

# Der Einfluss des Alkoholgehaltes beim Dry Hopping

**EINFLUSS DES ALKOHOLS** | Mit der Technik des Dry Hopping (Hopfenstopfen) werden sehr unterschiedliche Bierstile mit sehr verschiedenen Alkoholgehalten gebraut. Dabei ist es unumgänglich, das Verhalten der Hopfeninhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Alkoholgehalt nach der Hopfengabe zu kennen, um deren Wechselwirkungen zu verstehen und eine gleichbleibende Bierqualität zu gewährleisten. Hierzu wurde eine Pilotstudie mit standardisiertem Verfahren durchgeführt, wobei bei gleichbleibender Dry Hopping-Gabe nur die Alkoholgehalte der Biere von 0,5 – 10,5 Vol.-% verändert wurden.

**DRY HOPPING** hat hauptsächlich zum Ziel, die flüchtigen Aromastoffe des Hopfens auf der Kaltseite des Prozesses ins Bier zu überführen. Für gewisse Bierstile ist Dry Hopping ein typischer und notwendiger Bestandteil des Rezeptes. Die Kalthopfung kann ebenfalls für alkoholfreie oder (sehr) alkoholarme Biere angewendet werden. Insbesondere alkoholfreie Biere können wenig vollmundig bzw. aromaintensiv sein

und je nach angewendeter Art der Entalkoholisierung eine unerwünschte Restsüße enthalten [1, 2].

Ist dies der Fall, so kann das Dry Hopping dazu beitragen, den Gesamteindruck

eines alkoholfreien Bieres zu verbessern. Andererseits haben sich auch hopfengestopfte Biere wie das Belgian-Style Tripel oder Doppel-IPA (teilweise mit Alkoholgehalten von 10,0 Vol.-% und mehr) seit vielen Jahren erfolgreich etabliert. Diese Bierstile verkörpern nicht nur im Bereich der Spezialbiere den oberen Grenzbereich von Alkoholgehalten in Bier [3]. Die Kalthopfung ist demnach ein Verfahren, das für viele Bierkategorien mit unterschiedlichen Alkoholgehalten angewendet wird. Die entstehenden Wechselwirkungen zwischen den Hopfeninhaltsstoffen und dem Alkohol haben einen Einfluss auf die sensorische Wahrnehmung, aber auch auf die Bierzusammensetzung im Allgemeinen [4, 5]. In dieser Studie wurde das Verhalten wichtiger flüchtiger und nichtflüchtiger Hopfeninhaltsstoffe, deren Transferraten und weitere Einflüsse auf die Biereigen-

## ÜBERBLICK ÜBER DIE BESTANDTEILE DER VERWENDE- TEN HOPFENPELLETS

Solero Aromasorte (Ernte 2020)	Methode [7]	Pellets Typ 90
KW	EBC 7.5	10,1 %
Alpha-Säuren	EBC 7.7*	8,8 %
Beta-Säuren	EBC 7.7*	6,1 %
Humulinone	EBC 7.7*	0,2 %
Xanthohumol	EBC 7.15*	0,8 %
Polyphenole	EBC 7.14	5,7 %
Gesamtölgehalt	EBC 7.10	1,1 ml/100 g
β-Myrcen	EBC 7.12*	56,0 % rel.
β-Caryophyllen	EBC 7.12*	4,8 % rel.
α-Humulon	EBC 7.12*	6,4 % rel.
Farnesen	EBC 7.12*	< 1,0 % rel.
Linalool	EBC 7.12**	0,7 % rel.
Geraniol	EBC 7.12**	0,4 % rel.
Nitrat	HHV 18a (interne Methode)	548 mg/100 g

\* zur Kalibrierung wurden die aktuellsten internationalen Standards/Reinsubstanzen verwendet

\*\* auf Basis von EBC 7.12

Tab. 1

**Autoren:** Sandro Cocuzza, Sandra Gmeinwieser, Frank Peifer, alle Simon H. Steiner, Hopfen, GmbH, Mainburg; Dr. Martin Zarnkow, Kathrin Helmschrott, beide Forschungszentrum Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität, Freising

schaften nach dem Dry Hopping, bei unterschiedlichen Alkoholkonzentrationen untersucht. Alle untersuchten Parameter zu den resultierenden Wechselwirkungen wurden bereits in einem ausführlicheren Artikel in der *BrewingScience* veröffentlicht [6]. Im Folgenden werden einige davon vorgestellt.

### Versuchsdurchführung

Als Basisbier für die Einstellung der verschiedenen Alkoholgehalte wurde ein handelsübliches, thermisch entalkoholisierendes Weizenbier verwendet. Die Kalthopfung wurde immer mit 250 g/hl Typ 90 Pellets der Sorte Solero durchgeführt, die lose in 20-l-NC-Kegs gegeben wurden. Nach einer semi-statischen Kontaktzeit von 14 Tagen bei gleichbleibender Temperatur von 5 °C wurden die vom Hopfen eingebrachten Bitter- und Aromastoffe gemäß den aktuellen MEBAK- bzw. EBC-Methoden analysiert [7, 8].

Sämtliche Analysen wurden am akkreditierten Zentrallabor des Forschungszentrums Weihenstephan für Brau- und Lebensmittelqualität, TU München, Freising, und am Zentrallabor der Hallertauer Hopfenveredelungsgesellschaft m.b.H., Mainburg, durchgeführt.

Die im Jahr 2019 neu eingetragene Aromasorte Solero ist für ihr fruchtiges und tropisches Aroma bekannt [9], welches hauptsächlich auf Hopfenester, insbesondere Isobutyrisäure, zurückzuführen ist. Der Gehalt an Gesamt bitterstoffen liegt in der Sorte Solero bei zehn Prozent und damit im mittleren Bereich. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die hier verwendeten Hopfenpellets.

### Einstellung des Alkoholgehaltes

Auf Basis der Ausgangsbieranalyse wurde die zu dosierende Menge an reinem Ethanol berechnet, sodass ein Alkoholgehalt von 0,5 Vol.-%, 3,5 Vol.-%, 7,0 Vol.-% und 10,5 Vol.-% im Versuchsbier erreicht wurde. Gemäß des in dieser Weise eingestellten Alkoholgehaltes wurden die Proben im Folgenden mit „N“ (null Alkohol), „G“ (gering), „M“ (mittel) und „H“ (hoch) gekennzeichnet.

Die jeweiligen Mischungen wurden je Versuchsansatz vier Mal hergestellt. Dies resultierte in einer auf den entsprechenden Alkoholgehalt eingestellten Referenzprobe ohne Hopfenpellets („N0“, „G0“, „M0“ und „H0“) sowie je drei hopfengestopften Pro-

## VERSUCHSAUFBAU MIT DRY HOPPING UND ZUGABE VON ETHANOL (FALLS VORHANDEN)

Proben	Alkohol in Vol.-% [8]	Alkohol-Anpassung?	Dry Hopping?
Basisbier	0,4	Nein	Nein
N0	0,5	Ja	Nein
N1-N3	0,5	Ja	Ja
G0	3,5	Ja	Nein
G1-G3	3,5	Ja	Ja
M0	7,0	Ja	Nein
M1-M3	7,0	Ja	Ja
H0	10,5	Ja	Nein
H1-H3	10,5	Ja	Ja

Tab. 2

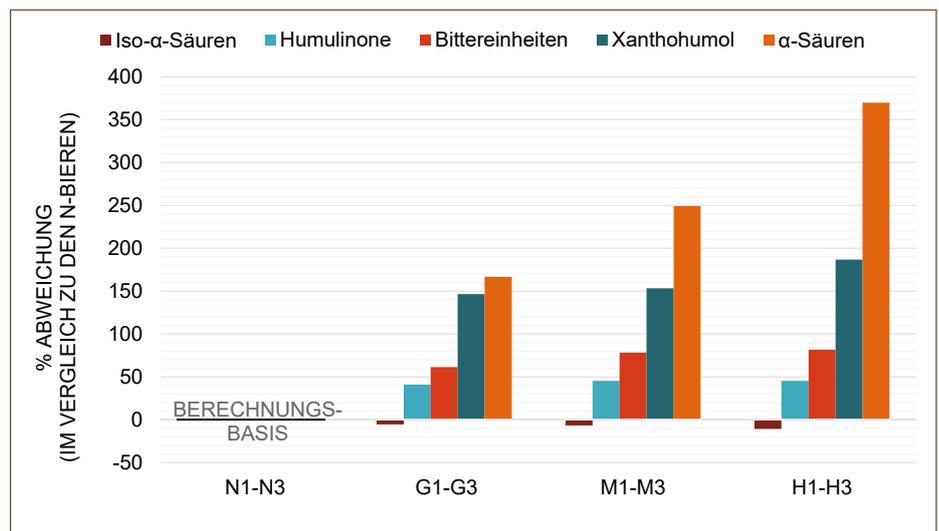


Abb. 1 Einfluss des Alkoholgehaltes auf die Bitterstoffe der kaltgehopften Biere

ben mit Solero-Pellets („N1-N3“, „G1-G3“, „M1-M3“, „H1-H3“). Zusätzlich wurde das Ausgangsbier ohne Zugabe von Alkohol oder Hopfenpellets als Nullprobe („Ausgangsbier“) zur Berechnung der Transferferraten durch die komplette Versuchsanordnung mitgeführt. Insgesamt wurden somit 17 Einzelproben hergestellt, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

### Dry Hopping und Zugabe von Ethanol

In dieser Studie wurde der Alkoholgehalt für „alkoholfrei“ auf  $\leq 0,5$  Vol.-% festgelegt. Zur Vermeidung von mikrobiellen Kontaminationen (insbesondere in den Proben mit geringem Alkoholgehalt) wurde das natürliche Konservierungsmittel Naganado® allen 17 Bierproben zugegeben [10].

### Ergebnisse und Diskussion

Die folgenden Beobachtungen und Schlussfolgerungen basieren auf den jeweiligen Mittelwerten. In diesem Auszug der Studie sind nicht alle Analyseergebnisse aufgeführt. Diese können jedoch der detaillierten Fassung in der *BrewingScience* entnommen werden [6]. Die Betrachtung der Transferferraten und der Veränderungen ausgewählter Hopfeninhaltsstoffe erfolgt in Bezug auf den eingestellten Alkoholgehalt.

#### Nichtflüchtige Hopfeninhaltsstoffe

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Veränderungen der Hopfenbitterstoffe nach dem Dry Hopping bei unterschiedlichen Alkoholgehalten.

#### Iso-alpha-Säuren

Bei den Iso-alpha-Säuren wurden nach

### TRANSFERRATEN DER BITTERSTOFFE IN PROZENT

Proben	α-Säuren	β-Säuren	Humulinone	Xanthohumol
N1-N3	6,4	0	41,4	7,5
G1-G3	17,5	2,2	61,2	19,5
M1-M3	23,2	3,4	67,3	20,8
H1-H3	32,3	6,4	69,2	24,7

Tab. 3

### MITTELWERTE DER HOPFENAROMASTOFFE IN µG/L

		Basisbier (ohne Dry Hopping)	N1-N3	G1-G3	M1-M3	H1-H3
	ABV (%)	0,4	0,5	3,5	7,0	10,5
Ketone	2-Undecanon	n.d.	14,7	30,0	28,3	44,2
	2-Dodecanon	n.d.	n.d.	19,6	18,9	33,6
	2-Decanon	n.d.	11,0	14,6	13,8	17,8
Ester	Isobutylisobutyryl	n.d.	166,3	238,5	238,3	237,5
	3-Methylbutylisobutyryl	n.d.	16,1	26,4	27,3	28,0
	2-Methylbutylisobutyryl	n.d.	160,1	261,2	266,0	277,0
	Geranylacetat	n.d.	60,4	115,9	122,2	130,9
Terpen-alkohole	Geraniol	n.d.	193,4	246,8	250,0	198,4
	Linalool	n.d.	195,3	213,0	204,0	214,5
	α-Terpineol	n.d.	19,7	30,1	22,9	22,7
Mono- und Sesquiterpene	β-Myrcen	n.d.	708	13718	13974	13502
	β-Caryophyllen	n.d.	5,6	51,3	60,7	86,8
	α-Humulon	n.d.	7,6	55,9	77,2	102,8
	β-Limonen	n.d.	8,6	85,4	95,4	103,1

Tab. 4

- Niedrigster Wert nach Dry Hopping (N-Proben)
- Anstieg verglichen mit N-Proben
- Signifikanter Anstieg verglichen mit N-Proben
- + 100% und mehr verglichen mit den geringsten Werten in den zugehörigen N-Proben

dem Dry Hopping kaum Unterschiede festgestellt, obwohl eine gewisse Abnahme grundsätzlich zu erwarten war [11]. Auch signifikante Veränderungen aufgrund unterschiedlicher Alkoholgehalte konnten nicht beobachtet werden. In dieser Studie können die Iso-alpha-Säuren nach dem Dry Hopping als unverändert, also nicht vom Alkoholgehalt beeinflusst, erachtet werden. Im Gegensatz dazu war eine Zunahme aller

anderen Hopfenbitterstoffe zu verzeichnen, in einigen Fällen auch in Abhängigkeit vom eingestellten Alkoholgehalt.

#### Alpha-Säuren

Am stärksten war der Anstieg der Alpha-Säuren. In den alkoholfreien N-Bieren wurden bereits im Durchschnitt eine Konzentration von 12,7 mg/l nach dem Dry Hopping gemessen. Der stärkste Anstieg

wurde mit 61,5 mg/l bei den H-Bieren verzeichnet, was einem Anstieg von 370 Prozent entspricht. Bei höheren Alkoholgehalten wurden bedeutend mehr hydrophobe Alpha-Säuren aus den Hopfenpellets extrahiert und letztlich im Bier gefunden. Die Transferraten betragen 6,4 Prozent für den geringsten und 32,3 Prozent für den höchsten Alkoholgehalt (Tab. 3).

#### Humulinone

Nach dem Hopfenstopfen wurden Humulinongehalte von 2,0 mg/l in den N-Bieren und 3,0 mg/l in den G-, M- und H-Bieren gemessen. Obwohl in jüngsten Studien höhere Transferraten veröffentlicht wurden [12], liegen die hier berechneten Transferraten bei nur 41,4–69,2 Prozent (Tab. 3). Die höheren Alkoholgehalte in den G-, M- und H-Proben führten zu keiner wesentlichen Änderung des Humulinongehaltes. Daher kann angenommen werden, dass Humulinone nicht vom Alkoholgehalt des hopfenstopften Bieres beeinflusst werden.

#### Beta-Säuren

Die hydrophoben Beta-Säuren wurden ebenfalls untersucht. Bereits bei einem Alkoholgehalt von 3,5 Prozent war die Löslichkeit deutlich verbessert und ein Gehalt von 3,1 mg/l konnte erreicht werden. Bei der höchsten Alkoholkonzentration der H-Proben stieg dieser Wert im Mittel bis auf 8,4 mg/l an. In den allermeisten Bieren wird dieser Gehalt nur sehr selten gefunden, denn die nicht-polaren Beta-Säuren werden üblicherweise als unlöslich in Bier eingestuft [13]. Die Transferraten blieben jedoch sehr niedrig und unterhalb von 6,4 Prozent (Tab. 3).

#### Xanthohumol

Im Ausgangsbier wurde nur eine sehr geringe Konzentration an Xanthohumol gefunden. Der gemessene Anstieg kann ausschließlich auf den Stofftransfer vom Pellet ins Bier nach dem Dry Hopping zurückgeführt werden. Es ist bekannt, dass Xanthohumol in Wasser nahezu unlöslich ist und Ethanol als ideales Lösungsmittel dient [14]. Bereits ein Alkoholgehalt von 3,5 Prozent in den G-Bieren verbesserte eindeutig die Löslichkeit von Xanthohumol (siehe Abb. 1). Der höchste Gehalt von 4,3 mg/l wurde in den H-Proben gemessen. Er beläuft sich auf ungefähr ein Viertel (24,7%) der Gesamtmenge, die über die Kalthopfung eingebracht worden ist (Tab. 3).

### **Bittereinheiten**

Dry Hopping führte zu einem Anstieg der Bittereinheiten mit den höchsten Werten bei 10,5 Vol.-% Alkohol. Bei der angewendeten Wellenlänge der photometrischen Bittereinheitenanalyse werden vorrangig die Iso-alpha-Säuren bestimmt. Allerdings haben die oben genannten Hopfenverbindungen ebenfalls eine gewisse Absorption bei 275 nm [7]. Da in dieser Studie die Gehalte an Iso-alpha-Säuren annähernd konstant waren, kann die Zunahme der Bittereinheiten aller Versuchsbiere hauptsächlich den über das Dry Hopping eingebrachten Hopfenbittersäuren zugeschrieben werden, vorwiegend den Alpha-Säuren, aber auch den gelösten Beta-Säuren und Humulinen. Die Bittereinheiten sind daher indirekt vom Alkoholgehalt abhängig, denn die Löslichkeit der eingebrachten, zum Teil schwerlöslichen Bitterstoffe verbesserte sich stetig mit der Zugabe von Ethanol.

### **Hopfenaromastoffe**

Die Hopfenaromastoffe wurden mit der Methode nach Schmidt et al. analysiert [7, 15]. Tabelle 4 gibt die gemittelten Werte für jede Gruppe je Alkoholgehalt an. In den meisten Fällen schwankten die einzelnen Ergebnisse – mit einigen wenigen Ausnahmen – innerhalb bzw. nahe am analytischen Toleranzbereich von  $\pm 10$  Prozent [6].

### **Ketone**

Bei den untersuchten Ketonen wurden mit weniger als 50  $\mu\text{g/l}$  vergleichsweise niedrige Werte im kaltgehopften Bier gefunden. Die höchsten Konzentrationen konnten bei den beiden Ketonen 2-Undecanon und 2-Dodecanon in den H-Proben gemessen werden. Im Gegensatz dazu scheint 2-Dodecanon gleichmäßiger und in geringeren Mengen aus den Pellets herausgelöst zu werden. Bereits bei einem Alkoholgehalt von 3,5 Vol.-% scheinen die untersuchten Ketone ein gewisses Plateau erreicht zu haben. Eine Abhängigkeit zwischen besserer Löslichkeit und höherem Alkoholgehalt ist dennoch gegeben.

### **Ester**

Vier vom Hopfen eingebrachte Ester wurden untersucht. Bei einem Vergleich des Ausgangsbiers mit den alkoholfreien N-Proben zeigte sich, dass alle untersuchten Ester unmittelbar nach dem Dry Hopping ins Bier übergegangen waren. 46–70 Prozent der maximal gefundenen Konzentrationen

finden sich bereits in den entsprechenden N-Proben wieder. Die beste Extraktionsrate bei einem Alkoholgehalt von nur 0,5 Vol.-% wurde für Isobutylisobutyrat (70%) beobachtet, gefolgt von 3- und 2-Methylbutylisobutyrat (58%) und Geranylacetat (46%). Dieser erste sprunghafte Anstieg unmittelbar nach dem Dry Hopping stellt die ausgezeichnete Löslichkeit der Hopfenester unter Beweis. Damit kann diese Stoffgruppe bereits zum Geschmacksprofil eines alkoholfreien, hopfengestopften Bie-

res deutlich beitragen. Bei einem Alkoholgehalt von 3,5 Vol.-% erreichten alle Ester entweder ihre maximale Konzentration oder kamen diesem Wert sehr nahe. Ab einer Alkoholkonzentration von mehr als 3,5 Vol.-% waren die Hopfenester kaum noch vom steigenden Alkoholgehalt abhängig.

### **Terpenalkohole**

Die Terpenalkohole Geraniol und Linalool sind bekannterweise schon bei niedrigen Alkoholgehalten gut in Bier löslich. Dies

verdeutlicht ein Vergleich der N-Proben mit dem Ausgangsbier. Nach dem Dry Hopping wurden fast 200 µg/l in den alkoholfreien N-Proben gemessen. In allen anderen Proben, in denen der Alkoholgehalt eingestellt wurde, konnten Werte über 200 µg/l mit mehr oder weniger konstanten Plateaus gemessen werden, mit Ausnahme von Geraniol in den H-Proben. Letzteres könnte auf einen Fehler bei der Probenahme zurückzuführen sein, da bei den Analyseergebnissen der G- und M-Proben bereits die maximale Konzentration erreicht wurde. Da die Konzentrationszunahmen der G-, M- und H-Proben im Vergleich zu den N-Proben eher gering ist, kann abgeleitet werden, dass der Zusatz von Ethanol die Löslichkeit der wichtigsten Terpenalkohole nur bis zu einem gewissen Grad weiter verbessert.

### **Mono- und Sesquiterpene**

Sämtliche untersuchten Mono- und Sesquiterpene zeigten ein vom Alkoholgehalt abhängiges Lösungsverhalten. Je mehr Ethanol zugegeben wurde, desto stärker stiegen deren Konzentrationen an. Es zeigte sich, dass Myrcen bereits ab 0,5 Vol.-% deutlich zunahm. Ausgesprochen hohe Werte wurden in allen anderen Proben mit einem Alkoholgehalt von 3,5 Vol.-% oder mehr gemessen. Diese hohen Konzentrationen von fast 14 000 µg/l sind auf die Zugabe der Hopfenpellets in ein geschlossenes System und den Einsatz von fertigem Bier mit sehr wenigen Hefezellen zurückzuführen. Verluste aufgrund von Adsorption an den Hefezellen konnten nicht stattfinden [16]. Dies ist jedoch üblicherweise der Fall, wenn Hefe bzw. Kalttrub unter normalen Produktionsbedingungen im Kaltbereich entfernt wird und damit eine Erklärung für die außergewöhnlich hohen Werte insbesondere bei β-Myrcen, dem Hauptaromastoff der ätherischen Öle des Hopfens (Tab. 1).

Verglichen mit den anderen betrachteten Mono- und Sesquiterpenen ist die β-Myrcenkonzentration in diesen Versuchsbieren so hoch, dass eindeutige alkoholbedingte Abhängigkeiten nicht mehr beobachtet werden konnten. Mit Werten unter 10 µg/l waren β-Caryophyllen, α-Humulon und α-Limonen bei einem Alkoholgehalt von 0,5 Vol.-% schwer löslich, jedoch stiegen die Konzentrationen deutlich bei 3,5 Vol.-% (in zwei Fällen um den Faktor von ca. 10) und nahmen mit steigenden Alkoholgehalten weiterhin zu. In allen entsprechen-

den H-Proben wurden die Maximalkonzentrationen gemessen, was eindeutig belegt, dass Ethanol die Löslichkeit von Mono- und Sesquiterpenen verbessert.

### **Fazit**

Diese Studie betrachtet den Einfluss des Alkoholgehaltes auf hopfengestopfte Biere. Eine Veränderung des Alkoholgehaltes von 0,5 auf 10,5 Vol.-% führte zu unterschiedlichen Löslichkeiten der vom Hopfen eingebrachten, flüchtigen und nichtflüchtigen Inhaltsstoffe. Diese Ergebnisse sollen dabei unterstützen, den Stofftransfer je nach Alkoholgehalt eines Bieres besser zu verstehen, um eine auch hinsichtlich der Sensorik gleichbleibende Bierqualität zu produzieren.

Die Iso-alpha-Säuren und die Humulone blieben im hopfengestopften Bier bei unterschiedlichen Alkoholgehalten unverändert. Hingegen wurden bedeutend höhere Werte für die hydrophoben Bitterstoffe (Alpha- und Beta-Säuren und Xanthohumol) mit zunehmender Ethanolzugabe beobachtet.

Das Verhalten der analysierten Aromastoffgruppen des Hopfens wurde in Abhängigkeit des Alkoholgehaltes charakterisiert. Ansteigende Konzentrationen wurden für die Mono- und Sesquiterpene und Ketone mit zunehmenden Alkoholgehalten im Bier beobachtet. Die Terpenalkohole wurden kaum davon beeinflusst und der Gehalt der gut löslichen Hopfenester konnte durch Zugabe von Ethanol ebenfalls nicht erhöht werden. Zur Herstellung von alkoholfreien, kaltgehopften Bieren sind die gut löslichen, aromaintensiven Terpenalkohole und Ester besonders vorteilhaft, da ihre Löslichkeit kaum vom Alkoholgehalt abhängt. ■

### **Literatur**

1. Brendel, S.; Hofmann, T.; Granvogel, M.: „Dry-hopping to modify the aroma of alcohol-free beer on a molecular level – loss and transfer of odor-active compounds“, *J. Agric. Food Chem.* Nr. 68, 2020, S. 8602–8612.
2. Rettberg, N. et al.: „Effect of production technique on pilsner-style non-alcoholic beer chemistry and flavor“, *Beverages* Nr. 8 (1), 4, 2022.
3. European Beer Star 2022, Category Description 2022, <https://www.european-beer-star.com/ebs-en/wettbewerb/kategorien/> (abgerufen am 28.4.2022).

4. Haslbeck, K.; Minkendberg, D.; Coelhan, M.: „Investigations into the transfer rate of volatile compounds in dry hopping using an octanol-water partition coefficient model“, *J. Am. Brew. Soc. Chem.* Nr. 76 (3), 2018, S. 169–177.
5. Clark, R.; Linforth, R.; Bealin-Kelly F.; Hort, J.: „Effects of ethanol, carbonation and hop acids on volatile delivery in a model beer system“, *J. Inst. Brew.* Nr. 117 (1), 2011, S. 74–81.
6. Cocuzza, S.; Gmeinwieser, S.; Helmschrott, K.; Peifer, E.; Zarnkow, M.: „How alcohol content in dry-hopped beer affects final beer composition – a model study“, *BrewingScience* Nr. 75, 2022, S. 44–53.
7. European Brewery Convention (Analytica-EBC), <https://brewup.eu/ebc-analytica> (abgerufen am 28.4.2022)
8. MEBAK – Wort, Beer and Beer-based Beverages (WBBM), 2013, <https://www.mebak.org> (abgerufen am 28.4.2022).
9. <https://www.hopsteiner.com/variety-data-sheets/Solero/> (abgerufen am 31.5.2023).
10. <https://www.nagardo.com> (abgerufen am 10.5.2023).
11. Wietstock, P.; Düring, S.; Hass, D.; Hopf, D.; Kunicka, M.: „The effect of temperature, time, and initial iso-alpha acid concentration on the hop bitter acid profile after dry hopping“, ASBC meeting (Poster), 2021.
12. Maye, J.P.; Smith, R.; Leker, J.: „Humulinone formation in hops and hop pellets and its implications for dry hopped beers“, *MBAA Technical Quarterly* Nr. 53 (1), 2016, S. 23–27.
13. Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Lutz, A.; Mitter, W.; Schmidt, R.; Schönberger, C.: „Hops: their cultivation, composition and usage“, Fachverlag Hans Carl, 2014.
14. Stevens, J.F.; Taylor, A.W.; Clawson, J.E.; Deiner, M.L.: „Fate of xanthohumol and related prenylflavonoids from hops to beer“, *J. Agric. Food Chem.* Nr. 47, 1999, S. 2421–2428.
15. Schmidt, C.; Biendl, M.: „Headspace Trap GS-MS analysis of hop aroma compounds in beer“, *BrewingScience* Nr. 69, 2016, S. 9–15.
16. Kishimoto, T.; Uemura, K.; Aizawa, M.: „A new insight for controlling the hop flavor using hydrophobicity of yeast cell surface“, EBC congress (Poster), 2013.