

Hopfenaromastoffe: Transferraten in das Bier und Bieralterung

ALTERUNGSVERHALTEN | Im Zuge von Reproduzierbarkeitsversuchen in der 2-Hl-Forschungsbrauerei St. Johann wurde der Transfer einiger Hopfenaromastoffe vom Hopfen ins Bier ermittelt und das Verhalten dieser Komponenten bei der Bieralterung untersucht [1].

ZU TRANSFERRATEN von Aromastoffen des Hopfens in das Bier gibt es besonders im Bereich des Hopfenstopfens einige Publikationen [2, 3, 4, 5], die allerdings nicht zu allgemein gültigen Erkenntnissen führen. Gründe hierfür sind hauptsächlich in folgenden Faktoren zu suchen:

- Eine Transferrate oder Ausbeute einer Aromakomponente basiert auf ihrer Analyse im Hopfen und im Bier. Die Feh-

lerquellen für beide Analysen und die daraus gezogenen Schlüsse werden häufig unterschätzt. Die Angabe einer Transferrate ist mit einer relativen Schwankungsbreite von bis zu ± 25 Prozent zu verstehen.

- Die Ausbeuten einzelner Aromastoffe werden durch viele Variablen beeinflusst, z. B. durch die eingesetzte Hopfensorte, die Produktart, den Pressgrad von Pellets, die Bewegung in einem Tank, das Dosagesystem, die Temperatur des Mediums Bier und die Dauer der Einwirkung.
- Während zum Transfer von Hopfenaromastoffen in das Bier beim Hopfenstopfen mehrere Publikationen existieren, sind die Angaben zur Ausbeute bei einer späten Hopfung der Würze, sei es zum

Kochende oder im Whirlpool, rar. Das hängt nicht zuletzt damit zusammen, dass es inzwischen viele Kochsysteme gibt, die in ihrem Ausdampfverhalten sehr unterschiedlich sind. Dieses Individualverhalten macht allgemein gültige Aussagen unmöglich.

- Eine späte Hopfung kann bei den schwer löslichen Mono- und Sesquiterpenen keine Mengen im Bier bewirken, die auch nur annähernd im Bereich der Geschmacksschwellenwerte liegen. Nur die in Würze und Bier löslichen Vertreter der Sauerstofffraktion, wie die Terpenalkohole (z. B. Linalool), Carbonsäureester (z. B. Isobutylisobutyrate), Ketone (z. B. 2-Undecanon) und Epoxide der Sesquiterpene haben eine Chance, den Heißhalteprozess in der Würzpfanne und/oder im Whirlpool, den Gärverlauf mit seiner CO₂-Wäsche und die Filtration zu überstehen.

Eine weitere noch nicht erschöpfend geklärte Fragestellung ist, wie stabil in Bier gelöste Hopfenaromastoffe bei der Alterung sind. Literaturangaben hierzu sind widersprüchlich.

Autoren: Dr. Adrian Forster (1), Andreas Gahr (2), Dr. Florian Schüll (1), Dr. Filip van Opstaele (3); (1) HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e. G., Wolnzach; (2) Hopfenveredlung St. Johann GmbH, Train-St. Johann; (3) KU Leuven, Laboratory of Enzyme, Fermentation and Brewing Technology, Gent, Belgien

GEHALT AN HOPFENAROMASTOFFEN IM HOPFEN UND IN DEN SPÄT GEHOPFTEN UND HOPFENGESTOPFTEN BIEREN, BERECHNETE DOSAGEN UND TRANSFERRATEN

Hopfenaromastoffe	Gehalt im Hopfen [mg/100 g]	Dosagen [µg/l]		Werte im Bier [µg/l]		Transferraten [% rel.]		
		spät	dry	spät	dry	spät	dry	Ø spät & dry
β-Myrcen	13	390	195	4,1	5,6	1	< 1	1
β-Caryophyllen	8	240	120	1,2	1,1	< 1	-	< 1
α-Humulon	8	240	120	5,1	4,4	2	-	2
β-Selinen	58	1740	870	10,5	30,1	< 1	2	1
α-Selinen	44	1320	660	3,0	9,8	< 1	1	< 1
Isobutylisobutyrat	4	120	60	48,2	98,1	40	84	55
2-Methylbutylpropanoat	4	120	60	6,0	13,1	5	12	7
3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	7	210	105	40,4	87,4	19	45	28
2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	46	1380	690	352	897	26	79	43
Linalool	1	33,0	16,5	20,8	34,4	63	82	70
Cubenol	2	66	33	4,9	8,6	7	11	9
α-Eudesmol	5	150	75	12,8	35,2	9	30	16
α-Cadinol	2	60	30	10,9	26,5	18	52	29

Tab. 1

Wenigstens beim Linalool besteht etwas Klarheit [6]. Im Schnitt wurden während einer Lagerung bei 20 °C Verluste des Gesamtlinool von etwa 15 Prozent relativ pro Jahr gefunden. Einem höheren Verlust des R-Linalools von 30 Prozent relativ pro Jahr steht eine entsprechende Zunahme des S-Linalools gegenüber.

In der vorliegenden Arbeit wurden jeweils ein spät und ein zusätzlich hopfengestopftes Bier über 470 Tage bei 0 °C, 4 °C, 20 °C und 30 °C gelagert. Da die Dreierreihen der Sude bereits zuvor als gut reproduzierbar ermittelt wurden, ist die Reduzierung des Probenumfangs auf jeweils ein Bier gerechtfertigt.

Systematik der Reproduzierbarkeitsversuche

Im ersten Teil der Reproduzierbarkeitsversuche wurde die Systematik der Bierherstellung in der 2-hl-Brauerei in St. Johann ausführlich geschildert [7]. Wesentliche Merkmale dabei waren ein untergäriges Allmalzbier, das mit 300 g/hl Pellets der Sorte Hüll Melon spät gehopft wurde, was einer dosierten Hopfenölmenge von 2,4 ml/hl entsprach. Die Sude wurden nach der Hauptgärung geteilt und die eine Hälfte zusätzlich mit 150 g/hl Hüll Melon (≅ 1,2 ml Öl/hl) gestopft. Das Hopfenstopfen erfolgte beim Tankwechsel nach der Hauptgärung zur

Reifung und Lagerung durch Vorlage von 150 g/hl mit einem statischen Kontakt von acht Tagen bei 14 °C und 14 Tagen bei 0 °C.

Ermittlung der Transferraten von Hopfenaromastoffen

Der Beitrag der Hopfengabe bei Kochbeginn in Höhe von ca. 62 g Pellets/hl der Sorte HHS auf Aromakomponenten im Bier wird vernachlässigt, da sich in entsprechenden Versuchen bestätigte, dass in der Versuchsbrauerei moderate Hopfengaben bei Kochbeginn keine Aromaspuren jenseits von z. B. 2 µg/l Linalool verursachen.

Die Aromastoffgehalte des Hüll Melon für die Aromatisierungsgaben (späte Hopfengabe = spät und Hopfenstopfen = dry)

wurden gaschromatographisch analysiert. Die ins Bier dosierte Menge einer Substanz bei einer Pelletgabe errechnet sich nach Gleichung 1.

Die Transferrate (TR) oder auch Ausbeute einer Substanz bei einer späten Gabe vom Hopfen zum Bier wird generell nach Gleichung 2 berechnet.

Für spät gehopfte Biere sind also Ermittlung und Berechnung einfach. Um annähernd den Transfer ausschließlich durch das Hopfenstopfen zu bestimmen, muss der Analysenwert des spät gehopften Bieres von dem des zusätzlich hopfengestopften Bieres abgezogen und zu der ausschließlich zum Hopfenstopfen verwendeten Menge in Beziehung gesetzt werden, siehe dazu Gleichung 3.

Gleichung 1

$$Dosage \left[\frac{\mu g}{l} \right] = Zugabe \left[\frac{g}{l} \right] \times Gehalt \text{ einer Substanz } \left[\frac{\mu g}{g} \right]$$

Gleichung 2

$$TR_{spät} [\%] = \frac{\text{Wert im Bier } \left[\frac{\mu g}{l} \right]}{\text{In die Würze dosierte Menge } \left[\frac{\mu g}{l} \right]} * 100 \%$$

Gleichung 3

$$TR_{nur dry} [\%] = \frac{\text{Wert im Bier (spät + dry)} \left[\frac{\mu g}{l} \right] - \text{Wert im Bier (spät)} \left[\frac{\mu g}{l} \right]}{\text{Dosage durch Hopfenstopfen } \left[\frac{\mu g}{l} \right]} * 100 \%$$

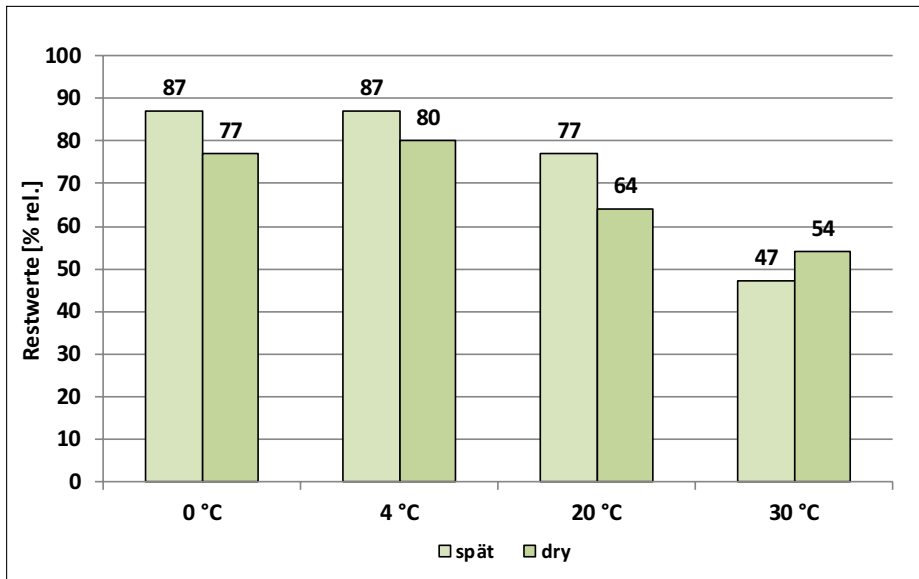


Abb. 1 Restwerte in % relativ zur Summe der Monoterpene in den über 470 Tage gealterten Proben je nach Temperatur, getrennt in spät gehopftes und hopfengestopftes Bier

Ferner werden dann die Transferraten von den spät- und kaltgehopften Bieren insgesamt berechnet (Gleichung 4).

$$TR_{spät + dry} [\%] = \frac{\text{Wert im Bier (spät + dry)} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right]}{\text{Dosage (spät + dry)} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right]} * 100 \%$$

Gleichung 4

Im vorliegenden Fall konnten die Transferraten aus den frischen Dreifachsuden ermittelt werden, was die Verlässlichkeit der Angaben gegenüber Einfachsuden entsprechend erhöht.

Alterungsverhalten der Biere

Ein spät gehopftes und ein zusätzlich hopfengestopftes Bier wurden über 470 Tage bei 0, 4, 20 und 30°C aufbewahrt und nur am Ende der Lagerzeit analysiert. Neben den absoluten Gehalten der flüchtigen Aromastoffe wurden auch die Veränderungen der Summen von Stoffgruppen wie Monoterpenen, Monoterpenalkoholen und Carbonsäureestern errechnet.

Transferraten (TR)

In Tabelle 1 sind der Gehalt einer Substanz im Hopfen (Hüll Melon) in mg/100 g, die Dosage dieser Substanz durch die späte Hopfung (spät) und das Hopfenstopfen (dry), Analysenwerte im spät gehopften und im gestopften Bier und die Transferraten der nur spät gehopften Biere, der spät gehopften und hopfengestopften und – als Differenz errechnet – die Transferrate durch das Hop-

fenstopfen allein aufgeführt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Transferraten von Myrcen, β-Caryophyllen, Humulen und der beiden Seline liegen im Bereich von 1 bis 2 Prozent.
- Von den vier untersuchten Estern wiesen drei in den spät gehopften Bieren TR von 19 bis 40 Prozent auf, lediglich das 2-Methylbutylpropanoat lag mit fünf Prozent tiefer. Das Hopfenstopfen separat gerechnet schlug mit TR von 45 bis 83 Prozent bei den drei Estern bzw. mit zwölf Prozent beim 2-Methylbutylpro-

panoat mit einer doppelt so hohen Ausbeute zu Buche.

- Die TR des Linalool betrug 63 Prozent (spät) bzw. 82 Prozent (dry). Aus den Versuchen ging nicht hervor, ob glykosidisch gebundenes Linalool des Hopfens in Würze oder Bier freigesetzt werden konnte.
- Die Sesquiterpenalkohole ergaben TR in Höhe von sieben bis 18 Prozent (spät) bzw. elf bis 52 Prozent (dry).
- Die beiden untersuchten Epoxide waren in den spät gehopften Bieren gut nachweisbar und ergaben TR von 27 bzw. 70 Prozent. Ihre Gehalte hatten allerdings in den gestopften Bieren nicht zugenommen, wofür es keine Erklärung gibt.

Ein Aspekt bei den Monoterpenalkoholen sei noch erwähnt. Im Hopfen war neben Linalool nur noch Geraniol bestimmbar, nicht dagegen Nerol, β-Citronellol oder α-Terpineol. In den Bieren konnte allerdings kein Geraniol gefunden werden. Nachweisbar waren dagegen relevante Mengen an α-Terpineol (5 bzw. 10 µg/l) und β-Citronellol (14 bzw. 21 µg/l). Nach Takoi [8] sind durch Hefeenzyme Umwandlungen von Geraniol zu β-Citronellol und von Linalool zu α-Terpineol möglich und damit ihr Nachweis verständlich.

In einer anderen Publikation befasste sich Takoi [9] nochmals eingehender mit dem Verhalten der Monoterpenalkohole. Er konnte folgende Veränderungen bei der Bierherstellung von der gehopften Würze bis ins fertige Bier nachweisen:

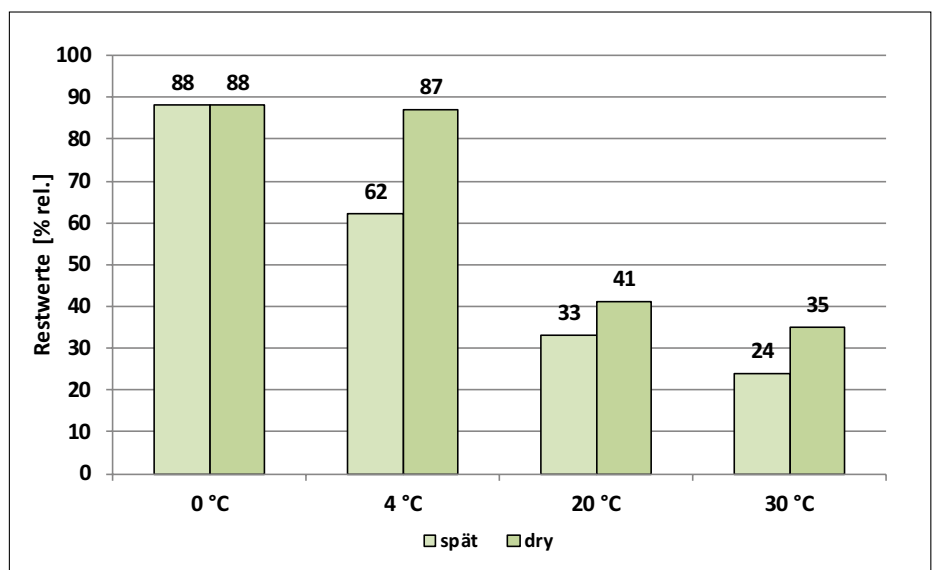


Abb. 2 Restwerte in % relativ zur Summe der zehn relevanten Hopfenester in den über 470 Tage gealterten Proben (spät gehopft und hopfengestopft), je nach Temperatur

- Linalool nahm von der Würze bis ins Bier um etwa 50 Prozent ab.
- Geraniol reduzierte sich um etwa 90 Prozent.
- β -Citronellol war im Hopfen und damit in gehopfter Würze nur in Spuren vorhanden, stieg aber im Verlauf der Gärung kräftig an, was primär mit der Bildung aus Geraniol erklärt werden kann.
- Auch α -Terpineol war in den meisten Hopfen und damit in den Würzen nur in Spuren nachweisbar, stieg aber im Gärverlauf an, was Takoi mit der Umwandlung von Linalool erklärt.
- Nerol ist der uninteressanteste Vertreter der Monoterpenalkohole. Es war nur in Spuren in Hopfen vorhanden und erfuhr bei der Gärung keine relevanten Veränderungen.

Da die Abbauraten von Linalool und Geraniol keineswegs in allen Versuchen identisch waren, steht zu vermuten, dass die Enzymaktivität der verwendeten Hefe nicht immer vergleichbar war.

Alterung flüchtiger Hopfenaromastoffe in Bier

Monoterpene

Bei den Hopfenaromastoffen wird in den Tabellen zwischen spät gehopften und zusätzlich hopfengestopften Bieren differenziert. Dementsprechend gibt Tabelle 2 die Daten der Monoterpene der spät gehopften und Tabelle 3 die der zusätzlich gestopften Biere wieder.

Abbildung 1 verdeutlicht die relativen Restwerte der Summe der analysierten Monoterpene nach einer Lagerung von 470 Tagen gemäß Gleichung 5:

$$\text{Restwert [\% rel.]} = \frac{\text{Wert nach der Lagerung} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right]}{\text{Wert vor der Lagerung} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right]} * 100 \%$$

Gleichung 5

Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bieren kann nicht abgeleitet werden. Die Werte lagen in allen Fällen deutlich unter den entsprechenden Geschmacksschwellenwerten, die in der Größenordnung von 100 $\mu\text{g/l}$ liegen [6].

Carbonsäureester

Die wichtigsten Carbonsäureester des Hopfens sind in Tabelle 4 (spät) und Tabelle 5 (spät + dry) enthalten. Die Verluste fielen bei 0 °C über die 470 Tage recht moderat aus,

MONOTERPENE IN DEN SPÄT GEHOPFTEN BIEREN [$\mu\text{g/l}$]					
	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
β -Myrcen	4,7	4,4	4,3	4,0	2,5
Limonen	1,3	1,1	1,2	1,0	0,9
<i>cis</i> -Ocimen	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1
<i>trans</i> -Ocimen	0,8	0,4	0,4	0,3	0,2
γ -Terpinen	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Summe	7,0	6,1	6,1	5,4	3,8

Tab. 2

MONOTERPENE IN DEN SPÄT GEHOPFTEN UND ZUSÄTZLICH HOPFENGESTOPFTEN BIEREN [$\mu\text{g/l}$]					
	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
β -Myrcen	5,1	4,3	4,5	3,3	2,5
Limonen	2,2	1,7	1,7	1,5	1,1
<i>cis</i> -Ocimen	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1
<i>trans</i> -Ocimen	1,3	0,7	0,8	0,8	0,6
γ -Terpinen	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1
Summe	9,0	6,9	7,2	5,8	4,2

Tab. 3

nahmen aber schon bei 4 °C zu. Die Lagerung bei 20 und 30 °C führte zu einer erheblichen Verarmung an relevanten Hopfenestern. Isobutylisobutyrat erwies sich als etwas stabiler als die anderen Ester.

Abbildung 2 illustriert die gemittelten Restwerte der wichtigsten zehn Hopfenester in Prozent relativ von den Ausgangswerten. Ein Unterschied zwischen dem spät gehopften und dem hopfengestopften Bier ist gegeben. Die Aromastoffe im spät gehopften Bier machten die gesamte Hauptgärung mit, bei der die Hefe noch einiges an z.B. Umesterung in Ethylester bewirken kann. Das Hopfenstopfen erfolgte erst nach der Hauptgärung, was zu geringeren Verlusten Anlass sein könnte. Diese Beobachtung sollte aber noch genauer untersucht werden.

Es kann zweierlei abgeleitet werden:

- Die sensorischen Schwellenwerte der Ester werden im Bereich von 5-100 $\mu\text{g/l}$ genannt [2, 10]. Bereits in den spät gehopften Bieren lagen die Analysendaten einiger Ester über diesen Grenzen, in den

hopfengestopften war das noch ausgeprägter der Fall.

- Die Alterung der Biere über etwa 15,5 Monate bei 20 °C und erst recht bei 30 °C verursachte eine deutliche Reduktion der Ester, bei einigen wohl bis zur Unterschreitung der sensorischen Schwellenwerte. Damit ist eine Veränderung des Geschmacksprofils von Bieren innerhalb der Mindesthaltbarkeit denkbar.

Monoterpenalkohole

Im Textabschnitt zu den Transferraten oben wurden bereits wesentliche Erkenntnisse von Takoi [8, 9] wiedergegeben, die die Umwandlungen von Linalool in α -Terpineol und Geraniol in β -Citronellol beschreiben. Das erklärt, warum in dieser Serie Geraniol in den Bieren nicht bestimmbar war, obwohl relevante Mengen im Hopfen der Sorte Hüll Melon gefunden wurden (2 mg/100 g). Die Auswertung der Biere beschränkte sich daher auf Linalool, α -Terpineol und β -Citronellol.

Die Tabellen 6 und 7 listen diese drei Monoterpenalkohole der spät gehopften bzw. der zusätzlich hopfengestopften Biere. Das

VOM HOPFEN STAMMENDE CARBONSÄUREESTER IN DEN SPÄT GEHOPFTEN BIEREN [$\mu\text{g/l}$]

	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
Isobutylisobutytrat	49,8	51,9	42,0	31,6	21,1
Butylisobutytrat	1,2	1,5	1,2	0,8	0,5
2-Methylbutylpropanoat	6,5	7,6	5,6	5,7	4,8
3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	32,5	28,7	20,7	10,0	7,8
2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	392	331	227	108	81
Methyl 4-methylhexanoat	8,2	8,3	7,6	5,5	4,0
Ethyl 4-methylnonanoat	0,3	0,5	0,5	0,5	0,2
2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	8,1	7,9	5,1	2,6	0,9
2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	6,1	5,9	4,0	2,7	0,8
Ethyl 4-methyloctanoat	1,9	2,4	2,1	1,6	0,3
Summe	507	446	316	169	121

Tab. 4

VOM HOPFEN STAMMENDE CARBONSÄUREESTER IN DEN SPÄT GEHOPFTEN UND ZUSÄTZLICH HOPFENGESTOPFTEN BIEREN [$\mu\text{g/l}$]

	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
Isobutylisobutytrat	152	146	155	152	117
Butylisobutytrat	4,2	4,4	4,8	3,0	2,4
2-Methylbutylpropanoat	12,3	8,7	7,1	4,1	5,9
3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	108	94,5	96,1	35,6	34,3
2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	1109	945	915	337	319
Methyl 4-methylhexanoat	19,5	28,7	24,5	15,7	13,2
Ethyl 4-methylnonanoat	0,7	1,7	2,7	1,5	0,9
2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	25,9	28,7	29,4	18,4	6,7
2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	18,9	21,2	22,5	19,4	6,8
Ethyl 4-methyloctanoat	3,8	7,1	7,9	4,4	0,7
Summe	1454	1286	1265	591	507

Tab. 5

MONOTERPENALKOHOLE IN DEN SPÄT GEHOPFTEN BIEREN [$\mu\text{g/l}$]

	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
Linalool	17,1	17,8	16,4	16,9	8,2
α -Terpineol	5,7	5,8	4,7	9,2	14,5
β -Citronellol	13,7	14,2	13,4	12,0	6,8
Summe	36,5	37,8	36,5	38,1	29,5

Tab. 6

Linalool erscheint demnach sogar bis 20 °C relativ stabil, erst bei 30 °C ist ein Verlust von etwa der Hälfte nachweisbar. β -Citronellol verhält sich ganz ähnlich (stabil bis 20 °C, Verlust bei 30 °C). α -Terpineol ist nur bei tiefen Temperaturen zunächst noch stabil, bei 20 °C erhöht sich der Gehalt bereits deutlich, bei 30 °C beträgt der Anstieg dann schon ein Mehrfaches (spät: mal 1,6; dry: mal 3,9). Diese Zunahme des α -Terpineol kann durch den Verlust des Linalool erklärt werden, was die Feststellungen von Qian [11] bestätigen würde.

Zusätzlich wurde das Linalool gaschromatographisch in seine Stereoisomere R- und S-Linalool getrennt. Tabelle 8 gibt die Ergebnisse inklusive des prozentualen Anteils des S-Linalool vom Gesamtlinalool wieder. Diese Umwandlung kann einen Einfluss auf das Aroma des Bieres haben, da R-Linalool sensorisch um ein Vielfaches wirkungsvoller ist als S-Linalool. Eine Verschiebung von R- zu S-Linalool geht also mit einer deutlichen Verringerung des Geschmacksbeitrages des Linalool im Bier einher. Das ist bei 4 °C noch unauffällig, wird aber bei höheren Temperaturen evident.

Zusammenfassung

Im ersten Teil der Studie wurde die Reproduzierbarkeit der Bierherstellung in einer 2-Hl-Forschungsbrauerei belegt [7]. Im vorliegenden Teil wurde das Datenmaterial hinsichtlich zweier technologischer Parameter ausgewertet. So konnten die Transferraten von Hopfenaromastoffen aus Pellets in ein untergäriges Bier bei spät gehopften (spät) und hopfengestopften (dry) Bieren bestimmt werden. Da jeweils Dreifachstude ausgewertet werden konnten, gelten die ermittelten Transferraten innerhalb des Systems als relativ zuverlässig. Die Transferraten (in % von den dosierten Mengen) ergaben folgende Gruppierungen:

- Myrcen, β -Caryophyllen und Humulen <1 %;
- α - + β -Selinene <1 % (spät), 1-2 % (dry);
- Ester 20-40 % (spät), 40-80 % (dry);
- Linalool 60 % (spät), 80 % (dry);
- Sesquiterpenalkohole 8 % (spät), 10-50 % (dry).

Ferner wurden je ein spät gehopft und ein hopfengestopft Bier 470 Tage bei 0, 4, 20 und 30 °C gealtert und auf wesentliche Hopfenaromastoffe mit folgenden Ergebnissen untersucht: Die Monoterpene waren bei kalter Lagerung (0 und 4 °C) relativ stabil, verloren jedoch bei 20 °C etwa

25 Prozent und bei 30 °C etwa 50 Prozent ihres Ausgangswertes. Die Carbonsäureester des Hopfens nehmen bei 0 °C um etwa zehn Prozent ab. Die relativen Verluste steigen auf 60 bis 70 Prozent bei 20 °C und über 70 Prozent bei 30 °C. Das Gesamtlinalool litt nur bei 30 °C deutlich. Parallel stieg α -Terpineol an. Citronellol erlitt erst bei 30 °C spürbare Verluste. Die Racemisierung von flavour-aktivem R- zu inaktiverem S-Linalool war besonders bei 20 und 30 °C zu erkennen.

Ein signifikanter Unterschied im Alterungsverhalten der Hopfenaromastoffe von spät gehopften und hopfengestopften Bieren konnte nicht nachgewiesen werden. Allerdings wird – ausgehend von einer Abbaurate aller Aromakomponenten als Reaktion 1. Ordnung – deutlich, dass sich die Zusammensetzung innerhalb eines üblichen Mindesthaltbarkeitsintervalls so verändert, dass Auswirkungen auf das sensorische Profil der Biere unausweichlich bleiben. ■

Literatur

- Gahr, A.; Forster, A.; De Clippeleer, J.; Van Opstaele, F.: „Reproducibility Trials in a Research Brewery and Effects on the Evaluation of Hop Substances in Beer – Part 3: Transfer Rates of Aroma Compounds from Hops to Beer and their Ageing Behaviour“; *BrewingScience* Vol. 72, Nr. 11/12, 2019, S. 217-27.
- Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Lutz, A.; Mitter, W.; Schmidt, R., Schönberger, C.: *Hopfen – vom Anbau bis zum Bier*; Fachverlag Hans Carl, 2012.
- Oladokun, O.; James, S.; Cowley, T.; Smart, K.; Hort, J.; Cook, D.: „Dry-Hopping: The Effects of Temperature and Hop Variety on the Bittering Profiles and Properties of Resultant Beers“; *BrewingScience* Vol. 70, Nr. 11/12, 2017, S. 187-196.
- Jelinek, L.; Mullerova, J.; Karabin, M.; Dostalek, P.: „The secret of dry hopped beers – Review“; *Kvasny Prumysl* 64 (2018), Nr. 6, S. 287-296.

MONOTERPENALKOHOLE IN DEN SPÄT GEHOPFTEN UND ZUSÄTZLICH HOPFENGESTOPFTEN BIEREN [µg/l]

	frisch	Lagerzeit 470 d			
		0 °C	4 °C	20 °C	30 °C
Linalool	33,5	31,5	33,5	31,7	15,7
α -Terpineol	9,5	8,9	13,9	22,2	37,0
β -Citronellol	22,8	24,7	29,1	23,5	13,1
Summe	65,8	65,1	76,5	77,4	65,8

Tab. 7

WERTE VON R- UND S-LINALOOL IN µg/l IN DEN SPÄT GEHOPFTEN UND DEN ZUSÄTZLICH HOPFENGESTOPFTEN BIEREN; ...

... Anteil des S-Linalool in [% rel.] am Gesamtlinalool

		frisch		4 °C		20 °C		30 °C	
		spät	dry	spät	dry	spät	dry	spät	dry
		R-Linalool	µg/l	14	27	12	25	10	19
S-Linalool	µg/l	2	4	3	6	4	9	5	8
Gesamtlinalool	µg/l	16	31	15	31	14	28	10	17
Anteil S-Linalool	% rel.	13	13	20	19	29	32	50	47

Tab. 8

- Mitter, W.; Cocuzza, S.: „Die Kalthopfung, Untersuchung verschiedener Parameter, Auswirkungen durch die Art der Einbringung“; *Brauindustrie*, 97. Jg., 2012, S. 74-78.
- Forster, A.; Gahr, A.; Schmidt, R.; Faltermeier, A.: „Verhalten von Linalool bei der Bieralterung“; *BRAUWELT* Nr. 14, 2016, S. 385-389.
- Gahr, A.; Forster, A.; Van Opstaele, E.: „Reproducibility Trials in a Research Brewery and Effects on the Evaluation of Hop Substances in Beer – Part 1: Reproducibility in fresh beers“; *Brewing Science* Vol. 69, Nr. 11/12, 2016, S. 103-111.
- Takoi, K.; Itoga, Y.; Koie, K.; Takayanagi, J.; Kaneko, T.; Watanabe, T.; Matsumoto, I.; Nomura, M.: „Systematic analysis of behaviour of hop-derived monoterpene alcohols during fermentation and new classification of geraniol-rich flavour hops“; *BrewingScience* Vol. 70, Nr. 11/12, 2017, S. 177-186.
- Takoi, K.: „Neue Klassifizierung von Hopfen mit hohen Geraniolgehalten“; *BRAUWELT* Nr. 11, 2019, S. 299-305.
- Takoi, K.; Itoga, Y.; Koie, K.; Takayanagi, J.; Kaneko, T.; Watanabe, T.; Matsumoto, I.; Nomura, M.: „Behaviour of Hop-derived Branchedchain Esters During Fermentation and Unique Characteristics of Huell Melon and Ekuanot (HBC366) Hops“; *BrewingScience* Vol. 71, Nr. 11/12, 2018, S. 100-109.
- Qian, M.: „Aroma compounds in Centennial, Citra and Nelson Sauvignon hops and their stability in model systems“; *Oral Presentation, IV Humulus Symposium of the International Society for Horticultural Science, Yakima*, 2015.