

Hopfenversorgung unter dem Druck des Klimawandels

Hop supply under pressure from climate change

Einleitung

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen unserer Zeit und hat bereits in den 1990er Jahren begonnen. Bis heute ist es nicht gelungen, ihn effizient zu verlangsamen oder gar zu stoppen. Eine Region, die diese Veränderungen seit Jahren immer wieder deutlich zu spüren bekommt, ist die Hallertau, Europas größtes Hopfenanbaugebiet.

Ein Vergleich der Klimadaten während der Hauptvegetationsmonate des Hopfens, von Juni bis August, zeigt deutlich die alarmierenden Auswirkungen des Klimawandels in der Region. Die Daten stammen aus zwei unterschiedlichen Zeiträumen: 1961 bis 1990, einer Periode vor dem offensichtlichen Klimawandel, und 2013 bis 2022. Die Gegenüberstellung dieser beiden Zeiträume ergibt einen Anstieg der Durchschnittstemperatur um 2,5 °C von 15,9 °C auf 18,4 °C. Gleichzeitig ist die Niederschlagsmenge von 303 auf 275 mm zurückgegangen. Auffallend ist auch der deutliche Anstieg der Hitzetage, an denen Temperaturen von über 30 °C herrschen, von durchschnittlich 3 Tagen im Zeitraum 1961-1990 auf nunmehr 14 Tage.

Diese Veränderungen haben erhebliche Auswirkungen auf die Hopfenproduktion in der Hallertau. Die hitzebedingten Stressphasen und der Rückgang der Niederschläge beeinträchtigen die Erträge sowie die Qualität der Ernte. In den Studien [1] und [2] wurde die Auswirkung verschiedener Witterungsbedingungen auf den Ertrag und die Ausbildung von Hopfeninhaltsstoffen untersucht. Folgende wesentlichen Aussagen leiten sich ab:

- Sorten reagieren höchst unterschiedlich auf klimatische Gegebenheiten. Bezüglich des Alpha-Ertrags [kg α /ha] variiert die Spannweite der Mindererträge in ungünstigen Jahren im Vergleich zu normalen Jahren zwischen ca. 30 % und über 70 %.
- Neuere Bitterhopfensorten und einige Flavor-Sorten zeigen eine höhere Stabilität im Vergleich zu älteren Landsorten.

Introduction

Climate change is one of the greatest challenges of our time and it started back in the 1990s. To date, it has not been possible to slow it down efficiently or even stop it. One region that has been feeling the effects of these changes time and again for years is the Hallertau, the largest hop-growing region in Europe.

A comparison of climate data during the main hop vegetation months, from June to August, clearly shows the alarming effects of climate change in the region. The data is from two different time periods: 1961 to 1990, a period before apparent climate change, and 2013 to 2022. A comparison of these two periods shows an increase in average temperature of 2.5 °C from 15.9 °C to 18.4 °C. At the same time, the amount of precipitation decreased from 303mm to 275mm. Also striking is the significant increase in the number of hot days, when temperatures exceed 30 °C, from an average of 3 days in the period 1961-1990 to 14 days now.

These changes have a significant impact on hop production in the Hallertau region. The heat-related stress periods and the decrease in rainfall are affecting yields as well as crop quality. Studies [1] and [2] investigated the effect of different weather conditions on the yield and formation of hop substances. In essence we can infer the following:

- *Varieties react extremely differently to climatic conditions. With regard to alpha yield [kg α /ha], the range of reduced yields in unfavorable years compared to normal years varies from about 30% to over 70%.*
- *Newer bitter hop varieties and some flavor varieties show higher stability compared to older landrace varieties.*

- Spät geerntete Sorten reagieren moderater auf Hitze und Trockenheit.
- Die α - und β -Säuren sind besonders empfindlich, gefolgt von einigen Aromakomponenten. Hingegen verhalten sich die Polyphenole stabil.
- Es wurden Sorten identifiziert, deren Aromapotenzial weniger stark unter ungünstiger Witterung leidet als ihr Bitterpotenzial. Beispiele hierfür sind Mandarinina Bavaria, Hallertau Blanc, Saphir und Callista, gefolgt von Huell Melon, Hallertauer Tradition und Opal. Hingegen sind Sorten wie Perle, Hallertauer Mfr. und Spalter auch im Aromapotenzial höchst anfällig.

- Late-harvested varieties react more moderately to heat and drought.
- The α - and β -acids are particularly sensitive, followed by some aroma components. In contrast, the polyphenols are stable.
- Varieties were identified whose aroma potential suffers less from adverse weather than their bitter potential. Examples include Mandarinina Bavaria, Hallertau Blanc, Saphir and Callista, followed by Huell Melon, Hallertauer Tradition and Opal. On the other hand, varieties such as Perle, Hallertauer Mfr. and Spalter are also highly susceptible in aroma potential.

In Abbildung 1 sind die α -Erträge in kg α /ha in ungünstigen Jahren (2015, 2022) in Relation zu günstigen Jahren (2016, 2021) für die Sorten dargestellt, die in dieser Arbeit betrachtet werden.

Figure 1 shows α yields in kg α /ha in unfavorable years (2015, 2022) relative to favorable years (2016, 2021) for the varieties considered here.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Witterungsbedingungen auf den Ertrag der Alphasäuren variieren erheblich je nach Sorte. Die Spannweite reicht von nur 30 % Ertrag bei klimalabilen Sorten wie Perle und Spalter bis ca. 70 % bei stabileren Sorten wie Mandarinina Bavaria und Ariana. Die Konsequenzen bei klimalabilen Sorten sind evident und haben weitreichende Auswirkungen:

The effects of different weather conditions on alpha acid yield vary considerably among varieties. The range is from as low as 30% yield for climate-sensitive varieties such as Perle and Spalter to around 70% for more stable varieties such as Mandarinina Bavaria and Ariana. The consequences for climate-sensitive varieties are evident and have far-reaching implications:

- Die Versorgung mit klimalabilen Hopfensorten kann nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden, da ihre Erträge enormen Schwankungen unterliegen.
- Das derzeitige Vorvertragssystem, das auf „unbedenklichen Vorvertragsmengen“ basiert, wird dadurch in Frage gestellt.
- Die Kosten für klimalabile Hopfensorten sind kaum mehr verlässlich zu kalkulieren und laufen im schlimmsten Fall völlig aus dem Ruder.

- The supply of climate-sensitive hop varieties can no longer be reliably guaranteed, as their yields are subject to enormous fluctuations.
- This calls into question the current precontract system, which is based on "secure precontract quantities".
- The costs for climate-sensitive hop varieties can hardly be reliably calculated anymore and, in the worst case, can get completely out of hand.
- The wide fluctuations in quality between harvests pose a challenge for brewers, who fear repercussions for their beers.

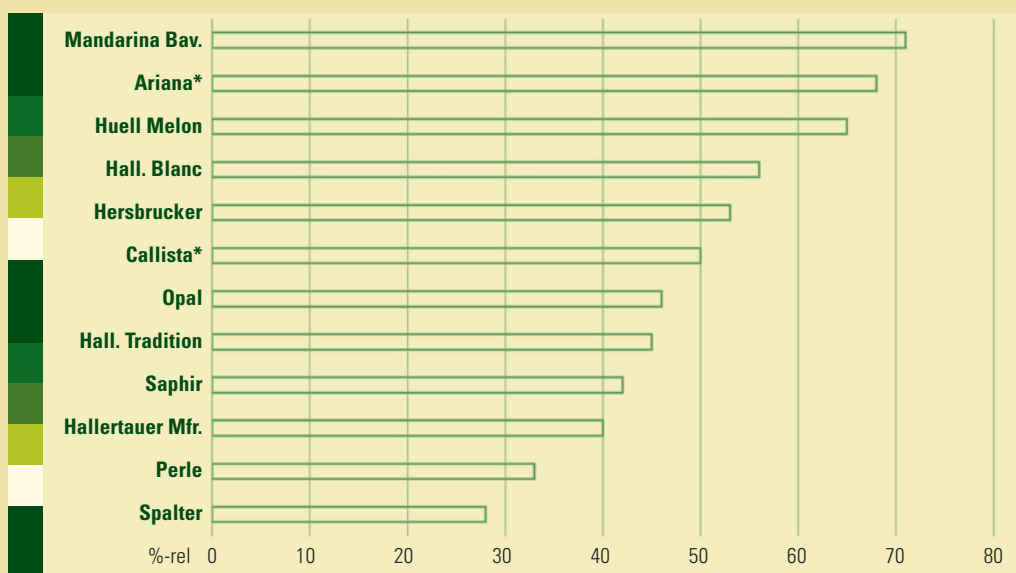


Abbildung 1

Verhältnis der α -Erträge [kg α /ha] in schlechten (2015/2022) gegenüber guten (2016/2021) Ernten in % relativ

Figure 1

Ratio of α -yields [kg α /ha] in poor harvests (2015/2022) versus good harvests (2016/2021) in relative %

* geringe Datendichte
* low data density



- Die großen Qualitätsschwankungen zwischen den Ernten stellen für Brauer eine Herausforderung dar, da sie Auswirkungen auf ihre Biere fürchten müssen.

Brauer müssen sich mit diesen Phänomenen auseinandersetzen, der Klimawandel zwingt sie dazu. Es wird notwendig sein, langfristig klimalabile durch stabilere Sorten zu ersetzen. Allerdings ist auch klar, dass dies besonders im Aromabereich oft keine einfache 1:1-Substitution sein kann, da jede Sorte ihre individuellen Eigenschaften mitbringt.

Die folgenden Versuche beleuchten die Situation, wenn Hopfen zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Würzekochung eingesetzt wird. Dabei wird deutlich, dass es bei Substitutionen nicht ausreicht, nur einfaches Rezepturdenken anzuwenden. Stattdessen ist eine systematische Herangehensweise erforderlich, um gute Ergebnisse zu erzielen und die gewünschten Aromen und Eigenschaften in den Bieren zu erhalten.

Material und Methodik

Im Rahmen der Sudversuche kamen folgende Hopfensorten in Form von Pellets der Ernte 2018 zum Einsatz:

- Als bekannte Problemsorten, die empfindlich auf schwierige klimatische Bedingungen reagieren, wurden Perle (PER), Spalter (SPA), Hallertauer Mfr. (HAL) und Hersbrucker (HEB) ausgewählt.
- Bereits häufig erprobte Alternativen, die sich in Bezug auf ihr Aromapotenzial in schlechten Jahren als besser erwiesen haben, sind Saphir (SIR) und Hallertauer Tradition (HTR).
- Weitere Sorten, die teilweise auch ein stabileres Bitterpotenzial aufweisen, sind Opal (OPL), Callista (CAL), Ariana (ANA), Diamant (DNT), Huell Melon (HMN), Hallertau Blanc (HBC) und Mandarina Bavaria (MBA).

In Tabelle 1 sind relevante Daten der Pellets aufgeführt, darunter die α -Säuren (Gew.-%), der HSI (Hop Storage Index) nach ASBC, die Relation $\beta : \alpha$, der Cohumulonanteil (% relativ) und der Anteil des Hopfenöls in ml/100 g [3].

Die Versuchssude (untergärige Allmalzbiere) wurden entsprechend ihrer Hopfengabezeitpunkte in die folgenden Blöcke eingeteilt:

Kochbeginn (KB): Viele Brauer setzen Perle bei Kochbeginn ein, da sie Vorbehalte gegenüber Bitterhopfen mit sehr hohen α -Gehalten haben. Als potenzielle Alternativen wurden Ariana, Hallertau Blanc und Mandarina Bavaria ausgewählt. Sie liegen im α -Gehalt etwas über der Perle, ähneln ihr aber im Verhältnis $\beta : \alpha$ und im Cohumulonanteil. In der Rohhopfensensorik bestehen deutliche Unterschiede und es war spannend, ob diese bei einer frühen Gabe im Bier durchschlagen. Die angestrebte Bittere lag bei 25 IBU, wofür 8,8 g α -Säuren nach ASBC pro hl Würze dosiert wurden.

Brewers have to deal with these phenomena; climate change is forcing them to do so. It will be necessary to replace climate-sensitive varieties with more stable ones in the long term. However, it is also clear that often this cannot be a simple 1:1 substitution, especially in the aroma spectrum, as each variety brings its own individual properties.

The following trials highlight the situation when hops are used at the beginning, middle and end of wort boiling. In doing so, it becomes clear that it is not sufficient to apply simple recipe thinking when it comes to substitutions. Instead, a systematic approach is required to achieve good results and obtain the desired flavors and characteristics in the beers.

Material and methods

The following hop varieties of the 2018 crop were used in the trial brews in the form of pellets:

- *Perle (PER), Spalter (SPA), Hallertauer Mfr. (HAL) and Hersbrucker (HEB) were selected as known problem varieties sensitive to difficult climatic conditions.*
- *Already frequently tested alternatives that have proven to be better in terms of aroma potential in bad years are Saphir (SIR) and Hallertauer Tradition (HTR).*
- *Other varieties, some of which also have more stable bittering potential, include Opal (OPL), Callista (CAL), Ariana (ANA), Diamant (DNT), Huell Melon (HMN), Hallertau Blanc (HBC) and Mandarina Bavaria (MBA).*

Table 1 lists relevant data of the pellets, including α -acids (% w/w), HSI (Hop Storage Index) according to ASBC, $\beta : \alpha$ ratio, cohumulone content (relative %) and hop oil content in ml/100g [3].

The trial brews (bottom-fermented all-malt beers) were divided into the following blocks according to their times of hop addition:

Begin of boil: *Many brewers use Perle at the begin of boil because they have reservations about bitter hops with very high α -contents. Ariana, Hallertau Blanc and Mandarina Bavaria were selected as potential alternatives. They are slightly above Perle in α -content, but similar to it in $\beta : \alpha$ ratio and in cohumulone content. There are distinct differences in the raw hop sensory characteristics and it was interesting to see if these showed through in the beer when added early. The target bitterness was 25 IBU, for which 8.8g α -acids were dosed per hl of wort according to ASBC.*

Middle of boil: *A uniform addition of Polaris with 3.7g α -acids/hl at the begin of boil helped to achieve just under half (12 IBU) of the targeted bitterness of 25 IBU. An additional dosage of 10.0g α -acids/hl in the middle of boil was to produce about 13 IBU. In addition to Perle, the varieties selected were Mandarina Bav., Opal, Hallertau Blanc, Ariana and Hallertau Tradition.*

	Dosagezeitpunkt Time of dosage	α [Gew.-%] / [% w/w] (ASBC)	β : α (ASBC)	Cohumolon [% rel.]	HSI	Öl [ml/100 g] Oil [ml/100g]
Polaris	KB	19,1	0,3	27	0,32	2,90
Perle	KB/KM	6,2	0,7	31	0,32	1,15
Ariana	KB/KM	9,9	0,6	35	0,28	1,40
Mandarina Bav.	KB/KM	7,9	1,1	33	0,27	1,60
Hall. Blanc	KB/KM	9,2	0,7	25	0,26	1,20
Opal	KM	7,9	0,7	16	0,31	1,45
Hall. Tradition	KM/KE	5,2	0,8	26	0,29	0,65
Hallertauer Mfr.	KE	3,1	1,4	22	0,32	0,90
Hersbrucker	KE	1,9	2,4	20	0,29	0,75
Spalter	KE	4,8	1,6	25	0,30	1,15
Saphir	KE	3,0	1,7	15	0,35	1,35
Callista	KE	2,7	2,9	17	0,30	1,10
Diamant	KE	4,5	1,0	22	0,35	1,00
Huell Melon	KE	5,2	2,0	28	0,27	1,15

Tabelle 1
Analysendaten
der 14 eingesetzten
Sorten/Pellets

Table 1
Analysis data of the
14 varieties/pellets
used

**KB = Kochbeginn /
Begin of boil (BoB)**
**KM= Kochmitte /
Middle of boil (MoB)**
**KE = Kochende /
End of boil (EoB)**

Kochmitte (KM): Eine einheitliche Gabe von 3,7 g α -Säuren/hl Polaris zu Beginn des Kochvorgangs trug dazu bei, knapp die Hälfte (12 IBU) der angestrebten Bittere von 25 IBU zu erreichen. Eine zusätzliche Dosage von 10,0 g α -Säuren/hl in der Mitte des Kochvorgangs sollte etwa 13 IBU bewirken. Die Sortenwahl fiel neben Perle auf Mandarina Bav., Opal, Hallertau Blanc, Ariana und Hallertauer Tradition.

Kochende (KE): Hersbrucker, Spalter, Hallertauer Mfr. als etablierte und Huell Melon, Saphir, Callista und Diamant als Alternativsorten wurden einheitlich mit jeweils 1,2 ml Hopfenöl/hl bei Kochende sowie in den Whirlpool dosiert. Die für eine Zielbittere von 22 IBU notwendige Menge an α -Säuren erfolgte über eine angepasste Polarisdosage bei Kochbeginn.

Die Dosagemengen der 13 Versuchspellets in den drei Blöcken sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Zu den Sorten Diamant [4, 5], Callista und Ariana [6] existieren bereits veröffentlichte Resultate.

End of boil: Hersbrucker, Spalter, Hallertauer Mfr. as established and Huell Melon, Saphir, Callista and Diamant as alternative varieties were uniformly dosed with 1.2ml hop oil/hl each at the end of boil as well as in the whirlpool. The amount of α -acids required for a target bitterness of 22 IBU was obtained by adjusted dosage of Polaris at the begin of boil.

Table 2 shows the dosage quantities of the 13 trial pellets in the three blocks.

Published results already exist for the Diamant [4, 5], Callista and Ariana [6] varieties.

Trial results

Dosage at begin of boil with 4 beers

The usual beer analyses, such as original extract, alcohol, pH, etc., were within the scope of reproducibility already documented [7]. Table 3 presents the hop-related analyses of the various bitter substances and polyphenols.

Versuchsergebnisse

Dosage bei Kochbeginn mit 4 Bieren

Die üblichen Bieranalysen wie Stammwürze, Alkohol, pH-Wert etc. lagen im Rahmen der bereits dokumentierten Reproduzierbarkeit [7]. Tabelle 3 enthält die hopfenrelevanten Analysen der verschiedenen Bitterstoffe und der Polyphenole.

Das etwas niedrigere Bitterniveau der Perle-Biere geht aus den Werten für IBU und Iso- α -Säuren hervor. Die Polyphenolgehalte korrelieren mit den dosierten Pelletmengen.

Die wesentlichen Merkmale der Sensorik der Biere in Form der durchschnittlichen DLG-Noten der Verkostung, der Qualität der Bittere (DLG) und des Aromaeindrucks „hopfig“ nach CMA sind Tabelle 4 zu entnehmen und lassen keine Unterschiede erkennen. Lediglich die niedrigere Bewertung des Aromamerkmals „hopfig“ für das Perle-Bier fällt auf. Dies ist vermutlich auf die deutlich höheren Aromanoten der verwendeten Ersatzsorten zurückzuführen.

Tabelle 2

Hopfungaben in g/hl, Substitution bei KB, KM, KE & Whirlpool (WP)

Table 2

Hop addition in g/hl, substitution at BoB, MoB, EoB & whirlpool (WP)

Dosagezeitpunkt Time of dosage	Versuch / Trial 1 Kochbeginn / Begin of boil	Versuch / Trial 2 Kochmitte / Middle of boil	Versuch / Trial 3 Kochende & WP / End of boil & WP
Dosagemenge Dosed quantity	8,8 g α /hl	10 g α /hl	1,2 & 1,2 ml oil/hl
Perle	142	161	
Mandarina Bav.	111	127	
Ariana	89	101	
Hall. Blanc	96	109	
Opal		107	
Hall. Tradition		193	369
Hersbrucker			320
Saphir			178
Huell Melon			209
Hallertauer Mfr.			267
Spalter			209
Callista			218
Diamant			240

Tabelle 3
Hopfenrelevante
Analysen der 4 Biere,
Kochbeginn (KB)

	Einheit / Unit	Perle	Mandarina Bav.	Ariana	Hall. Blanc
Bittereinheiten / Bitter units	IBU	22	26	26	24
Isohumulone / Isohumulones	mg/l	20,2	23,5	24,9	22,5
Humulone / Humulones	mg/l	2,1	2,3	2,3	1,7
Humulinone / Humulinones	mg/l	0,7	1,4	1,1	0,7
Hulupone / Hulupones	mg/l	0,2	0,4	0,3	0,2
Xanthohumul + Isoxanthohumul	mg/l	1,0	1,1	0,8	0,7
Polyphenole / Polyphenols	mg/l	200	183	178	165

Table 3
Analyses relevant to
hops of the 4 beers,
begin of boil (BoB)

Tabelle 4
Verkostung der 4
Biere KB nach Prüf-
schema der DLG und
sensorische Bewer-
tung hopfenbetonter
Biere nach CMA
(hopfig)

	Perle	Mandarina Bav.	Ariana	Hall. Blanc
DLG: Ø (Gesamtnote) / Av. (overall score)	4,44	4,37	4,34	4,48
DLG: Qualität der Bittere / Quality of bitterness	4,0	4,1	4,1	4,1
CMA: Deskriptor = hopfig / Descriptor = hoppy	3,5	4,2	4,2	4,4

DLG = Deutsche Landwirtschafts-
gesellschaft / German
Agricultural Society
CMA = Centrale Marketing-
gesellschaft der deutschen
Agrarwirtschaft / Central
Marketing Organization of
German Agricultural Industries

Table 4
Tasting of the 4 beers
BoB according to the
testing scheme of
the DLG and sensory
evaluation of hoppy
beers according to
CMA

Drei Dreiglastests (Perle gegen die drei anderen Sorten) ergaben keine signifikant richtigen Zuordnungen. Nur beim Vergleich Perle zu Hallertau Blanc resultierte eine tendenzielle, nicht signifikante Bevorzugung des Perle-Bieres.

The slightly lower bitterness level of the Perle beers is evident from the values for IBU and iso- α -acids. The polyphenol contents correlate with the dosed pellet amounts.

Insgesamt betrachtet, sind die drei Alternativen der Perle ebenbürtig.

The main sensory characteristics of the beers in the form of the average DLG tasting scores, the quality of bitterness (DLG) and the aroma impression of "hoppy" according to CMA can be seen in Table 4 and do not reveal any differences. Only the lower rating of the aroma characteristic "hoppy" for the Perle beer stands out. This is probably due to the significantly higher aroma notes of the substitute varieties used.

Dosage bei Kochmitte mit 6 Bierern

Auch hier zeigten die Biere eine gute Übereinstimmung bei den herkömmlichen und hopfenrelevanten Analysen, ähnlich Tabelle 3, weshalb ihre Auflistung hier unterlassen wird. Eine Ausnahme war das Linalool, dessen Gehalt von 3 μ g/l bei Perle bis 28 μ g/l bei Opal variierte. Der Geschmacksschwellenwert für Linalool schwankt laut Literatur von 5 bis 80 μ g/l und liegt beim St. Johanner Verkosterpanel zwischen 10 und 20 μ g/l. Wie in Abbildung 2 verdeutlicht, liegt der Linaloolgehalt im Opal-Bier darüber, während Hallertauer Tradition und Ariana dem Schwellenwert nahekommen.

Three three-glass tests (Perle versus the other three varieties) did not yield significantly correct classifications. Only when comparing Perle to Hallertau Blanc did a tendential, non-significant preference for Perle beer result.

Die festgestellten Unterschiede im Linaloolgehalt haben offensichtlich eine Auswirkung auf die Verkostungsergebnisse. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der DLG- und CMA-Verkostungen aufgeführt.

Taken as a whole, the three alternatives are on a par with Perle.

Dosage at middle of boil with 6 beers

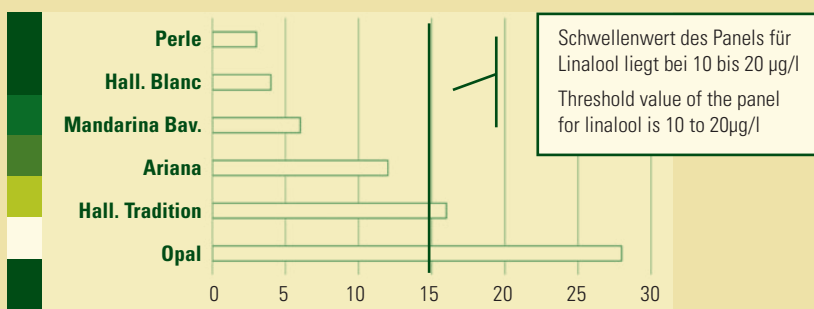
Again, the beers showed good consistency in conventional and hop-related analyses, similar to Table 3, so their listing is omitted here. An exception was linalool, whose content varied from 3 μ g/l in Perle to 28 μ g/l in Opal. According to

Abbildung 2

Linaloolwerte [μ g/l] in den 6 Bierern, Pellets bei Kochmitte dosiert

Figure 2

Linalool values [μ g/l] in the 6 beers, pellets dosed at middle of boil



	Perle	Mandarina Bav.	Opal	Hall. Blanc	Ariana	Hall. Tradition
DLG: Ø (Gesamtnote) / Av. (overall score)	4,37	4,49	4,55	4,55	4,51	4,54
DLG: Qualität der Bittere / Quality of bitterness	4,1	4,3	4,3	4,4	4,2	4,5
CMA: Deskriptor = citrus / Descriptor = citrusy	1,6	1,7	3,2	3,0	2,6	2,6
CMA: Deskriptor = fruchtig / Descriptor = fruity	3,1	3,1	4,3	4,6	4,2	4,6

Die DLG-Noten der Substitutionsbiere liegen leicht über den Noten des Perle-Biers. Besonders auffällig sind die etwas höheren Bewertungen nach CMA für den Deskriptor citrus (Opal und Hall. Blanc) sowie für fruchtige Aromen (Opal, Hall. Blanc, Ariana, Hall. Tradition) im Vergleich zu Perle und Mandarina Bavaria. Die Ergebnisse der fünf Dreigliastests sind in Tabelle 6 dargestellt.

Alle Alternativen sind geeignet, Perle zu ersetzen. Allerdings führt das erhöhte Aromapotenzial einiger Sorten, wie beispielsweise Opal, zu einer verstärkten Wahrnehmung von Aromaeindrücken. Eine Hopfung mit diesen alternativen Sorten zur Kochmitte hin kann zum Beispiel eine leicht fruchtigere Note bewirken, was man in einigen Brauereien auch positiv sehen wird. Fruchtnoten waren noch vor etwa 40 Jahren nicht erwünscht, erfreuen sich aber heute zunehmender Beliebtheit bei Biertrinkern.

Dosage bei Kochende mit 8 Bieren

Die analytischen Daten, einschließlich der Bitterstoffe, liegen auch hier eng beieinander, so dass auf ihre Listung verzichtet wird. Die Polyphenolgehalte variieren zwischen 204 mg/l (bei Huell Melon) und 254 mg/l (bei Hall. Tradition) und korrelieren mit der Dosierung von Pellets und ihren Polyphenolgehalten. Bei der Bewertung der Aromasubstanzen in den Bieren gilt es, folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Mono- und Sesquiterpene wie Myrcen, Humulen, β -Caryophyllen oder Farnesen waren in den Bieren nicht nachweisbar. Diese Verbindungen sind nur schlecht in Würze und Bier löslich und besitzen kein nennenswertes Aromapotenzial, selbst in spät gehopften Bieren. Ihre Geschmacksschwellenwerte liegen über 100 μ g/l.
- Substanzen mit einem Sauerstoffatom im Molekül sind aufgrund ihrer besseren Löslichkeit in Würze und Bier für ein deutliches Aromapotenzial verantwortlich. Ihre Geschmacksschwellenwerte liegen häufig unter 100 μ g/l. Interessant für ein Hopfenaroma in Bier sind die hier herausgegriffenen Carbonsäureester.

the literature, the taste threshold value for linalool varies from 5 to 80 μ g/l and for the St. Johann panel it is between 10 and 20 μ g/l. As illustrated in Figure 2, the linalool content in Opal beer is above it, while Hallertauer Tradition and Ariana come close to the threshold value.

The observed differences in linalool content obviously have an impact on the tasting results. Table 5 shows the results of the DLG and CMA tastings.

The DLG scores of the substitute beers are slightly higher than those of the Perle beer. Particularly noticeable are the slightly higher ratings according to CMA for the descriptor citrusy (Opal and Hall. Blanc) and for fruity aromas (Opal, Hall. Blanc, Ariana, Hall. Tradition) compared to Perle and Mandarina Bavaria. The results of the five three-glass tests are shown in Table 6.

All alternatives are suitable for replacing Perle. However, the increased aroma potential of some varieties, such as Opal, leads to an increased perception of aroma sensations. Hopping with these alternative varieties towards the middle of boil, for example, can result in a slightly fruitier note, which will also be seen as a positive in some breweries. Fruity notes were undesirable some 40 years ago, but today they are becoming increasingly popular with beer drinkers.

Dosage at end of boil with 8 beers

The analytical data, including the bitter substances, is also close here, so that we have refrained from listing them. The polyphenol contents vary between 204mg/l (for Huell Melon) and 254mg/l (for Hall. Tradition) and correlate with the dosage of pellets and their polyphenol contents. When evaluating the aroma substances in the beers, it is important to consider the following points:

- Mono- and sesquiterpenes like myrcene, humulene, β -caryophyllene or farnesene were not detectable in the beers. These compounds are poorly soluble in wort and beer and have no significant aroma potential, even in late-hopped beers. Their taste threshold values are over 100 μ g/l.

Tabelle 5

Verkostung der 6 Biere KM nach DLG und CMA (citrus und fruchtig)

Table 5

Tasting of the 6 beers MoB according to DLG and CMA (citrusy and fruity)

	Signifikanz der Zuordnung Significance of the assignment	Präferenz / Preference
Perle : Mandarina Bav.	-	-
Perle : Opal (OPL)	knapp* / approx.*	Tendenz zu / Tendency to OPL
Perle : Hall. Tradition (HTR)	-	Tendenz zu / Tendency to HTR
Perle : Hall. Blanc	-	-
Perle : Ariana	*	-

Tabelle 6

Übersicht zu den 5 Dreigliastests, KM

Table 6

Overview of the 5 three-glass tests, MoB

- = keine Signifikanz / no significance

* = Einstern-Signifikanz / one-star significance

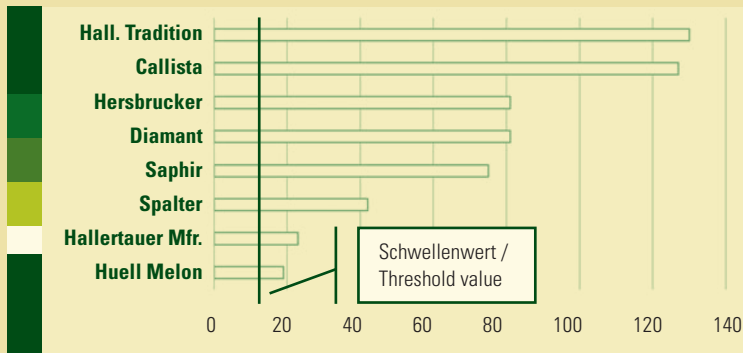


Abbildung 3

Linaloolwerte [µg/l] in den 8 Bieren, Pellets bei Kochende und in den Whirlpool dosiert

Figure 3

Linalool values [µg/l] in the 8 beers, pellets dosed at end of boil and in the whirlpool

Abbildung 4

Carbonsäureester [µg/l] in den 8 Bieren, Pellets bei Kochende und in den Whirlpool dosiert

Figure 4

Carboxylic ester [µg/l] in the 8 beers, Pellets dosed at end of boil and in the whirlpool

- Besonders hervorzuheben ist das Linalool mit seiner guten Löslichkeit bei einer späten Hopfung und einem niedrigen Geschmacksschwellenwert von etwa 10 – 20 µg/l.

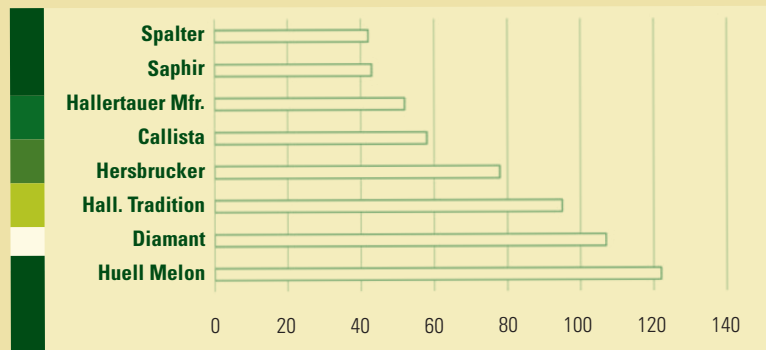
Die Abbildungen 3 und 4 illustrieren die Werte für Linalool und die Carbonsäureester.

Die Unterschiede zwischen den Sorten waren beträchtlich. Den Spitzenplatz nahm Hallertauer Tradition ein, gefolgt von Diamant, Callista und Hersbrucker mit einem ausgewogenen Verhältnis von Linalool und Carbonsäureestern. Niedrige Werte erzielten Hallertauer Mfr. und Spalter. Huell Melon rangierte an erster Stelle bei den Estern und an letzter Stelle beim Linaloolgehalt.

Die Ergebnisse der DLG- und CMA-Verkostungen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Die Unterschiede in den DLG-Noten sind gering, Callista und Diamant liegen leicht vorne. Aus der CMA-Verkostung wurde das Merkmal fruchtig herausgegriffen, bei dem Callista sich etwas abhebt. Fünf Dreigliastests sind in Tabelle 8 gelistet.

Die Versuche zeigen, dass sich die Biere im Aroma unterscheiden können. Die Analytik der Aromasubstanzen differenziert hier sogar klarer als die Sensorik. Über die Frage, ob nicht nur eine Veränderung, sondern auch eine Verbesserung die Folge eines Sortenwechsels sein kann, wird hier nicht spekuliert.



- Substances with an oxygen atom in the molecule are responsible for significant aroma potential due to their better solubility in wort and beer. Their taste threshold values are often under 100µg/l. Of interest for a hop aroma in beer are the carboxylic esters singled out here.
- Particularly noteworthy is the linalool with its good solubility with late hopping and a low taste threshold value of about 10 - 20µg/l.

Figures 3 and 4 show the values for linalool and the carboxylic esters.

There were considerable differences between the varieties. Hallertauer Tradition took the top spot, followed by Diamant, Callista and Hersbrucker with a balanced ratio of linalool and carboxylic esters. Low values were achieved by Hallertauer Mfr. and Spalter. Huell Melon ranked first in esters and last in linalool content.

The results of the DLG and CMA tastings are shown in Table 7.

Tabelle 7

Verkostung der 8 Biere KE/WP nach DLG und CMA (fruchtig)

Table 7

Tasting of the 8 beers EoB/WP according to DLG and CMA (fruity)

	Hersbrucker	Saphir	Callista	Huell Melon	Hall. Mfr.	Diamant	Spalter	Hall. Tradition
DLG: Ø (Gesamtnote) / Av. (overall score)	4,21	4,33	4,45	4,31	4,38	4,45	4,16	4,31
DLG: Qualität der Bittere / Quality of bitterness	3,9	4,0	4,1	3,8	4,0	4,1	3,9	4,0
CMA: Deskriptor = fruchtig / Descriptor = fruity	4,3	4,6	6,3	4,3	5,2	5,1	4,1	4,9

Vergleich / Comparison	Signifikanz / Significance korrekte Zuordnung / Correct assignment	Präferenz / Preference
Hersbrucker : Callista (CAL)	**	CAL
Hersbrucker : Saphir	-	-
Saphir : Diamant	-	-
Hall. Mfr. (HAL) : Huell Melon	*	HAL
Hall. Mfr. (HAL) : Hall. Tradition (HTR)	*	HTR im Aroma, HAL in der Bittere / HTR in aroma, HAL in bitterness

Tabelle 8
Übersicht zu den
5 Dreigliedertests, KE/WP

Table 8
Overview of the
5 three-glass tests, EoB/WP

- = keine Signifikanz / no significance
- * = Einstern-Signifikanz / one-star significance
- ** = Zweistern-Signifikanz / two-star significance

Zusammenfassung

Das Klima wirkt sich auf den Ertrag von Hopfen und die Ausbildung seiner Bitter- und Aromastoffe deutlich aus. Sorten verhalten sich dabei unterschiedlich. Besonders klimalabil sind Perle, Hallertauer Mfr. und Spalter, gefolgt von Hersbrucker. In diesem Kontext werden Ergebnisse von beispielhaften Substitutionen zu diesen Sorten präsentiert, wobei nicht alle derzeit verfügbaren Alternativen in diesen Versuchen berücksichtigt wurden.

Bei der Hopfung zu Kochbeginn zeigten die Substituten Mandarina Bavaria, Opal und Ariana ähnliche Ergebnisse wie Perle. Ein Ersatz der Perle bei Kochmitte gelang erfolgreich mit den Sorten Ariana, Hallertauer Tradition, Mandarina Bavaria und Opal. Die beiden letzten Sorten wiesen eine leicht fruchtige Note im Bier auf, die von einigen Verkostern als angenehm empfunden wurde. Offensichtlich kann eine Substitution bei Kochmitte nicht nur einen Unterschied, sondern auch einen positiven Effekt bewirken.

Die Situation bei späten Gaben (Kochende/Whirlpool) wurde mit einem Vergleich von acht Sorten beleuchtet. Den etablierten Landsorten Spalter, Hallertauer Mfr. und Hersbrucker standen die neueren Sorten Callista, Diamant, Hallertauer Tradition, Saphir und die Flavor-Sorte Huell Melon gegenüber. Bei den zwei Gruppen von Aromasubstanzen mit hohem Aromapotenzial (Linalool und Carbonsäureester) liegt Huell Melon mit dem tiefsten Wert für Linalool und dem höchsten für die Ester jeweils am Rand der Bandbreiten. In der Mitte, was für eine Ausgewogenheit des Aromas spricht, befinden sich die Sorten Hersbrucker, Saphir und Diamant. In den Werten schwach ausgeprägt sind Hallertauer Mfr. und Spalter. Die neueren Sorten wie Callista vermitteln ein fruchtigeres Aroma. Gut zusammenpassen dürften Hersbrucker mit Saphir, Spalter mit Diamant und Hallertauer Mfr. mit Hallertauer Tradition.

The differences in the DLG scores are minor, with Callista and Diamant slightly ahead. From the CMA tasting, fruity was the characteristic picked out, where Callista stands out slightly. Five three-glass tests are listed in Table 8.

The tests show that the beers can differ in aroma. The analysis of aroma substances differentiates here even more clearly than the sensory analysis. We will not speculate here on the question of whether a change of variety can result not only in a change, but also in an improvement.

Summary

The climate has a significant effect on the yield of hops and the formation of its bitter and aroma substances. Varieties behave differently in this respect. Perle, Hallertauer Mfr. and Spalter are particularly climate sensitive, followed by Hersbrucker. In this context, results of substitutions to these varieties by way of example are presented, although not all currently available alternatives were considered in these trials.

When hopped at the begin of boil, the Mandarina Bavaria, Opal and Ariana substitutes showed similar results to Perle. Perle was successfully replaced at middle of boil with the varieties Ariana, Hallertauer Tradition, Mandarina Bavaria and Opal. The last two varieties had a slightly fruity note in the beer, which some tasters found pleasant. Obviously, substitution at middle of boil can not only make a difference but also have a positive effect.

The situation with late additions (end of boil/whirlpool) was examined with a comparison of eight varieties. The established landrace varieties Spalter, Hallertauer Mfr. and Hersbrucker were compared with the newer varieties Callista, Diamant, Hallertauer Tradition, Saphir and the flavor variety Huell Melon. For the two groups of aroma substances with high aroma potential (linalool and carboxylic esters), Huell Melon is at the edge of each of the ranges, with the lowest value for linalool and the highest for the



Eine simple 1:1-Substitution ist besonders bei späten Gaben nicht so ohne weiteres möglich. Es ist ratsam, in Schritten vorzugehen. Das Verschneiden von guten mit mäßigen Ernten ist ohnehin empfehlenswert. Auch die Verwendung einer Mischung aus 2 bis 3 Sorten kann oft ein gewünschtes Ergebnis liefern. Sorten-substitution – bereits heute eine brennende Frage für Brauer – wird noch einige Jahre brauchen, bis sie erfolgreich umgesetzt ist. Umso wichtiger ist es, sich rechtzeitig mit dieser Thematik auseinanderzusetzen.

Die Dringlichkeit zeigt sich auch in der Züchtung. Nahezu alle in den letzten Jahren in Deutschland neu zugelassenen Sorten, darunter Akoya, Tango und Amira, versprechen eine verbesserte Angepasstheit an das sich verändernde Klima.

Die gezielte Entwicklung klimaangepasster Hopfensorten ist von entscheidender Bedeutung, macht aber nur Sinn, wenn diese Sorten auch den Weg in den Sudkessel finden.

esters. In the middle, indicating a balance of aroma, are the Hersbrucker, Saphir and Diamant varieties. Hallertauer Mfr. and Spalter show weak values. The newer varieties like Callista impart a fruitier aroma. Hersbrucker with Saphir, Spalter with Diamant and Hallertauer Mfr. with Hallertauer Tradition should go well together.

A simple 1:1 substitution is not readily possible, especially with late doses. It is advisable to proceed step by step. Blending good harvests with average ones is recommended anyway. Even the use of a mixture of 2 to 3 varieties can often provide a desired result. The substitution of varieties - already a burning issue for brewers today - will take several more years before it is successfully implemented. This makes it all the more important to deal with this issue in good time.

The urgency is also evident in breeding. Nearly all new varieties approved in Germany in recent years, including Akoya, Tango and Amira, promise improved adaptation to the changing climate.

The targeted development of climate-adapted hop varieties is crucial, but only makes sense if these varieties also find their way into the wort kettle.



Autoren:

**Dr. Adrian Forster, Dr. Florian Schüll,
HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e.G., Wolnzach,
Andreas Gahr, Hopfenveredlung St. Johann GmbH**

Foto S. 34, 41: stone36 – stock.adobe.com;

Foto S. 36, 42 unten: Rainer Lehmann; Foto S. 42: Pokorny Design

Literatur / Literature

- [1] **Forster A. und Schüll F.:** Der Einfluss des Klimawandels auf den Hopfen; Brauwelt 159 (2019), 1020-1024
- [2] **Forster A., Schüll F., Gahr A., Bertazzoni J.:** Der Einfluss der Witterung auf die Biogenese unterschiedlicher Hopfeninhaltsstoffe; Brauwelt 162 (2022), 916-920
- [3] EBC-Analytica, Hops and Hop Products (2002)
- [4] **Forster A., Schüll F., Gahr A.:** Zwei Hüller Aromazuchtstämme unter der Lupe; Brauwelt 157 (2017), 1402-1406
- [5] **Lutz A., Seigner E., Kammhuber K.:** Diamant – neue hochfeine Hüller Aromasorte; Brauwelt 45 (2019), 1279-1283
- [6] **Forster A., Schüll F., Gahr A.:** Die Hopfensorten Callista und Ariana im Vergleich 2015/2016; Brauwelt 158 (2018), 135-138
- [7] **Gahr A., Forster A. and Van Opstaele F.:** Reproducibility Trials in a Research Brewery and Effects on the Evaluation of Hop Substances in Beer; Brewing Science 69 (2016), 103-111