

Einfluss des Klimawandels auf den Hopfen

KLIMAFAKTOR | Der schon länger prognostizierte und bisweilen immer noch verleugnete Klimawandel ist inzwischen augenscheinlich. In diesem Beitrag werden Wetterdaten der Hallertau den Ernteergebnissen von Hopfen gegenübergestellt, um die Auswirkungen des Klimawandels einordnen zu können.

ZWAR WURDEN SCHON in der Vergangenheit einige Zusammenhänge von der Witterung auf z. B. die α -Säuregehalte von Hopfensorten berichtet [1-4], es mangelt aber an einer etwas systematisierten Betrachtung. Insbesondere fehlen klare Erkenntnisse darüber, in welchem Umfang verschiedene Hopfensorten auf Witterungsbedingungen reagieren.

An einem Beispiel wird der Klimawandel kurz beleuchtet. Die bayerischen Durchschnittstemperaturen der Monate Juni bis August – dem wichtigsten Vegetationszeitfenster für das Hopfenwachstum – ergeben in drei Zeitabschnitten Werte gemäß Abbildung 1 [5].

Die Jahre 1960 bis 1990 gelten in vielen Vergleichen häufig als die Periode, bevor der Klimawandel offensichtlich eingesetzt hat,

was dieser Vergleich belegt. Die Periode von 26 Jahren danach verzeichnet bereits einen Temperaturanstieg um 1,35 °C.

■ Klimadaten in der Hallertau

Der Schwerpunkt der Datenermittlung liegt analog zum obigen Vergleich auf den Monaten Juni bis August. Basis sind die Wetterdaten von Hüll [6]. Tabelle 1 enthält die Durchschnittstemperaturen, die Summe der Niederschläge und die Anzahl der Hitzetage (> 30 °C) für die Zeit von 1961 bis 1990, von 2012 bis 2018 und die zwei aufeinanderfolgenden Jahre 2015 (heiß und trocken) und 2016 (moderat).

In den letzten sieben Jahren stieg durchschnittlich die Temperatur der drei Monate um mehr als 2 °C gegenüber 1961 bis 1990 an. Die Niederschläge nahmen ab, wobei ferner zu berücksichtigen ist, dass die zunehmenden Schwerregenereignisse zu einer verhältnismäßig schlechteren Wasseraufnahme führen. Auch die Zunahme der Hitzetage ist augenscheinlich. Diese könnten sehr wohl für eine Störung bei der Ausreifung der Dolden und der Ausbildung von Bitter- und Aromastoffen verantwortlich sein. Anhand dieser einfachen Daten ist es offensichtlich, dass sich das Klima geändert hat mit der Folge von höheren Temperaturen und schlechterer Wasserversorgung im Sommer. Diese Entwicklung dürfte auch noch weiter anhalten.

Interessant sind die Klimadaten von 2015 und 2016. Zumindest für

die Auswertung von Ernten ist es hilfreich, dass zwei so unterschiedliche Jahre direkt aufeinanderfolgen.

■ Ermittlung der Erntedaten in der Hallertau

Folgende Angaben eines Anbaugesbietes sind einfach zugänglich:

- Anbaufläche einer Sorte, aufgeteilt in Alt- und Jungflächen jeweils in ha [7];
- Geerntete Menge einer Sorte in t oder kg, nicht unterteilt in Jung- und Altfläche [8];
- α -Säuregehalt einer Sorte im Durchschnitt aller geernteten Partien [9].

Aus diesen Daten lässt sich eine für Hopfen sinnvolle Größe ermitteln, nämlich die geerntete Menge an α -Säuren pro ha:

$$\frac{\text{kg Alpha}}{\text{ha}} = \frac{\text{kg geerntete Hopfen} \times \text{Alphagehalt in Gew.-%}}{\text{Anbaufläche in ha}}$$



Autoren: Dr. Adrian Forster (li.), Dr. Florian Schüll, HVG Hopfenverwertungsgenossenschaft e.G., Wolnzach

Durchschnittstemperatur in °C

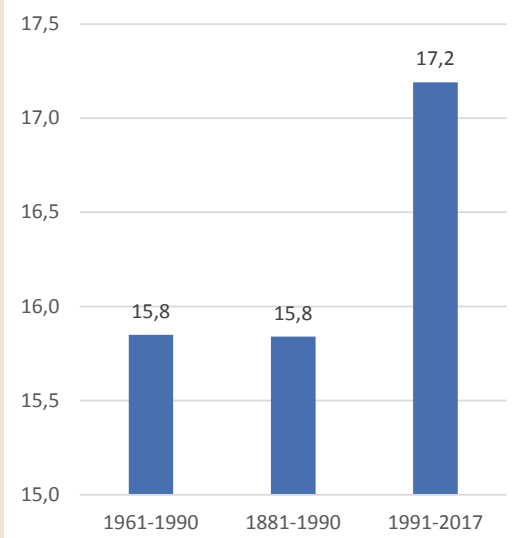


Abb. 1 Durchschnittstemperaturen von Juni bis August in drei verschiedenen Zeiträumen

Mit dem α -Ertrag pro Hektar wird neben der Menge auch eine wichtige Größe stellvertretend für die Bitter- und auch Aromakapazität einer Sorte berücksichtigt.

Bei der Erntefläche sind Jungflächen im ersten Jahr allerdings gesondert zu bewerten, da auf ihnen deutlich geringere Erträge resultieren. Hier arbeitet man mit einem Korrekturfaktor, der zum Ausdruck bringt, mit wie viel Prozent eines Normalertrages auf einer Jungfläche zu rechnen ist. Die Ermittlung dieses Faktors erfolgt empirisch über Pflanzler-Umfragen. Bei Sorten ohne Flächenänderungen spielt das keine Rolle, wohl aber bei neuen Sorten, die gerade im Kommen sind. Dieser Korrekturfaktor beträgt beispielsweise bei einigen relevanten neueren Sorten:

- 0,25 (Opal, Smaragd, Hüll Melon);
- 0,3 (Hallertauer Blanc, Polaris, Mandarina Bavaria);
- 0,45 (Herkules).

Die Produktionsfläche für eine spezifische Erntemittelung errechnet sich wie folgt:

$$\text{Produktionsfläche} = \text{Altfläche} + \text{Jungfläche} \times \text{Faktor}$$

Eine Berücksichtigung anderer Variablen, wie z. B. Lage des Hofengartens, Alter des Bestandes, Erntezeitpunkt oder Nacherntebehandlung, gehen in die Berechnungen nicht ein.

Vergleich zweier Ernten

An einem Beispiel wird erläutert, wie der α -Ertrag (kg α /ha) zwischen Erntenschwanken kann. Der Sommer 2015 war heiß und trocken, entsprechend enttäuschend fiel die Hopfenernte aus. 2016 herrschten dagegen moderate Bedingungen mit ausreichender Wasserversorgung und wenigen Hitzetagen (s. Tab. 1). Tabelle 2 gibt die Erntezahlen für die beiden Sorten Perle und Magnum in beiden Jahren wieder sowie das prozentuale Verhältnis der Daten von 2015 zu denen von 2016.

Zunächst fällt auf, dass Magnum weniger empfindlich auf die Witterung reagiert hat als Perle, was sowohl für den Ertrag als auch die α -Säuren gilt. Diese Feststellung wurde bereits früher gemacht [2-4]. Perle kommt bei 60 Prozent Erntemenge auf gerade mal ein Drittel, Magnum dagegen auf über zwei Drittel des α -Ertrages im Jahr 2015 gegenüber 2016. Das erlaubt den Schluss, dass schon der Vergleich zweier

HALLERTAU: DURCHSCHNITTSTEMPERATUR, NIEDERSCHLÄGE UND HITZETAGE

	Temperatur / °C	Niederschlag / mm	Hitzetage (> 30 °C)
1961 - 1990	15,85	303	nicht verfügbar
1980 - 2017			5
2013 - 2018	18,3	267	14
2015	19,5	178	36
2016	17,7	334	7

Tab. 1 Durchschnittstemperatur, Summe der Niederschläge und Hitzetage in der Hallertau jeweils Juni bis August

VERGLEICH DER ERNTEZAHLEN DER SORTEN PERLE UND MAGNUM

	Perle			Magnum		
	2015	2016	2015/2016	2015	2016	2015/2016
Ertrag [t/ha]	1,4	2,3	60%	1,73	2,14	81%
Alphasäuren [%-Gew]	4,5	8,2	55%	12,6	14,3	88%
Alpha-Ertrag [kg/ha]	63	191	34%	218	306	71%

Tab. 2 Vergleich der Erntezahlen (Mengererträge, Alphagehalte und Alphaerträge) der Sorten Perle und Magnum in den Jahren 2015 und 2016 und das Verhältnis 2015:2016

VERHÄLTNIS ALPHAERTRÄGE 2015 ZU 2016 IN % RELATIV

Aroma	Spalter	28%
	Perle	34%
	Nothern Brewer	36%
	Spalter Select	39%
	Hallertauer mfr.	40%
	Saphir	42%
	Hall. Tradition	45%
	Opal*	45%
	Tettnang Tettnanger	46%
	Hersbrucker	56%
	Smaragd*	66%
	Mittelwert	43%

Tab. 3 Verhältnis der Alphaerträge im Jahr 2015 gegenüber 2016 in % rel. von 11 deutschen Aromasorten; Daten von Tettnanger und Spalter aus dem jeweiligen Anbaugesamt, von den restlichen aus der Hallertau; bei Sorten mit * wurden die Jungflächen berücksichtigt

Ernten Sortenunterschiede erkennen lässt. Ohne eine Langzeitbetrachtung in Händen zu haben, wird es so im vorliegenden Fall ermöglicht, auch jüngere Sorten, die erst seit 2013/14 im Anbau sind, in einen Vergleich der Klimatoleranz einzubeziehen.

VERHÄLTNIS ALPHAERTRÄGE 2015 ZU 2016 IN % RELATIV

Bitter	Taurus	52%
	Nugget	56%
	Herkules*	64%
	Magnum	71%
	Polaris*	77%
	Mittelwert	64%
Flavor	Cascade	52%
	Hall. Blanc*	56%
	Hüll Melon*	65%
	Mandarina Bavaria*	71%
	Mittelwert	61%

Tab. 4 Verhältnis der Alphaerträge im Jahr 2015 gegenüber 2016 in % rel. von 5 Bittersorten und 3 neueren Aromasorten (Flavorhopfen)

Tabelle 3 listet analog die Verhältnisse der α -Erträge (kg/ha) von 2015 in Prozent von 2016, und zwar für die elf gängigen deutschen Aromasorten in der Hallertau. Die Daten für Spalter und Tettnanger stammen aus den jeweiligen Anbaugesamten.

KLIMAFAKTOREN

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Mittelwert
Hallertau	15,8	4,1	14,1	23,9	16,3	16,1	19,0	17,4	24,9	24,7	21,0	13,4	18,8	9,4	18,9	12,5	15,5	16,8
Tett nang	22,1	10,1	16,9	25,3	23,5	28,7	22,4	23,3	35,0	30,5	20,5	15,4	21,5	14,4	29,9	26,6	13,7	22,3
Spalt	14,4	7,3	12,1	17,3	11,4	19,4	11,6	11,6	17,5	16,4	9,0	14,8	15,7	6,8	10,0	16,4	3,9	12,7

Tab. 5 Klimafaktoren der drei süddeutschen Hopfenanbaugebiete 2002-2018 mit Gesamtschnitt und Durchschnitt von 2012-2018; je niedriger die Werte sind, desto ungünstiger war die Witterung

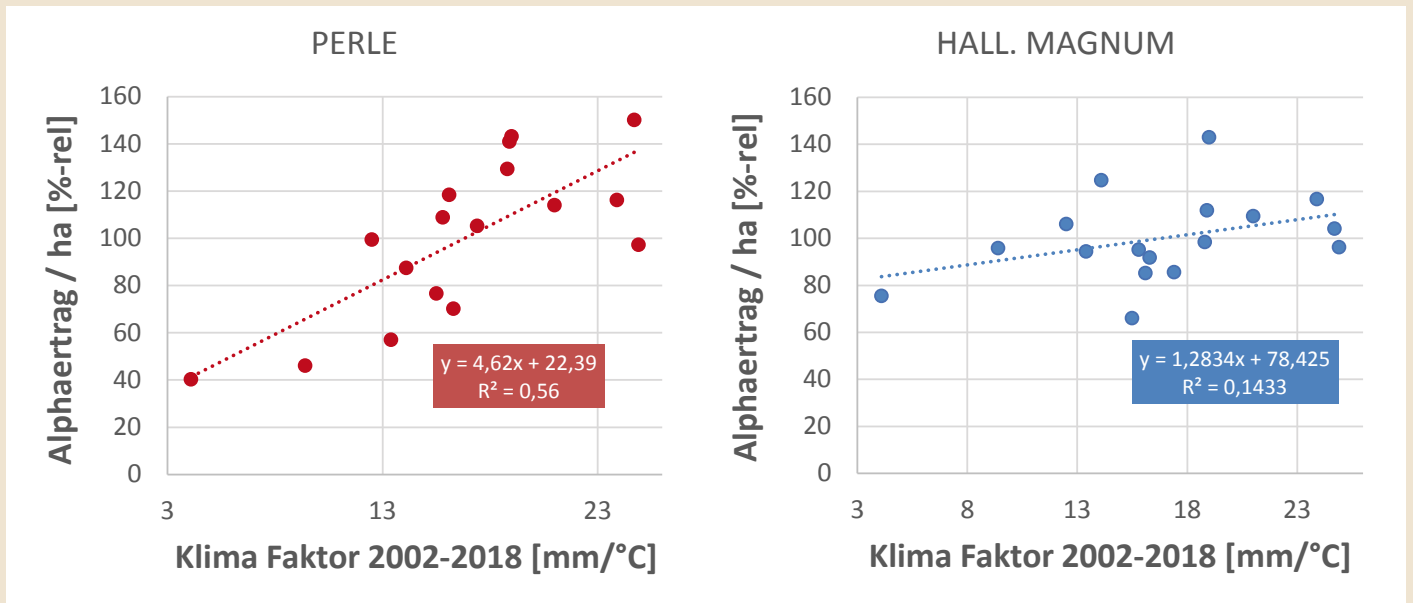


Abb. 2 Relative Alphaerträge der Sorten Perle (links) und Magnum (rechts) gegen die Klimafaktoren der Jahre 2002 bis 2018 aufgetragen; Steigung der Geraden S=4,62 (Perle) und 1,28 (Magnum)

KLIMAEMPFINDLICHKEIT VON 13 IN DER HALLERTAU ANGEBAUTEN SORTEN

Hall. Magnum	1,3
Herkules*	2,3
Taurus	2,5
Nugget	2,7
Hall. Tradition	3,1
Hersbrucker	3,9
Spalter Select	4,1
Smaragd*	4,2
Hallertauer Mfr.	4,2
Opal*	4,3
Perle	4,6
Saphir*	4,8
Northern Brewer	4,9

Tab. 6 Steigung der Geraden von 13 in der Hallertau angebauten Sorten; je höher die Steigung ist, desto höher ist die Klimaempfindlichkeit. * Daten 2006-2018, alle anderen 2002-2018

Bei Sorten mit * wurden die Jungflächen wie schon dargestellt bewertet. Besonders klimaempfindlich ist der Spalter (28%), am tolerantesten noch der Smaragd (66%). Im Durchschnitt kommen diese elf Sorten im Jahr 2015 nur auf 43 Prozent α -Ertrag im Vergleich zu 2016.

In Tabelle 4 sind die wichtigsten fünf Bittersorten gelistet, die insgesamt klimatoleranter als die Aromahopfen erscheinen und im Schnitt bei 64 Prozent α -Ertrag 2015 gegen 2016 liegen, was auch dem Wert der in der Anbaufläche dominanten Bittersorte Herkules entspricht. Ferner enthält Tabelle 4 auch die drei neueren Aromasorten (oft als Flavorsorten bezeichnet), Hallertau Blanc, Hüll Melon und Mandarin Bavaria, die mit den Bittersorten im α -Ertrag vergleichbar sind.

In die Bitter- und neueren Aromasorten sind meist nordamerikanische Sorten mit höherer Hitzeresistenz eingekreuzt. Abgeleitet werden muss also, dass gerade die traditionellen und immer noch am Markt stark gefragten klassischen Aromasorten

am empfindlichsten auf das Wetter reagieren.

Längerfristiger Vergleich

Aus der Vielzahl von Klimadaten eine einfache Bemessungsgröße herauszufiltern, die mit den Ernteergebnissen korreliert, war Ziel dieser Arbeit. Als Ergebnis entstand ein Klimafaktor (KF):

$$KF = \frac{\text{Summe der Niederschläge Juni bis August in mm}}{\text{Durchschnittstemperatur Juni bis August in } ^\circ\text{C}}$$

Ein hoher KF ist positiv für das Hopfenwachstum, ein niedriger negativ. Tabelle 5 enthält die Klimafaktoren von 2002 bis 2018 für die Anbauregionen Hallertau, Tett nang und Spalt sowie deren Durchschnitte. Obwohl die drei Gebiete nur wenige hundert Kilometer voneinander entfernt sind, unterscheiden sich die KF deutlich. Am besten kommt Tett nang weg, am schlechtesten Spalt. In allen drei Anbaugebieten besteht eine Tendenz zu sinkenden und damit ungünstigen KF in der jüngeren

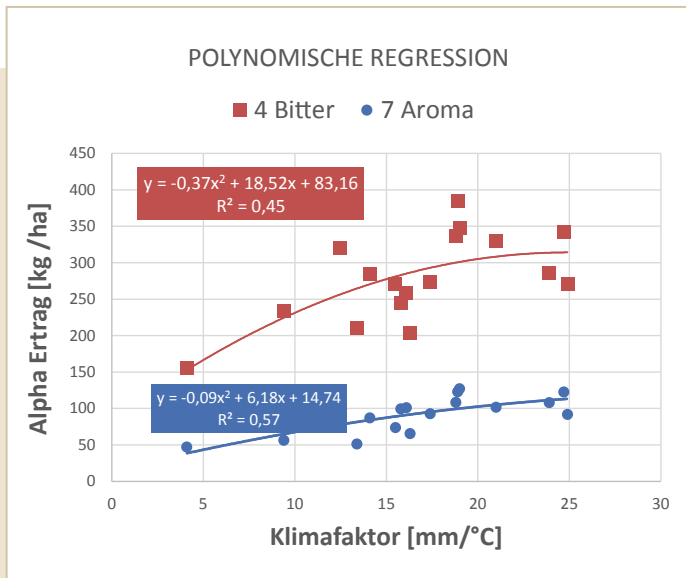


Abb. 3 Zusammenhang zwischen Alphaerträgen und Witterung bei 7 Aroma- und 4 Bitterhopfen; polynomische Verrechnung

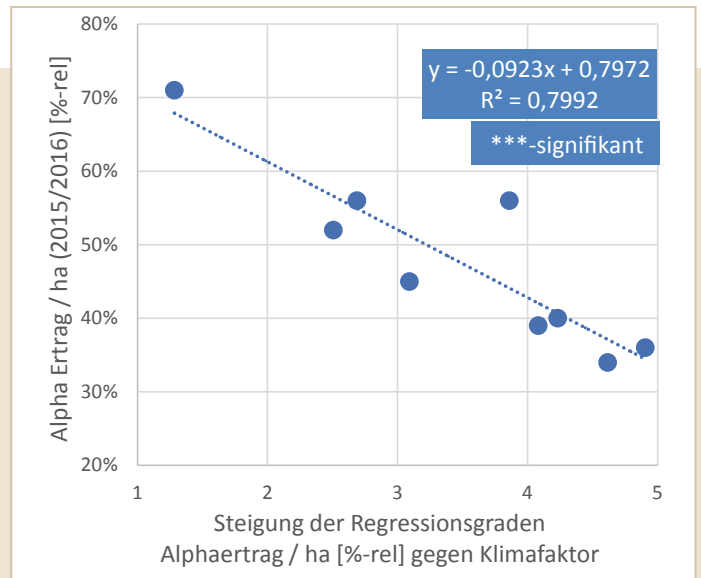


Abb. 4 Auftragung der 2-Jahresvergleiche (2015 : 2016) der Alphaerträge gegen die Steigung der Regressionsgeraden (rel. Alphaerträge gegen Klimafaktoren) bei 11 Hopfensorten

Vergangenheit, wenn man die letzten sieben Jahre mit dem Gesamtschnitt vergleicht.

Im nächsten Schritt werden die α -Erträge (kg/ha) gegen die KF aufgetragen. Um hier eine über alle Sorten vergleichbare Grafik zu erhalten, werden die einzelnen Ernten mit dem Durchschnitt von 2002 bis 2018 wie folgt verrechnet:

$$\% \text{ relativer Alphaertrag} = \frac{\text{Ertrag in einer Ernte}}{\text{Durchschnittsertrag}} \times 100$$

Abbildung 2 illustriert den Zusammenhang der relativen α -Erträge und der KF für die Sorten Perle (links) und Magnum (rechts). Wie schon beim Vergleich der Ernten 2015/2016 (Tab. 2) zeigt sich, dass Magnum deutlich geringer auf den KF reagiert als Perle. Die Regressionsgerade steigt zwar mit höheren KF an, aber mit einer geringeren Steigung ($S = 1,28$) und ohne Signifikanz. Perle dagegen hat eine Steigung S von 4,62, das ist über $3 \frac{1}{2}$ steiler und die Gerade korreliert ******-signifikant.

Für alle betrachteten Sorten ist die Steigung der Geraden folglich ein Indikator für die Klimatoleranz der Sorte. Je geringer die Steigung einer Geraden ist, desto unempfindlicher reagiert die Sorte auf die Witterung und im Umkehrschluss deutet ein hoher Steigungswert einer Geraden auf eine hohe Klimaempfindlichkeit hin. Im Allgemeinen wird dieser Zusammenhang umso signifikanter, je höher die Steigung ausfällt.

Tabelle 6 gibt die Steigungen der Geraden für die gängigen Sorten der Hallertau wieder. Bei den Sorten Herkules, Smaragd,

Opal und Saphir standen nur Daten ab 2006 zur Verfügung. Am besten kommt Magnum weg, am schlechtesten Northern Brewer.

Bei beiden Methoden (Vergleich 2015/2016 und Verrechnung mit KF) gelten allerdings noch einige Regeln:

- Es handelt sich nicht um Betrachtungen ausgewählter Standorte, Pflanzler oder Partien, sondern um den Durchschnitt der Gesamternte in der Hallertau.
- Vorzugsweise bei Sorten mit hohem Anteil vermischen sich Einzelergebnisse, wie Krankheiten, Hagel, Standort, etc.
- Bei Sorten mit geringerem Flächenanteil sind ggf. Besonderheiten zu hinterfragen; z. B. hat es 2013 in einer Region den Nugget verhagelt, der dort – bei kleiner Gesamtmenge – schwerpunktmäßig angebaut wurde.
- Es ist damit zu rechnen, dass es Ausreißer gibt. So hat die Sorte Smaragd in Ernte 2018 ohne ersichtlichen Grund ungewöhnlich schwache Ergebnisse in Ertrag und Alpha gebracht.

■ Weiterer Aspekt

In Abbildung 3 sind die α -Erträge in kg/ha von sieben Aromasorten und vier Bittersorten über die Klimafaktoren aufgetragen. Die polynomische, nach hinten abflachende oder gar abfallende Regressionskurve erscheint logischer als eine lineare Regression, da sehr hohe Niederschläge meist gepaart mit wenig Sonnenschein sind und das Hopfenwachstum gehemmt wird. Allerdings dürften Jahre mit dem Merkmal viel Regen und wenig Sonne und damit verbunden niedrigen Temperaturen in der Zukunft eher die Ausnahmen sein.

■ Methodenvergleich

Der Vergleich zweier sehr unterschiedlicher Ernten war zufällig 2015/2016 gut möglich. Im Jahr 2015 herrschten Hitze und Trockenheit, 2016 war die Witterung dagegen moderat. Ein direkter Vergleich der α -Erträge (kg α /ha) zeigte deutlich Unterschiede auf: –28 Prozent bei Spalter und 77 Prozent bei Polaris in Relation 2015 zu 2016. Vorteilhaft war gerade bei diesen beiden Jahren, dass auch neuere Sorten bewertet werden konnten, für die noch mehrjährige Daten fehlten. Natürlich besteht das Risiko, dass aus einer 2-Punkt Betrachtung nicht abgesicherte Schlüsse gezogen werden.

Die 2. Methode, nämlich die Verrechnung relativer α -Erträge gegen die Klimafaktoren mit der Ermittlung der Steigung der Geraden, erlaubt die Berücksichtigung langjährig zur Verfügung stehender Daten. Damit dürfte sie valider sein, hat aber den Nachteil, dass neue Sorten nicht bewertet werden können.

Trägt man die beiden Methoden gegeneinander auf, erhält man eine Korrelation gemäß Abbildung 4. Es konnten elf Sorten verrechnet werden und zwischen den beiden Methoden besteht ein *******-signifikanter Zusammenhang. Daraus darf geschlossen werden, dass auch ein Vergleich zweier nahe aufeinanderfolgender Ernten mit deutlich unterschiedlicher Witterung Hinweise auf die Empfindlichkeit einer Sorte auf Klimaereignisse gibt.

■ Zusammenfassung

Der Klimawandel ist bereits in vollem Gange. Dass sich das auf das Hopfenwachstum aus-

wirkt, wurde besonders in den letzten Jahren deutlich. Empirisch wusste man auch, dass Hopfensorten unterschiedlich auf Witterung reagieren. In dieser Arbeit wurde versucht, diesen Einfluss systematischer darzustellen. Allein der Vergleich zweier unterschiedlicher Jahre, 2015 (schlecht) und 2016 (gut), gibt schon brauchbare Hinweise, dass traditionelle Aromasorten deutlich klimasensibler sind als Bitterhopfen oder die neueren Aromasorten.

Die Bildung eines Klimafaktors aus der Summe der Niederschläge und der Durchschnittstemperatur der wesentlichen Vegetationsmonate Juni bis August könnte Kritikern etwas simpel erscheinen. Es mag sein, dass ein aufwändigeres mathematisch-statistisches Modell zu besseren Ergebnissen führt. Ob aber andere „Grundkenntnisse“ resultieren, wird bezweifelt. Immerhin gelang es, einen einigermaßen abgesicherten Zusammenhang zwischen Witterung und Ernteergebnis abzuleiten und Sortenunterschiede zu verdeutlichen. Mit beiden Methoden lassen sich gut miteinander korrelierende Aussagen ableiten.

Damit kann auch der Brauer sein derzeitiges Hopfensorten-Portfolio überdenken. Er wird sich der Frage stellen müssen, ob er Sorten substituieren muss, gegebenenfalls mit welchen Sorten und in welchen Schritten. Es ist nicht die Aufgabe dieser Arbeit, Vorschläge für Substitutionen zu machen. Das erfolgt in einer separaten Arbeit.

Folgende Problemkreise geraten angesichts des Klimawandels, der ja zudem weiter voranschreitet und derzeit nicht ernsthaft gestoppt wird, in den Fokus:

- Ist das Sortenspektrum so, wie es heute besteht, mittel- oder langfristig zu halten?
- Ist das derzeitige System der Vorverträge zumindest für kritische Sorten zu halten?
- Ist die Bewässerung eine langfristige Lösung? Wasser ist ein knapper werdendes Gut.
- Was kann die Hopfenzüchtung auf die Beine stellen? Sind Hinweise zur Klimatoleranz verschiedener Sorten bei der Auswahl von Kreuzungspartnern zu berücksichtigen?

Klimawandel ist global und damit lassen sich seine Folgen nur begrenzt auslagern. ■

■ Literatur

1. Forster, A.: „Spezifische Probleme der deutschen Hopfenernte 1994“; BRAUWELT Nr. 44, 1994, S. 2309-2314.
2. Forster, A.: „Die Hallertauer Hopfenernte 2003 – Probleme und Perspektiven“; BRAUWELT Nr. 17, 2004, S. 487-491.
3. Forster, A., Schüll, F.: „Die deutsche Hopfenernte 2015 – eine Herausforderung für Brauer“; Brauindustrie Nr. 1, 2016, S. 30-33.
4. Forster, A., Schüll, F.: „Die Deutsche Hopfenernte 2017 – mit einem blauen Auge davongekommen“; Brauindustrie Nr. 1, 2018, S. 14-17.
5. Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD), 7.5.2018.
6. Hüller Klimadaten: <https://www.am.rlp.de>
7. <https://www.deutscher-hopfen.de/de/Hopfen-Info/Anbauflaechen>
8. <https://www.hallertauerhopfen.de/de/Hopfen-Infos/Marktbericht-und-EU-Bericht>
9. <https://www.brauwelt.com/de/>