

Auswirkungen der Hopfensorten Aramis, Mistral und Barbe Rouge auf das Bieraroma beim Hopfenstopfen

AROMAANALYSE | In den letzten Jahren wurde die Technik des Hopfenstopfens weiter verfeinert, um das gesamte Aromapotential von Hopfen aufzudecken und einzigartige Biere zu brauen. Der Schwerpunkt der hier beschriebenen Studie lag auf den Auswirkungen der Hopfensorten Aramis, Mistral und Barbe Rouge auf die sensorischen Eindrücke von hopfengestopften Lagerbieren. Die Analyse der flüchtigen Verbindungen und Verkostungen zum sensorischen Ranking zeigten, dass diese drei Hopfensorten einzigartige sensorische Ausprägungen haben.

IN DEN VERGANGENEN Jahrzehnten wurde Hopfenstopfen als ein unübliches Verfahren verstanden, das Craft Brauer zur Verbesserung des Aromas ihrer Biere einsetzten. Mit diesem Verfahren lassen sich inzwischen die vom Hopfen eingetragenen, flüchtigen Verbindungen viel besser darstellen. Beim konventionellen Brauverfahren gehen die meisten vom Hopfen eingetragenen, flüchtigen Verbindungen durch Verdampfung, Chemikalien und enzymatischen Abbau verloren [1]. In hopfengestopften Bieren bleiben die meisten flüchtigen Verbindungen des Hopfens erhalten. Dabei werden Terpene und Ester als die positivsten Verbindungen für das Aroma von Bier angesehen, während Säuren und Schwefelverbindungen einen Geschmack nach Käse und Zwiebeln hervorrufen [2]. Viele Faktoren können einen Einfluss auf den Gehalt

an diesen geschmacksaktiven Verbindungen nehmen. Zweifelsohne ist die Wahl der Hopfensorte der wichtigste Faktor, der die aromatische Ausprägung des mit diesem Verfahren hergestellten Biers hervorheben kann. Der Einfluss der Hopfensorte auf die schlussendliche aromatische Wahrnehmung des mit Hopfenstopfen produzierten Biers ist und bleibt für Brauer eine Herausforderung.

In dieser Studie haben wir mit den Hopfensorten Aramis, Mistral und Barbe Rouge hopfengestopfte Biere untersucht. Mittels sensorischer Analyse und Erstellung metabolischer Profile haben wir die jeweiligen Auswirkungen auf das Bieraroma bewertet und die Profile der aromatischen Verbindungen erstellt. Die Hopfensorten wurden 2015 von Cophoudal/Comptoir Agricole aus Hochfelden in Frankreich zur Verfügung gestellt. Aramis wurde als Bitterhopfen (α -Säure = 9,6 %) eingesetzt. Die anderen Sorten (einschließlich Aramis) wurden in Brautests (Hopfenstopfen) in der 50-l-Versuchsanlage von Twistaroma aus Illkirch in Frankreich verwendet. Die Biere wurden anschließend gefiltert und auf drei kleinere Gärbottiche (15 l) zum Hopfenstopfen bei 4 °C während acht Tagen mit 6 g/l mit Hopfenpulver der Sorten Aramis, Mistral und Barbe Rouge aufgeteilt. Nach Ende dieses Prozesses wurden die Biere sofort in Flaschen abgefüllt und mittels Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE)-GC-MS von Twistaroma dreifach analysiert

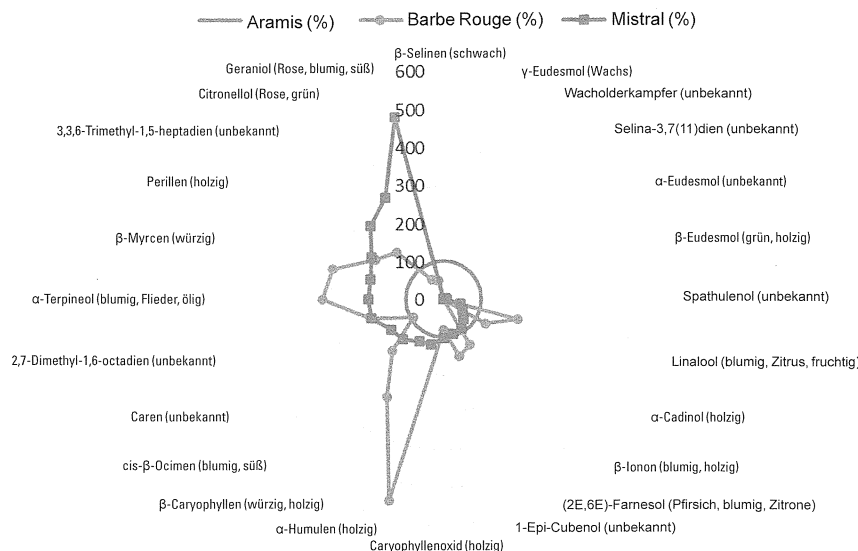


Abb. 1 Spinnennetzdiagramm der flüchtigen Terpene (% rel. zu Aramis 100 %) in statistisch unterschiedlicher Konzentration zwischen Aramis, Barbe Rouge und Mistral-Bieren

Autoren: Nathalie Brigniera, Damien Steyer (PhD), Céline Clayeux (PhD), Twistaroma, R&D, Illkirch; Christophe Marcic (PhD), Faculté de Pharmacie de Strasbourg, Illkirch; Francis Heitz, Antoine Wuchner, Bernadette Laugel, Comptoir Agricole, Hochfelden, alle Frankreich

PROFILE DER TERPENGEGEHALTE (SCHÄTZWERTE IN µG/L)

Verbindungen	Beschreibungen	Schwellenwert (µg/l)	Gehalt (µg/l) (Aromawert)		
			Aramis	Barbe Rouge	Mistral
Perillen	holzig	13 000	0,110	0,230	0,250
Methylgeranat*	blumig, grün	400	2,31	4,61	4,00
(2E,6E)-Farnesol*	Pfirsich, blumig, Zitrone	80	0,020	0,020	0,010
cis-β-Ocimen*	blumig, krautig	1	0,020	0,050	0,040
Geranylacetat*	Rose, süß	10	ND	ND	0,400
2,7-Dimethyl-1,6-octadien*	unbekannt	60	0,480	0,950	0,930
α-Cadinol	holzig	1600	0,200	0,250	0,110
α-Eudesmol*	unbekannt	500	1,200	0,060	0,050
β-Selinene*	würzig, krautig	6	0,002	ND	ND
Caren*	unbekannt	210	1,130	1,060	1,820
Wacholderkampfer*	unbekannt	500	0,680	ND	ND
Selina-3,7(11)dien*	unbekannt	3500	0,002	ND	ND
Spathulenol*	unbekannt	5	0,220	ND	0,017
Calamenen	würzig	100	ND	0,001	ND
1-Epi-Cubenol	unbekannt	5	0,150	0,230	0,140
β-Myrcen*	würzig	150	0,430	1,290	0,860
Caryophyllenoxid	holzig	3	0,039	0,032	0,040
β-Ionon*	blumig, fruchtig	18	0,124	ND	0,093
α-Humulene*	holzig	0,12	0,005	0,030	0,007
β-Eudesmol*	grün, holzig	10 000	0,979	0,060	0,056
γ-Eudesmol*	süß, wachsig	200	0,420	ND	ND
β-Caryophyllen*	würzig, holzig	64	0,002	0,007	0,003
α-Copaen*	holzig, würzig	6	ND	ND	0,004
γ-Cadinene*	holzig	10	ND	0,001	0,001
3,3,6-Trimethyl-1,5-heptadien*	unbekannt	18	0,22	0,39	0,61
Terpenol					
Citronellol*	Rose, grün	5	5,63 (1,1)	3,400	17,39 (3,5)
Linalool*	blumig, Zitrus, fruchtig	14	67,63 (4,8)	137,62 (9,8)	31,33 (2,2)
α-Terpineol	blumig, Flieger, ölig	250	0,75	2,42	1,49
Geraniol*	Rose, blumig, süß	36	4,73	2,33	23,47
Nerol	blumig, süß	50	ND	1,25	2,87

Tab. 1 ND: nicht detektiert; *Gehalt in den drei Bieren statistisch unterschiedlich (p-Wert<0,05); Aromawerte nur angeführt, wenn größer als 1

(Tabelle 1, 2 und 3). Die Sensorik wurde anhand von sechs Kriterien – angenehm, blumig, fruchtig, krautig, hopfenwürzig und würzig – von einer Gruppe von 32 Verkostern von der INRA Colmar bewertet, die ausgebildet waren, sich Aromen von Weinen ins Gedächtnis zu prägen und zu erkennen.

Die Aromawerte (OAVs) jeder Verbindung wurden durch Division der Aromaverbindungsgehalte durch ihre Wahrnehmbarkeitsschwellen berechnet. Nur Verbindungen mit Aromawerten über 1 wurden eingestuft, einzeln zum Bieraroma beizutragen.

Aromaprofile

Es ist bekannt, dass Terpene in Hopfen maßgeblich zum Bieraroma beitragen, insbesondere in hopfengestopften Bier. Wir möchten hier aufzeigen, dass jedes Bier ein eigenes Terpenprofil besitzt. Barbe Rouge enthielt hohe α-Humulene-Gehalte

SÄURE-, ALKOHOL-, ALDEHYD-, KETON-, PHENOL- UND THIOLGEHALTE
(SCHÄTZWERTE IN µg/L)

Verbindungen	Beschreibungen	Schwellenwert (µg/l)	Gehalt (µg/l) (Aromawert)		
			Aramis	Barbe Rouge	Mistral
Säuren					
2-Methyl-2-Pentensäure	holzig	70	142,52 (2)	290,16 (4)	278,94 (4)
Iso-Buttersäure*	ranzig, Butter, käsig	200	523 (2)	1215 (6)	1360 (6)
Isovaleriansäure*	ranzig, käsig, säuerlich	30	368 (12)	797 (26)	868 (29)
Propansäure*	penetrant, ranzig, Soja	14	319 (22)	298 (21)	352 (25)
Hexansäure	käsig, ranzig, schweißig	2400	119,86	126,63	126,91
Octansäure*	fettig, ranzig	910	193,24	302,13	451,13
9-Decensäure*	fettig, wachsartig	5	ND	7,05 (1)	3,36
Nonansäure*	fettig, ranzig	unbekannt	ND	3,09	2,15
Dekansäure*	ranzig, seifig	1500	10,78	23,77	28,02
Dodekansäure	metallisch, wachsartig	2200	0,03	0,11	0,08
Alkohole					
2-Phenylethanol*	Rose, blumig, Honig	12 500	25 195 (2)	25 607 (2)	27 279 (2)
1-Octen-3-ol*	Pilze, erdig	200	36,03	35,47	ND
Acetol	nussartig	1800	68 409 (38)	60 154 (33)	95 355 (53)
Isoamylalkohol*	alkoholisch, malzartig, Fusel	65 000	19 632,86	17 508,44	21 626,39
3-Methyl-2-Buten-1-ol	krautig	570	127,33	166,78	158,97
Benzenmethanol*	süß, blumig, fruchtig	400	ND	210,71	280,15
1-Octanol	grün, blumig, fruchtig	900	18,24	22,56	17,49
1-Hexanol*	krautig, blumig	1100	33,36	60,83	39,37
1-Decanol*	blumig, Orange, fettig	180	1,49	1,35	ND
2-Tridecanol*	unbekannt	unbekannt	0,01	0,01	ND
1-Heptanol*	grün	fruchtig	27,65	69,12	ND
2-Nonanol*	grün, Wassermelone	unbekannt	15,3	8,01	6,32
2-Undecanol*	fruchtig	unbekannt	1,1600	ND	ND
Aldehyde					
5-Methylfurfural*	Karamell, würzig	60 000	42,31	34,80	72,75
Decanal	grün, talgig	6	0,29	0,50	0,32
Furfural*	Alkan, süß, blumig	2000	381,54	349,41	934,49
1-Nonanal*	blumig, fruchtig	1	ND	ND	0,72
Furane					
2-Furanmethanol	verbrannt, süß	1000	6571,94 (6)	6914 (6)	10 589 (10)
Maltol	Karamell, angebrannter Zucker	900	10 341 (11)	7127 (7)	14 927 (16)
2-Methylfuran	unbekannt	3500	11,61	1,11	16,95
Theaspiran*	erdig, Geranien	3	ND	ND	0,02
Ketone					
3-Buten-2-on	süß	1400	1935 (1)	3250 (2)	3369 (2)
2-Heptanon*	fruchtig, Blaukäse, süß	2000	10,71	18,66	18,60
Methyl-isobutylketon*	unbekannt	60 000	ND	550,87	83,23
2-Undecanon	blumig, Orange	400	2,35	1,94	0,88
3-Methyl-2-butanon	Kampfer, Äther	60 000	56,40	97,60	289,10
2-Decanon*	fruchtig	190	4,41	2,97	2,70
2-Nonanon	fruchtig, grün, seifig	38	25,07	ND	ND
2-Hydroxy-2-cyclopenten-1-on*	unbekannt	3500	911,91	1772,85	ND
Azeton	unbekannt	400	8840 (22)	13 218 (33)	13 062 (32)
Butyrolazeton*	süß, Karamell, fruchtig	910	8892 (9)	13 359 (14)	7814 (8)
Phenole					
Guajakol*	verbrannt, rauchig	10	11,59 (1)	4,7	0,0
4-Vinylguajakol	würzig, Gewürznelke, rauchig	5	79,59 (15)	85,35 (17)	72,93 (14)
2,4-Di-tert-butylphenol	phenolisch	30	0,038	0,020	0,020
Thiole					
Dimethylsulfid*	schweflig, Kohl, Trüffel	30	2247 (74)	ND	ND
Dimethylsulfoxid*	unbekannt	unbekannt	ND	37,127	50,898

Tab. 2 ND: nicht detektiert; *Gehalt in den drei Bieren statistisch unterschiedlich (p-Wert<0,05); Aromawerte nur angeführt, wenn größer als 1

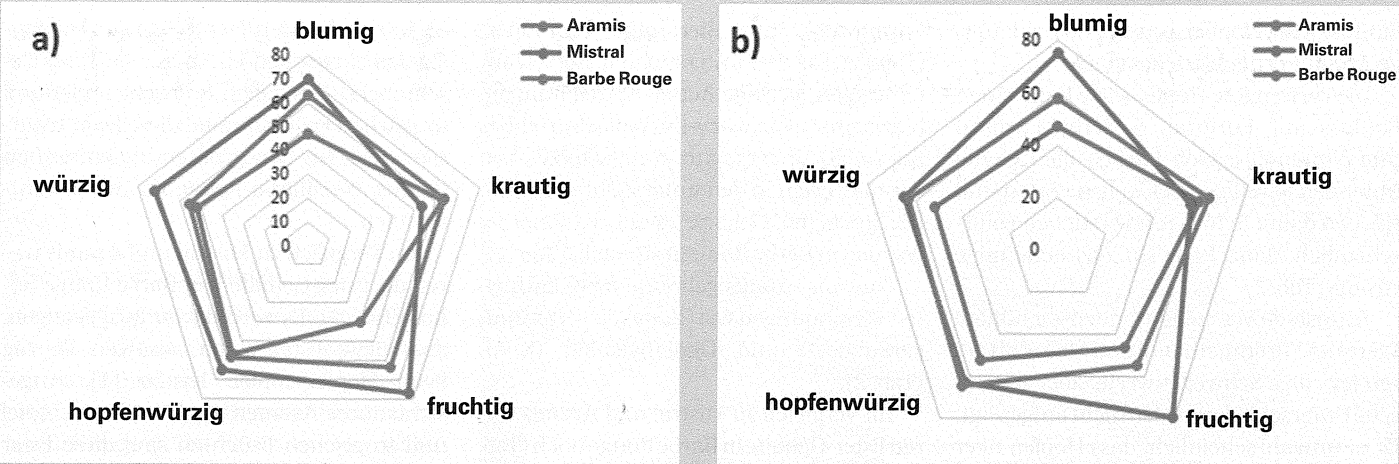


Abb. 2 Spinnennetzdiagramm der Rangsumme (in %) für a) Geruch und b) Geschmack jedes untersuchten Kriteriums in mit den drei Hopfensorten gebrautem Bier

(balsamisch, holzig) und β -Caryophyllen-Gehalte (Gewürznelke, schwarzer Pfeffer). Mistral-Bier dagegen war durch Geraniol (Rose, Litschi) und Citronellol (Rose, Zitrus) gekennzeichnet (Abb. 1). Mit Aramis gebrautes Bier enthielt mehr α -, β - und γ -Eudesmol, Wacholderkampfer und Selina-3,7(11)dien.

Die Terpene mit den in den drei hergestellten Bieren höchsten Aromawerten waren Linalool (blumig, Zitrus, fruchtig) und Citronellol (Rose, grün). Takoi et al. [3] beschrieben eine mögliche synergistische Wirkung bei Zunahme von Linalool, Geraniol und Citronellol. Dieser Fakt könnte die

Verstärkung des Zitrusaromas in den drei Bieren erklären. Barbe Rouge enthielt höhere Linalool-Gehalte (138 µg/l) und Mistral höhere Geraniol- (23 µg/l) und Citronellol-Gehalte (17 µg/l) (Abb. 1).

Mistral trug zu höheren Gehalten an Propansäure, Isovaleriansäure und Isobuttersäure (ranzige Noten) bei. Die drei Verbindungen tragen zu den Aromawerten in Bier bei und sind beim Hopfenstopfen charakteristisch [1]. In unseren Versuchen hatte mit Aramis gebrautes Bier die niedrigsten Gehalte an nachweisbaren Säuren (Tab. 2).

Alkohole mit den höchsten Aromawerten waren in unseren Versuchen 2-Phenyl-

ethanol und Azetol (Tab. 2). Leider wurde der Azetolgehalt aufgrund des Extraktionsverfahrens (geringe Affinität mit dem Stir Bar Sorptive Extraction Verfahren) inkorrekt bestimmt und es war daher nicht möglich, den Einfluss jeder Hopfensorte zuzuordnen. In unseren Versuchen war er jedoch die Verbindung mit dem höchsten Aromawert in dieser Substanzklasse. Ähnliche Gehalte des aromaaktiven 2-Phenylethanol (positive Rosennote) wurden in den drei Bieren detektiert. Bei Verwendung von Mistral zum Hopfenstopfen konnte der Gehalt erhöht werden (Tab. 2). Hinsichtlich der anderen Alkoholverbindungen ist der

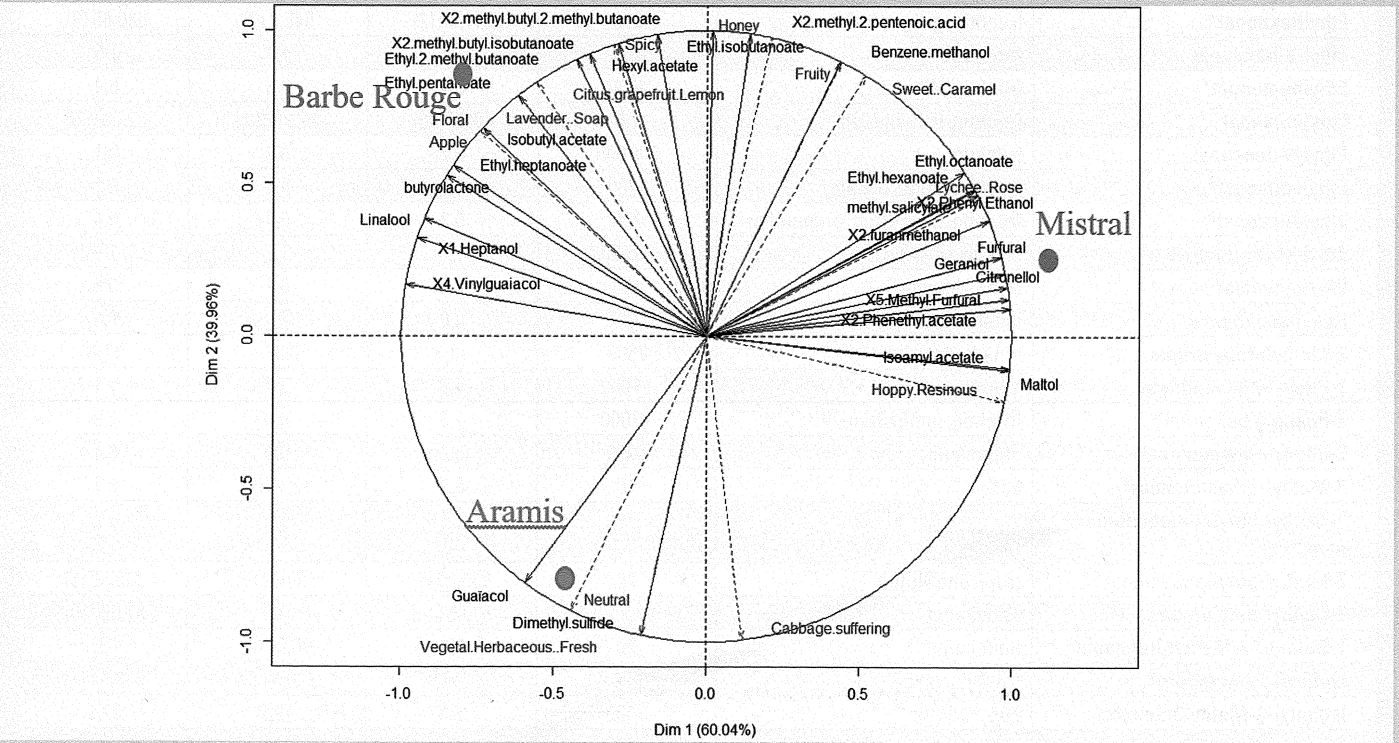


Abb. 3 PCA-Biplot der Profilierung der sensorischen Eigenschaften und flüchtigen Verbindungen hinsichtlich der aromatischen Unterschiede der Hopfensorten Mistral, Aramis und Barbe Rouge

Einfluss jeder Hopfensorte auf das endgültige Aroma vernachlässigbar klein.

Die verwendete Hopfensorte hatte einen Einfluss auf Furfural, 5-Methyl-Furfural und Nonanol, jedoch blieben die Gehalte unter den jeweiligen Schwellenwerten und spielten damit in unseren Versuchen wahrscheinlich keine Rolle für das endgültige Aroma (Tab. 2).

In unseren Versuchen fanden wir höhere Werte an Furanmethanol und Maltol als deren jeweilige Schwellenwerte, aber statistische Unterschiede wurden nicht aufgezeigt. Es ist unwahrscheinlich, dass Hopfen über

Furanprofile das Bieraroma beeinflusst (Tab. 2). Die drei untersuchten Hopfensorten zeigten geringe Keton-Abweichungen. Einzig und allein war γ -Butyrolacton (süßes Karamell) anders, mit unterschiedlichen Aromawerten in den untersuchten Bieren. Die höchsten Gehalte dieser Verbindung wurden in Barbe Rouge festgestellt (Tab. 2).

Nur mit Aramis gebraute Biere enthielten Verbindungen wie Guajakol (verbrannt, geräuchert) und Dimethylsulfid (Kohl) (Tab. 2).

Im Vergleich zu Mistral und Aramis waren Ester-Gehalte in Barbe Rouge hoch (Tab.

3). Diese Ester werden positiv beim Hopfenstopfen eingestuft [4]. Angesichts ihrer Geschmacksnoten nach Erdbeere, Apfel und tropischen Früchten sind diese Ester wahrscheinlich für den größten olfaktorischen Beitrag von Barbe Rouge im Bier verantwortlich.

Im Vergleich zu Mistral und Aramis waren die Ester-Gehalte von Barbe Rouge höher (Tab. 3). Es wird davon ausgegangen, dass diese Ester einen positiven Beitrag beim Hopfenstopfen leisten [4]. Angesichts ihrer Aromen nach Erdbeere, Apfel und tropischen Früchten sind diese Ester

wahrscheinlich für die geruchlichen-geschmacklichen Attribute von Barbe Rouge verantwortlich.

Tabelle 4 ist eine Zusammenfassung aller aromaaktiven Verbindungen, die für die untersuchte Hopfensorte charakteristisch sind.

Sensorische Analyse

Die drei Biere wurden sensorisch bewertet, um die Auswirkungen der Hopfensorten auf das Bieraroma und das Geschmacksprofil zu bestimmen. Die gewählten Deskriptoren/Kriterien für diese Analyse waren „angenehm“, „blumig“, „fruchtig“, „grasig“, „hopfenwürzig“ und „würzig“, sowohl vom Geruch als auch vom Geschmack her (Abb. 2).

Vom Geruch her hatten Mistral und Barbe Rouge dieselben „angenehmen“, „blumigen“, „fruchtigen“ und „würzigen“ Ausprägungen. Beide Sorten waren bedeutend „angenehmer“ und „fruchtiger“ als Aramis. Vom Geschmack her war Mistral bedeutend angenehmer und fruchtiger als Aramis und Barbe Rouge (Abb. 2).

Korrelation

Eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurde durchgeführt, um die Korrelation zwischen den Profilen der flüchtigen Verbindungen und den sensorischen Deskriptoren, die den Verkostern vorgegeben wurden, zu untersuchen (Abb. 3).

Zuvor identifizierte, flüchtige Verbindungen wurden hinsichtlich ihrer Gehalte und olfaktorischen Ausprägungen in den Bieren ausgewählt. Die für die Hauptkomponentenanalyse verwendeten Deskriptoren wurden anhand der Anzahl ihrer Erwähnung in der sensorischen Verkostung bestimmt.

Für Mistral waren die Hauptdeskriptoren „Litschi“ und „Rose“. Die Hauptkomponentenanalyse und eine vorhergehende statistische Analyse (Tab. 2) zeigten, dass Geraniol und Citronellol für die Hopfensorte typisch sind. Die sensorische Analyse legte nahe, dass diese Verbindungen zur blumigen, Rosen- und Litschi-Ausprägung im Bier beitragen können. In mit Barbe Rouge hergestelltem Bier betrafen die untersuchten Hauptdeskriptoren „Zitrus/Zitrone“, „Lavendel/Seife“ und „Apfel“. Die beiden ersten Deskriptoren sind auf den Linalool-Gehalt zurückzuführen. Der dritte Deskriptor „Apfel“ könnte mit der Anwesenheit von Ethylpentanoat und Ethyl-2-methylbuta-

FLÜCHTIGE MARKERSUBSTANZEN ...

... der untersuchten Hopfensorte (Aromawert >1 und in statistisch unterschiedlicher Konzentration zwischen Aramis, Barbe Rouge und Mistral-Bieren)

Biere	typische Verbindungen	Aromen
Aramis Bier	2-Phenethylbutanoat	käsige, Schnaps, Wein
	Butylacetat	fruchtig, blumig
	Guajakol	verbrannt, geräuchert
	Dimethylsulphid	Kohl
Barbe Rouge Bier	Linalool	blumig, Zitrus, fruchtig
	Ethylisobutanoat	fruchtig, süß, Erdbeere
	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	fruchtig
	Ethyl-2-methylbutanoat	Apfel, Erdbeere
	2-Methylbutyl-2-isobutanoat	tropische Noten
	Ethylheptanoat	fruchtig, Wein
	1-Octanol	grün
Mistral Bier	Butyrolazeton	Karamell, fruchtig
	Geraniol	Rose, blumig, süß
	Citronellol	Rose, grün
	2-Phenylacetat	fruchtig, Rose, Honig
	2-Phenetylenhexanoat	fruchtig
	Ethylhexanoat	grüner Apfel
	Ethyl-octanoat	blumig, süß
	Methylsalicylat	süß, Menthol, würzig
	2-Furanmethanol	verbrannt, süß
	2-Heptanon	Blaukäse, süß
	3-Buten-2-on	süß
	Isovalerian-, Isobuttersäuren	ranzig

Tab. 4

noat [5] in dieser Hopfensorte in Zusammenhang stehen.

Fazit

Aramis, Barbe Rouge und Mistral sind drei Elsässer Hopfensorten, die für die Herstellung hopfengestopfter Biere verwendet wurden. Die aromatischen Profile wurden anschließend mittels aromatischer und sensorischer Analyse verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass die Wahl der Hopfensorte einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den Charakter der Biere hat. Im Vergleich zu den beiden anderen Hopfensorten zeichnet sich Mistral durch seine Terpenzusammensetzung mit dem Trio Geraniol, Citronellol und Linalool aus, das blumige Rosen- und fruchtige Litschinoten einbringt. Barbe Rouge steht für typische Esterverbindungen und trägt Noten von roten Früchten z. B. Erdbeere und exotischen Früchten in das Bier ein. Aramis hat beeindruckende aromatische Ausprägungen und vereint die Schlüsselaromen von Mistral (Terpene) und Barbe Rouge (Ester), die in niedrigeren Konzentrationen als in den beiden anderen Hopfensorten vorliegen. ■

Danksagung

Die Autoren möchten Dr. Valentin Le Douce ihren tief empfundenen Dank aussprechen.

Literatur

1. Collin, S.; Nizet, S. and Gros, J.: „Le houblonnage à cru des bières spéciales belges est bien plus qu'une simple dissolution des composés aromatiques du houblon“, Cerevisia, 36, 2001, S. 119-124.

2. Lermusieau, G.; Collin, S.: „Volatile Sulfur Compounds in Hops and Residual Concentrations in Beer – A Review“, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2003.

3. Takoi, K.; Itoga, Y.; Koie, K.; Kosugi, T.; Shimase, M.; Katayama, Y.; Nakayama, Y., Watari, J.: „The Contribution of Geraniol Metabolism to the Citrus Flavour of Beer: Synergy of Geraniol and β -Citronellol Under Coexistence with Excess Linalool“, Journal of the Institute of Brewing, 116, 2010, S. 251-260.

4. Takoi, D. K.: „Varietal difference of hop-derived flavour compounds in dry-hopped beers“, BRAUWELT International No. 4, 2016, S. 234-239.

5. Saison, D.; Schutter, D. P.; De Uyttenhove, B.; Delvaux, F., Delvaux, F.R.: „Contribution of staling compounds to the aged flavour of lager beer by studying their flavour thresholds“, Food Chemistry, 114, 2009, S. 1206-1215.

6. Anness, B. J., Bamforth, C. W.: „Dimethyl sulphide – A review“, Journal of the Institute of Brewing 88, 1982, S. 244-252.

ESTER-GEHALTE (SCHÄTZWERTE IN $\mu\text{g/L}$)

Verbindungen	Beschreibungen	Schwellenwert (µg/l)	Gehalt (µg/l) (Aromawert)		
			Aramis	Barbe Rouge	Mistral
Ester					
Isoamylacetat*	Banane, fruchtig, süß	500	3981,24 (8)	3551,83 (7)	4605,6 (9)
Ethylacetat	fruchtig, Ananas, süß	30 000	35 718,47 (1)	30 188,43 (1)	29 633,8
Butylacetat	fruchtig, blumig, Verdünner	900	20,0	20,9	18,0
Hexylacetat	fruchtig, blumig, Birne	3500	5,0	8,2	6,4
Heptylacetat*	Aprikose	190	1,4	3,4	ND
Isobutylacetat*	fruchtig, blumig, Banane	27	66,73 (2)	96,37 (3)	67,15 (2)
2-Phenylacetat	blumig, Rose, Honig	515	2627,33 (5)	2535,2 (4)	2940,6 (5)
Ethylpropanoat	fruchtig, süß	10	197,64 (19)	239,67 (24)	261,91 (26)
Ethylbutanoat	fruchtig, süß, Erdbeere	400	380,4	389,5	384,2
Ethylisobutanoat*	fruchtig, süß, Erdbeere	200	79,3	433,81 (2)	302,25 (1)
Ethyl-2-Methylbutanoat*	fruchtig, Apfel, süß	6	14,39 (2)	64,02 (10)	33,63 (5)
Ethylpentanoat*	fruchtig, Apfel, blumig	900	6,1	8,0	6,4
Ethylhexanoat*	fruchtig, grüner Apfel, süß	210	511,92 (2)	545,7 (2)	680,65 (3)
Ethyl-2-hexenoat	fruchtig	250	1,2	1,7	1,5
Ethylheptanoat*	fruchtig, Wein	4000	6,9	9,6	6,4
Ethyl-octanoat*	fruchtig, süß, blumig	1,6	40,86 (25)	46,5 (29,1)	62,29 (38)
Ethyl-9-decenoat	fruchtig	900 000	0,2	0,2	0,1
Ethyl-nonanoat*	fruchtig, Rose, blumig	1200	0,1	0,2	0,2
Ethyl-decenoat*	fruchtig, Grapefruit, angenehm	200	0,3	0,7	0,4
Ethyl-dihydrocinnamat*	blumig, fruchtig, süß	30 000	1,7	1,2	1,9
Ethylcinnamat	Honig, blumig	180	6,1	6,7	5,5
Hexylisobutanoat*	unbekannt	30	0,0	2,0	0,0
2-Methylpropylpropanoat*	unbekannt	7500	13,3	28,3	11,9
2-Phenylethylbutanoat	modrig	14 000	4,5	2,5	3,1
2-Phenethylhexanoat*	fruchtig, unbekannt	10 000	1,5	0,0	2,9
2-Phenethyl-octanoat	unbekannt	3000	0,02	0,1	0,1
3-Methyl-ethylbutanoat*	süß	10	8,9	12,15 (1)	8,1
2-Methyl-butyl-2-methylbutanoat*	unbekannt	570	1,2	7,5	6,2
2-Methyl-butylisobutanoat*	tropische Note	78	135,28 (1)	753,06 (9)	452,65 (5)
1-Methyl-butylpropanoat*	unbekannt	5	53,45 (10)	0,0	51,46 (10)
1-Butanol-2-Methylpropanoat*	unbekannt	20	ND	96,64 (4)	ND
Isobutyl-Isobutanoat*	fruchtig, stark	200	159,8	659,44 (3)	328,51 (1)
Isobutyl-2-Methylbutanoat*	süß, Kräuter	7500	3,4	19,2	11,5
Methylsalicylat*	süß, Menthol, würzig	40	27,1	29,8	41,78 (1)

Tab. 3 ND: nicht detektiert; *Gehalt in den drei Bieren statistisch unterschiedlich (p-Wert < 0,05); Aromawerte nur angeführt, wenn größer als 1