätter im Verhältnis zu ihrer Masse eine sehr große Oberfläche haben. Die Spindel hingegen hat nur eine sehr kleine Oberfläche, weist aber einen hohen Wassergehalt auf. Dies hat große Auswirkungen auf den Trocknungsprozess der Hopfendolde. Durch die Ummantelung der Spindel durch die Deckblätter kommt diese nicht mit der Trocknungsluft in Berührung. Demzufolge trocknen die Deckblätter deutlich schneller als die Spindel (vgl. Abbildung 7). Das Wasser in der Spindel muss über das Kapillarsystem der Deckblätter erst nach außen transportiert werden.

Hinzukommt, dass die Trocknung durch Sortenunterschiede zusätzlich erschwert wird. Der Spindelanteil beträgt bei den Aromasorten durchschnittlich 8-10% und bei den Hochalphasorten lediglich 6,5-8%. Mit zunehmender Reife nimmt der Spindelanteil bei allen Sorten ab. Bei einer Doldentemperatur von 65°C und einem durchschnittlichen Wassergehalt von 9-10% haben die Doldenblätter nur noch eine Restfeuchte von 5-6%. Die Spindel hingegen hat noch einen Feuchtegehalt von 30-40%. Erst bei optimaler Belüftung in der Konditionierungskammer kann das Spindelwasser an die Deckblätter abgegeben werden, bis ein vollständiges Feuchtegleichgewicht hergestellt ist (Münsterer 2006:8).

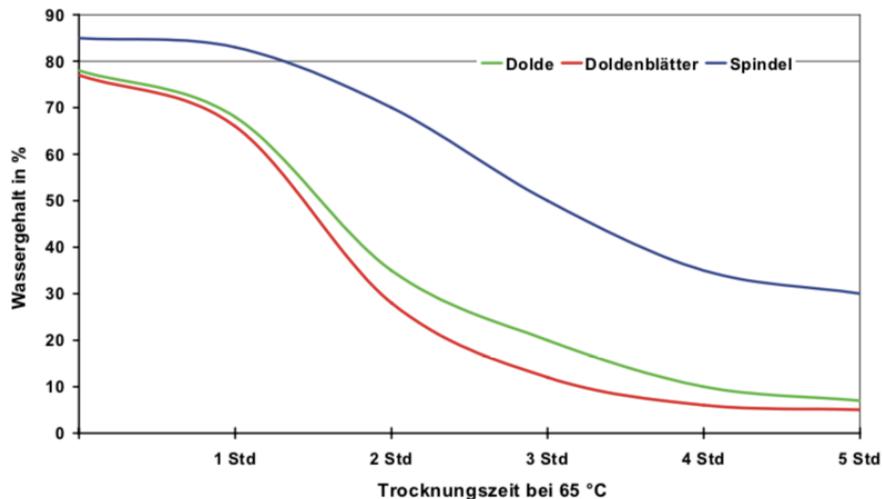


Abbildung 7: Wassergehaltsentwicklung im Trocknungsprozess von Doldenblätter, Dolde und Spindel

(Münsterer 2006:9)

Trocknungstemperatur

Durch zu hohe Trocknungstemperaturen kann es zu einer Übertrocknung der Doldenblätter kommen, sodass diese sehr leicht von der Spindel abbrechen. Außerdem wird das Kapillarsystem zerstört, wodurch das Wasser der Spindel nicht mehr ausreichend an die Doldenblätter abgegeben werden kann. Der Feuchteunterschied zwischen Spindel und Doldenblätter entwickelt sich dann mit steigenden Trocknungstemperaturen exponentiell.

Eine weitere Schwierigkeit sind die Wassergehaltsschwankungen des Trockenhopfens in den Horden. Auch bei optimalen Trocknungstemperaturen von 62°C - 68°C liegen diese zwischen 7-16%. Steigt die Trocknungstemperatur über das Optimale, erhöhen sich die Wassergehaltsschwankungen im Schubler noch weiter. Die Schwierigkeit liegt nun darin, den optimalen Wassergehalt zum Entleeren der Horde zu bestimmen. Da sich an den feuchten Stellen orientiert wird, kommt es häufig zu einer Übertrocknung und somit zu einem höheren Doldenblattanteil. Auch die Konditionierung wird dadurch erschwert (Münsterer 2006:9).

Einfluss der Trocknung auf die Hopfenöle

Während der Trocknung kommt es zu einem Verlust an Hopfenölen. Dieser ist temperaturabhängig und liegt gewöhnlich zwischen 30-40% (Aberl 2016:20).

Die Trocknungsverluste des ätherischen Öls sind sortenabhängig und bei den flüchtigen Kohlenwasserstoffen und den oxidierten Verbindungen besonders stark. Ein geringerer Verlust ist bei den Sesquiterpenen zu verzeichnen. Durch die Trocknung kann es zu einem Anstieg schwefelhaltiger Verbindungen kommen.

Um den Verlust möglichst gering zu halten müssen die Trocknungsparameter an die Sorte, Witterung, Reifezustand und Ausgangsfeuchte angepasst werden (ebd:20).

Luftführung

Die optimale Trocknungstemperatur kann nur im Zusammenhang mit einer angepassten Luftgeschwindigkeit diskutiert werden.

Die optimale Luftgeschwindigkeit liegt bei 0,3-0,6 m/s. Bei zu hohen Luftgeschwindigkeiten wird die Trocknungsluft am gleichmäßigen Durchströmen gehindert, da sich gleichzeitig der Luftwiderstand im Hopfen erhöht. In diesem Fall kommt es zu einer ungleichmäßigen Trocknung und zur Bildung von Feuchtenestern.

Da der Hopfen während des Trocknungsprozesses ständig Wasser verliert, reduziert sich auch der Luftwiderstand laufend (vgl. Abbildung 8). Eine Lösung ist das stetige Anpassen der Luftgeschwindigkeit an den Trocknungsprozess. Dies kann durch Drosselung des Luftstroms über einen Stellmotor, eine Drehzahlregelung des Lüftermotors oder einen Frequenzumrichter erfolgen (Münsterer 2006:10).

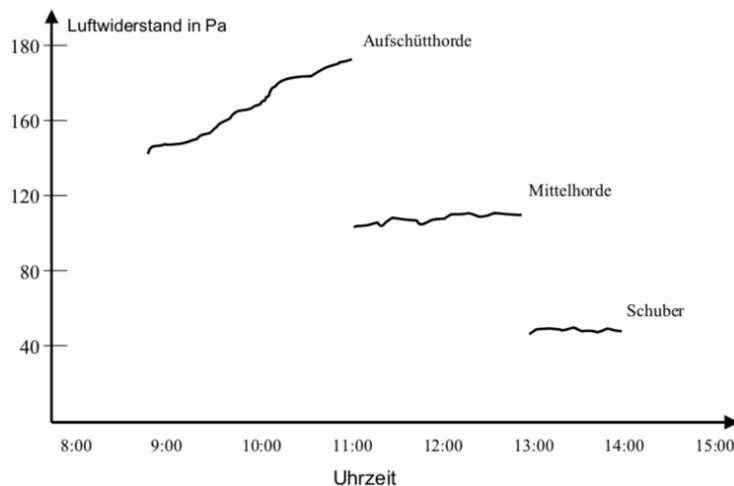


Abbildung 8: Veränderung des Luftwiderstands vom Befüllen bis zum Kippen, Schütthöhe:40cm, Luftgeschwindigkeit:0,4m/s

(Münsterer 2006:11)

Optimale Schütthöhe

Die Schütthöhe hat einen großen Einfluss auf das Trocknungsergebnis. In der Aufschütthorde kommt es durch Erwärmung und Welken zu einer Verdichtung des Grünhopfens. Je höher die Schüttung, umso geringer ist der Luftdurchsatz und es kommt zu einer abnehmenden Lüfterleistung. Vor dem Kippen wird die Lage der Dolden zueinander nicht verändert und der Hopfen sackt noch stärker in sich zusammen. Dies hat die Ausbildung von Luftkanälen zur Folge, die solange erhalten bleiben, bis die Horde gekippt wird. In diesen entstandenen Mikrozononen kann der Luftdurchsatz sehr unterschiedlich sein. Schütthöhen zwischen 25cm und 35cm haben in der Praxis zu einer gleichmäßigen Trocknung und verkürzten Trocknungszeiten geführt (Münsterer 2006:11).

Optimaler Kippzeitpunkt

Der optimale Kippzeitpunkt der Horden wird durch den Feuchtegehalt des Hopfens bestimmt. Ist dieser bei Kippen auf die Mittelhorde zu feucht, erhöht sich der Luftwiderstand und es kommt zu Nesterbildung und verlängerten Trocknungszeiten. Da die Trocknungsdauer von vielen verschiedenen Faktoren abhängig ist (z.B. Wetter, Sorte, Schütthöhe) ist es nicht sinnvoll, den Kippzeitpunkt über Zeitmessung zu bestimmen. Eine zielführende Methode ist das Messen der relativen Luftfeuchte der Darrabluft mit einem Hygrometer. Der optimale Kippzeitpunkt liegt zwischen 50-60% relativer Darrabluftfeuchte (Münsterer 2006:13).

4.3 Konditionierung

Wenn der Hopfen aus dem Schubler kommt, kann er nicht direkt in Säcke abgepackt werden. Die Wassergehalte innerhalb der Dolde und auch aus den verschiedenen Schüttungen sind zu unterschiedlich und müssen erst angeglichen werden. Dies geschieht über die Lagerung (Münsterer 2006:17). Innerhalb der Dolde muss das Spindelwasser über die Kapillaren an die Doldenblätter abgeführt werden. Hinzu kommt, dass Hopfen ein hygroskopisches Gut ist und dadurch die Doldenblätter Wasser aus der Umgebungsluft aufnehmen können. Dieser Feuchteausgleich realisiert sich bei hohen Temperaturen am Schnellsten. Es ist sehr wichtig, das von den Dolden freigesetzte Wasser zügig über die Luft abzutransportieren, damit es nicht zu unerwünschten Reaktionen kommt.

Die Homogenisierung des Hopfens findet in der Konditionierungskammer statt. Da der Hopfen unmittelbar nach der Trocknung mit dem Feuchteausgleich beginnt, sollte er möglichst schnell in die Konditionierungskammer gelangen. Beim Befüllen der Kammer sollten die Dolden einen Wassergehalt von 9-10% haben und gut durchmischt werden.

Die optimale Belüftungsluft in der Konditionierungskammer hat eine Temperatur von 20-24°C und eine relative Feuchte von 58-65%. Ist der Hopfen zu trocken oder zu feucht, sollte er belüftet oder nachgetrocknet werden. Dazu wird der Belüftungsluft Luft mit niedrigerer bzw. höherer Feuchte zugefügt (Raumluft, Darrabluft, Außenluft).

Bei optimalen Bedingungen dauert die Belüftung in der Konditionierungskammer 4-6 Stunden. Die Dolden haben sich dann auf einen Feuchtegehalt von 9,8-10% eingestellt (vgl. Abbildung 9) (Münsterer 2006:22,23). Für die vollständige Homogenisierung muss der Hopfen noch ca. 6 Stunden lagern. Der Hopfen kann abgesackt werden, wenn sich Temperatur und relative Feuchte während der Ruhephase nicht mehr ändern (ebd:27).

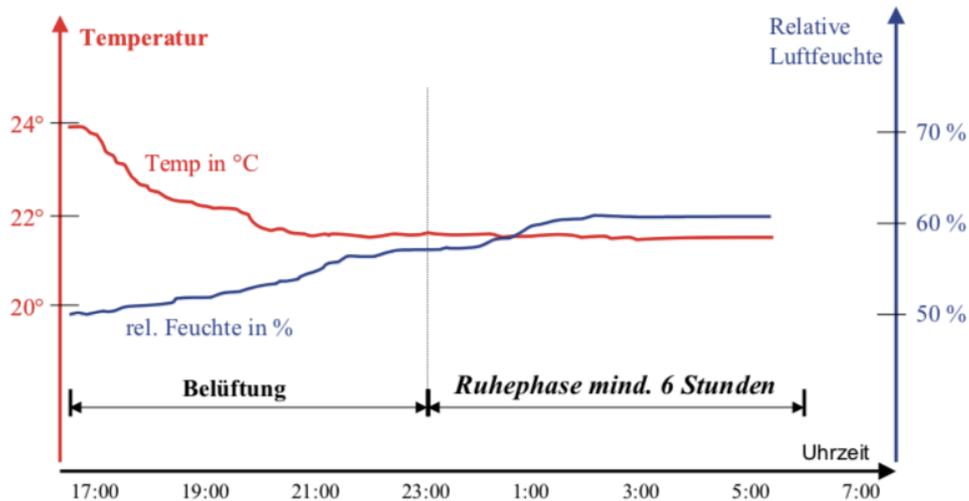


Abbildung 9: Entwicklung der Temperatur und relativen Feuchte während der Homogenisierung der Hopfendolde

(Münsterer 2006:26)

4.4 Farbveränderungen während der Trocknung

Die Trocknung hat einen erheblichen Einfluss auf die Farbe der Hopfendolden. In einem Versuch wurden mit einer Hyperspektralkamera und einer RGB-Kamera Bilder von Hopfen in der Trocknung gemacht und anschließend auf Farbveränderungen untersucht (Crichton et al. 2016:1).

Temperatur, Luftfeuchte und absolute Feuchte sind die Parameter, die die Farbveränderungen während der Trocknung beeinflussen (Münsterer 2017:21). Es konnte gezeigt werden, dass vor allem die absolute Feuchte einen großen Einfluss auf die Farbveränderungen hat. Diese sollte während der Trocknung nicht über 18g/kg liegen. Das lässt sich durch eine optimale Temperaturführung bei 65°C und einer angepassten Luftgeschwindigkeit realisieren. Je höher die Temperatur, desto höher war auch die absolute Feuchte und desto schlechter die optische Qualität. Bei Luftgeschwindigkeiten um die 0,35m/s kam es ebenfalls zu einer Erhöhung der absoluten Feuchte und somit zu ungewünschten Farbveränderungen (Münsterer 2017:22).

Die Witterung zum Erntezeitpunkt spielt auch eine wichtige Rolle. Bei nasser Witterung sind die negativen optischen Veränderungen durch die Trocknung größer (ebd:24).

Die Bewertung des getrockneten Hopfens erfolgt durch eine Handbonitierung mit der Standardmethode der Wissenschaftlichen Kommission des Europäischen Hopfenbüros. Die Farbe sollte gelblichgrün sein, mit einem seidigen Glanz. Graugrüne bzw. gelbrote Dolden deuten auf einen falschen Erntezeitpunkt hin. Dunkelbraune Dolden wurden zu heiß getrocknet. Weitere ungewünschte Verfärbungen können durch Krankheiten oder Schädlingsbefall zu Stande kommen (Kunze & Manger 2011:70).

5 Versuch

Der folgende Trocknungsversuch wurde zur Hopfenernte im September 2017 im Hopfenforschungszentrum Hüll in der Hallertau (Bayern), in Kooperation mit der Universität Kassel durchgeführt. Der Versuchshopfen wurde im Labor in Kleintrocknern 210 Minuten getrocknet.

Ziel dieses Versuches war es, Einflüsse der Lagerdauer vor der Trocknung auf die Entwicklung der Hopfenöle zu untersuchen. Grund dafür ist die Silolagerung von Grünhopfen. Diese ist notwendig, um genügend Hopfendolden für die Befüllung der Trocknungshorde anzusammeln. Es wird vermutet, dass es während dieser Lagerung zu Qualitätsveränderungen des Hopfens kommt. Um diese Silolagerung nachzuahmen, wurden frische Hopfenproben für 5 und 24 Stunden in Plastiktüten gelagert und anschließend getrocknet.

Um Farbveränderungen darzustellen und einen Zusammenhang mit der Qualitätsentwicklung von Hopfen festzustellen, wurde der Hopfen vor und nach der Trocknung in einer Fotobox fotografiert.

Zusätzlich wurden Proben eingefroren, um festzustellen, ob es durch einen Gefriervorgang zu Veränderungen in der Hopfenölzusammensetzung kommt. Da es im Jahr nur eine Hopfenernte gibt, werden im Hopfenforschungszentrum Hüll zunächst die frischen Hopfenproben eingefroren, um anschließend genug Zeit für die Analysen zu haben.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese gefrorenen Proben der Zusammensetzung von frischem Hopfen entsprechen. Der folgende Versuch soll neue Erkenntnisse zu dieser Thematik bringen.

Um die Veränderungen der Hopfenöle zu untersuchen, wurden die gelagerten und eingefrorenen Hopfenproben destilliert und das dadurch erhaltene ätherische Öl im Gaschromatograph aufgeschlüsselt.

Es folgt eine Literaturübersicht zu Einflüssen auf das Hopfenaroma und Farbveränderungen. Anschließend wird der Versuch beschrieben und die Ergebnisse dargestellt. Diese werden in der Diskussion interpretiert und in aktuelle Erkenntnisse eingeordnet.

5.1 Literaturübersicht

Einflüsse auf das Hopfenaroma

Hopfen hat vielfältige Wirkungen auf das Bier. Es sorgt für die feine Bitternote, aber auch für andere besondere Aromen. Beispielsweise wird die Schaumstabilität durch Hopfengabe erhöht und Alterungsprozesse des Bieres können überdeckt werden (Kammhuber 2018:2).

Die wertgebenden Inhaltsstoffe des Hopfens für den Brauprozess sind Alpha-Säuren, Polyphenole und ätherische Öle (ebd:3).

Das Hopfenaroma wird durch verschiedene Einflüsse geprägt. Dazu gehören:

- Umweltfaktoren: Jahrgang, Terroir-Effekt
- Sorte: die Zusammensetzung der ätherischen Öle ist genetisch determiniert
- Erntezeitpunkt: Ölzusammensetzung und Ölmenge können variieren
- Trocknung: Ölgehalte ändern sich
- Lagerung: Alpha-Säuren werden abgebaut, Schwefelverbindungen können entstehen (ebd:14)

Die Bitterstoffe und Aromaverbindungen befinden sich in den Lupulindrüsen der Hopfendolde. Die ätherischen Öle haben einen Anteil von 0,5-3% des getrockneten Hopfens (Steinhaus & Schieberle 2000:1776).

Inzwischen sind über 400 flüchtige Verbindungen des Hopfens bekannt und beschrieben. Die größte Fraktion der ätherischen Öle sind Kohlenwasserstoffe, die für ~69% der Geruchsaktivität verantwortlich sind. Die Sauerstofffraktion der Aromakomponente ist für ~34% der Geruchsaktivität verantwortlich (ebd:1776).

Myrcen und Linalool werden als Schlüsselsubstanzen des Gesamtaromas gesehen (ebd:1782). Myrcen wird ein geranien-ähnlicher Geruch zugeschrieben und Linalool wird als süß, blumig und zitrus-ähnlich beschrieben. Die Geschmacksschwellen der Ölkomponenten liegen bei wenigen Mikrogramm pro Liter (Kurzweil et al. 2013:657).

Durch die Trocknung nimmt der Gehalt an Hopfenölen stark ab. Der Verlust ist abhängig von der Trocknungstemperatur und kann zwischen 30% und 40% liegen (Aberl 2016:20).

Bei Kaltner und Kamhuber wird beschrieben, dass Myrcen bei hohen Temperaturen flüchtig ist und deshalb während des Trocknungsprozesses vom Hopfen stark abnehmen kann. Kamhuber beschreibt den Verlust mit 25-30% (Kaltner 2000:124) (Kamhuber 2018:14).

Eine Veränderung des Aromas durch die Lagerung des getrockneten Hopfens wurde von Lam et al. untersucht. Dafür wurde getrockneter Hopfen verschieden lange gelagert. Eine Versuchsprobe wurde bei 32°C für 19 Tage (age 1) gelagert, eine andere bei 32°C für 60 Tage (age 2) (Lam et al. 1986:763). Die Ergebnisse zeigen, dass der Ölgehalt und der Alpha-Säuregehalt abnimmt, je länger der Hopfen gelagert wurde (ebd:764). Gleichzeitig wird beobachtet, dass sich die Anteile der verschiedenen Aromen während der Lagerung verändern. Der Anteil von Linalool, Geraniol und Humulen steigt von der frischen zur gelagerten Probe (age 1) stark an. Bei den 60 Tage gelagerten Proben (age 2) sinkt die Menge jener Aromakomponenten jedoch stark. Das wahrnehmbare Aroma der blumigen/Zitrus-Note und das der kräuterartigen/würzigen Note steigt an (ebd:765). Es wird ein moderates Lagern des Hopfens für eine Aromasteigerung empfohlen (ebd:770).

Des Weiteren wird beschrieben, dass bei der Lagerung von Hopfen, durch den Abbau von Proteinen, Schwefelverbindungen entstehen, die zu unangenehmen fauligen, zwiebel-artigen Aromen führen können (Kammhuber 2018:26).

Farbveränderungen

Beim optimalen Reifezeitpunkt sollten die Dolden rascheln und sich die Farbe von Dunkelgrün zu Hellgrün/Gelbgrün entwickeln (Lutz et al. 2009:8). Es wird eine „Grüne“ Qualität gewünscht (ebd:33). Die Dolden sollten eine satte Farbe haben und glänzen. Der Befall mit Krankheiten und Schädlingen ist an der Farbe erkennbar und unerwünscht (HVG 2018:3).

Die Materialfarbe ändert sich während der Trocknung nicht durch evaporierendes Oberflächenwasser, sondern durch verschiedene Reaktionen, wie enzymatische und nicht-enzymatische Bräunung. Diese Reaktionen sind unerwünscht und durch eine angepasste Prozessführung zu vermeiden.

Die meist genutzten Farbmesseinheiten sind *RGB* (Red, Green, Blue), $L^*a^*b^*$ (L: Lightness, a: Redness-greenness, b: Yellowness-blueness) und *XYZ*. Die untersuchte Farbe wird in diese Parameter unterteilt, sodass jede beinhaltete Farbe durch 3 Buchstaben quantifiziert werden kann. Für die Festlegung von Normen im Umgang mit Farbanalysen gründete sich die International Commission on Illumination (CIE) (Mujumdar 2000:78). Durch Experimente konnte gezeigt werden, dass der L^* -Wert während der Lufttrocknung sinkt. Der a^* -Wert erhöht sich bei getrocknetem Material, was ein eher rotes Chroma bedeutet und auf eine Bräunungsreaktion hinweist (ebd:82). Der b^* -Wert steigt ebenfalls durch die Lufttrocknung (ebd:83).

Berechnet wird die Farbveränderung während der Trocknung über die Total Colour Difference (TCD) (siehe Formel 1).

5.2 Material und Methoden

Bei dem für die vorliegende Arbeit durchgeführten Versuch wurde Hopfen der Sorte Mandarina Bavaria verwendet. Dieser wurde morgens frisch geerntet, im Hopfenforschungszentrum Hüll maschinell gepflückt und anschließend im Versuchslabor untersucht.

Bei dem Versuch sollte frischer und gelagerter Hopfen untersucht werden. Für den gelagerten Hopfen wurden jeweils 2kg Hopfen ausgewogen, in Plastiktüten gefüllt und anschließend für 5 und für 24 Stunden in einen Raum mit ca. 25°C Raumtemperatur gelagert. Diese Lagerung soll die Silolagerung von Grünhopfen imitieren. Gepflückter Hopfen wird so lange in einem Silo gelagert, bis die Trocknungshorde befüllt werden kann (Wolf Anlagentechnik 2018).

Um zu untersuchen, ob es Unterschiede in der Zusammensetzung des Hopfenöls zwischen frischem und gefrorenem Hopfen gibt, wurden Proben tiefgefroren.

Für die Trocknung von frischem Hopfen wurde 2kg ausgewogen und in die Trocknungsbehälter gefüllt. Diese waren aus Edelstahl und hatten einen Boden aus Lochblech. Für die Trocknung wurde dieser auf das Trocknungsaggregat gestellt. Es standen Trockner der Firma Heindl zur Verfügung.

Diese hatten folgende technische Daten:

- Umdrehungen pro Minute: 2500
- Luftdurchsatz l/sec: 48,7
- Max. Umgebungstemperatur: 40°C

Die Raumtemperatur im Labor hatte eine minimale Temperatur von 19,9°C (am Vormittag) und eine maximale Temperatur von 28,1°C (am Mittag). Die Luftfeuchte schwankte von 45%rF (Vormittag) bis 75%rF (am Mittag).

Bei den Versuchen wurde eine Trocknungstemperatur von 65°C gewählt, da diese der optimalen Trocknungstemperatur von Hopfen entspricht. Die Temperatur konnte am Gerät eingestellt werden.

Während der Trocknungsvorgänge wurde die Temperatur und die Feuchte von Datenloggern aufgezeichnet. Es befand sich jeweils ein Logger auf dem Trocknungsgut, ein anderer hing frei unter dem Trocknungsbehälter im Luftstrom. Es wurden Datenlogger '174H' der Firma Testo verwendet. Diese hatten folgende technische Daten:

Temperatur:

- Messbereich: -20°C bis +70°C
- Genauigkeit: ±0,5°C
- Auflösung: 0,1°C

Feuchtigkeit:

- Messbereich: 0%rF bis 100%rF
- Genauigkeit: ±3%rF (2 bis 98%rF)
- Auflösung: 0,1%rF

(Testo 2018)

Die Aufteilung der Datenlogger war wie folgt:

Tabelle 4: Aufteilung der Datenlogger

Trockner	unten	oben
Trockner 1	Logger 6	Logger 3
Trockner 2	Logger 4	Logger 56
Trockner 3	Logger 2	Logger 1

Getrocknet wurde frischer und gelagerter Hopfen für 210 Minuten. Es wurden 3 Wiederholungen durchgeführt.

Während der Trocknung wurde der Hopfen nach 90 und nach 150 Minuten Trocknungszeit gewendet, um das Kippen der Horden und die damit verbundene Durchmischung zu imitieren.

War ein Trocknungsdurchgang beendet, wurde das Gewicht und die Temperatur notiert. Anschließend wurden folgende Proben für die Weiterverwendung genommen:

1. Einfrieren
2. Trockenschrank
3. Farbveränderungen
4. Destillation von ätherischem Öl

1. Einfrieren

Um mögliche Qualitätsunterschiede zwischen eingefrorenem und nicht gefrorenem Hopfen zu untersuchen, wurden nach der Trocknung Proben genommen (frisch und gelagert), diese bei 130mbar einvakuumiert und bei -21°C tiefgefroren.

2. Trockenschrank

Um die Wassergehaltsentwicklungen während der Trocknung darstellen zu können, wurden die Thermogravimetrische Methode gewählt. Mit dieser Methode kann der Anfangs- und der Endfeuchtegehalt biologischer Güter bestimmt werden (Gehrmann et al. 2009:25).

Dafür wurden bei 0, 20, 40, 60, 90, 150 und 210 Minuten Trocknungszeit Proben aus den Kleintrocknern genommen.

Diese wurden zunächst in einer Moulinex Küchenmaschine gehäckselt. Für das Auswiegen wurde eine Laborwaage verwendet, die auf 5 Nachkommastellen in Gramm genau war.

Da alle verwendeten Glastiegel ein unterschiedliches Gewicht hatten, wurden zunächst alle Glastiegel gewogen und anschließend das Gewicht notiert. Jeder Glastiegel bekam eine Nummer, die einer Probenbezeichnung zugeordnet wurde.

Anschließend wurde tariert und 4g des gehäckselten Hopfens ausgewogen. Auf diese Weise wurden pro Wiederholung, frisch und gelagert, jeweils 7 Proben (0,20,40,60,90,150,210min) gewogen. Diese Proben lagen anschließend bei 105°C für 24 Stunden im Trockenschrank. Nach Ende der Trocknung wurden die Proben erneut gewogen. Aus der Differenz der Einwaage vor der Trocknung und nach der Trocknung lässt sich die Masse des verdunsteten Wassers berechnen (Gehrmann et al. 2009).

Bei den eingefrorenen Proben wurde nicht die Trockenschrankmethode gewählt, da sich der Trockensubstanzgehalt im Vergleich zur frischen Probe nichts ändert.

3. Farbveränderungen

Um die Farbveränderungen des Hopfens während der Trocknung aufzunehmen, wurden von allen Varianten Proben vor der Trocknung (0 min) und nach Trocknungsende (210 min) aus dem Trocknungsbehälter genommen und anschließend in einer schwarzen Fotobox mit Innenbeleuchtung und einheitlichen Lichtverhältnissen fotografiert. Es wurde die Kamera 61BUC02 (The Imaging Source Europe GmbH) genutzt, die oben in die Fotobox eingesetzt war. Die Kalibrierung der Kamera erfolgte mit dem Farbmessgerät CR-400 (Konica Minolta Business Solutions Deutschland GmbH). Dafür wurden die farbmetrischen Daten von jedem Patch des 24 Patch Colour Checker Chart (X-Rite Pantone) aufgenommen. Mit Hilfe einer polynominalen Funktion konnten aus den gemessenen RGB-Werten XYZ-Koordinaten berechnet werden. Diese berechneten XYZ-Werte wurden anschließend in CIELAB (Lab-Werte definiert von der CIE) Koordinaten umgerechnet (Crichton et al. 2016:3). Wenn das Farbmessgerät über einen längeren Zeitraum benutzt wird, reagiert das Gerät auf Veränderungen der Umwelt. Um genaue Messungen zu erhalten, wurde regelmäßig eine Kalibration auf dem weißen Patch durchgeführt (Konica Minolta 2013:36). Aus den CIELAB-Werten konnten die Farbveränderungen mit Hilfe der Total Colour Difference (TCD) berechnet werden:

Formel 1: $TCD = \Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]$

4. Destillation von ätherischem Öl

Um das ätherische Öl später im Gaschromatograph untersuchen zu können, muss dieses zunächst durch den Vorgang der Wasserdampfdestillation aus dem Hopfen extrahiert werden. Es wurden folgende 10 Probenvarianten in 3 Wiederholungen destilliert:

1. FRISCH (vor der Trocknung)
2. FRISCH (nach der Trocknung)
3. FRISCH/GEFROREN (vor der Trocknung)
4. FRISCH/GEFROREN (nach der Trocknung)
5. GELAGERT (vor der Trocknung)
6. GELAGERT (nach der Trocknung)
7. GELAGERT/GEFROREN (vor der Trocknung)
8. GELAGERT/GEFROREN (nach der Trocknung)
9. EXTRA LANGE GELAGERT (vor der Trocknung)
10. EXTRA LANGE GELAGERT (nach der Trocknung)

Für die Destillation musste zunächst die Menge an Hopfen berechnet werden, die destilliert werden sollte. Da keine genauen Feuchtegehalte des Hopfens zur Verfügung standen, wurde von einem Feuchtegehalt des Grünhopfens von 80% ausgegangen. Daraus ergibt sich bei

einer Einwaage von 2kg eine Trockensubstanz (TS) von 400g (TS_{Einwaage}). Nach Ende der Trocknungszeit wurde das Gewicht des Hopfens notiert. Anhand dieser Masse (m) ließ sich der Feuchtegehalt wie folgt berechnen:

Formel 2: Feuchtegehalt (F) [%] = $((m[\text{g}] - TS_{\text{Einwaage}}[\text{g}]) / m[\text{g}]) * 100$

Formel 3: $TS_{\text{Probe}}[\text{g}] = 100 - F[\%]$

Aus der Erfahrung der Labormitarbeiterin im Hopfenforschungszentrum hat sich eine Einwaage von 18g TS für die Destillation bewährt. Die Menge des Hopfens zur Einwaage lässt sich nun wie folgt berechnen:

Formel 4: Masse Einwaage [g] = $(\frac{18\text{g}}{TS_{\text{der Probe}}[\text{g}]}) * 100$

Die berechnete Menge an Hopfen wurde abgewogen und in der Moulinex Küchenmaschine zerkleinert. Anschließend wurde der Hopfen in einen Rundkolben (500ml) gegeben, mit destilliertem Wasser aufgefüllt und an die Destillationsapparatur angeschlossen. Diese bestand aus einem Rundkolben (500ml), einem Heizpilz mit Temperaturregulierung, Stativ und der Apparatur zur Gehaltsbestimmung des ätherischen Öls (vgl. Abbildung 10,11).

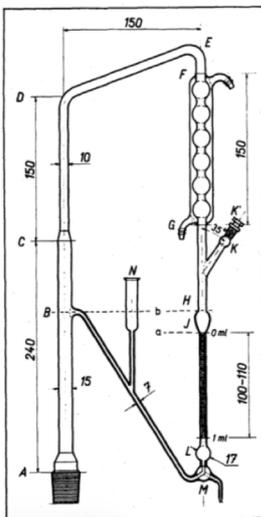


Abbildung 10: Destillationsapparatur für ätherisches Öl

(Axel Pfannkuche 2000:23)

- A= Verbindung zum Rundkolben
- B= Verbindungsstelle
- C, D, E= Steigrohr
- F= Kondensator
- G= Anschluss für Wasserkühlung
- K= Druckausgleichstopfen
- J-L= Messrohr mit Graduierung
- M= Dreiweghahn
- N= Füllstutzen



Abbildung 11: Versuchsapparatur

(privates Foto)

Von Beginn des Kochvorgangs bis Ende der Destillation dauerte der Vorgang 2 Stunden. Der aufsteigende Dampf wird durch ein wassergekühltes Rohr (Kondensator) geleitet und kondensiert dort. Das Kondenswasser, auch Hydrolat genannt, wird aufgefangen. Durch die

geringere Dichte des ätherischen Öls schwimmt dieses oben und kann mit Hilfe eines Abscheiders in kleine Kolben ausgelassen werden (Asche & Hoppe 2010:294).

Zuvor wurde die Ölmenge an der Apparatur abgelesen und zur späteren Auswertung notiert. Vorhandenes Restöl wurde mit n-Hexan aus der Apparatur herausgespült. Anschließend kam 1ml Tridecan (1g/100ml) hinzu und die Lösung wurde mit n-Hexan auf 5ml aufgefüllt. Um vorhandenes Wasser zu binden, wurde wasserfreies Natriumsulfat zur Lösung gegeben. Dieses Gemisch musste im Kühlschrank gelagert werden, bis es in die Gaschromatographie kam.

Gaschromatographie

Die Aufschlüsselung der Ölkomponenten erfolgte durch Gaschromatographie. Als Vorbereitung für die Gaschromatographie (GC) wurde das ätherische Öl mit Standard in eine Rollrandflasche titriert und mit einem speziellen Verschluss verschlossen.

Die Untersuchung wurde mit dem Gerät Dani GC mit FID (DANI Instruments SpA) durchgeführt. Das Temperaturprogramm lief wie folgt ab:

- 60°C (5 Min.)
- 1°C/Min. bis 75°C,
- 2°C/Min. bis 150°C
- 1°C/Min. bis 160°C
- 4°C/Min. bis 230°C
- 230°C (5 Min.)

Die Injektortemperatur und die Detektortemperatur betragen 200°C. Als Trägergas wurde Helium 5.0 genutzt, mit einem Trägergasfluss von 1,2ml/Min. Der Gasstrom wurde im Verhältnis 1:25 geteilt (Split). Die genutzte Säule war 60 m x 0,25 mm, Polyethylen Glycol und fused silica cross bonded von der Firma Macherey und Nagel. Die Kalibrierkurve des Tridecan wird in Abbildung 12 dargestellt.

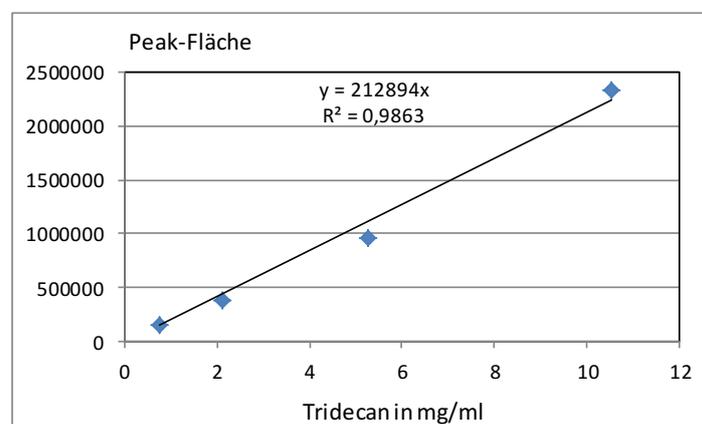


Abbildung 12: Kalibrierkurve Tridecan

Anpassungen

Für die Darstellung der Ölgehalte in ml/100g Hopfen musste die Trockensubstanz angepasst werden, da bei der Berechnung der Einwaage von einem Trockensubstanzgehalt von 18g (siehe Formel 3) ausgegangen wurde. Die Anpassung der Trockensubstanz war möglich, da die Wassergehalte der Proben durch die Ofentrocknung ermittelt waren.

Daraus ergibt sich:

Formel 5:

$$\text{Angepasste Trockensubstanz (aTS)[g]} = (\text{Einwaage[g]} \cdot (100 - \text{Anfangsfeuchte[\%]})) / 100$$

Mit dieser angepassten Trockensubstanz lässt sich der Ölgehalt in ml/100g Hopfen umrechnen:

$$\text{Formel 6: Ölgehalt [ml/100g Hopfen]} = (100 \cdot \text{Ölgehalt[ml]}) / \text{aTS[g]}$$

Streuung

Um die Streuung der Ergebnisse von Ölmenge und Ölkomponenten darzustellen, wurde die Standardabweichung (s) und der Variationskoeffizient (Vk) berechnet. Der Variationskoeffizient ist ein maßstabsunabhängiges Streuungsmaß an, das zum Vergleich unterschiedlicher Streuungen hilfreich ist.

$$\text{Formel 7: } s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{Formel 8: } s = \sqrt{s^2}$$

$$\text{Formel 9: } \text{Vk [\%]} = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) \cdot 100, \bar{x} > 0$$

(Aberl 2016:85)

5.3 Versuchsergebnisse

In diesem Kapitel werden die Versuchsergebnisse des Trocknungsverlaufes, der Ölmenge, der Ölkomponenten, und der Farbveränderungen dargestellt.

5.3.1 Trocknungsverlauf

Die Trocknungstemperatur wurde an den Kleintrocknern auf 65°C eingestellt und durch Datenlogger aufgezeichnet. Eine einheitliche Trocknungstemperatur in allen Trocknern war wichtig, um die Vergleichbarkeit aller Proben zu gewährleisten. Alle Logger, außer Logger56 zeigen sehr ähnliche Aufzeichnungen. Die Daten von Logger3_oben und Logger6_unten (vgl. Abbildung 13,14) stammten von Trockner 1 und zeigen repräsentative Ausschnitte des Trocknungsverlaufes (Trocknungsverläufe der anderen Trockner: siehe Anhang). Beim unteren Logger 6 (vgl. Abbildung 14) stieg die Temperatur nach Befüllen schnell an und

entsprechend sank die Feuchtigkeit schnell ab. Die maximale Temperatur lag bei knapp über 60°C. Beim oberen Logger 3 (vgl. Abbildung 13) steigt die Temperatur nach Befüllen langsamer, als bei Logger 6. Entsprechend sank auch die Feuchte langsamer. Die aufgezeichneten maximalen Temperaturen lagen knapp unter 70°C.

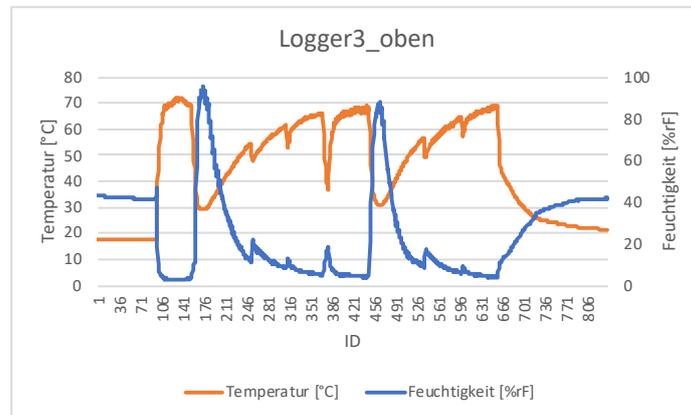


Abbildung 13: Logger 3 oben

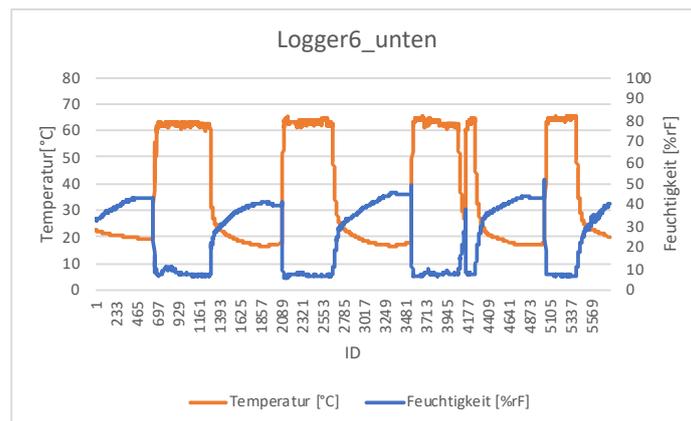


Abbildung 14: Logger 6 unten

Ofentrocknung

Die Methode der Ofentrocknung, bei 105°C über 24 Stunden, wurde gewählt, um die Start- und Endfeuchtegehalte zu ermitteln und den Trocknungsverlauf darstellen zu können.

Da sich die Verläufe bei den 3 Wiederholungen sehr stark ähnelten, wurde ein Durchschnittsverlauf berechnet.

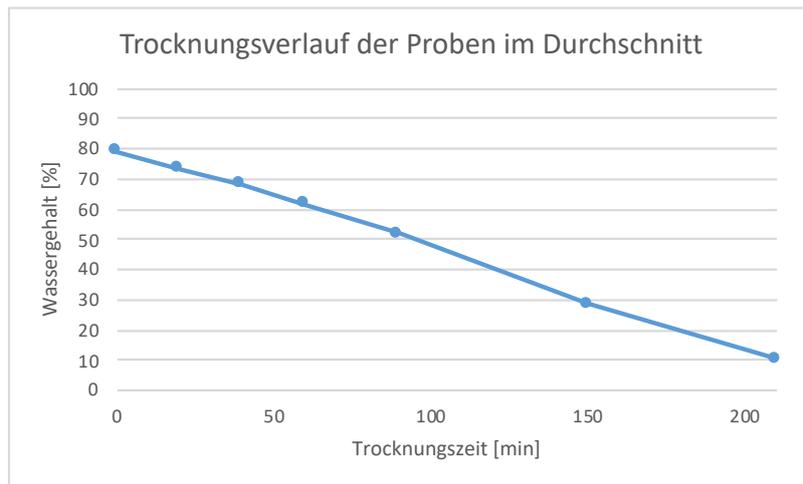


Abbildung 15: Durchschnittlicher Trocknungsverlauf bei der Ofentrocknung

Der Trocknungsverlauf zeigt ein gleichmäßiges Sinken der Feuchtegehalte. Bei Trocknungsbeginn liegt der Wassergehalt im Durchschnitt bei ~80% und nach 210min Trocknungszeit bei ~10% (vgl. Abbildung 15). In Tabelle 5 werden die Anfangs- und Endfeuchtegehalte aller Proben dargestellt.

Tabelle 5: Wassergehalte [%] im Trocknungsverlauf

Trocknungszeit [min]	1 Frisch	1 Gelagert	2 Frisch	2 Gelagert	3 Frisch	3 Gelagert	Durchschnitt	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
0	81,5	80,75	80	78,75	77,75	76,25	79,17	1,80	2,27
20	77,5	74,5	74,5	74,25	69,25	70	73,33	2,85	3,89
40	71	69,25	71,25	68,75	65,75	64,25	68,38	2,58	3,77
60	60	62,75	62,75	64,5	58,5	61,5	61,67	1,97	3,19
90	57,5	51,25	54,75	57	45	45	51,75	5,18	10,01
150	26	31	35,5	32	22,75	25,25	28,75	4,42	15,36
210	15,5	12	9,25	7	10	9	10,46	2,69	25,76

5.3.2 Ölmenge

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Ölmenge dargestellt. Die Menge an ätherischem Öl konnte nach Abschluss des Destillationsvorgangs an der Versuchsanlage abgelesen werden.

Die Ergebnisse des Versuchs stammen aus 3 Wiederholungen. Bei der durchschnittlichen Ölmenge wurden die Durchschnittswerte der 3 Wiederholungen genommen (vgl. Tabelle 6). Alle zu trocknenden Proben wurden frisch (0 Minuten Trocknungszeit) in den Trockner gefüllt und 210 Minuten getrocknet. Bei dem 24 Stunden gelagertem Hopfen war ein stark unangenehmer Geruch wahrzunehmen.

Tabelle 6: Durchschnittliche Ölmenge [ml/100g Hopfen]

Probenbezeichnung	Ölmenge [ml/100g Hopfen]	Ölverluste durch Trocknung [%]	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Frisch 0min	2,50		0,11	4,34
Frisch 210min	2,04	18,31	0,43	21,24
Frisch/gefroren 0min	2,57		0,13	4,89
Frisch/gefroren 210min	2,28	8,70	0,10	4,37
Gelagert 0min	2,39		0,16	6,81
Gelagert 210min	2,29	3,84	0,15	6,61
Gelagert/gefroren 0min	2,33		0,08	3,32
Gelagert/gefroren 210min	2,35	1,54	0,17	7,43
Extra lange gelagert 0min	2,53		0,05	2,11
Extra lange gelagert 210min	2,86	-12,70	0,03	1,00

Vor der Trocknung:

Es ist erkennbar, dass zum Beginn der Trocknung die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN den höchsten Ölgehalt hatten. Die FRISCHEN PROBEN lagen nur geringfügig darunter. Die GELAGERTEN PROBEN hatten zum Trocknungsbeginn den niedrigsten Ölgehalt. Eine Veränderung des Ölgehalts durch Einfrieren der FRISCHEN bzw. GELAGERTEN PROBEN war nicht klar erkennbar.

Nach der Trocknung:

Bei den getrockneten Proben zeigte sich, dass der Ölgehalt der EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN mit 12,7% deutlich anstieg. Die FRISCHEN PROBEN hatten mit 18,31% den höchsten Trocknungsverlust, gefolgt von FRISCH/GEFROREN mit 8,7% (vgl. Tabelle 5). Bei den GELAGERTEN und GELAGERT/GEFRORENEN PROBEN sank der Ölgehalt nur sehr gering.

Der Ölverlust durch die Trocknung war generell bei den GEFRORENEN PROBEN geringer, als bei den FRISCHEN bzw. GELAGERTEN PROBEN.

5.3.3 Ölkomponenten

Die Ölkomponenten konnten durch die Gaschromatographie aufgeschlüsselt und die Menge von Linalool, Myrcen, Geraniol, β -Caryophyllen und Humulen ermittelt werden. Die Ergebnisse des Versuchs stammen aus 3 Wiederholungen. Bei der durchschnittlichen Ölmenge wurden die Durchschnittswerte der 3 Wiederholungen genommen. Die Anteile der Ölkomponenten am Gesamtölgehalt zum Beginn der Trocknung waren sehr unterschiedlich (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Durchschnittlicher Gehalt der Ölkomponenten zu Beginn der Trocknung

Ölkomponente	mg/100g Hopfen
Myrcen	800,33
Humulen	156,67
β -Caryophyllen	61,74
Geraniol	12,76
Linalool	6,49

Folgend werden die einzelnen ÖlkompONENTEN der FRISCHEN, unterschiedlich lange GELAGERTEN bzw. GEFRORENEN PROBEN, zum Beginn und nach der Trocknung beschrieben. Die Grundlage dafür sind die Versuchsdaten aus Tabelle 8. Am Ende des Kapitels folgt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse.

Tabelle 8: Menge der einzelnen ÖlkompONENTEN [mg/100g Hopfen]

Probenzustand	Trocknungszeit [min]	Durchschnittswerte [mg/100g Hopfen]				
		Myrcen	Linalool	β-Caryophyllen	Humulen	Geraniol
Frisch	0	1040,89	4,94	36,44	103,54	10,20
	210	643,61	4,53	31,01	90,94	7,73
	Differenz [%]	38,17	8,28	14,89	12,17	24,22
Standardabweichung	0	157,62	0,73	3,68	8,37	0,63
	210	122,34	0,60	2,05	4,58	1,02
Variationskoeffizient [%]	0	15,14	14,76	10,11	8,08	6,13
	210	19,01	13,32	6,62	5,03	13,19
Gelagert	0	859,93	6,36	50,60	130,79	11,03
	210	845,99	6,47	40,51	117,77	10,28
	Differenz [%]	1,62	-1,85	19,95	9,96	6,75
Standardabweichung	0	84,31	1,14	13,65	17,97	2,84
	210	100,80	1,29	3,34	9,47	2,80
Variationskoeffizient [%]	0	9,80	18,01	26,97	13,74	25,78
	210	11,91	19,92	8,26	8,04	27,18
Frisch/gefroren	0	662,27	6,96	70,45	170,54	14,43
	210	532,36	6,39	56,46	139,69	11,81
	Differenz [%]	19,62	8,20	19,85	18,09	18,15
Standardabweichung	0	278,68	1,16	26,12	50,12	5,80
	210	192,35	1,34	15,18	31,47	3,69
Variationskoeffizient [%]	0	42,08	16,65	37,08	29,39	40,21
	210	36,13	20,96	26,88	22,53	31,28
Gelagert/gefroren	0	687,04	6,18	78,97	197,72	12,03
	210	568,75	6,86	59,31	147,56	11,42
	Differenz [%]	17,22	-10,90	24,91	25,37	5,05
Standardabweichung	0	191,13	0,39	22,59	41,68	2,84
	210	166,83	0,43	9,30	10,28	1,04
Variationskoeffizient [%]	0	27,82	6,33	28,60	21,08	23,63
	210	29,33	6,32	15,68	6,97	9,06
Extra lange gelagert	0	751,51	8,03	72,25	180,77	16,10
	210	449,25	8,71	93,23	209,90	22,42
	Differenz [%]	40,22	-8,50	-29,02	-16,12	-39,30
Standardabweichung	0	217,88	0,55	20,19	34,49	3,13
	210	82,16	1,61	4,18	10,58	1,88
Variationskoeffizient [%]	0	28,99	6,87	27,94	19,08	19,44
	210	18,29	18,42	4,48	5,04	8,39

Myrcen

Vor der Trocknung:

Der Myrcen Gehalt war bei den FRISCHEN PROBEN mit 1040,89mg/100g Hopfen am höchsten. Die GELAGERTEN PROBEN lagen mit 859,93mg/100g Hopfen nur wenig darunter, gefolgt von den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN. Die beiden GEFROREN PROBEN hatten die niedrigsten Myrcen Gehalte mit ~675 mg/100g Hopfen.

Nach der Trocknung:

Der Gehalt an Myrcen sank bei allen Proben während der Trocknung. Die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN hatte mit 40,22% den größten Trocknungsverlust, gefolgt von den FRISCHEN PROBEN mit 38,17%. Die Abnahmen bei den GELAGERT/GEFRORENEN und FRISCH/GEFRORENEN PROBEN lagen beide bei ~18%. Am geringsten war die Veränderung bei den GELAGERTEN PROBEN, mit Trocknungsverlusten von 1,62%.

Linalool

Vor der Trocknung:

Zu Beginn der Trocknung hatten die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN mit 8,03mg/100g Hopfen den höchsten Gehalt. Die GELAGERT/GEFRORENEN, FRISCH/GEFRORENEN PROBEN und GELAGERTEN PROBEN lagen mit Linalool Gehalten zwischen 6,18 und 6,96mg/100g Hopfen nah beieinander. Die FRISCHEN PROBEN enthielten mit 4,94mg/100g Hopfen am wenigsten Linalool.

Nach der Trocknung:

Nach der Trocknung sank der Gehalt bei den FRISCHEN und den FRISCH/GEFRORENEN PROBEN um ca. 8,2%. Bei den GELAGERTEN, GELAGERT/GEFRORENEN und den EXTRA LANGEN GELAGERTEN PROBEN stieg der Linalool Gehalt an. Die größte Steigerung mit 10,9% war bei den GELAGERT/GEFRORENEN PROBEN zu beobachten.

β -Caryophyllen

Vor der Trocknung:

Zu Beginn der Trocknung hatten die GELAGERTEN/GEFRORENEN PROBEN mit 78,97mg/100g Hopfen den höchsten Gehalt an β -Caryophyllen. Die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN und die FRISCH/GEFRORENEN PROBEN lagen nur wenig darunter. Es folgten die GELAGERTEN PROBEN und die FRISCHEN PROBEN, die mit 36,44mg/100g Hopfen den geringsten Anteilen an β -Caryophyllen hatten.

Nach der Trocknung:

Durch die Trocknung war bei allen Proben ein durchschnittlicher Verlust an β -Caryophyllen von ~20% zu beobachten, außer bei den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN. Dort stieg der Gehalt an β -Caryophyllen um 16,12% an.

Humulen

Vor der Trocknung

Die Entwicklung des Humulen war dem β -Caryophyllen sehr ähnlich. Auch hier hatten die GELAGERT/GEFRORENEN PROBEN mit 197,72mg/100g Hopfen den höchsten Gehalt. Es folgten absteigend die EXTRA LANGE GELAGERTEN, FRISCH/GELAGERTEN, GELAGERTEN und die FRISCHEN PROBEN mit dem niedrigsten Humulen Gehalt von 103,54mg/100g Hopfen.

Nach der Trocknung:

Durch die Trocknung stieg der Anteil an Humulen in den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN um durchschnittlich 16,12% an. Bei allen anderen Proben kam es durch die Trocknung zu Verlusten zwischen 9,96% (GELAGERT) und 25,37% (GELAGERT/GEFROREN). Die Verluste bei den gefrorenen Proben waren höher als bei den nicht gefrorenen Proben.

Geraniol

Vor der Trocknung:

In ungetrocknetem Zustand hatten die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN mit 16,1mg/100g Hopfen den höchsten Geraniol Gehalt. Es folgten (absteigend) FRISCH/GEFROREN, GELAGERT/GEFROREN, GELAGERT und FRISCH mit dem niedrigsten Gehalt von 10,2mg/100g Hopfen.

Nach der Trocknung:

Es war zu beobachten, dass durch die Trocknung der Gehalt der EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN um 39,3% anstieg, während er bei den anderen Proben sank. Die FRISCHEN PROBEN hatten mit 24,22% Trocknungsverlusten den geringsten Geraniol Anteil, gefolgt von FRISCH/GEFROREN mit geringeren Verlusten von 18,15%. Die Trocknungsverluste bei GELAGERT und GELAGERT/GEFROREN lagen mit ~6% weit darunter.

Zusammenfassend zeigte sich, dass es nur bei Myrcen zu Verlusten vor der Trocknung durch Einfrieren bzw. Lagern des Hopfens gekommen war. Bei allen anderen untersuchten Ölkompontenten stiegen die Gehalte in den GELAGERTEN bzw. GEFRORENEN PROBEN an. Besonders große Steigerungen konnte durch eine Lagerung von 24 Stunden (EXTRA LANGE GELAGERT) erreicht werden. Die Schlüsselkomponente Linalool konnte auf diese Weise um 38,49% erhöht werden.

Durch die Trocknung kam es Großteils zu Verlusten der beschriebenen Ölkompontenten. Eine Ausnahme nahmen die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN ein. Bei diesen konnte durch Trocknung nochmals eine Steigerung der Ölkompontenten Linalool, β -Caryophyllen, Humulen und Geraniol beobachtet werden.

5.3.4 Farbveränderungen

Bei den einzelnen Farbparametern (L^* , a^* , b^*) kam es zu sehr geringen Veränderungen durch Lagerung bzw. Trocknung (vgl. Tabelle 9,10,11). Dementsprechend klein fielen die Werten der Farbveränderungen, berechnet über die Total Color Difference (TCD), aus. Die TCD gab die Farbveränderungen im Vergleich zu frischem Hopfen an (vgl. Tabelle 12).

Bezeichnung der dargestellten Parameter:

L^* : Lightness

a^* : Redness-greenness

b^* : Yellowness-blueness

ΔE : Total Color Difference (siehe Formel 4)

Tabelle 9: Ergebnisse Helligkeit (L^)*

Probe	Trocknungszeit [min]	L^*	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Frisch	0	19,46	0,65	0,03
Frisch	210	20,03	0,79	0,04
Gelagert	0	20,08	1,76	0,09
Gelagert	210	19,68	0,17	0,01
Extra lange gelagert	0	21,82	0,38	0,02
Extra lange gelagert	210	20,22	0,68	0,03

Tabelle 10: Ergebnisse a^ Wert*

Probe	Trocknungszeit [min]	a^*	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Frisch	0	16,03	0,48	0,03
Frisch	210	23,11	1,25	0,05
Gelagert	0	23,48	2,14	0,09
Gelagert	210	22,38	0,53	0,02
Extra lange gelagert	0	25,48	0,35	0,01
Extra lange gelagert	210	22,29	0,91	0,04

Tabelle 11: Ergebnisse b^ Wert*

Probe	Trocknungszeit [min]	b^*	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Frisch	0	6,41	0,14	0,02
Frisch	210	6,66	0,26	0,04
Gelagert	0	6,24	0,43	0,07
Gelagert	210	6,63	0,20	0,03
Extra lange gelagert	0	6,79	0,09	0,01
Extra lange gelagert	210	6,65	0,08	0,01

Tabelle 12: Ergebnisse Total Color Difference (ΔE)

Probe	Trocknungszeit [min]	ΔE	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]
Frisch	0	0	0,00	0,00
Frisch	210	1,79	0,55	0,31
Gelagert	0	2,64	1,40	0,53
Gelagert	210	1,44	0,22	0,15
Extra lange gelagert	0	3,42	0,24	0,07
Extra lange gelagert	210	2,07	0,19	0,09

Die Ergebnisse zeigen, dass die Farbveränderungen vor der Trocknung stiegen, je länger die Proben gelagert wurden. Nach der Trocknung gab es keine klare Entwicklungslinie. Die Farbveränderungen waren geringer, im Vergleich zu den FRISCHEN PROBEN, der jeweiligen Lagervariante. Die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN zeigten auch nach der Trocknung die größten Farbveränderungen, im Vergleich zum frischen Zustand.

6 Diskussion

Zu Beginn des Versuches gestaltete sich die Einstellung der Kleintrockner zunächst schwierig. Die eingestellte Temperatur lag bei allen Trocknern bei 65°C, um einheitliche Trocknungsbedingungen herzustellen. Um die Temperatur im Trockner überprüfen zu können, zeichneten Datenlogger Temperatur und Feuchte im Trockner auf. Die Ergebnisse zeigen ein periodisches Steigen bzw. Sinken der Temperatur. Beim Abfallen der Temperatur und Steigen der Feuchte wurde der Trockner neu befüllt und der neu eingefüllte Hopfen musste zunächst auf 65°C erhitzt werden. Aus den Loggerdaten ist ersichtlich, dass die Temperaturen unter dem Trocknungsgut unter 65°C und über dem Trocknungsgut über 65°C lagen. Die höheren Temperaturen über dem Hopfen sind wahrscheinlich auf die stetige Erhitzung des Hopfens zurückzuführen. Die Daten von Logger56 konnten nicht zur Auswertung genutzt werden, da diese sehr stark von den anderen Loggern abwichen (siehe Anhang). Für eine genauere Bestimmung der Trocknungstemperatur wäre die Messung der Oberflächentemperatur von Hopfen während der Trocknung empfehlenswert.

6.1 Ölgehalt

Der bei den Versuchen gemessene durchschnittliche Ölgehalt ist höher, als in der Literatur beschrieben. Es werden für Mandarina Bavaria Ölgehalte von 1,5 bis 2,1 ml/100g Hopfen angegeben (Lutz et al. 2015). Bei dem Versuch, der dieser Arbeit zu Grunde liegt, lag der durchschnittliche Ölgehalt der Sorte Mandarina Bavaria bei 2,46 ml/100g Hopfen.

Die Ölmenge dieser Hopfensorte ist stark abhängig vom Erntezeitraum. In Untersuchungen wurde gezeigt, dass bei späten Ernteterminen deutlich höhere Ölgehalte nachgewiesen werden können (Kammhuber 2018:19).

Der Hopfen für den Versuch wurde vom 21.9.2017-25.9.2017 geerntet und entspricht damit einem späten Erntetermin. Es ist zu vermuten, dass der Ölgehalt aufgrund der späten Ernte vom Literaturwert abweicht.

In den Ergebnissen ist erkennbar, dass sich der Ölgehalt der GELAGERTEN PROBEN bereits vor der Trocknung von den FRISCHEN PROBEN unterschied. Durch eine Lagerung von 24 Stunden erhöhte sich der Ölgehalt vor der Trocknung, im Vergleich zu den FRISCHEN PROBEN. Bei der 5 Stunden gelagerten Variante ist der Ölgehalt jedoch geringer. Der Gehalt von Hopfenöl kann durch eine gezielte Lagerung verändert werden. Diese Tatsache ist für die Praxis relevant in Bezug auf die Zwischenlagerung des Hopfens im Grünhopfensilo. Es ist wahrscheinlich, dass es auch durch eine Lagerung im Silo zu Veränderungen der Ölgehalte kommen kann. Die durch Lagerung veränderten Ölgehalte schließen auf Ab- und Umbauprozesse. Auch das starke Ansteigen der Ölgehalte der EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN durch die Trocknung ist möglicherweise auf Ab- und Umbauprozesse der Öle während der Trocknung zurückzuführen. Wilhelm beschreibt in seiner Dissertation, dass es während des Brauvorgangs zu Umwandlungen und Bildung von Aromastoffen durch Enzyme und durch Aufspaltung von Glykosiden kommt (Wilhelm 2013:38). Womöglich finden diese Prozesse auch während der Lagerung von Grünhopfen statt und werden in der Trocknung fortgesetzt.

Trocknung bewirkt generell einen großen Verlust des flüchtigen Hopfenöls. Je nach Trocknungstemperatur kann es zu 30-40% Verlusten kommen (Aberl 2016:20). Im dargestellten Versuch kam es bei den FRISCHEN PROBEN zu einem geringeren durchschnittlichen Verlust von 18,3% und zu einem Anstieg von 12,7% bei den EXTRA LANG GELAGERTEN PROBEN. Welche Prozesse an dieser Erhöhung der Ölgehalte beteiligt waren, konnte nicht geklärt werden.

In den Ergebnissen ist erkennbar, dass das Einfrieren von Hopfen keine Auswirkungen auf den Ölgehalt vor der Trocknung hat. Lediglich die Veränderungen durch die Trocknung sind bei den GEFRORENEN PROBEN geringer, als bei den nicht GEFRORENEN. Welche Prozesse dafür verantwortlich sind, konnte nicht geklärt werden. In einer Publikation geht Ihloff auf die Entwicklung des ätherischen Öls von Dill ein (*Anethum graveolens*). Er beschreibt, dass auch nach dem Wiederauftauen die katalytische Aktivität der Fermentation erhalten bleibt und den Gehalt und die Zusammensetzung von ätherischem Öl verändern kann (Ihloff 1956:129). Es wäre zu untersuchen, ob diese Vorgänge auch bei aufgetautem Hopfen stattfinden.

Im Hopfenforschungszentrum Hüll werden die meisten Hopfenproben während der Erntezeit zunächst tiefgefroren, um genügend Zeit für die Analysen der Proben zu haben. Die Versuchsergebnisse zeigten, dass das Gefrieren die Hopfenöle veränderte. Somit kann nicht immer davon ausgegangen werden, dass gefrorene Proben frischen Proben entsprechen. Es wäre sinnvoll diese Thematik näher zu untersuchen, um möglichst genaue Versuchsergebnisse zu erhalten.

6.2 Ölkomponenten

Die Ölkomponenten werden durch Trocknung beeinflusst. Generell wird angegeben, dass es bei der Hopfentrocknung zu Verlusten von 30-40% des Hopfenöls kommt. Aberl beschreibt in ihrer Dissertation, dass die Verluste vor allem bei den leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen (Myrcen, Linalool, Geraniol) und den oxidierten Verbindungen zu verzeichnen sind. Bei den Sesquiterpenen (Humulen, β -Caryophyllen) seien die Verluste geringer (Aberl 2016:20). Dies trifft im Versuch bei den FRISCHEN PROBEN, mit Ausnahme bei Linalool, zu.

Bei den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN konnte ein unangenehmes Aroma wahrgenommen werden. Es ist bekannt, dass getrockneter Hopfen, der lange gelagert wurde, hohe Gehalte an 2-Methylpropionsäure, 2-Methylbuttersäure und 3-Methylbuttersäure enthalten kann, die mit einem käsigen Aroma in Verbindung gebracht werden (Kaltner 2000:9). Womöglich finden diese Entwicklungen nicht nur bei der Lagerung von getrocknetem Hopfen, sondern auch bei der Lagerung von frischem Hopfen statt.

Bei späten Ernteterminen Ende September konnten, im Vergleich zu früheren Ernteterminen, erhöhte Dimethyldisulfid-Gehalte gemessen werden. Dieser Schwefelverbindung wird ein zwiebeliges, gummi-artiges Aroma zugewiesen (Kammhuber 2018:24,28).

Da der im Versuch verwendete Hopfen zu einem späten Erntetermin Ende September geerntet wurde, ist es möglich, dass auch dieser einen erhöhten Gehalt von Dimethyldisulfid hatte, das durch die Lagerung geruchlich wahrnehmbar wurde.

Den größten Einfluss auf die ätherischen Öle im Versuch hatte die Vorbehandlung des Grünhopfens. Das Lagern von 5 bzw. 24 Stunden und das Einfrieren wirkte sich erheblich auf die Anteile der Ölkomponenten vor und nach der Trocknung aus. Im Folgenden werden die untersuchten Ölkomponenten näher beleuchtet.

Myrcen

Myrcen wird eine Schlüsselfunktion für das Hopfenaroma zugewiesen (Steinhaus & Schieberle 2000:1782). Es gehört zu den Monoterpenen und nimmt mit 17-37% des Gesamtöls den größten Massenanteil ein (Krottenthaler 2007:197). Der Geruch des Öls wird als harzig beschrieben (Kurzweil et al. 2013:661). Im Bier ändert sich der Geruch- und Geschmackseindruck hin zu hopfenartig, frisch, grün (Kaltner 2000:52). Beim Myrcen Gehalt der Proben zeigten sich schon in ungetrocknetem Zustand erkennbare Unterschiede. Die FRISCHEN PROBEN hatten einen deutlich höheren Gehalt im Vergleich zu den GELAGERTEN bzw. GEFRORENEN PROBEN. Die GEFRORENEN PROBEN enthielten am wenigsten Myrcen. Die Lagerung und das Einfrieren des Grünhopfens hat somit deutliche Auswirkungen

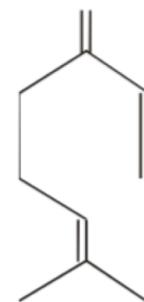


Abbildung 16: Myrcen

(Kaltner 2000:7)

auf das Myrcen im Hopfen. Welche Ab- und Umbaureaktionen dafür verantwortlich sind, konnte im Versuch nicht geklärt werden.

Die Oxidation von Myrcen mit Sauerstoff aus der Luft führt zur Bildung verschiedener zyklischer Reaktionsprodukte und Terpene. Dazu gehören auch Linalool und Geraniol (Rettberg 2018:3). Die Steigerung dieser sauerstoffhaltigen Fraktion bewirkt einen Verlust von Myrcen während der Lagerung (Dieckmann & Palamand 1974:496). Diese Vorgänge haben einen Einfluss auf die Biogenese des Myrcen während der Lagerung und sind eine mögliche Erklärung für die dargestellten Versuchsergebnisse.

Der hohe Anteil von Myrcen im Grünhopfen verweist auf den späten Erntezeitpunkt. Bei einer Ernte Ende September sind die Myrcen Gehalte deutlich höher als bei früheren Erntezeitpunkten (Kammhuber 2018:22).

In getrocknetem Zustand ist bei allen Proben der Myrcen Gehalt gesunken. In der Literatur werden Trocknungsverluste zwischen 25-30% angegeben (ebd:14). Myrcen ist nicht hitzestabil, da es bei Erhöhung der Trocknungstemperatur abnimmt (Kaltner 2000:142). Im dargestellten Versuch betrug die Abnahme der FRISCHEN PROBE durch die Trocknung ~38%.

Linalool

Linalool wird neben Myrcen als Schlüsselkomponente des Hopfenaromas beschrieben (Steinhaus & Schieberle 2000:1782). Es gehört zu den oxidierten Terpenen und ist eine chirale Verbindung, die zu ~94% in der geruchsintensiveren R-Form vorliegt (Krottenthaler 2007:197). Das Aroma der Dolde und später im Bier wird als blumig und citrus-artig beschrieben (Steinhaus & Schieberle 2000:1782) (Kaltner 2000:52). Linalool hat zwar nur einen sehr kleinen Anteil (0,3%) am Hopfenaroma (Steinhaus & Schieberle 2000:1776), aber auch einen niedrigen Geruchsschwellenwert von 6µg/l (Kammhuber 2018:12). Im

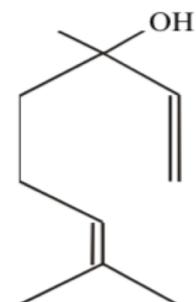


Abbildung 17: R-Linalool

(Kaltner 2000:7)

vorliegenden Versuch hatten die Proben bereits in ungetrocknetem Zustand einen sehr unterschiedlichen Linalool-Gehalt. Die GELAGERTEN und GEFRORENEN PROBEN enthielten deutlich mehr Linalool. Besonders die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN stachen mit ihrem hohen Gehalt heraus. Lam et al. beschreibt in einem Lagerversuch über getrockneten Hopfen, dass die Linalool-Gehalte, bei einer Lagerung der trockenen Dolden von 19 Tagen, steigen (Lam et al. 1986:763).

Haslbeck et al. untersuchen in einem Versuch die Freisetzung von glykosidisch gebundenen Linalool. Dieses konnte durch das Enzym Rapidase F64 freigesetzt werden. Bei der Aufspaltung des Glykosids entstand ein geruchsaktives Aglykon (Linalool) und ein Zuckerrest. Aus 1g Hopfen (Trockensubstanz) konnte in diesem Versuch 2µg Linalool freigesetzt werden (Haslbeck et al. 2017:148).

Die Freisetzung von glykosidisch gebundenem Linalool ist stark sortenabhängig. Bei der Sorte Slowenischer Golding konnte beispielsweise in Versuchen 41 µg/g Hopfen (Trockensubstanz) freigesetzt werden. Die Ausspaltung der Glykoside wurde durch eine enzymatische Hydrolyse durchgeführt, unter Zugabe von Glucosidase aus *Aspergillus niger* (Wilhelm 2013:104). Bei der Bierherstellung wird während der Gärung eine Steigerung des Linalool Gehalts beobachtet. Hier kommt es durch den Gärvorgang zu einem Aufbrechen des glykosidisch gebundenen Linalools (Hanke 2009:1). Glykoside sind wasserlöslich und geruchslos. Erst durch Enzyme oder Hitze können diese in einen Zuckeranteil und eine geruchsaktive Komponente gespalten werden (ebd:2). Da es im Versuch während der Lagerung nur zu einer moderaten Erwärmung kam, waren es vermutlich vor allem die Enzyme, die gewirkt haben. Bei den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN hatten diese am meisten Zeit zu arbeiten, wodurch vermutlich der besonders hohe Linalool Gehalt zustande kam. Da auch die GEFRORENEN PROBEN vor der Trocknung einen höheren Linalool Gehalt als die FRISCHEN PROBEN aufwiesen, ist zu vermuten, dass es trotz des gefrorenen Zustandes zu Umbauprozessen im Hopfenöl kommt. Nach der Trocknung zeigten die Ergebnisse, dass Linalool bei allen GELAGERTEN PROBEN steigt und bei allen FRISCHEN PROBEN sinkt. Bei den GELAGERT/GEFRORENEN PROBEN kam es zum höchsten Anstieg um fast 11%. Das zeigt, dass durch die hohen Temperaturen (65°C) während der Trocknung Umbauprozesse stattfinden. Diese Prozesse, die durch die Lagerung bzw. das Einfrieren gestartet wurden, werden vermutlich in der Trocknung weitergeführt und führen zu einer weiteren Steigerung des Linalool. Bei den FRISCHEN und den FRISCH/GEFRORENEN PROBEN waren die Verluste des Linalool fast identisch. Ein Effekt der Neubildung war nicht zu beobachten.

Geraniol

Geraniol gehört, wie Myrcen und Linalool, zu den Monoterpenen. Der Geruchs- und Geschmackseindruck im Bier variiert zwischen fliederartig, blumig, zirtusartig und rosenartig (Kaltner 2000:52). Wie bei den anderen Ölkomponenten im frischen Zustand, hatten die FRISCHEN PROBEN den geringsten Geraniol Gehalt und die EXTRA LANG GELAGERTEN PROBEN den höchsten. Somit sind vermutlich auch hier Umbauprozesse während der Lagerung für diese Verteilung der Proben verantwortlich. Da sich die GEFRORENEN

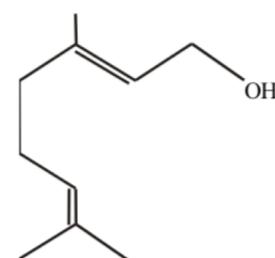


Abbildung 18: Geraniol

(Kaltner 2000:7)

PROBEN vom frischen Zustand unterschieden, verändert sich das Geraniol auch während des Einfrierens. Die Ursachen dafür konnten nicht geklärt werden. Im getrockneten Zustand stachen die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN durch eine deutliche Zunahme heraus. In allen anderen Proben nahm der Gehalt ab. Dies lässt vermuten, dass die Umbauprozesse, die

durch das lange Lagern viel Zeit hatten zu arbeiten, durch die Trocknung noch verstärkt wurden und zu dem starken Anstieg des Geraniols führten. Wilhelm beschreibt, dass auch Geraniol glykosidisch gebunden vorkommt. Im Gegensatz zum Linalool steigt der Gehalt von Geraniol beim Brauen nur sehr gering (Wilhelm 2013:105). Hanke beschreibt die Glykoside des Geraniol als hitzestabil (Hanke 2009:2). Demnach stellt sich die Frage, ob die Steigerung des Geraniols, bei den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN, durch die Aufspaltung der Glykoside zustande kam, oder ob andere Prozesse beteiligt waren. Dies wäre zu untersuchen.

Während der Biergärung kann Geraniol u.a. zu Linalool abgebaut werden (ebd:2). In Bezug auf den Versuch konnte nicht geklärt werden, ob diese Umbauprozesse auch durch Lagerung bzw. Trocknung entstehen können, oder ob der Verlust durch das Verflüchtigen des Geraniols zustande gekommen ist.

β -Caryophyllen

β -Caryophyllen gehört zu der Gruppe der Sesquiterpene (Krottenthaler 2007:197). Im Bier wird der Geruchs- und Geschmackseindruck als fliederartig, blumig, muffig beschrieben (Kaltner 2000:52). Auch bei dieser Ölkomponekte sind bereits vor der Trocknung große Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsproben zu sehen. Die FRISCHEN PROBEN hatten den deutlich geringsten Gehalt, die GEFRORENEN und DIE EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN den höchsten Gehalt an β -

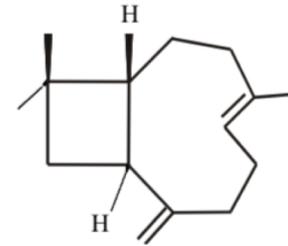


Abbildung 19: β -Caryophyllen

(Kaltner 2000:8) Caryophyllen. Es ist erkennbar, dass durch langes Lagern bzw. Einfrieren Umbauprozesse stattfanden, die zu einer Erhöhung des β -Caryophyllen führen. Da auch die FRISCH/GEFRORENEN PROBEN einen stark erhöhten Anteil aufwiesen, ist zu vermuten, dass es im gefrorenen Zustand auch ohne vorrangegangene Lagerung zu Umbauprozessen kommt. Im GETROCKNETEN ZUSTAND stieg das β -Caryophyllen nur bei den EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN stark an. Bei allen anderen Proben sank der Anteil. Dies lässt vermuten, dass nur durch die lange Lagerung chemische Umbauprozesse gestartet wurden und diese in der Trocknung weitergeführt werden konnten. Um welche Prozesse es sich dabei handelt, konnte nicht geklärt werden.

Humulen

Humulen gehört wie das β -Caryophyllen zu den Sesquiterpenen (Krottenthaler 2007:197). Auch die Oxidationsprodukte des Humulen leisten einen wichtigen Beitrag zum Aroma des Hopfenöls (Kaltner 2000:10). Der Geruch von Alpha-Humulen wird als grasig, grün, blumig beschrieben (ebd:52). Die Entwicklung von Humulen und β -Caryophyllen war in den verschiedenen Versuchsvarianten gleich. Dies liegt vermutlich in der Ähnlichkeit der chemischen Struktur. Beide Ölkompontenten gehören zu den Sesquiterpenen und durchlaufen aus diesem Grund womöglich die gleichen Ab- und Umbauprozesse.

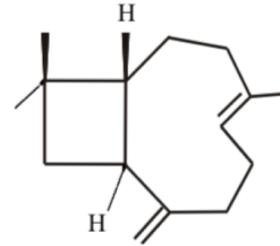


Abbildung 20: Humulen

(Kaltner 2000:8)

6.3 Trocknungsverlauf

Bei der Ofentrocknung zeigte sich eine gleichmäßige Trocknungsgeschwindigkeit. Dies entspricht nicht den Erkenntnissen über Hopfentrocknung. Normalerweise sinkt die Trocknungsgeschwindigkeit im 2. Trocknungsabschnitt, da der Wasserdampf von der Spindel nach außen transportiert werden muss. In dem Versuch wurde für die Ofentrocknung gehäckselter Hopfen verwendet. Durch die Zerkleinerung des Hopfens, konnten Trocknungsunterschiede von Spindel und Deckblättern minimiert werden und eine gleichmäßige Trocknungsgeschwindigkeit aufrechterhalten werden. Der getrocknete Hopfen wurde nicht konditioniert, wie es in der Praxis üblich ist. Womöglich hätten sich die Endfeuchtegehalte durch eine Konditionierung vereinheitlicht.

Die gewünschten Endfeuchtegehalte von 9-10% konnten nur bei Anfangsfeuchtegehalten von $\leq 80\%$ erreicht werden. Dies zeigt, dass die Wetterbedingungen zum Erntezeitpunkt eine große Rolle für die Trocknung spielen.

6.4 Farbveränderungen

Bei der Auswertung der Fotos konnten kaum Farbveränderungen festgestellt werden, obwohl optisch wahrnehmbare Veränderungen erkennbar waren. Die GELAGERTEN PROBEN und die EXTRA LANGE GELAGERTEN PROBEN zeigen gering höhere Farbveränderungen, als die FRISCHEN PROBEN. Die berechnete Total Colour Difference war geringer als vermutet. Aus diesem Grund konnten keine Schlüsse in Bezug auf die Qualitätsentwicklung von Hopfen gezogen werden. Der Grund dafür liegt vermutlich an einer fehlerhaften Kalibrierung der Kamera.

Im Blog der Hopfenhandelsfirma Barth-Haas-Group wird betont, dass die Hopfenfarbe multifaktoriell beeinflusst wird. Das was zähle sei nicht die Farbe, sondern das passende Aroma. Es wird eine Bonitur im Dunkeln vorgeschlagen, um die Qualitätsbeurteilung nicht von der optischen Wahrnehmung beeinflussen zu lassen (Schönberger 2017).

7 Fazit

Lange Zeit war das ätherische Öl des Hopfens und seine Zusammensetzung für Brauer*innen nicht von primärem Interesse, da die Alpha-Säuren den wichtigsten wertgebenden Inhaltsstoff darstellten. Der Einkauf der Hopfenmenge erfolgt in den meisten Brauereien über die benötigte Menge an Alpha-Säuren.

Durch die weltweite Etablierung des Craft-Bier Sektors haben die Hopfenöle eine neue Wertigkeit bekommen und die Qualitätsanforderungen an den Rohstoff Hopfen sich verändert (Wesseloh & Wesseloh 2015:134).

Die Trocknung sollte als besonders wichtiger und anspruchsvoller Produktionsschritt betrachtet werden, da sie die Hopfen(-Öl)qualität stark beeinflussen kann. Generell kommt es zu einem Verlust der leicht flüchtigen Öle (Aberl 2016:20).

Die im Versuch verwendete Sorte Mandarina Bavaria steht stellvertretend für andere Flavour-Sorten, die derzeit für Veränderungen auf dem Hopfenmarkt verantwortlich sind.

Ziel des Versuches war es, festzustellen, ob eine Lagerung des Hopfens vor der Trocknung Einflüsse auf die Produktqualität hat.

Die ausgewerteten Farbveränderungen sind zu gering, um daraus Schlüsse für die Qualitätsentwicklung von Hopfen ziehen zu können. Eine Wiederholung dieses Versuches mit verbessertem Versuchsaufbau könnte neue Erkenntnisse bringen.

Der Versuch hat jedoch gezeigt, dass die Lagerdauer vor der Trocknung einen Einfluss auf den Ölgehalt und die Ölkomponenten haben kann. Die Schlüsselkomponenten Linalool, aber auch β -Caryophyllen, Humulen und Geraniol, konnten durch eine 24 stündige Lagerung des Grünhopfens und anschließender Trocknung erheblich gesteigert werden. Welche Umbauprozesse für diese Entwicklung verantwortlich waren, konnte nicht geklärt werden. Eine Aufspaltung des glykosidisch gebundenen Linalool wäre eine mögliche Antwort für die Steigerung dieser Ölkomponente. Im Versuch wurde deutlich, dass das Einfrieren von frischem und gelagertem Hopfen ebenfalls Auswirkungen auf die Zusammensetzung von Hopfenöl haben kann. Die Ölkomponenten der GEFRORENEN PROBEN entwickelten sich während der Trocknung anders als die FRISCHEN PROBEN. Die Gründe dafür konnten nicht geklärt werden. Eine Untersuchung dieser Prozesse wäre nötig, um weitere Schlüsse bilden zu können.

Aufgrund des hohen Preises von Flavour-Hopfen, ist der/die Brauer*in an einer hohen Ölausbeute interessiert. Ein kontrolliertes Lagern bzw. Aufspalten der glykosidisch gebundenen Ölkomponenten vor der Trocknung könnte die spätere Hopfengabe effizienter machen.

8 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, ob die Lagerdauer vor der Trocknung Einfluss auf die Qualitätsentwicklung von Hopfen hat.

Dies ist von Interesse, da Hopfen seit einigen Jahren eine steigende Bedeutung in der Brauwirtschaft erfährt. Durch das Wachsen des Craft-Bier Sektors wird mehr Hopfen benötigt, der speziellen Qualitätsanforderungen entsprechen soll. Es wird ein Fokus auf die ätherischen Öle und ihre Zusammensetzung gelegt und nicht mehr nur die bitteren Alpha-Säuren betrachtet.

Um einen Überblick über diese Veränderungen zu erhalten, wird die Entwicklung der sogenannten Craft-Bier Revolution in den USA und in Deutschland dargestellt. Es entstehen immer mehr kleine Brauereien, die sich von der traditionellen Brauwirtschaft abgrenzen und neuartige Biere brauen.

Es folgt ein Überblick über die neuen Hopfensorten und eine Einführung in die Hopfentrocknung.

Bei dem untersuchten Hopfen handelt es sich um die Flavour-Sorte Mandarina Bavaria. Diese hat einen hohen Ölanteil und gibt dem Bier neuartige exotische Aromen von Mandarine und Orange. Neue Erkenntnisse über die Hopfenöle von Mandarina Bavaria stammen aus einem Trocknungsversuch, der im September 2017, im Hopfenforschungszentrum in Hüll, in Kooperation mit der Uni Kassel, durchgeführt wurde. Der Hopfen wurde im frischen oder gelagerten Zustand in Kleintrocknern getrocknet und zusätzlich vor und nach der Trocknung eingefroren. Durch Wasserdampfdestillation wurden die ätherischen Öle der entnommenen Proben extrahiert und mittels Gaschromatographie die Ölkompenten Myrcen, Linalool, Geraniol, β -Caryophyllen und Humulen analysiert.

Die Ergebnisse zeigten, dass Lagern bzw. Einfrieren von frischem Hopfen Einfluss auf die Ölkompenten hat. Durch die Lagerung des Hopfens konnte teilweise eine Zunahme der Ölkompenten beobachtet werden. Besonders stark war die Steigerung der 24 Stunden gelagerten Proben. Durch die Trocknung dieser LANGE GELAGERTEN PROBEN konnten die Ölkompenten Linalool, Geraniol, β -Caryophyllen und Humulen nochmals gesteigert werden. Bei allen anderen Proben führte die Trocknung zu einem Sinken der Ölkompenten.

Es ist zu vermuten, dass durch das Lagern Umbauprozesse im Hopfenöl stattfinden. Linalool und Geraniol liegen zum Teil glykosidisch gebunden vor. Die Lagerung bewirkt vermutlich ein Aufspalten dieser Bindungen und somit die Freisetzung dieser Hopfenölkompenten. Welche Veränderungen tatsächlich für die Umbauprozesse der untersuchten Ölkompenten verantwortlich waren, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Da die Zusammensetzung des Hopfenöls den Biergeschmack prägt, sollten die Veränderungen der Aromakompenten während des Hopfenproduktionsprozesses verstärkt Beachtung finden.

9 Literaturverzeichnis

- ABERL, ANITA 2016. Methodenentwicklung der Headspace-Trap-GC-MS Analyse zur schnellen quantitativen Bestimmung flüchtiger Verbindungen in Hopfen und Bier – mit Korrelationsanalyse der Hopfenölkomponten. Universität München.
- BARTH-HASS GROUP 2017. barthbericht20162017de.pdf. Der Barth Bericht, Hopfen 2016/2017.
<https://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/downloads/pdfs/357/barthbericht20162017de.pdf> [Stand 2018-09-4].
- BIENDL, MARTIN (Hg.) 2012. Hopfen: vom Anbau bis zum Bier. Nürnberg: Fachverl. Carl.
- BRAUKUNST LIVE! - München <https://www.braukunst-live-muenchen.de/> [Stand 2018-08-1].
- BUSSE, USCHI 2018. *Deutsche Biere*. <https://bierlinie.de/bierkultur/deutsche-biere> [Stand 2018-09-10].
- BREWERS ASSOCIATION Craft Brewer Definition.
<https://www.brewersassociation.org/brewers-association/craft-brewer-definition/> [Stand 2018-09-5].
- CRAFTBEER REVOLUTION Was ist Stammwürze? <https://craftbeer-revolution.de/lexikon/was-ist-die-stammwuerze/> [Stand 2018-08-21].
- CRAFTBEER REVOLUTION Shops & Bars. <https://craftbeer-revolution.de/bier-quellen/> [Stand 2018-09-5].
- CRICHTON, STUART; MÜNSTERER, JAKOB; KAMMhubER, KLAUS; STURM, BARBARA 2016. Measurement of hop moisture content and chromaticity during drying with VNIR hyperspectral imaging. In CIGR-Ag-Eng conference.
- DEUTSCHE KREATIVBRAUER E.V. <https://deutschekreativbrauer.de/> [Stand 2018-08-9].
- DIECKMANN, ROBERT H. & PALAMAND, S. RAO 1974. Autoxidation of some constituents of hops. I. Monoterpene hydrocarbon, myrcene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 22, 3, S.498–503.
- GARAVAGLIA, CHRISTIAN & SWINNEN, JOHAN 2017. Economic perspectives on craft beer. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.
- GEHRMANN, DIETRICH; ESPER, GÜNTER J.; SCHUCHMANN, HARALD 2009. *Trocknungstechnik in der Lebensmittelindustrie*. 1. Aufl. Hamburg: Behr. <http://d-nb.info/990499863/04>.
- GUTSHOF RETHMAR 2018. *Das Freie Teku-Pokal Weiß 0,3l*. Das Freie - Brauerei.
<https://das-freie.de/shop/serie-besondere-biere/10/das-freie-teku-pokal-weiss-0-3l> [Stand 2018-09-11].
- HANKE, STEFAN 2009. Linalool—A Key Contributor to Hop Aroma.
<https://www.mbaa.com/brewresources/Documents/Linalool.pdf> [Stand 2018-08-28].
- HASLBECK, K.; JEREBIC, S.; ZAMKOW, M. 2017. Characterization of the Unfertilized and Fertilized Hop Varieties Progress and Hallertauer Tradition - Analysis of Free and

Glycosidic-Bound Flavour Compounds and β -Glucosidase Activity. *BrewingScience* November/December 2017 (Vol.70), S.148–158.

HINDY, STEVE 2014. *The craft beer revolution: how a band of microbrewers is transforming the world's favorite drink*. First edition. New York: Palgrave Macmillan.

HOPFENPFLANZERVERBAND; LFL PFLANZENBAU 2017. *EU-Erntebericht Hopfen 2017*. <https://www.deutscher-hopfen.de/EU-Berichte/EU-Bericht%202017.pdf> [Stand 2018-09-7].

HVG (HOPFENVERWERTUNGSGENOSSENSCHAFT) 2018. *Qualitätskette für Hopfen in Deutschland*. <https://hvg-germany.de/images/stories/pdf/qualitaet.pdf> [Stand 2018-09-7].

IHLOFF, M.-L. 1956. Die Zusammensetzung des ätherischen Öls von *Anethum graveolens* L. in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* 58, 2, 122–130.

KALTNER, DIETMAR 2000. *Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere*. Technische Universität München.

KAMMHUBER, KLAUS 2018. Vortrag: Was beeinflusst das Hopfenaroma? https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_kammhuber_2018.pdf [Stand 2018-08-28].

KONICA MINOLTA 2013. *Manual CR 400/410*. Manual CR 400/410. https://sensing.konicaminolta.us/uploads/cr-400-410_instruction_eng-8260x153f3.pdf [Stand 2018-09-26].

KROTTENTHALER, MARTIN 2007. *Entwicklung innovativer Technologien zur Optimierung der Würze- und Bierqualität*. Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Freising.

KUNZE, WOLFGANG; MANGER, HANS-J. 2011. *Technologie Brauer & Mälzer*. 10., überarb. Aufl. Berlin: VLB.

KURZWEIL, PETER; HILDEBRAND, ANDREAS; RIEDMAYR, ANTON 2013. *Hopfensorten und ihr Aroma*.

LAM, KAI C.; FOSTER, ROBERT T.; DEINZER, MAX L. 1986. Aging of hops and their contribution to beer flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34, 4, 763–770.

LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEIGNER, E.; KAMMHUBER, K. 2009. Hopfenqualität - Ernte zum richtigen Zeitpunkt. 33.

LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEIGNER, E. 2013. Vortrag: Hüller Special Flavor-Hopfen – neue Herausforderungen. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_hopfenbauversammlungen-special_flavor-hopfen_2013_min.pdf [Stand 2018-08-28].

LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEEFELDER, S. 2015. Infoposter: *hopfen_mandarina_poster_2015.pdf*. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_mandarina_poster_2015.pdf [Stand 2018-06-27].

- LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEIGNER, E.; KAMMHUBER, K. 2016. Vortrag: Die Hüller Special Flavor-Hopfensorten - aktueller Kenntnisstand.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_h%C3%BCller_special-flavor.pdf [Stand 2018-08-28].
- LUTZ, ANTON, SEIGNER, ELISABETH & KAMMHUBER, KLAUS 2018. Flyer: German Special Flavor Hops from Hüll.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_flavor_pocketguide.pdf [Stand 2018-08-28].
- MITTER, WILLI & COCUZZA, SANDRO 2012. Was versteht man unter Kalthopfung?
Brauindustrie 4/2012, 3.
- MUJUMDAR, ARUN S. (Hg.) 2000. *Drying technology in agriculture and food sciences*. Enfield, NH: Science.
- MÜLLER, INGEBORG 2006. Der Hopfen: seine medizinische Bedeutung von der Antike bis heute. Berlin: Pro Business.
- MÜNSTERER, JAKOB 2006. Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. 26.
- MÜNSTERER, JAKOB 2017. Vortrag: Einfluss von Erntezeitpunkt und Trocknung auf den Brauwert der Flavor-Hopfensorten Hallertau Blanc, Mandarin Bavaria und Polaris.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/vortragm%C3%BCnsterer_lfl_2017_.pdf [Stand 2018-08-28].
- RAPP, MARIE-SOPHIE; ARTMANN, KLAUS 2018. Was führt zum Erfolg auf dem deutschen Craft Biermarkt? *Brauwelt* 27–28, 778–780.
- RASTAL *Die Glasserie für den Edelbiertrend*. <https://www.rastal.com/144.0.de.html> [Stand 2018-09-11].
- RETTBERG, NILS 2018. Hop Aroma and Hoppy Beer Flavor: Chemical Backgrounds and Analytical Tools-A Review. 21.
- RYBÁČEK, VÁCLAV (Hg.) 1991. Hop production. Amsterdam; New York: Elsevier.
- SCHÖNBERGER, CHRISTINA 2017. Die Farbe Grün – oder warum sollte Hopfen besser im Dunkeln bonitiert werden | Hop Flavour Blog. <https://www.hopflavourblog.com/die-farbe-gruen-oder-warum-sollte-hopfen-besser-im-dunkeln-bonitiert-werden/> [Stand 2018-06-19].
- STEINHAUS, MARTIN; SCHIEBERLE, PETER 2000. Comparison of the Most Odor-Active Compounds in Fresh and Dried Hop Cones (*Humulus lupulus* L. Variety Spalter Select) Based on GC–Olfactometry and Odor Dilution Techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 5, S.1776–1783.
- TESTO testo 174 H - Mini-Datenlogger für Temperatur und Feuchte | Feuchteüberwachung Pharmazie | Feuchteüberwachung | Lagerhaltung | Lagerhaltung & Transport | Anwendungen | Testo SE & Co. KGaA. <https://www.testo.com/de-DE/testo-174-h/p/0572-6560> [Stand 2018-09-13].
- WESSELOH, JULIA; WESSELOH, OLIVER 2015. Bier leben: die neue Braukultur. Originalausgabe. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.

WILHELM, WOLFGANG PETER 2013. Charakterisierung qualitativer und quantitativer Unterschiede in wertgebenden Geruchsstoffen verschiedener Hopfenspezies. Technische Universität München, Freising.

WOLF ANLAGENTECHNIK 2018. *Trocknungszubehör*. WOLF Anlagen-Technik. <https://www.wolf-geisenfeld.de/de/trocknungstechnik/trocknungszubehoer> [Stand 2018-09-19].

9.1 Quellen der Abbildungen

Abb. 1: *Logo für Craft Beer der Brewers Association*

BREWERS ASSOCIATION 2017. *Show Your Independence*. Brewers Association. <https://www.brewersassociation.org/news/show-them-your-independence/> [Stand 2018-07-19].

Abb. 2: *Logo der Deutschen Kreativbrauer e.V.*

DEUTSCHE KREATIVBRAUER E.V. <https://deutschekreativbrauer.de/> [Stand 2018-09-5].

Abb. 3: *Hopfendolde*

FOTO HOPFENDOLDE https://ixquick-proxy.com/do/spg/show_picture.pl?l=english&rais=1&oiu=https%3A%2F%2Fwww.eickelmann.de%2FHopfen%2Fimages%2Fstories%2FHopfen%2Fhop_lup2.jpg&sp=7075b4e0e00ce9075665e80c00d6afd4 [Stand 2018-08-15].

Abb. 4: *Verteilung der Hopfensorten in den USA 2010,2015*

LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEIGNER, E.; KAMMHUBER, K. 2016. Die Hüller Special Flavor-Hopfensorten - aktueller Kenntnisstand. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_h%C3%BCller_special_flavor.pdf [Stand 2018-08-28].

Abb. 5: *Verteilung der Hopfensorten 2015, Hallertau und USA im Vergleich*

LUTZ, A.; KNEIDL, J.; SEEFELDER, S. 2016. Die Hüller Special Flavor-Hopfensorten - aktueller Kenntnisstand. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_h%C3%BCller_special_flavor.pdf [Stand 2018-08-28].

Abb. 6: *Hordentrockner*

MÜNSTERER, JAKOB 2006. Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. 26.

Abb. 7: *Wassergehaltsentwicklung im Trocknungsprozess von Doldenblättern, Dolde und Spindel*

MÜNSTERER, JAKOB 2006. Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. 26.

Abb. 8: *Veränderung des Luftwiderstands vom Befüllen bis zum Kippen, Schütthöhe:40cm, Luftgeschwindigkeit:0,4m/s*

MÜNSTERER, JAKOB 2006. Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. 26.

- Abb. 9: *Entwicklung der Temperatur und relativen Feuchte während der Homogenisierung der Hopfendolde*
MÜNSTERER, JAKOB 2006. Optimale Trocknung und Konditionierung von Hopfen. 26.
- Abb. 10: *Destillationsapparatur für ätherisches Öl*
PFANNKUCHE, AXEL 2000. *Einsatzmöglichkeiten der Mikrodestillation zur Gewinnung und Fraktionierung kleiner Mengen ätherischer Öle*. Hamburg, .
<https://www.chemie.uni-hamburg.de/bibliothek/2000/DissertationPfannkuche.pdf>
[Stand 2017-11-2].
- Abb. 11: *Versuchsapparatur*
PRIVATES FOTO
- Abb. 12: *Kalibrierkurve Tridecan*
KAMMHUBER, KLAUS 2018. Abbildung aus Versuchsdaten
- Abb. 13: *Logger 3 oben*
WITTKAMP, SARAH 2018. Loggerdaten aus Versuch
- Abb. 14: *Logger 6 unten*
WITTKAMP, SARAH 2018. Loggerdaten aus Versuch
- Abb. 15: *Durchschnittlicher Trocknungsverlauf bei der Ofentrocknung*
WITTKAMP, SARAH 2018. Abbildung aus Versuchsdaten
- Abb. 16: *Myrcen*
KALTNER, DIETMAR 2000. Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere. Technische Universität München.
- Abb. 17: *R-Linalool*
KALTNER, DIETMAR 2000. Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere. Technische Universität München.
- Abb. 18: *Geraniol*
KALTNER, DIETMAR 2000. Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere. Technische Universität München.
- Abb. 19: *β -Caryophyllen*
KALTNER, DIETMAR 2000. Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere. Technische Universität München.
- Abb. 20: *Humulen*
KALTNER, DIETMAR 2000. Untersuchungen zur Ausbildung des Hopfenaromas und technologische Maßnahmen zur Erzeugung hopfenaromatischer Biere. Technische Universität München.

9.2 Quellen der Tabellen

Tab. 1: *Anzahl an Brauereien, 1950-2015*

GARAVAGLIA, CHRISTIAN; SWINNEN, JOHAN 2017. *Economic perspectives on craft beer*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.

Tab. 2: *Anzahl an Kleinbrauereien, 1985-2015*

GARAVAGLIA, CHRISTIAN; SWINNEN, JOHAN 2017. *Economic perspectives on craft beer*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.

Tab. 3: *Sortenbeschreibung Hüller Flavour-Sorten*

LUTZ, A, KNEIDL, J & SEIGNER, E. 2013. Hüller Special Flavor-Hopfen – neue Herausforderungen.

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_hopfenbauversammlungen-special_flavor-hopfen_2013_min.pdf [Stand 2018-08-28].

Tab. 4: *Aufteilung der Datenlogger*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 5: *Durchschnittliche Ölmenge [mg/100g Hopfen] zu Trocknungsbeginn (0min) und Trocknungsende (210min)*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 6: *Durchschnittlicher Gehalt der Ölkomponente zu Beginn der Trocknung*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 7: *Menge der einzelnen Ölkomponenten [mg/100g Hopfen]*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 8: *Wassergehalte [%] im Trocknungsverlauf*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 9: *Ergebnisse Helligkeit (L*)*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 10: *Ergebnisse a* Wert*

WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 11: *Ergebnisse b* Wert*

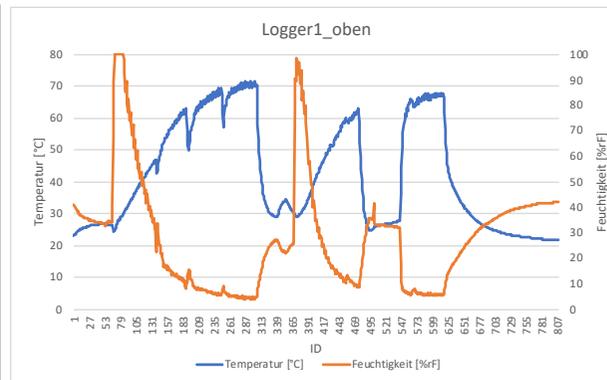
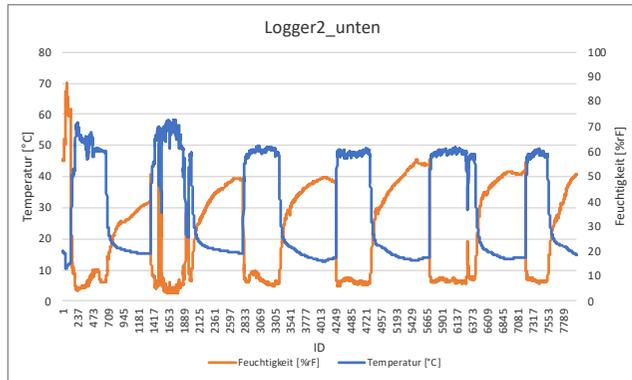
WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

Tab. 12: *Ergebnisse Total Colour Difference (ΔE)*

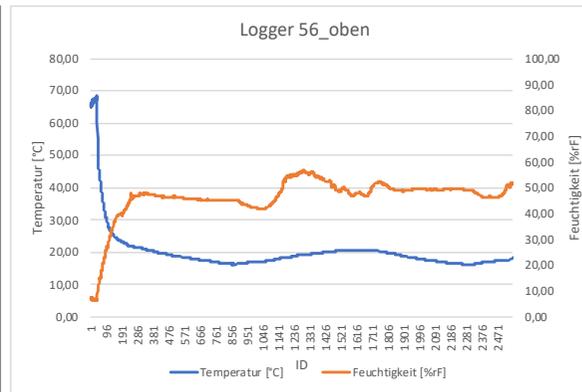
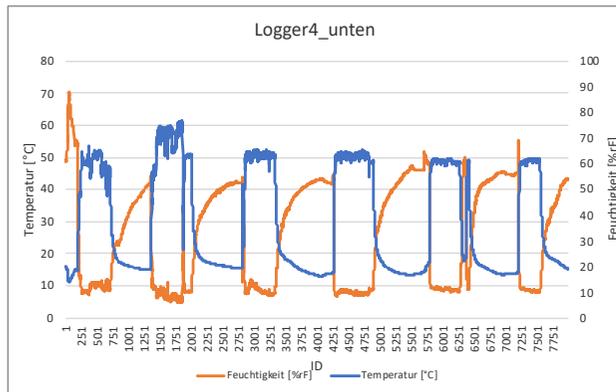
WITTKAMP, SARAH 2018. Tabelle aus Versuchsdaten

10 Anhang

Trockner 3:



Trockner 2:



Trockner 1: siehe Ergebnisse (S.31)

11 Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, ganz oder in Teilen noch nicht als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die benutzten Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht. Ich erkläre mein Einverständnis zur Überprüfung der von mir eingereichten Arbeit auf Plagiate durch eine Anti-Plagiatsoftware. Zu diesem Zweck stelle ich eine anonymisierte elektronische Form des Dokuments in gängigem Format zur Verfügung.“

Witzenhausen, den 15.10.2018