

# Einfluss der Witterung auf die Biogenese unterschiedlicher Hopfeninhaltsstoffe

**KLIMAEMPfindlichkeit** | Der Einfluss des Klimas auf den  $\alpha$ -Säuregehalt des Hopfens ist bekannt, systematische Erkenntnisse bezüglich der Biosynthese von Aromasubstanzen und Polyphenolen fehlen jedoch. Für diese Untersuchung wurden Pelletproben aus großen Partien von 20 deutschen Hopfensorten ausgewählt. Die Ergebnisse werden im folgenden Beitrag dargestellt.

**DIE BEIDEN** aufeinanderfolgenden Erntejahre 2015 und 2016 eigneten sich gut für eine Gegenüberstellung. Der Sommer

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

2015 war heiß und trocken, während der Sommer 2016 gute Bedingungen mit genug Niederschlag und moderaten Temperaturen bot. Die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren zeigten sich ziemlich anfällig gegenüber den ungünstigen Bedingungen im Jahr 2015, v. a. bei den Aromasorten, weniger bei den Flavour- oder Bittersorten. Auch die Aromasubstanzen litten unter der Dürre und Hitze, aber

unterschiedlich je nach Stoffgruppe. In dessen waren die Polyphenolgehalte stabil, 2015 sogar etwas höher. Die Anfälligkeit von Hopfeninhaltsstoffen und -sorten gegenüber Klimaeinflüssen ist offensichtlich unterschiedlich ausgeprägt. Brauer sollten dies bei ihrer Hopfenauswahl berücksichtigen.

## ■ Zielsetzung

Die Tatsache des Klimawandels ist unbestreitbar und beispielsweise in [1] überzeugend belegt. So nahmen die Durchschnittstemperaturen in den Monaten Juni bis August in Bayern von 15,8 °C (1961–1990) auf 17,5 °C (1991–2020) zu.

Eine Betrachtung über einen längeren Zeitraum (ab 2002) und die Auswirkungen des Klimawandels mit Fokus auf die  $\alpha$ -Säurerträge (kg  $\alpha$ /ha) verschiedener deutscher Hopfensorten ist in [2] abgehandelt. Es gelang, einen abgesicherten Zusammenhang zwischen Witterung und  $\alpha$ -Säurertrag abzuleiten und auch deutliche Sortenunterschiede aufzuzeigen.

Genauere Untersuchungen zu anderen Hopfeninhaltsstoffen wie  $\beta$ -Säuren, Cohumulonanteil, Aromasubstanzen und Polyphenolen fehlen allerdings, was Ziel dieser Arbeit ist. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse findet sich in [3].

## ■ Methodik des Vergleichs

Weil langjährige Beobachtungen fehlen, eignen sich für einen Vergleich zwei Hopfenernten mit deutlich unterschiedlichen Witterungsverhältnissen. Es bieten sich hier die Jahre 2015 (heiß und trocken) und 2016 (genügend Niederschlag, moderate Temperaturen) mit der Gegenüberstellung einer schlechten und guten Ernte an. Die mittlere Temperatur in der Hallertau von Juni bis August betrug 19,5 °C im Jahr 2015 gegenüber 17,7 °C 2016, die Summe

der Niederschläge in den drei Monaten 178 mm (2015) gegenüber 334 mm (2016), und die Hitzetage (Tage mit mehr als 30 °C) waren 2015 mit 36 Tagen deutlich häufiger als 2016 mit nur sieben Tagen.

**■ Probenauswahl**

Als Proben für die Untersuchungen dienten inert verpackte, bei 2 °C gelagerte Pellet-Originalgebinde (Typ 90) aus großen Verarbeitungen, die eine homogene Mischung aus einer Vielzahl von Einzelpartien repräsentieren.

Die 20 wesentlichen in diesen Jahren in Deutschland angebauten Sorten waren:

■ 4 klassische Aromasorten = Landsorten:

Hallertauer Mfr. (HAL), Hersbrucker (HEB), Tettninger (TET), Spalter (SPA);

■ 7 gezüchtete Aromasorten: Perle (PER), Hallertauer Tradition (HTR), Spalter Select (SSE), Saphir (SIR), Opal (OPL), Smaragd (SGD), Northern Brewer (NBR); aus Sicht der Autoren ist allerdings der NBR nach wie vor eher ein Bitterhopfen und wird im Durchschnitt der Zuchtsorten nicht berücksichtigt;

■ 4 Flavoursorten: Mandarina Bavaria (MBA), Hüll Melon (HMN), Hallertau Blanc (HBC), Cascade (CAS);

■ 5 Bittersorten: Magnum (HMG), Taurus (HTU), Herkules (HKS), Polaris (PLA), Nugget (NUG).

Spalter und Tettninger stammten aus ihrem jeweiligen Herkunftsgebiet, alle anderen Hopfen aus der Hallertau.

**Analytik und Berechnung der Ergebnisse**

Die Pelletproben wurden auf folgende Merkmale analysiert:

■ α- und β-Säuren inkl. des Cohumulonanteils mittels HPLC nach EBC 7.7;

■ Gesamtpolyphenolgehalt (TPP) nach EBC 7.14;

■ Niedermolekulare Polyphenole (lmwPP) mittels einer hauseigenen HPLC-Methode;

**GEHALTE VON α- UND β-SÄUREN, XANTHOHUMOL (XN), GESAMTPOLYPHENOLEN (TPP) UND NIEDERMOLEKULAREN POLYPHENOLEN (LMWPP)...**

...sowie Cohumulonanteile (% Coh) in Ernte 2015 im Vergleich zur Ernte 2016 in % relativ

Sorte	α-Säuren	β-Säuren	% Coh	XN	TPP	nmPP
HAL	54	64	105	71	103	110
HEB	68	69	100	88	103	113
SPA	60	78	100	90	130	121
TET	57	73	106	87	110	99
<b>Ø Landsorten</b>	<b>59,8</b>	<b>71,0</b>	<b>102,8</b>	<b>84,0</b>	<b>112,5</b>	<b>110,8</b>
HTR	76	59	112	91	105	102
SIR	63	59	100	81	107	100
SSE	64	63	95	75	100	93
SGD	75	73	111	87	119	125
PER	51	52	110	59	107	108
OPL	84	69	106	79	111	110
NBR	40	50	106	52	136	141
<b>Ø Zuchtsorten (ohne NBR)</b>	<b>68,8</b>	<b>62,5</b>	<b>105,7</b>	<b>78,7</b>	<b>108,2</b>	<b>106,3</b>
MBA	79	103	97	102	86	82
HMN	82	94	99	96	91	93
HBC	75	84	95	88	90	102
CAS	69	106	92	80	102	110
<b>Ø Flavoursorten</b>	<b>76,3</b>	<b>96,8</b>	<b>95,8</b>	<b>91,5</b>	<b>92,3</b>	<b>96,8</b>
HMG	86	84	97	85	110	110
NUG	77	89	105	88	108	124
PLA	86	75	97	100	114	133
HTU	71	73	106	85	136	152
HKS	87	79	95	98	114	151
<b>Ø Bittersorten</b>	<b>81,4</b>	<b>80,0</b>	<b>100,0</b>	<b>91,2</b>	<b>116,4</b>	<b>134,0</b>
<b>Ø Alle Sorten inkl. NBR</b>	<b>70,2</b>	<b>74,8</b>	<b>101,7</b>	<b>84,1</b>	<b>109,1</b>	<b>114,0</b>



Tab. 1 Einstufung der Witterungsempfindlichkeit von nicht (> 95 %, grün) bis stark (< 55 %, rot)

- Xanthohumol mittels HPLC;
- Gaschromatographische Bestimmung (GC-FID) der Aromakomponenten, mit Angabe der folgenden acht Merkmale: Summe aller kalibrierten Substanzen, Myrcen, Humulen, Sauerstofffraktion (Moleküle mit mindestens einem Sauerstoffatom, löslich in Würze und Bier), Linalool, Summe der Carbonsäure-Ester, Sesquiterpenalkohole sowie Epoxide von Humulen und β-Caryophyllen.

Entscheidend in dieser Arbeit ist die Fragestellung: Wie reagieren Komponenten verschiedener Hopfensorten auf die Witterung, wie stark leiden sie unter Trocken-

heit und Hitze? Dabei interessiert die Relation der Absolutwerte zwischen den Ernten 2015 und 2016. Die Verrechnung der Daten erfolgt auf folgende Weise:

$$\frac{\text{Ø-Wert einer Substanz 2015}}{\text{Ø-Wert einer Substanz 2016}} * 100\% = \Delta \text{ in \% rel.}$$

Daraus resultieren die prozentualen Mehr- oder Mindermengen (Δ) in Ernte 2015 gegenüber Ernte 2016.

Die Tabellen 1 bis 3 sind je nach den Gehalten im Jahr 2015 gegenüber 2016 (in % relativ) in sechs Schritte und Farbstufen ge-

gliedert, und zwar von keinem Unterschied und damit unempfindlich gegenüber dem Klima (> 95 %, grün) bis zu einem großen Unterschied und damit empfindlich gegenüber dem Klima (< 55 %, rot).

### ■ Versuchsergebnisse

Die Sorten sind aufgeteilt in Land-, Zuchtaroma-, Flavour- und Bittersorten mit den jeweiligen Mittelwerten und einem Gesamtdurchschnitt. Tabelle 1 enthält die Angaben zu den α- und β- Säuren, Cohumulonanteilen, Gesamt- und niedermolekularen Polyphenolen und Xanthohu-

## GEHALTE IN % RELATIV VON AROMAKOMPONENTEN UND AROMAKENNZAHLEN IN ERNTE 2015 IM VERGLEICH ZUR ERNTE 2016

Sorte	1	2	3	4	5	6	7	8
HAL	73	69	63	73	75	30	108	93
HEB	78	90	98	43	86	71	82	64
SPA	86	77	112	51	75	31	65	40
TET	81	63	102	67	75	50	75	88
<b>Ø Landsorten</b>	<b>79,5</b>	<b>74,8</b>	<b>93,8</b>	<b>58,5</b>	<b>77,8</b>	<b>45,5</b>	<b>82,5</b>	<b>71,3</b>
HTR	95	96	99	82	100	55	120	78
SIR	95	83	112	100	70	67	128	75
SSE	80	63	118	88	70	60	100	80
SGD	81	74	85	80	80	73	100	58
PER	72	63	77	74	75	57	108	73
OPL	80	84	66	72	100	61	94	35
NBR	58	44	76	53	74	41	84	77
<b>Ø Zuchtsorten (ohne NBR)</b>	<b>83,8</b>	<b>77,2</b>	<b>92,8</b>	<b>82,7</b>	<b>82,5</b>	<b>62,2</b>	<b>108,3</b>	<b>66,5</b>
MBA	110	104	131	94	100	84	113	56
HMN	78	70	94	74	100	60	98	100
HBC	107	97	117	83	125	72	91	100
CAS	94	92	110	81	80	70	114	60
<b>Ø Flavoursorten</b>	<b>97,3</b>	<b>90,8</b>	<b>113,0</b>	<b>83,0</b>	<b>101,3</b>	<b>71,5</b>	<b>104,0</b>	<b>79,0</b>
HMG	82	84	80	79	71	76	96	63
NUG	70	58	88	70	53	63	100	64
PLA	95	103	100	66	88	60	95	45
HTU	76	67	111	72	59	83	77	40
HKS	77	64	100	63	71	57	100	67
<b>Ø Bittersorten</b>	<b>80,0</b>	<b>75,2</b>	<b>95,8</b>	<b>70,0</b>	<b>68,4</b>	<b>67,8</b>	<b>93,6</b>	<b>55,8</b>
<b>Ø Alle Sorten inkl. NBR</b>	<b>83,4</b>	<b>77,3</b>	<b>97,0</b>	<b>73,3</b>	<b>81,4</b>	<b>61,1</b>	<b>97,4</b>	<b>76,0</b>

< 55	55–65	65–75	75–85	85–95	> 95
------	-------	-------	-------	-------	------

1 = Summe aller kalibrierten Aromasubstanzen; 2 = Myrcen; 3 = Humulen; 4 = Sauerstofffraktion; 5 = Linalool; 6 = Summe der Ester; 7 = Sesquiterpenalkohole; 8 = Epoxide

Tab. 2 Einstufung der Witterungsempfindlichkeit von nicht (> 95 %, grün) bis stark (< 55 %, rot)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren reagieren besonders empfindlich auf das Klima, allerdings stärker ausgeprägt bei den Aromahopfen.
- Der Cohumulonanteil wird nicht beeinflusst; die Homologen der  $\alpha$ -Säuren verhalten sich identisch.
- Gesamt- und niedermolekulare Polyphenole zeigen keinerlei Reaktion gegenüber der Witterung. Diese Substanzen finden sich in den Doldenblättern, sind also "Blattpolyphenole".
- Trocken-heiße Witterung setzt allerdings dem Xanthohumol zu, besonders in den Aromasorten. Xanthohumol ist in den Lupulindrüsen gespeichert und kann als „Lupulinpolyphenol“ bezeichnet werden.

Tabelle 2 enthält die relativen Gehalte von acht Kennzahlen des Hopfenaromas in der Ernte 2015 im Vergleich zu 2016, die sich in der Klimaempfindlichkeit unterscheiden, aber auch zwischen den Hopfenarten deutliche Differenzen erkennen lassen. Aus Tabelle 2 lässt sich folgern:

- Humulen ist stabiler als Myrcen;
- die Sauerstofffraktion reagiert stärker auf das Klima als die Summe aller Substanzen;
- die Summe der Ester ist besonders klimaempfindlich;
- Linalool ist etwas stabiler als die Ester;
- Sesquiterpenalkohole sind relative stabil im Gegensatz zu den Epoxiden;
- die Landsorten werden besonders durch die Witterung beeinträchtigt, deutlich stabiler sind die Flavourhopfen.

Der Gesamtdurchschnitt aller 20 Sorten lässt erkennen, dass die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren mit 72 Prozent in Ernte 2015 gegenüber 2016 der klimaempfindlichste Metabolit sind, ge-

folgt von der Summe der Aromasubstanzen (83 %). Überraschenderweise zeigen die Polyphenole bis auf das Xanthohumol (84 %) keinerlei negative Reaktion (109 %).

### Vergleich der einzelnen Hopfensorten

Ein vereinfachter Vergleich der Klimaempfindlichkeit der 20 Sorten und ihrer Inhaltsstoffe kann über die Einschätzung ihres „Bitter- und Aromapotentiale“ erfolgen. Die von den Autoren gewählten Begriffe verstehen sich wie folgt:

Neben den  $\alpha$ -Säuren tragen auch „Begleitbitterstoffe“ besonders bei späten Gaben zur Bierbittere bei. Die  $\beta$ -Säuren werden als ein geeigneter Indikator für die Menge an Begleitbitterstoffen im Bier betrachtet [4, S. 212 ff]. Unter Bitterpotential verstehen die Autoren eine Berechnung aus  $\alpha$ -Säuren und  $\beta$ -Säuren mit unterschiedlicher Gewichtung:

$$\text{Bitterpotential} = 4 \times \alpha\text{-Säuren} + 1 \times \beta\text{-Säuren}$$

Der Begriff Aromapotentiale einer Sorte orientiert sich an dem Beitrag einer Substanz/Substanzgruppe zum Hopfenaroma im Bier bei späten Gaben oder beim Hopfenstopfen [4]. Dazu werden sechs für ein Hopfenaroma im Bier verantwortliche Größen (in % relativ 2015:2016) zur durchschnittlichen Berechnung des Aromapotentials herangezogen:

- Summe aller kalibrierten Substanzen;
- Myrcen (kann besonders beim Hopfenstopfen Wirkung zeigen);
- Sauerstofffraktion (in Bier lösliche Substanzen);
- Summe der Ester (fruchtige Noten, Umwandlung in aromaintensive Ethylester);
- Linalool (bekanntester Indikator für Hopfenaroma);

- Epoxide (in der Literatur oft erwähnt).

Tabelle 3 enthält die Relationen des Bitter- und des Aromapotentiale aller 20 Hopfensorten in % rel. von 2015 gegenüber 2016. Aus beiden Werten ist noch das Mittel angegeben. Mit Hilfe dieser Kennzahl aus Bitter- und Aromapotentiale lässt sich ein Ranking von 1 = „wenig klimaempfindlich“ bis 15 = „sehr klimaempfindlich“ aufstellen.

Die Klassifizierung der Klimaempfindlichkeit weist eine große Streuung auf. Die Flavoursorten Mandarina und Blanc stehen an der Spitze, einige Landsorten sowie Perle und Northern Brewer liegen am Ende. Ferner kann angenommen werden, dass ein früher Erntezeitpunkt einer Sorte (TET, HAL, SSP, PER and NBR) die Klimaempfindlichkeit fördert. Interessant mag noch sein, bei welchen Sorten zwischen der Stabilität des Bitterpotentials gegenüber dem Aromapotentiale ein deutlicher Unterschied besteht. Das Bitterpotential ist bei den Bittersorten HMG, HKS und NUG um mehr als zehn Prozent stabiler als das Aromapotentiale. Umgekehrt verhalten sich die Aromasorten HBC, SIR, SSE, TET, HAL, PER und NBR mit einem um mehr als zehn Prozent höheren Aromapotentiale gegenüber dem Bitterpotential.

### Konsequenzen für die Hopfendosage

Die Untersuchungen zeigen, dass sich das Verhältnis von Stoffgruppen untereinander je nach der Witterung von Ernte zu Ernte deutlich verschieben kann, besonders zwischen  $\alpha$ -Säuren und Polyphenolen. So gelangt beim Einsatz einer klimaempfindlichen Sorte in einem trockenen, heißen Jahrgang die gut doppelte Menge an Polyphenolen und 30 bis 80 Prozent mehr an gewissen

**BITTER- UND AROMAPOTENTIAL ALS % RELATIV 2015:2016 ALLER 20 SORTEN; MITTELWERT DARAUSS ...**

... und Ranking der Sorten von wenig klimaempfindlich (1) bis ausgeprägt klimaempfindlich (15)

Sorte	Bitterpotential	Aromapotentia	Mittelwert	Ranking
MBA	79	91	85	1
PLA	86	76	81	2
HMG	86	76	81	2
HBC	75	97	81	2
HMN	82	80	81	2
HTR	76	81	80	3
OPL	84	72	78	4
HKS	87	67	77	5
SIR	63	89	76	6
SGD	75	74	75	7
CAS	69	79	74	8
HEB	68	72	70	9
NUG	77	63	70	9
HTU	71	67	69	10
SSE	64	74	69	10
TET	57	71	64	11
HAL	54	68	61	12
SPA	60	60	60	13
PER	51	67	59	14
NBR	40	58	49	15

< 55	55–65	65–75	
75–85	85–95	> 95	

Tab. 3

Aromagruppen bei gleicher  $\alpha$ -Dosage ins Bier. Der Brauer muss damit flexibel auf unterschiedliche Ernten reagieren.

**Zusammenfassung**

Die Analysenergebnisse der schwachen Ernte 2015 wurden mit denen der guten Ernte 2016 in % relativ verrechnet. Die Minder- bzw. Mehrmengen in Ernte 2015 gegenüber 2016 sind in % rel. zu verstehen und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Reaktionen der  $\alpha$ -Säuren (-30%), Summe der Aromastoffe (-17%) und Gesamtpolyphenole (+9%) im Gesamtdurchschnitt aller 20 Sorten zeigen große Unterschiede;
- Aromagruppen reagieren unterschiedlich. Am empfindlichsten auf den Faktor Klima zeigen sich die Ester mit -39 Prozent, gefolgt von Myrcen mit -23 Prozent und Linalool mit -19 Prozent;

- Polyphenole sind in allen untersuchten Merkmalen erstaunlich klimastabil. Abweichend verhält sich nur Xanthohumol (-16%);

- am klimaempfindlichsten sind die Landsorten gefolgt von den Zuchtaroma-, den Bitter- und den Flavourhopfen.

- ein früher Erntezeitpunkt verstärkt die Klimaempfindlichkeit.

Da sich Substanzen unterschiedlich verhalten, verschieben sich die Verhältnisse von Stoffgruppen untereinander je nach Ernte, besonders die  $\alpha$ -Säuren zu den Polyphenolen. Über eine angepasste flexible Anreicherung bei der Pelletherstellung lassen sich diese Relationen partiell ausgleichen.

Das Verhältnis des Bitter- zum Aromapotentia kann sich in Abhängigkeit von der Witterung verschieben, was zu Aromaänderungen im Bier führt, wenn z.B. späte Gaben nach den  $\alpha$ -Säuren dosiert werden.

Eine Dosage der Aromagaben bei Kochende, im Whirlpool oder besonders beim Hopfenstopfen nach einem oder mehreren Aromakriterien ist daher sinnvoll.

Womit die verschiedenen Reaktionen von Hopfeninhaltsstoffen auf die Witterung zu erklären sind, ist noch offen. Es handelt sich weitgehend um enzymatische Vorgänge bei der Biogenese. Dabei ist es durchaus denkbar, dass Enzyme unterschiedlich mit Wassermangel und hohen Tagestemperaturen fertig werden [5]. Neue Ansätze auf die Klimadiskussion im Hopfen zeigen sich bereits. Beim jüngsten Meeting der technisch-wissenschaftlichen Kommission des IHB im Juli 2022 in Lugo, Spanien, beispielsweise berichteten Nesvadba et al. über ein Projekt „Development of genotypes for drought resistance“, das vorerst bis 2026 angelegt ist [6].

**Literatur**

- Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, klimafakten.de (Hrsg.): Was wir heute übers Klima wissen – Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind, Juni 2021, [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle\\_meldungen/210609/basisfakten-zum-klimawandel\\_dkk.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210609/basisfakten-zum-klimawandel_dkk.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- Forster, A.; Schüll, F.: „Einfluss des Klimawandels auf den Hopfen“, BRAUWELT Nr. 36, 2019, S. 1020–1024.
- Forster, A.; Gahr, A.; Schüll, F.; Bertazzoni, J.: „The impact of climatic conditions on the biogenesis of various compounds in hops“, *BrewingScience* 74, 2021, S. 160–171.
- 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.
- Kolenc, Z.; Vodnik, D.; Mandelc, S.; Javornik, B.; Kastelec, D.; Cerenak, A.: „Effects of drought stress on hop (*Humulus Lupulus* L.): physiological and proteomic view“, *Plant Physiology and Biochemistry* 105, 2016, S 67–78.
- Nesvadba, V.; Donner, P.; Charvátová, J.: *Hop Breeding in the Czech Republic*, Proceedings of the Scientific-Technical Commission, Lugo, Spanien, 3.–7. Juli 2022, S. 13–16.