

# Der Einfluss der Witterung auf die Biogenese unterschiedlicher Hopfeninhaltsstoffe

## The Impact of Climatic Conditions on the Biogenesis of Various Hop Substances

### Abstract

Der Einfluss des Klimas auf den  $\alpha$ -Säuregehalt des Hopfens ist bekannt, systematische Erkenntnisse bezüglich der Biosynthese von Aromasubstanzen und Polyphenolen fehlen jedoch. Pelletproben aus großen Partien von 20 deutschen Hopfensorten wurden für diese Untersuchung ausgewählt. Die beiden aufeinanderfolgenden Erntejahre 2015 und 2016 eigneten sich gut für eine Gegenüberstellung. Der Sommer 2015 war heiß und trocken, während der Sommer 2016 gute Bedingungen mit genug Niederschlag und moderaten Temperaturen bot.  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren zeigten sich ziemlich anfällig gegenüber den ungünstigen Bedingungen in 2015, vor allem bei den Aromasorten, weniger bei den Flavor- oder Bittersorten. Auch die Aromasubstanzen litten unter der Dürre und Hitze, aber unterschiedlich je nach Stoffgruppe. Indessen waren die Polyphenolgehalte stabil, in 2015 sogar etwas höher. Die Anfälligkeit von Hopfeninhaltsstoffen und -sorten gegenüber Klimaeinflüssen ist offensichtlich unterschiedlich ausgeprägt. Brauer sollten dies bei ihrer Hopfenauswahl berücksichtigen.

### Einleitung

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 bis 1990) auf 17,5 °C (1991 bis 2020) zu.

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

### Abstract

*Climate influence on  $\alpha$ -acid content of hops is known. But systematic research on the biosynthesis of aroma substances and polyphenols in different hop varieties depending on the weather conditions is lacking. Pellet samples of 20 German hop varieties from big lots were chosen for the study. The two consecutive crop years 2015 and 2016 are suitable for a comparison. The summer 2015 was hot and dry, whereas the summer 2016 offered good conditions with enough rainfall and moderate temperatures.  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids were particularly sensitive to the unfavorable conditions in 2015, in aroma varieties more than in flavor or bitter hops. The aroma substances also suffered from the drought and heat, but in different intensities depending on the substance group. However, the polyphenols were stable, in 2015 even a bit higher. The susceptibility of hop substances and varieties to climate conditions is evidently different. Brewers should take that into account when selecting hop varieties.*

### Introduction

*Climate change is undeniable [1]. As an example, the mean daily temperature in the months of June to August in Bavaria increased from 15.8 °C (1961-1990) to 17.5 °C (1991-2020).*

*A study over a longer period of time (from 2002) and the effects of climate change with a focus on the  $\alpha$ -acid yields (kg  $\alpha$ /ha) of different German hop varieties is dealt with in [2]. It was possible to establish a reliable correlation between weather and  $\alpha$ -acid yield and also to show clear differences between the varieties.*

*More detailed investigations of other hop substances such as  $\alpha$ -acids, cohumulone content, aroma substances and polyphenols are lacking, however, which is the aim of this work. The results are presented in detail in [3].*

### Method of a Comparison

*Since long-term information is missing a comparison of two years with totally different weather conditions is a suitable instrument. The years 2015 (hot and dry) and 2016 (enough precipitation and moderate temperatures) are*

Hitze und die lang anhaltende Trockenheit im Jahr 2022 zeigen einmal mehr die Aktualität dieser Studie.

Heat and the prolonged drought in 2022 once again demonstrate the topicality of this study.



## 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 in 2016, die Summe der Niederschläge in den 3 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 in 2016 mit nur 7 Tagen.

## Probenauswahl

Als Proben für die Untersuchungen dienten inert verpackte, bei 2 °C gelagerte Pellet-Originalgebände (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 Mittelfrüher (HAL), Hersbrucker (HEB), Tett- nanger (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 Flavor-Sorten:

Mandarina Bavaria (MBA), Huell Melon (HMN), Haller- tau Blanc (HBC), Cascade (CAS)

### 5 Bittersorten:

Magnum (HMG), Taurus (HTU), Herkules (HKS), Polaris (PLA), Nugget (NUG)

Spalter und Tett- nanger stammten aus ihrem jeweiligen Herkunftsgebiet, alle anderen Hopfen aus der Hallertau.

## Analytik und Berechnung der Ergebnisse

Die Pelletproben wurden auf folgende Merkmale ana- lysiert:

- $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren inkl. des Cohumulonanteils mittels HPLC nach EBC 7.7
- Gesamtpolyphenolgehalt (TPP) nach EBC 7.14
- Niedermolekulare Polyphenole (lmwPP) mittels einer hauseigenen HPLC-Methode
- Xanthohumol mittels HPLC
- Gaschromatographische Bestimmung (GC-FID) der Aromakomponenten, mit Angabe der folgenden 8 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  $\beta$ -Caryophyllen.

good examples for a bad and a good harvest. The com- parison shows mean temperatures in the Hallertau region from June to August of 19.5 °C (2015) vs 17.7 °C (2016), the sum of precipitation from June to August of 178 mm (2015) vs 334 mm (2016) and 36 hot days (> 30°C) in 2015 vs 7 hot days in 2016.

## Sample Selection

Cold stored Pellet 90 samples were taken from big lots, representing an average of numerous homogenized in- dividual hop lots.

20 main varieties, cultivated in Germany in those years, were selected:

### 4 landraces:

Hallertauer Mittelfrüher (HAL), Hersbrucker (HEB), Tett- nanger (TET), Spalter (SPA)

### 7 aroma varieties:

Perle (PER), Hallertauer Tradition (HTR), Spalter Select (SSE), Saphir (SIR), Opal (OPL), Smaragd (SGD), Northern Brewer (NBR).

From the authors point of view NBR still belongs to the bitter varieties group and therefore will not be considered when calculating average values in this aroma varieties group.

### 4 flavor varieties:

Mandarina Bavaria (MBA), Huell Melon (HMN), Hallertau Blanc (HBC), Cascade (CAS)

### 5 bitter varieties:

Magnum (HMG), Taurus (HTU), Herkules (HKS), Polaris (PLA), Nugget (NUG)

Spalter and Tett- nanger were grown in their region, all others in the Hallertau.

## Analysis and Calculation of the Results

The pellet samples were analyzed according to the following characteristics:

- $\alpha$ - and  $\beta$ -acids by means of HPLC resulting in the ratio  $\beta$ : $\alpha$  and the cohumulone ratio (% Coh)
- Total polyphenols (TPP) using an unspecific spectropho- tometric method
- Low molecular weight Polyphenols (lmwPP) by means of HPLC
- Xanthohumol using HPLC, analogous to the bitter acids
- Aroma substances (GC-FID) with the following 8 criteria: sum of all calibrated substances, myrcene and  $\alpha$ -humu- lene, the oxygenated fraction (OF; molecules with an oxygen atom, well soluble in wort and beer), linalool, sum of carboxylate esters, sum of sesquiterpene alco- hols and epoxides of  $\alpha$ -humulene and  $\beta$ -caryophyllene.

The important question is: How sensitively do substances of different varieties react to climate conditions? How much do they suffer from dryness and heat?

This information is obtained by calculating the absolute values in % relative of 2015 against 2016:

$$\frac{\text{Avg. value of a substance in the 2015 harvest}}{\text{Avg. value of a substance in the 2016 harvest}} * 100\% = \Delta \text{ in \% rel.}$$





Entscheidend in dieser Arbeit ist die Fragestellung: Wie reagieren Komponenten verschiedener Hopfensorten auf die Witterung, wie stark leiden sie unter Trockenheit und Hitze? Dabei interessiert die Relation der Absolutwerte zwischen den Ernten 2015 und 2016. Die Verrechnung der Daten erfolgt auf folgende Weise:

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

Daraus resultieren die prozentualen Mehr- oder Minderungen ( $\Delta$ ) in Ernte 2015 gegenüber Ernte 2016.

### Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse sind in zwei Tabellen zusammengefasst. Die Sorten sind aufgeteilt in Land-, Zuchtaroma-, Flavor- und Bittersorten mit den jeweiligen Mittelwerten und einem Gesamtdurchschnitt.

Tabelle 1 enthält die Angaben zu den  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren, Cohumulonanteilen, Gesamt- und niedermolekularen Polyphenolen und Xanthohumol.

Tabelle 1:  
Gehalte von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren, Xanthohumol (XN), Gesamtpolyphenolen (TPP) und niedermolekularen Polyphenolen (lmwPP) sowie Cohumulonanteile (% Coh) in Ernte 2015 im Vergleich zur Ernte 2016 in % relativ.  
Die Farben verdeutlichen die Empfindlichkeit gegenüber dem Klima von rot (stark) bis grün (nicht).

*Tabelle nur in englischer Sprache.*

Table 1:  
Results for the bitter acids, XN = Xanthohumol, TPP = total polyphenols, lmwPP = low molecular polyphenols and cohumulone ratio (% Coh).  
The colors indicate the sensitivity to climate from red (high) to green (none).

Variety	$\alpha$ -acids	$\beta$ -acids	% Coh	XN	TPP	lmwPP
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 landraces</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 cultivars (w/out 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 flavor varieties</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 bitter varieties</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 all varieties incl 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>

This gives the percentage deviations (surplus or reduced quantities) in crop 2015 compared to crop 2016.

### Results

All the results in % of values in 2015 vs values in 2016 are presented in two tables. The 20 varieties are grouped in landraces, aroma cultivars, flavor and bitter varieties including their averages and the total average. Table 1 shows the results of  $\alpha$ - and  $\beta$ -acids, cohumulone ratio, total and low molecular polyphenols and xanthohumol.

The following conclusions can be drawn from Table 1:

- $\alpha$ - and  $\beta$ -acids are very sensitive to climate change, especially those of aroma varieties.
- The cohumulone ratio is not impacted (homologs of  $\alpha$ -acids exhibited the same behavior).
- TPP and lmwPP are "green" → no impact upon these substances was apparent.
- Dry, hot conditions negatively affect xanthohumol, especially in both groups of aroma hops. XN is stored in the lupulin glands and can be termed "lupulin polyphenol".

Table 2 displays relative key numbers for the hop aroma of crop 2015 compared to crop 2016 that differ in their climate susceptibility but also show quite some differences between the varieties.

The following findings can be stated from Table 2:

- Humulene is more stable than myrcene.
- The oxygenated fraction (OF) is more sensitive than the sum of all the other substances.
- The esters are the most sensitive of those in the OF. Linalool is more stable than the esters.
- Sesquiterpene alcohols are more stable than the epoxides.
- Most sensitive are landraces, most stable flavor varieties.

A comparison of the mean values of all 20 varieties shows that bitter acids are very sensitive (72%), aroma substances a bit less (83%) while total polyphenols are stable (109%) except xanthohumol (84%).

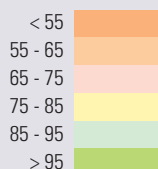


Tabelle 2:

Gehalte in % relativ von Aromakomponenten und Aromakennzahlen in Ernte 2015 im Vergleich zur Ernte 2016:

1 = Summe aller kalibrierten Aromasubstanzen; 2 = Myrcen;

3 = Humulen; 4 = Sauerstofffraktion; 5 = Linalool;

6 = Summe der Carbonsäure-Ester; 7 = Sesquiterpenalkohole;

8 = Epoxide; die Farben verdeutlichen die Empfindlichkeit

gegenüber dem Klima von rot (stark) bis grün (nicht).

*Tabelle nur in englischer Sprache.*

Die Ergebnisse aus Tabelle 1 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 Lupulinrüden gespeichert und kann als „Lupulinpolyphenol“ bezeichnet werden.

Tabelle 2 enthält die relativen Gehalte von 8 Kennzahlen des Hopfenaromas in der Ernte 2015 im Vergleich zur Ernte 2016, die sich in der Klimaempfindlichkeit unterscheiden, aber auch zwischen den Hopfensorten 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 sind 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 Flavor-Hopfen.

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

Variety	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 landraces</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 cultivars (w/out 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 flavor varieties</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 bitter varieties</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 all varieties incl 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>

Table 2:

Content of some groups and individual aroma substances from the 2015 harvest compared to those of the 2016 harvest [% rel.]:

1 = Sum of all calibrated aroma substances;

2 = Myrcene; 3 = Humulene; 4 = Oxygenated fraction;

5 = Linalool; 6 = Sum of the esters;

7 = Sesquiterpene alcohols; 8 = Epoxides;

the colours indicate the sensitivity to climate from red (high) to green (none).

## Comparison of the Individual Hop Varieties

In order to provide a better overview we combine the results of bitter and aroma substances as follows by creating two terms: "bittering potential" and "aroma potential". The terms chosen by the authors mean:

Aside from the  $\alpha$ -acids, hops also contribute with auxiliary bitter substances to the overall bitterness of the beer, especially in late brewhouse additions.

$\beta$ -acids are a suitable indicator for the quantity of auxiliary bitter substances in beer [4].

The bittering potential of a hop variety is calculated:

$$\text{Bittering potential} = 4 \times \alpha\text{-acids} + 1 \times \beta\text{-acids}$$

The term "aroma potential" of a variety is based upon the contribution of a substance/group of substances to the hop aroma in beer in late additions or with dry hopping [4]. The definition of aroma potential is calculated on the average deviation (in % rel. of 2015:2016) of six aroma attributes:

- Sum of all calibrated substances.
- Myrcene (can especially have an impact with dry hopping).
- Oxygenated fraction (substances with various solubility levels in beer).
- Sum of the esters (fruity notes and conversion into aroma active ethyl esters).
- Linalool (indicator for hop aroma in beer).
- Epoxides (often mentioned in the literature).

Die  $\beta$ -Säuren werden als ein geeigneter Indikator für die Menge an Begleitbitterstoffen im Bier betrachtet [4, S. 212 ff]. Unter Bitterpotenzial verstehen die Autoren eine Berechnung aus  $\alpha$ - und  $\beta$ -Säuren mit unterschiedlicher Gewichtung:

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

Der Begriff Aromapotenzial 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 Aromapotenzials herangezogen:

- Summe aller kalibrierten Substanzen
- Myrcen (kann besonders beim Hopfenstopfen Wirkung zeigen)
- Sauerstofffraktion (in Bier lösliche Substanzen)
- Summe der Ester (fruchtige Noten, Umwandlung in aroma-intensive Ethylester)
- Linalool (bekannter Indikator für Hopfenaroma)
- Epoxide (in der Literatur oft erwähnt)

Tabelle 3 enthält die Relationen des Bitter- und des Aromapotenzials aller 20 Hopfensorten in % rel. von 2015 gegenüber 2016. Aus beiden Werten ist noch das Mittel angegeben. Mit Hilfe dieser Kennzahl aus Bitter- und Aromapotenzial lässt sich ein Ranking von 1 = „wenig klimaempfindlich“ bis 14 = „sehr klimaempfindlich“ aufstellen.

Tabelle 3:  
Bitter- und Aromapotenzial als % relativ 2015:2016 aller 20 Sorten; Mittelwert daraus und Ranking von wenig = 1 bis sehr klimaempfindlich = 14  
Table 3:  
Bittering and aroma potential (in % rel. 2015:2016) of 20 hop varieties grown in Germany

Variety	Bittering potential	Aroma potential	Mean	Ranking
MBA	83	91	87	1
HBC	77	97	87	1
HMN	84	80	82	2
HMG	86	76	81	3
PLA	84	76	80	4
HTR	73	81	77	5
OPL	81	72	77	5
CAS	75	79	77	5
HKS	85	67	76	6
SIR	62	89	76	6
SGD	75	74	75	7
NUG	79	63	71	8
HEB	68	72	70	9
HTU	71	67	69	10
SSE	64	74	69	10
TET	60	71	66	11
HAL	56	68	62	12
SPA	64	60	62	12
PER	51	67	59	13
NBR	42	58	50	14

Die Klassifizierung der Klimaempfindlichkeit weist eine große Streuung auf. Die Flavor-Sorten Mandarina Bavarica und Hallertau Blanc stehen an der Spitze, einige Landsorten sowie Perle und Northern Brewer am Ende.

Bittering and aroma potential as a ratio (% rel. of 2015:2016) for all 20 varieties is shown in Table 3 and the resultant mean is listed. The varieties are ranked from hardly = 1 to very climate sensitive = 14.

The classification of varieties according to their climate sensitivity is widely spread from MBA and HBC (best) to NBR (worst). Furthermore, it seems that early picked varieties like TET, HAL, SSP, PER and NBR react more sensitively.

What is interesting is which varieties show a distinct difference between the stability of the bitter potential compared to the aroma potential. In three bitter varieties (HMG, HKS, NUG) the bitter potential is less affected (10% and more) than the aroma potential. Conversely, in seven aroma varieties (HBC, SIR, SSE, TET, HAL, PER, NBR) the aroma potential looks more stable (10% and more) than the bitter potential.

### Consequences for the Dosage of Hops

The ratios of the various substances in hops shift in relation to one another according to the climate conditions, especially the ratio of polyphenols to  $\alpha$ -acids, which is double. Consequently, a dosage according to alpha acids can double the dosage of polyphenols and higher aroma dosages from 30 to 80% in dry and hot summers. This fact is especially interesting for practical brewers who have to react flexibly.

### Summary

The analysis results of the poor harvest of 2015 were compared with the abundant harvest of 2016 and calculated in % relative. The reduced yield in 2015 compared to 2016 can be summarized as follows:

- Given the overall changes in the mean values for  $\alpha$ -acids (-30%), aroma substances (-17%) and polyphenols (constant), all 20 varieties exhibited significant differences in their reactions to fluctuations in climate conditions.
- Values for aroma substances react differently. The most sensitive are the esters (-39%), followed by myrcene (-23%) and linalool (-19%).
- Polyphenols are astonishingly stable in the face of climate change – the only exception being xanthohumol (-16%).
- The most climate sensitive are the landraces followed by the aroma cultivars, the bitter and the flavor varieties.
- Early picked varieties are more climate sensitive than late picked ones.

Since the substances in the hops varied in how they reacted to the change in climate, the ratios of the various groups of substances shifted according to the crop year, especially the relationship between the polyphenols and the  $\alpha$ -acids. These ratios can largely be offset by adapting the enrichment process during pelletization to the changes in the climate conditions.

Ferner kann angenommen werden, dass ein früher Erntezeitpunkt einer Sorte (TET, HAL, SSP, PER und NBR) die Klimaempfindlichkeit fördert. Interessant mag noch sein, bei welchen Sorten ein deutlicher Unterschied zwischen der Stabilität des Bitterpotenzials und der Stabilität des Aromapotenzials besteht. Das Bitterpotenzial ist bei den Bittersorten HMG, HKS und NUG um mehr als 10 % stabiler als das Aromapotenzial. Umgekehrt verhalten sich die Aromasorten HBC, SIR, SSE, TET, HAL, PER und NBR mit einem um mehr als 10 % höherem Aromapotenzial gegenüber dem Bitterpotenzial.

### 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 trockenheißen Jahrgang gut die doppelte Menge an Polyphenolen und 30 bis 80 % mehr an gewissen Aromagruppen bei gleicher  $\alpha$ -Dosage ins Bier. Der Brauer muss damit flexibel auf unterschiedliche Ernten reagieren.

*Climate conditions can also cause the relationship between the bittering and aroma potential to shift, resulting in changes to the beer aroma over time, for example, if a late addition is dosed according to the concentration of the  $\alpha$ -acids.*

*Brewers should take one or more aroma attributes into consideration when dosing the aroma additions at the end of the boil, in the whirlpool or particularly when dry hopping.*

*It remains open, how the different response of the hop substances to climate can be explained. As these are mostly enzymatic reactions during biosynthesis it is conceivable that the involved enzymes cope differently with drought and heat [5]. As a reaction to the climate discussion there are already new approaches in hop research. For instance, Nesvadba et al. reported during the Technical Scientific Commission of the IHB in July 2022 in Lugo, Spain, on their project entitled **“Development of genotypes for drought resistance”**, which is initially scheduled to run until 2026 [6].*

Anzeige / Advertisement



## Wir forschen Hopfen

Werden Sie Mitglied in der  
Gesellschaft für Hopfenforschung e. V.  
und profitieren Sie vom  
direkten Zugriff auf die neuesten  
Züchtungs- und Forschungserfolge.

Become a member of the  
Society of Hop Research  
and benefit from direct access  
to the latest breeding and  
research successes.

Informationen zur Mitgliedschaft unter / Information about membership is available at  
[www.hopfenforschung.de](http://www.hopfenforschung.de)

## 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 %, gefolgt von Myrcen mit -23 % und Linalool mit -19 %.
- 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 Flavor-Hopfen.
- 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 Bitterpotenzials zum Aromapotenzial 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 zur 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 / Literature

- [1] **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=publication-File&v=2](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210609/basisfakten-zum-klimawandel_dkk.pdf?__blob=publication-File&v=2)  

- [2] **Forster A. und Schüll F.:** Der Einfluss des Klimawandels auf den Hopfen, BRAUWELT 159 (2019), 1020–1024
- [3] **Forster A., Gahr A., Schüll F. and Bertazzoni J.:** The impact of climatic conditions on the biogenesis of various compounds in hops, BrewingScience 74 (2021), 160–171
- [4] **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
- [5] **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), 67–78
- [6] **Nesvadba V., Donner P. and Charvátová J.:** Hop Breeding in the Czech Republic, Proceedings of the Scientific-Technical Commission, Lugo, Spain 03-07 July 2022; 13–16

Autoren: **Andreas Gahr, Hopfenveredlung St. Johann GmbH; Dr. Adrian Forster, Dr. Florian Schüll, Johann Bertazzoni, HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e.G., Wolnzach**  
Fotos: [ccvision.com](http://ccvision.com); Pokorny Design; HVG



Dr. Florian Schüll

Dr. Adrian Forster

Andreas Gahr

Johann Bertazzoni