

Zwei Hüller Aromazuchtstämme unter der Lupe

AROMAPOTENTIAL GESUCHT | Derzeit sind über 200

Hopfensorten weltweit registriert und jährlich kommen zehn bis 20 neue hinzu. Insbesondere mit der Craft Bier-Welle hat die Hopfenzüchtung enormen Auftrieb erfahren. Der Schwerpunkt liegt momentan bei Hopfen mit speziellen Aromen (Flavour-Hopfen), die besonders zum Hopfenstopfen geeignet sind. Die Bewertung neuer Sorten wird immer wichtiger, aber auch schwieriger. Anhand zweier Hüller Züchtungen soll aufgezeigt werden, wie eine Beschreibung, Bewertung und Einordnung noch unbekannter Stämme erfolgen kann.

ES GILT, ZÜCHTUNGEN rechtzeitig auf ihr Potential zu untersuchen und erfolgversprechende Sorten zu erkennen. Bei den hier vorgestellten Hopfen handelt es sich um Aromahopfen, die überwiegend als späte Gaben bei der Würzekochung gedacht sind.

Derzeit werden in Deutschland folgende Sorten angebaut:

- fünf klassische Aromahopfen, auch als Landsorten bezeichnet: Hallertauer Mittelfrüh, Tettnanger, Spalter, Hersbrucker und neuerdings auch etwas Saazer;
- sechs Hüller Zuchtsorten: Perle, Hallertauer Tradition, Spalter Select, Saphir, Opal und Smaragd.

Die letzte Anmeldung im Bereich dieser „normalen“ Aromasorten stammt mit Smaragd aus dem Jahr 2003.

Schwerpunkte der Hopfenzüchtung

Im Wesentlichen kristallisieren sich folgende Anforderungen an neue Sorten heraus:

- hoher Mengenertrag (kg/ha);
- gute Eigenschaften im Anbau, wie z. B. geringer Hang zu Stockfäule und gutes Windevermögen;
- Toleranz bzw. Resistenz gegen Pilzkrankheiten, wie Welke, Mehltau und Peronospora;
- Unempfindlichkeit gegen Insektenschädlinge, wie Hopfenblattlaus und rote Spinne;
- Toleranz gegenüber Klimaänderungen, insbesondere in Form von hohen Temperaturen im Sommer (= Hitzetage > 30 °C) und Trockenphasen;

- Wirtschaftlichkeit im Einsatz – bei Bitterhopfen sind hohe α -Säuregehalte bzw. hohe α -Erträge (kg α -Säure/ha) gewünscht, bei Aromahopfen sollte der α -Säuregehalt weniger im Vordergrund stehen. Vielmehr ist die Ergiebigkeit im Transfer von Polyphenolen und insbesondere von Aromasubstanzen zu hinterfragen.

In der Züchtung von Hochalphahopfen ist derzeit mit 22 Gew.-% α -Säuren bei Polaris ein sinnvolles Optimum erreicht. Die Verarbeitbarkeit in Pellet- und Extraktanlagen von Hopfen mit noch mehr Bittersäuren stößt an ihre Grenzen, da alle Aggregate schnell verkleben.

Besonders attraktiv ist derzeit die Züchtung von Hopfen mit speziellen Aromen. Je fruchtiger, exotischer und hopfenuntypischer, desto interessanter sind solche Sorten. Von den jüngsten 20 Neuzulassungen in den USA, Deutschland und Australien sind immerhin 18 Special Flavour Hopfen.

Die normalen Aromahopfen sind durch den Hype um die Special Flavour Hopfen etwas ins Hintertreffen geraten, obwohl sie nach wie vor eine große Rolle beim Bierbrauen spielen. Zu ihrer Bewertung sei eines vorweggenommen: Das häufig gebrauchte Kriterium der α -Säuren kann in die Irre führen. Am Beispiel des Vergleichs von Perle mit Saphir wird das erläutert. Dabei dient der Aromastoff Linalool als Indikator für eine Hopfenblume. Der Schwellenwert (niedrigster Gehalt im Bier, der gerade

Autoren: Dr. Adrian Forster, Dr. Florian Schüll, HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e.G., Wolnzach; Andreas Gahr, Forschungsbrauerei der Hopfenveredlung St. Johann GmbH, Train-St. Johann

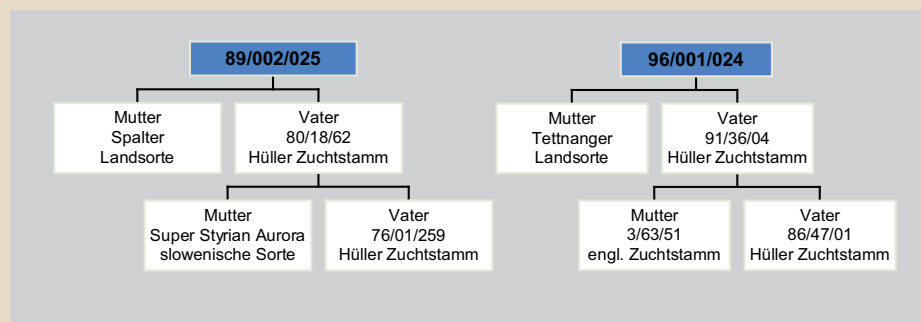


Abb. 1 Stammbäume der beiden Züchtungen 89/002/25 und 96/001/24

VERGLEICH DES AROMAPOTENTIALS VON PERLE UND SAPHIR

		Perle	Saphir
Alpha-Säuren	Gew.-%	7,4	4,1
Alpha-Säuren dosiert	mg/l	74	41
Iso-Alpha-Säuren im Bier	mg/l	7,4	4,1
Linaloolgehalt Hopfen	mg/100g	4	10
Linalool dosiert	µg/l	40	100
Linalool im Bier	µg/l	12	30
Aromapotential		nein	ja

Tab.1

ANALYSENERGEBNISSE DER FÜNF HOPFENSORTEN:

α -Säuren, β : α , Cohumulonanteil, Gesamtöl, Gesamtpolyphenole (TPP), Summe der niedermolekularen Polyphenole (ImPP) und Verhältnis ImPP : TPP

		89	96	SSP	TTE	HSR
Alpha-Säuren	Gew.-%	5,3	4,1	3,7	3,3	2,8
Verhältnis β : α		0,89	1	1,86	1,55	2,11
Cohumulonanteil	% rel.	22	23	26	25	14
Hopfenöl	ml/100g	1,70	1,75	0,70	0,60	0,95
Gesamtpolyphenole (TPP)	Gew.-%	5,7	5,7	6,4	6,5	6,7
niedermol. Polyphenole (ImPP)	Gew.-%	1,18	1,01	1,78	1,76	1,84
ImPP : TPP	% rel.	21	18	28	27	27

Tab.2

noch wahrgenommen wird) von Linalool wird mit 15 bis 20 µg/l angegeben [1]. Die Transferrate von Linalool beträgt bei einer späten Hopfengabe wenigstens 30 Prozent relativ. Tabelle 1 erläutert den Begriff „Aromapotential“ bei einer Hopfung von 100 g/hl Perle und Saphir als letzte Gabe. Die Isomerisierungsrate der α -Säuren liegt maximal bei zehn Prozent relativ. Die Gehalte für α -Säuren und Linalool entsprechen den Durchschnittswerten gemäß [2, S. 136]. Mit Perle resultieren im Bier 7,4 mg/l Iso- α -Säuren, mit Saphir lediglich 4,1 mg/l. An Linalool ergeben sich dagegen nur 12 µg/l mit der Perle und 30 µg/l mit Saphir. Ein Hopfenaroma im Bier wird mit Saphir, aber nicht mit der Perle erreicht, es sei denn, man dosiert mindestens die doppelte Menge an Perle. Aus dieser Betrachtung können die Begriffe Aromaergiebigkeit oder Aromapotential einer Hopfensorte abgeleitet werden. Bei der Bewertung ihrer Wirtschaftlichkeit für späte Gaben sollte konsequenterweise das Aromapotential im Vordergrund stehen und nicht die α -Säuren. Ein geringerer Iso- α -Säuregehalt in einer letzten Gabe lässt sich in einer früheren Gabe problemlos kompensieren.

Betrachtete Züchtungen

Zwei Züchtungen mit den Nummern 89/002/25 und 96/001/24 aus den Jahren 1989 und 1996 sind Gegenstand der Versuche. Im Folgenden werden nur noch die Kurzbezeichnungen 89 für 89/002/25 bzw. 96 für 96/001/24 benutzt.

Abbildung 1 zeigt die Stammbäume der beiden Sorten. Die Mutter des 89er ist ein Spalter, die des 96er ein Tettninger. Die Wahl der Mütter verdeutlicht die Intention, Kreuzungen mit Eigenschaften des Saazer Formenkreis zu schaffen. Die Väter sind Hüller Material, die sich vor allem in ihren Müttern unterscheiden. Im 89er ist mit dem Super Styrian zusätzlich ein Hopfen des Saazer Formenkreises vertreten, im 96er eine englische Zuchtsorte.

In den agronomischen Eigenschaften weist der 96er vernachlässigbare Vorteile gegenüber dem 89er auf. Im Ertrag liegen beide bei ca. 1900 kg/ha gegenüber 1300 kg/ha bei ihren Müttern.

Material und Methodik

Parallel zu den beiden Zuchtstämmen 89 und 96 wurden deren Mütter Spalter (SSP) und Tettninger (TTE) sowie Saphir (HSR)

als normale Pellets (Typ 90) der Ernte 2015 untersucht. Saphir hat sich inzwischen zu einer Leitaromasorte entwickelt, wenn eine Hopfenblume über eine späte Hopfengabe gebildet werden soll. Spalter und Tettninger stammen aus ihren jeweiligen Anbaugebieten, Saphir und die beiden Zuchtstämme aus der Hallertau.

Die Analytik der fünf Hopfenproben umfasste folgende Merkmale:

- Bitterstoffe mittels HPLC nach EBC 7.7 mit den Angaben α -Säuren, dem Verhältnis β : α und Cohumulonanteil analog zu [2, S. 136] und [4];
- Gesamtpolyphenole (TPP) mittels Globalmethode nach EBC 7.14;
- niedermolekulare Polyphenole (ImPP) mittels HPLC nach einer Methode der Nateco₂ [5]. Die HPLC erlaubt die Auftrennung von ca. 50 Substanzen. In diesem Beitrag werden lediglich die Summen der Einzelkomponenten gezeigt;
- Hopfenöl (volumetrisch mittels einer Destillationsmethode nach EBC 7.10);
- Analyse der Aromasubstanzen mittels gaschromatographischer Methode nach EBC 7.12., die über 100 Einzelergebnisse liefert. Die Angaben beschränken sich

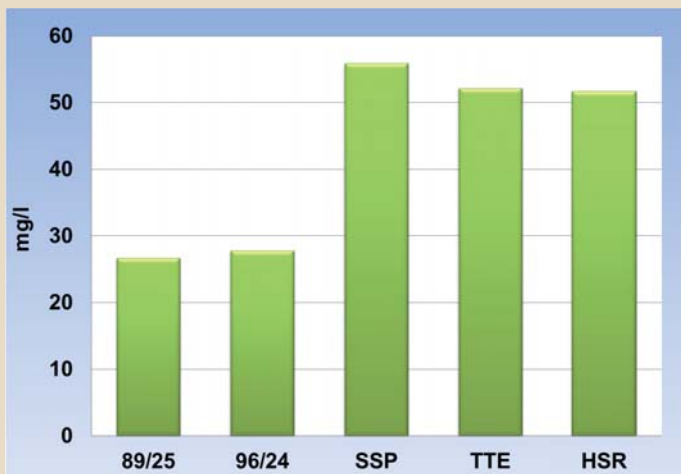


Abb. 2 Gehalte an hopfenbasierten niedermolekularen Polyphenolen in den fünf Bieren



Abb. 3 Gehalte an Gesamtlinalool in den fünf Bieren

GEHALTE AUSGEWÄHLTER MONO- UND SESQUITERPENE ...

... in den fünf Hopfensorten; Angaben in mg/100 g

	89	96	SSP	TTE	HSR
Myrcen	719	644	331	242	330
β -Caryophyllen	61	94	27	25	35
Farnesen	83	14	55	56	9
α -Humulene	145	266	99	96	100
α - und β -Selinene	8	9	3	3	15

Tab. 3

auf ausgewählte Komponenten und Kennzahlen.

Die Brauversuche wurden in der 2-hl-Forschungsbrauerei der Hopfenveredlung St. Johann durchgeführt. Wesentliche Merkmale der Sude waren:

- 100 Prozent Pilsner Malz;
- Infusionsmaische mit dem Ziel einer Stammwürze von 12 Gew.-%;
- untergärige Hefe W34/70;
- Gärung bei 8 °C, Reifung bei 14 °C, Lagerung bei 0 °C;
- Kieselgurfiltration, Abfüllung mit niedrigem Restsauerstoffgehalt.

Die Hopfung am Ende der Würzekochung orientierte sich mit 6 ml/hl am Hopfenölgehalt der Proben, verteilt auf jeweils 3 ml/hl am Kochende und als Vorlage im Whirlpool. Die zu erwartenden Bitterstoffgehalte durch die späte Gabe wurden durch eine Gabe bei Kochbeginn mit Pellets der Sorte Herkules ergänzt, um 20 IBU zu erhalten.

Analytik der Hopfenproben

Tabelle 2 enthält die Angaben von α -Säuren mit ihren Kennzahlen, die Gesamtpolyphenole und Summe der HPLC-Polyphenole mit der Kennzahl „lmPP : TPP“, die den Anteil der niedermolekularen Polyphenole in Prozent der Gesamtpolyphenole widerspiegelt. Ferner ist der volumetrische Hopfenölgehalt aufgeführt.

Die Zuchtstämme, insbesondere der 89er, enthalten höhere α -Gehalte. Im Cohumulonanteil schneiden sie etwas günstiger ab als ihre Mütter, besonders niedrig ist hier der Saphir. Das Hopfenöl der Zuchtstämme liegt um mehr als das Doppelte über den Muttersorten und um etwa 80 Prozent über dem Saphir. Die Gesamtpolyphenolgehalte sind etwas niedriger als bei den etablierten Sorten. Der Anteil der wertvollen niedermolekularen Polyphenole fällt von 27 bis 28 Prozent auf 18 bis 21 Prozent relativ in den Züchtungen ab.

Tabelle 3 listet die Gehalte wesentlicher Mono- und Sesquiterpene auf. Die

beiden Zuchtstämme liegen bei Myrcen, β -Caryophyllen und α -Humulene an der Spitze, der Saphir bei den Selineen. Auffällig ist, dass der 89er mit 83 mg/100 g deutlich mehr Farnesen enthält als die beiden Klassiker SSP und TTE, der 96er mit 14 mg/100 g aber nur einen Bruchteil. Ein Vorfahren des 89er ist ebenfalls ein Abkömmling des Saaizer Formenkreises, was für die Betonung des Saaizer Charakters verantwortlich sein kann.

Tabelle 4 gibt die Gehalte einiger sauerstoffhaltiger Aromakomponenten, die Summe von sechs Estern und die Summe aller sauerstoffhaltigen Substanzen (= Sauerstofffraktion) wieder. Insbesondere der 89er wartet mit deutlich höheren Gehalten an Estern, Linalool und der Sauerstofffraktion auf, Komponenten, die für ein hopfiges Aroma im Bier verantwortlich sind. Zur Einstufung der Wirksamkeit von Aromakomponenten ist deren Löslichkeit in Würze bzw. Bier entscheidend. So sind die unpolaren Mono- und Sesquiterpene nur schlecht löslich, die polaren Ester, Terpenalkohole und Epoxide dagegen erheblich besser. Auch intensive späte Hopfengaben in die heiße Würze bewirken keine Mono- oder Sesquiterpen-Gehalte, die in die Nähe ihrer sensorischen Schwellenwerte gelangen. Es sind die besser löslichen sauerstoffhaltigen Substanzen, die den Brauprozess bei späten Gaben überstehen.

Ein Beispiel für die Einschätzung der Aromakapazität der Substanzen Myrcen und Linalool zeigt Tabelle 5 mit den Angaben zu Mengen in Hopfen, Transferraten ins Bier, resultierende Mengen im Bier und den Geschmacksschwellenwerten. Myrcen ist zwar 100-mal stärker in Hopfen vertreten, jedoch führt der etwa 15-mal höhere Schwellenwert gekoppelt mit der deutlich niedrigeren Transferrate von unter einem Prozent zur klaren Einstufung: Myrcen besitzt im Vergleich zu

GEHALTE EINIGER SAUERSTOFFHALTIGER AROMAKOMPONENTEN ...

...sowie Summe von sechs Estern und Gesamtsumme der Sauerstofffraktion in mg/100 g

	89	96	SSP	TTE	HSR
Linalool	17	12	6	5	7
Geraniol	2	2	6	4	2
Summe von 6 Estern	54	18	12	5	27
Sauerstofffraktion	129	95	71	54	132

Tab. 4

Linalool keine Aromakapazität. Daraus leitet sich ab, dass den leichter löslichen und geschmacksaktiveren Substanzen der Sauerstofffraktion ein höherer Stellenwert zukommt als den Mono- und Sesquiterpenen.

Brauversuche: Analytische Ergebnisse

Die allgemeinen Bieranalysen wie Alkohol, Stammwürze und pH weisen nur geringe Variationskoeffizienten zwischen 0,8 bis 1,9 Prozent auf. Die Bittereinheiten sind mit einer Bandbreite von 18 bis 22 IBU ebenso vergleichbar, wie die Iso- α -Säuren mit Werten zwischen 12,7 bis 15,2 mg/l.

In Abbildung 2 sind die Summen der niedermolekularen Polyphenole, die ausschließlich vom Hopfen stammen, dargestellt. Die beiden Züchtungen fallen hier ab. Das liegt zum kleineren Teil daran, dass ihr Anteil an diesen Substanzen geringer ausfällt als bei den Klassikern (siehe Tab. 2). Entscheidend ist, dass die Zuchtsorten dank ihres hohen Ölgehaltes und ihres Aromapotentials wesentlich niedriger dosiert wurden.

Von besonderem Interesse sind die Gehalte an Hopfenaromastoffen in den Bieren. Es konnten weder Mono- noch Sesquiterpene nachgewiesen werden. Das bestätigt die Aussage, dass diese Substanzen auch bei späten Hopfengaben auf Grund ihrer schlechten Löslichkeit ausgetrieben werden und keine sensorisch relevanten Spuren hinterlassen. Abbildung 3 illustriert die Gehalte an Gesamtlinalool in den fünf Bieren, die zwischen 134 μ g/l im TTE- und

BEISPIEL FÜR DIE AROMAERGIEBIGKEIT VON MYRCEN UND LINALOOL ...

... bei einer Hopfendosage von 100 g/hl

	Einheit	Myrcen	Linalool
Menge im Hopfen	mg/100g	1.000	10
Transferrate ins Bier	% rel.	< 0.1	> 30
Menge im Bier	μ g/l	< 10	30
Schwellenwert im Bier	μ g/l	> 150	> 10

Tab. 5



Abb. 4 Gehalte der Summe von sechs analysierbaren Estern in den fünf Bieren

215 µg/l im 89er-Bier liegen. Die Wahrnehmungsschwelle wurde in allen Bieren deutlich übertroffen. Der vergleichsweise hohe Linaloolgehalt im 89er Hopfen führt entsprechend zum höchsten Wert im Bier.

Es konnten sechs von den mit Hopfen dosierten Estern in den Bieren nachgewiesen werden (Abb. 4). An der Spitze liegt das Bier mit dem 89er, gefolgt vom Bier mit Saphir. Die restlichen drei Biere fallen stark ab. Es ist unwahrscheinlich, dass deren Ester auf dem niedrigen Niveau ihre Wahrnehmungsschwelle übersteigen.

Brauersuche: Sensorische Ergebnisse

Die Verkoster der Forschungsbrauerei vergaben nach DLG in allen Merkmalen überdurchschnittliche Punkte, ohne einen Ausreißer. Auf die Darstellung der Ergebnisse wird hier verzichtet, da die Unterschiede gering waren. Allerdings wurde das 89er-Bier gegenüber den anderen Bieren signifikant bevorzugt.

Eine weitere Verkostung fand nach dem Schema der CMA [6] statt und gab Aufschluss über hopfenrelevante Merkmale. Abbildung 5 zeigt die Bewertungen in Intensität und Qualität des Hopfenaromas, Abbildung 6 die in Intensität und Harmonie der Bittere. Abgesicherte Unterschiede lassen sich nicht ableiten. Tendenziell rangieren die Biere mit Spalter und dem 89er etwas vor den anderen drei Bieren. Die Dosage nach Hopfenöl hat zu Bieren mit vergleichbarer Intensität des Hopfenaromas geführt. Auch die Harmonie der Bittere lässt keine Defizite der Zuchtstämme erkennen, der 89er liegt hier vorne.

Von den paarweisen Verkostungen werden zwei in Tabelle 6 wiedergegeben. Hier wurde das 89er-Bier jeweils mit dem SSP- und TTE-Bier verglichen. In der Aromaintensität lag tendenziell das 89er-Bier vorn. Dass die Biere mit den klassischen Aromahopfen etwas vollmundiger wirken, kann auf die deutlich höheren Polyphenolgehalte auf Grund der höheren

ragt besonders der 89er heraus, nicht zuletzt auf Grund seines hohen Linaloolgehaltes. Dosierte man die fünf Hopfen nach Hopfenöl bei späten Gaben, ergeben sich die benötigten Mengen wie folgt:

■ 89er	353 g/hl
■ 96er	343 g/hl
■ Spalter	857 g/hl
■ Tettninger	1000 g/hl
■ Saphir	632 g/hl

Die daraus hergestellten Biere unterscheiden sich in ihren Gehalten an besonders aroma-aktiven Linalool wie folgt: 134 bzw. 140 µg/l bei TTE und SSP, 152 µg/l beim 96er, 170 µg/l bei Saphir und 215 µg/l beim 89er. In den Ester-Werten steht ebenfalls das 89er-Bier an der Spitze, gefolgt vom Saphir-Bier und dann mit einigem Abstand von den drei anderen Bieren.

Sensorisch schneidet das Bier mit 89er am besten ab; bei den restlichen vier Bieren sind keine Präferenzen statistisch gesichert nachweisbar. Damit können folgende Schlüsse gezogen werden: Das hohe Aromapotential der Zuchtstämme erlaubt im Vergleich zu den Klassikern eine deutlich verringerte Dosage, was sich zwangsläufig auch in den Kosten auswirkt. Sollte das Hopfenaroma im Bier einer Brauerei mit den bisher üblichen Sorten eher verhalten oder manchmal nicht wahrnehmbar sein, wird der Einsatz z. B. des 89er-Hopfens in vergleichbaren Mengen eine ausgeprägtere Hopfenblume ergeben.

Zusammenfassung

Die weltweite Züchtung von Hopfen mit speziellen Aromen (= Special Flavour Hop-

Hopfendosagen zurückgeführt werden [2, S. 290]. In der Bittere und Präferenz wurde das 89er-Bier dem SSP-Bier tendenziell und dem TTE-Bier signifikant bevorzugt.

Anlässlich der 3. Deutschen Hopfentage im Oktober 2016 konnten die Teilnehmer vier Biere mit einer ähnlichen Rezeptur vergleichen. Unter anderem waren Angaben zur Präferenz gefragt. Tabelle 7 gibt die Ergebnisse wieder. Das 89er-Bier liegt mit zwei Sternen signifikant im Rang vorne. Die drei anderen Biere (SSP, 96er und TTE) unterscheiden sich nicht wesentlich.

Diskussion der Ergebnisse

Ein Vergleich der beiden Zuchtstämme 89 und 96 mit ihren Müttern Spalter bzw. Tettninger sowie dem Saphir zeigt deutlich höhere Gehalte an Hopfenöl und aromarelevanter Stoffgruppen. Im Aromapotential

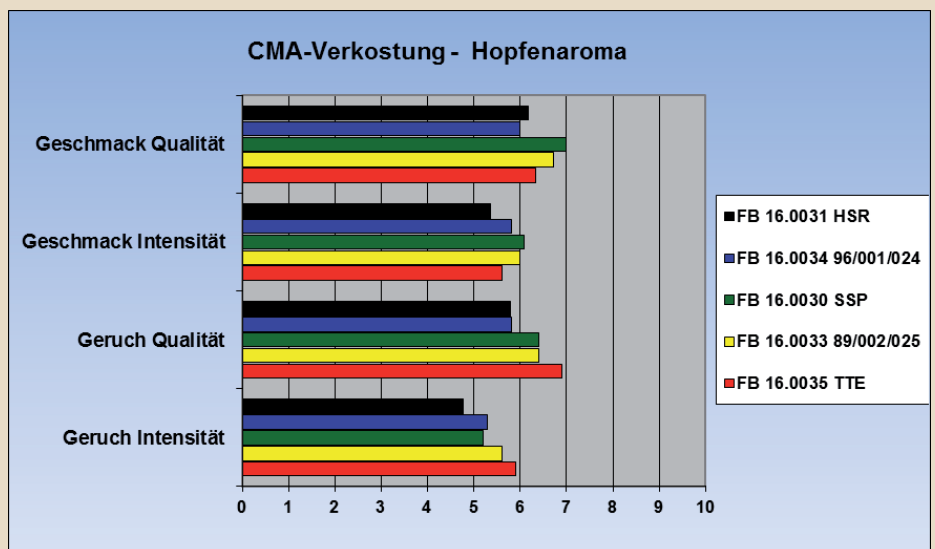


Abb. 5 Hopfenrelevante Merkmale der Verkostung nach CMA; Intensität und Qualität des Hopfenaromas

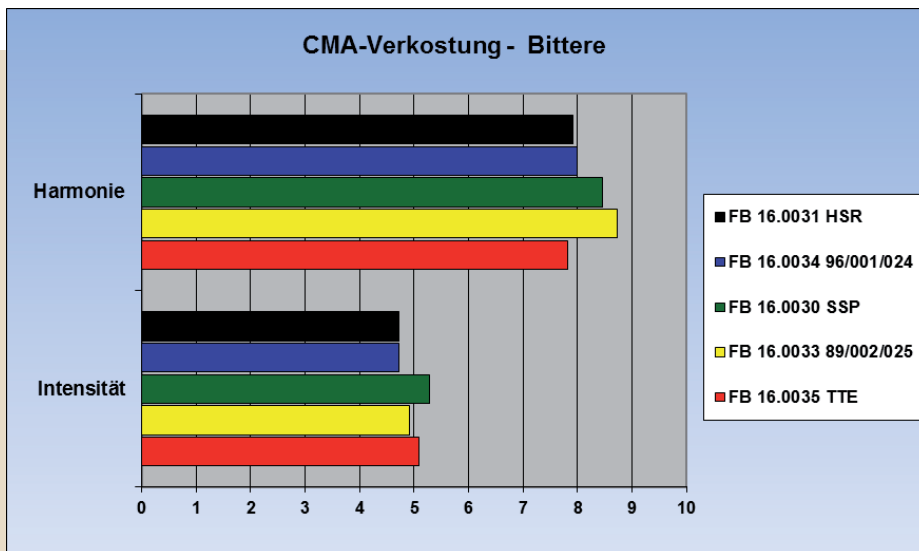


Abb. 6 Intensität und Harmonie der Bittere

fen) liegt stark im Trend, erkennbar auch an sechs neuen Hüller Sorten in den letzten fünf Jahren. Dagegen hat seit 2003 keine Neuzulassung eines Aromahopfen für die Würzekochung (= normaler Aromahopfen) in Deutschland stattgefunden, obwohl durchaus die Notwendigkeit besteht, Aromahopfen mit dem Ziel höherer Erträge, besserer Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Klimaänderungen sowie einem höheren Aromapotentiale zu entwickeln.

Zwei Aromazüchtungen in Hüll sind schon länger in der Prüfung mit den Nummern 89/002/25 und 96/001/24. Sie werden mit ihren jeweiligen Müttern Spalter und Tettninger sowie dem Saphir verglichen. Die Ergebnisse von analytischen Vergleichen und Brauversuchen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die α -Säuregehalte beider Zuchtstämme sind höher als die der drei Vergleichshopfen, aber mit etwas niedrigeren Cohumulonanteilen im Vergleich zu den Muttersorten.
- Beide Zuchtstämme sind etwas ärmer an niedermolekularen Polyphenolen.
- Die Zuchtstämme enthalten deutlich höhere Hopfenölgehalte.
- Der 89er weist den höchsten Farnesenwert aller fünf Hopfen auf, was als Indikator für seine Verwandtschaft zum Saazer Formenkreis dienen kann.
- Besonders der 89er verfügt über ein hohes Aromapotentiale, was sich aus den Gehalten an gut löslichen Estern und dem Linalool ableitet.
- In untergärigen Bieren wurden die fünf Hopfen nach ihrem Hopfenölgehalt in einer Menge von 6 ml Öl/hl spät dosiert. Die dazu notwendigen Mengen der

Zuchtstämme betragen lediglich 35 Prozent vom TTE, 41 Prozent vom SSP und 55 Prozent vom HSR.

- Die Biere mit den Zuchtstämmen sind in Intensität und Qualität des Hopfenaromas den anderen drei Bieren ebenbürtig.
- Das 89er-Bier enthält die höchsten Werte an aromaaktiven Substanzen wie Linalool und Ester.
- Die Biere mit dem 89er wurden in allen Verkostungen signifikant bevorzugt.

Die Zuchtstämme, besonders aber der 89er, verfügen über ein hohes Aromapotentiale, das entweder niedrigere Dosagen erlaubt oder eine deutlicher wahrnehmbare Hopfenblume erzeugt. Auf Grund dieser vielversprechenden Ansätze werden derzeit beide Stämme in einem Großversuch angebaut.

■ Literatur

1. Kaltner, D.; Steinhaus, M.; Mitter, W.; Biendl, M.; Schieberle, P.: „(R)-Linalool als Schlüsselaromastoff für das Hopfenaroma in Bier und sein Verhalten während der Bieralterung“, Monatschrift für Brauwissenschaft 56, Nr. 11/12, S. 192-196, 2003.
2. Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Mitter, W.; Schmidt, R.; Schönberger, C.: Hopfen – Vom Anbau bis zum Bier, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, 2012.
3. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL, Jahresbericht 2012 – Sonderkultur Hopfen, www.hopfenforschung.de/jahresbericht_2012.pdf, S. 47-48.
4. Association of German Hop Growers: The Spirit of Beer: Hops from Germany!, Pocket Guide to German Hop Varieties, 2016.
5. Forster, A.; Beck, B.; Schmidt, R.; Jansen, C.; Mellenthin, A.: „Über die Zusammensetzung von niedermolekularen Polyphenolen in verschiedenen Hopfensorten und zwei Anbaugebieten“, Monatschrift für Brauwissenschaft 55, 2002, S. 98-108.
6. Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (CMA): „Die Seele des Bieres – Hopfen aus Deutschland“, http://www.deutscherhopfen.de/content/serv/hopfenpflanzerverband.de/data/media/2099/Hopfen-Sortenmappe-dt-komplett-05.pdf
7. Kramer, A.: Chemical Senses and Flavor, Bd. 1, 1974, S. 121.

PAARWEISE VERKOSTUNG DES 89ER-BIERES ...						
... mit dem SSP- und TTE-Bier mit Signifikanzniveaus (Sig.) der Ergebnisse						
	Paar 1			Paar 2		
	89	SSP	Sig.	89	TTE	Sig.
Welches der Biere ist aromatischer ?	10	4	-	8	6	-
Welches der Biere ist vollmundiger ?	4	10	-	6	8	-
Welches der Biere hat eine angenehmere Bittere ?	8	6	-	12	2	**
Präferenz	10	4	-	12	2	**

Tab. 6

VERKOSTUNG VON VIER BIEREN; ...				
Angaben der Rangsummen nach Kramer [7], des Ranges und der Signifikanz				
	89	96	SSP	TTE
Rangsumme	112	157	154	167
Rang	1	3	2	4
Signifikanz	**	-	-	-

Tab. 7