

Mysterium konstantes Hopfenaroma

Kritische Gedanken zur Dosage bei der späten Aromahopfungabe

Zur Erlangung eines wahrnehmbaren Hopfenaromas in Bier werden in der Regel Aromahopfen gegen Kochende in die Würzpfanne oder auch erst in den Whirlpool gegeben. Dabei ist dem Brauer klar, dass er eine schlechte Ausnutzung der α -Säuren bei mäßiger Isomerisierung in Kauf nehmen muss. Tabelle 1 gibt Anhaltswerte für die Ausbeute von α -Säuren und Linalool je nach Zeitpunkt der Hopfungabe wieder. Je länger die Heißhaltezeit, desto höher ist die Isomerisierungsrate der α -Säuren. Linalool als wichtiger Indikator für das Hopfenaroma in Bier verhält sich umgekehrt. Aus dieser Gegenüberstellung geht hervor, dass das technologische Ziel einer späten Hopfungabe nicht die Ausnutzung der α -Säuren sein kann, sondern die Überführung von Aromastoffen, wie z. B. Linalool, sowie die Lösung von Gerbstoffen (Polyphenolen) im Vordergrund stehen muss. Schon unter diesem Aspekt ist es nicht zielführend, späte Gaben nach α -Säuren zu bestimmen.



Bild: Die Freien Brauer GmbH & Co. KG

Mit einem ersten Beispiel wird die Bedeutung des Ausdrucks „Aromapotenzial“ anhand der beiden Hopfeninhaltsstoffe Myrcen und Linalool verdeutlicht.

Myrcen ist eine Hauptaromakomponente des Hopfens mit Gehalten zwischen etwa 200 und 2500 mg/100 g. Der Geschmacksschwellenwert in Bier wird mit ca. 120 $\mu\text{g/l}$ angegeben [1, S. 203/204]. Das unpolare Molekül ist

schlecht in Bier löslich und wird beim Würzekochen nahezu komplett ausgedampft. Lediglich über das Hopfenstopfen können relevante Mengen ins Bier gelangen. Linalool, ein Terpenalkohol, findet sich in Hopfen in 100-fach geringeren Mengen als Myrcen (2 bis 20 mg/100 g). Allerdings besitzt es eine deutlich niedrigere Geschmacksschwelle von etwa 10 $\mu\text{g/l}$, ist polarer und damit besser löslich.

Tabelle 2 stellt die beiden Komponenten einander gegenüber und schätzt das Aromapotenzial bei einer Gabe von 100 g Hopfen pro hl ab. Verglichen werden über die unterschiedlichen Transferraten die Gehalte im Bier. Berücksichtigt man die Geschmacksschwellenwerte, zeigt sich, dass Linalool mit 30 $\mu\text{g/l}$ im Bier deutlich über dem Schwellenwert von 10 $\mu\text{g/l}$ liegt, Myrcen dagegen mit knapp 100 $\mu\text{g/l}$ im Bier unter der Schwelle von 120 $\mu\text{g/l}$ rangiert. Obwohl Myrcen im Hopfen in 100-fach höherer Konzentration vorkommt als Linalool, bleibt es unwirksam. Sein

Tab. 1: Ausbeuten von α -Säuren und Linalool beim Brauprozess je nach Dosagezeitpunkt [Werte in Prozent relativ]

	α -Säuren	Linalool
Kochbeginn	30 bis < 50	< 3
Kochmitte	10 bis 20	1 bis 5
Kochende	5 bis 15	10 bis 30
Whirlpool	3 bis 8	20 bis 60

Aromapotenzial ist im Vergleich zu Linalool vernachlässigbar. Kurz gefasst: Entscheidend für seine Bedeutung in Bier ist das Aromapotenzial eines Hopfeninhaltsstoffes. Eine Hauptaromakomponente des Hopfens mit geringem Aromapotenzial wird in Bier keinen Beitrag zum wahrgenommenen Aroma leisten. Andersherum gilt für Aromakomponenten mit hohem Aromapotenzial, dass sie mengenmäßig im Hopfen kaum eine Rolle spielen müssen, aber in Bier trotzdem einen deutlichen Effekt zeigen.

Im zweiten Beispiel werden die beiden Sorten Perle und Saphir verglichen. Es wird jeweils eine Dosage von 100 g Pellets/hl in einer späten Gabe angenommen (Tabelle 3). Die Gehalte an α -Säuren und Linalool entsprechen langjährigen Durchschnitten [1, S. 137]. Perle enthält das 1,8-fache an α -Säuren gegenüber Saphir, aber nur das 0,4-fache an Linalool, was bei einer angenommenen Transferrate von 30 Prozent zu einem Linaloolwert von 12 $\mu\text{g/l}$ gegenüber 30 $\mu\text{g/l}$ beim Saphir führt. Saphir besitzt demnach im Vergleich zu Perle ein deutlich höheres Aromapotenzial.

Wie setzt sich das Hopfenöl zusammen?

Hopfenöl als Summe aller Aromastoffe besteht aus zwei Fraktionen [1, S. 49 ff]. Den Löwenanteil stellen Mono- und Sesquiterpene (z.B. Myrcen, β -Caryophyllen, Farnesen, Humulen) mit 80 bis 90 Prozent des Gesamtöls. Als Kohlenwasserstoffe sind sie unpolar und nur in Spuren in Bier löslich und damit – außer in hopfengestopften Bieren – sensorisch ohne Bedeutung. Der Rest des Hopfenöls ist ungleich komplexer mit gesättigten und ungesättigten Estern, Ketonen, Aldehyden, Carbonsäuren, Epoxiden und Alkoholen der Sesquiterpene sowie Monoterpenalkoholen mit den Hauptkomponenten Linalool und Geraniol. Die Moleküle enthalten allesamt ein oder mehrere Sauerstoffatome in den funktionellen Gruppen.

Die Summe dieser im Bier bedingt löslichen Substanzen wird auch als Sauerstofffraktion bezeichnet. Obwohl auch sie beim Würzekochen flüchtig sind, liegen ihre Transferraten bei späten Hopfengaben etwa zwischen 10 und 50 Prozent. Innerhalb der Sauerstofffraktion kommt dem Linalool eine besondere Bedeutung als Indikator für ein Hopfenaroma im Bier zu [1, S. 274].

Tab. 2: Aromapotenzial von Myrcen und Linalool am Beispiel einer Hopfengabe von 100 g/hl

		Myrcen	Linalool
Gehalt in Hopfen	mg/100g	1000	10
Transferrate vom Hopfen ins Bier	% rel.	< 1	30
Gehalt im Bier	$\mu\text{g/l}$	< 100	30
Schwellenwert im Bier	$\mu\text{g/l}$	> 120	10
Aromapotenzial vorhanden		nein	ja

Dosagekriterien bei späten Hopfengaben

In der Literatur wird das Problem einer „richtigen“ Dosage von Hopfen für den Aromaeintrag bereits ange-

sprochen [1, S. 265-267]. Dort heißt es: „Das weitverbreitete ‚Alpha-Denken‘ hat in den letzten 20 Jahren dazu geführt, auch Aromahopfen in späten Gaben nach Alphasäuren zu dosieren.“ Nach welchem Kriterium

Tab. 3: Aromapotenzial der Sorten Perle und Saphir bei einer Hopfengabe von 100 g/hl am Kochende; Isomerisierungsrate mit 10 Prozent, Linaloolausbeute mit 30 Prozent angenommen

		Perle	Saphir
α -Gehalt im Hopfen	Gew.-%	7,4	4,1
α -Dosage	mg/l	74	41
Iso- α -Säuren im Bier	mg/l	7,4	4,1
Linaloolgehalt im Hopfen	mg/100g	4	10
Linalooldosage	μ g/l	40	100
Linalool im Bier	μ g/l	12	30

eine späte Aromagabe fixiert wird, hängt von der Fragestellung ab. Liegt die Rezeptur fest und sollen lediglich innerhalb einer Ernte verschiedene Partien einer Sorte miteinander verglichen werden, mag der α -Säuren-Gehalt noch ein brauchbarer Indikator sein. Man setzt voraus, dass Aromapotenzial und α -Säurenwert in einem konstanten Mengenverhältnis zueinander stehen. Werden verschiedene Ernten einer Sorte miteinander verglichen, sollte wenigstens der Hopfenölgehalt bekannt sein, da das Verhältnis α : Öl witterungsbedingt deutlich schwanken kann. Sollen gar Sorten ausgetauscht werden, ist der Informationsbedarf höher. Es gibt folgende Möglichkeiten:

- Dosage nach Menge (z.B. in g/hl): Dabei wird vorausgesetzt, dass sich Stoffgruppen, besonders die relevanten Aromastoffe bei einer Gegenüberstellung von Partien, Jahrgängen und Sorten immer in ihren Mengenverhältnissen gleichen.
- Dosage nach α -Säuren: Hier nimmt man an, dass sich die relevanten Aromastoffe zum Gehalt der α -Säuren in verschiedenen Hopfen gleichen.
- Dosage nach Hopfenöl: Man geht davon aus, dass sich das Verhältnis der wirkungsvollen Sauerstofffraktion zum Hopfenöl einigermaßen konstant verhält.

- Dosage nach Linalool: Es wird vorausgesetzt, dass die anderen löslichen Aromastoffe in einer vergleichbaren Relation zum Linalool vorliegen.

Keine der genannten Voraussetzungen trifft in der Realität zu. Die Jahrgangsschwankungen können gerade bei Aromahopfen durch die zunehmenden Klimakapriolen enorm sein. Tabelle 4 zeigt an zwei Beispielen (Perle und Saphir), wie im Durchschnitt der jeweiligen Ernten die Werte von α -Säuren, Hopfenöl und Linalool schwanken.

Der Faktor Maximalwert zu Minimalwert erreicht bei beiden Sorten 2,1 für die α -Säuren und 1,7 für das Hopfenöl und Linalool. Eine Dosage nach Gewicht kann nicht annähernd das Ziel eines vergleichbaren Hopfenaromas erreichen.

Die Ölmenge schwankt bei Perle zwischen 0,9 und 1,5 ml/100 g bzw. bei Saphir zwischen 0,8 und 1,4 ml/100 g. Allerdings wird deutlich, dass die Witterungseinflüsse sich beim Hopfenöl geringer auswirken als bei den α -Säuren, was im Zuge einer Aromagabe positiv zu sehen ist. Gibt man beispielsweise 5 g α -Säuren/hl, beträgt im Falle der Perle bei einem jahrgangsmäßig schlechten α -Säuregehalt die dosierte Öl-Menge 1,0 ml/hl, bei einem guten dagegen nur 0,8 ml/hl. Saphir würde bei dieser

Hopfung 1,6 ml/hl bzw. 1,3 ml/hl bringen. Hier könnte man die Menge im Falle des niedrigeren α -Gehalts um etwa 20 Prozent zurückfahren, ohne an der Aromaschraube zu drehen.

Innerhalb einer Sorte sollte sich demnach eine späte Hopfengabe nicht ohne Einschränkung an den α -Säuren und auch nicht an der Menge orientieren, wenn man Jahrgänge vergleichen will. Noch schwieriger wird es, wenn es gilt, partiell oder ganz eine Sorte durch eine andere zu ersetzen. Das dürfte übrigens in Zukunft öfter notwendig sein, da der bereits einsetzende Klimawandel den Anbau einiger Aromasorten immer schwieriger macht. An einem Beispiel wird erläutert, welche Probleme bei einer Sortensubstitution auftauchen. Tabelle 5 vergleicht vier Hopfensorten (Perle, Saphir, Opal, Callista), wenn sie nach den folgenden vier Merkmalen dosiert werden:

- a= gleiche Menge mit 100 g/hl
- b= gleiche α -Dosage mit 10 g/hl
- c= gleiche Öldosage mit 1 ml/hl
- d= gleiche Linalooldosage mit 10 mg/hl; hierzu ist eine gaschromatographische Analyse der Aromastoffe im Hopfen erforderlich.

Die Gehalte in den Hopfen stammen aus der Literatur [1, S. 137] bis auf Callista, für den noch keine mehrjährigen Ergebnisse vorliegen, sondern nur Mittelwerte aus drei Ernten. Dosierte man nach Menge, ergeben sich Abweichungen bei der Öldosage von 0,95 bis 1,3 ml/hl (Faktor 1,4), beim Linalool allerdings von 4 bis 12 mg/hl (Faktor 3,0). Legt man 10 g α -Säuren pro hl zu Grunde, schwankt die Menge von 126 bis 333 g/hl (Faktor 2,6), die Öldosage von 1,2 bis 4,0 ml/hl (Faktor 3,3) und das Linalool von 5,4 bis 40 mg/hl (Faktor 9,3!).

Die Dosage von 1,0 ml Hopfenöl-äquivalent resultiert in einer Schwankungsbreite des Linalool von 3,1 bis 11 mg/hl (Faktor 3,5). Orientiert man sich am Linalool mit 10 mg/hl, schwanken die Öldosagen von 0,95

Tab. 4: Beispiel für Jahrgangsschwankungen innerhalb der letzten zehn Jahre bei α -Säuren, Hopfenöl und Linalool

		Perle				Saphir			
		min	Ø	max	max:min	min	Ø	max	max:min
α -Säuren	Gew.-%	4,5	7,3	9,6	2,1	2,5	3,8	5,3	2,1
Hopfenöl	ml/100g	0,9	1,3	1,5	1,7	0,8	1,1	1,4	1,8
Linalool	mg/100g	3	4	5	1,7	7	10	12	1,7

Tab. 5: Beispiele für die Dosage nach vier verschiedenen Kriterien (a = Menge [100 g/hl], b = α -Säuren [10g/hl], c = Öl [1 ml/hl] und d = Linalool [10mg/hl])

			Perle	Saphir	Opal	Callista
	α -Säuren	Gew-%	7,4	4,5	7,9	3,0
	Hopfenöl	ml/100g	1,30	1,10	0,95	1,20
	Linalool	mg/100g	4	11	10	12
a	α -Säuren	g/hl	7,4	4,5	7,9	3,0
a	Hopfenöl	ml/hl	1,30	1,10	0,95	1,20
a	Linalool	mg/hl	4	11	10	12
b	Menge	g/hl	135	222	126	333
b	Hopfenöl	ml/hl	1,76	2,44	1,20	4,00
b	Linalool	mg/hl	5,4	24	13	40
c	Menge	g/hl	77	91	105	83
c	α -Säuren	g/hl	6	41	8	3
c	Linalool	mg/hl	3,1	11	11	10
d	Menge	g/hl	250	91	100	83
d	α -Säuren	g/hl	18,5	4,1	7,9	2,5
d	Öl	ml/hl	3,20	1,00	0,95	1,00

bis 3,2 ml/hl (Faktor 3,4). Es ist offensichtlich, dass es nach wie vor keine vollends befriedigende Lösung eines „richtigen“ Dosagekriteriums von Aromahopfen für späte Hopfengaben gibt. Eines allerdings ist evident: Das Kriterium α -Säuren führt am ehesten zu Fehlern, wenn eine in etwa gleiche Menge an Hopfenöl oder Linalool, also ein ähnliches Aromapotenzial im Bier, angestrebt wird.

Anbieten würde sich als Grundlage einer Gabeberechnung aus Autoren-sicht der Summenparameter Sauerstofffraktion, da diese die besser bierlöslichen Hopfenaromastoffe zusammenfasst [2].

Zusammenfassung und Ausblick

Späte Hopfengaben dienen nicht der Isomerisierung von α -Säuren, sondern der Lösung von Hopfenbegleitbitterstoffen, Polyphenolen und besonders von Aromastoffen. Werden Jahrgänge und Hopfensorten miteinander verglichen, ist eine Dosage nach Gewicht oder α -Säuren nicht zielführend. Nur wenn das Aromapotenzial bekannt ist und als Maßstab dient, hat der Brauer eine Chance, die Ausprägung des Hopfenaromas im Bier wenigstens einigermaßen vergleichbar zu gestalten. Derzeit dient

der Hopfenölgehalt (ml/100 g Hopfen) oder – deutlich seltener – das Linalool (mg/100 g Hopfen) als Hilfsmittel zur Abschätzung des Aromapotenzials. Wird nach diesen Kriterien dosiert, ist zwar mit unterschiedlichen α -Säuremengen in späten Aromagaben zu rechnen. Das lässt sich allerdings in früheren Hopfengaben zu Kochbeginn oder -mitte einfach und kostengünstig kompensieren. Derzeit wird geprüft, ob die bierlösliche Sauerstofffraktion der Hopfenaromastoffe ein geeignetes Kriterium darstellt. □

Dr. Adrian Forster

Berater, HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft, Wolnzach (www.hvg-germany.de)



Dr. Florian Schüll

Technical Manager, HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft

Andreas Gahr

Leiter der Forschungsbrauerei, Hopfenveredlung St. Johann



Literatur

[1] Biendl, M., Engelhard, B., Forster, A., Gahr, A., Lutz, A., Mitter, W., Schmidt, R. und Schönberger, C.: Hopfen – Vom Anbau bis zum Bier; Fachverlag Hans Carl, 2012, ISBN: 978-3-418-00808-0

[2] Schüll, F., Forster, A., Gahr, A.: Comparison of different dosage criteria when using aroma hops for late hopping; Poster, EBC-Congress 2017, Ljubljana