

Hopfenaroma im Bier mit konventioneller Hopfung im Heißbereich

Hopfenaroma ist flüchtig – von der Dolde bis zum abgefüllten Bier. Hopfen verleiht dem Bier eine Vielzahl anregender Aromen, etwa Zitrusaromen. Diese werden von vielen Konsumenten unbewusst mit Frische, Natürlichkeit und Gesundheit assoziiert. Ein hopfenbetontes Bier mit ausgeprägten Zitrusnoten kann dadurch besonders attraktiv und erfrischend wirken, selbst wenn der Konsument diese Zusammenhänge nicht bewusst wahrnimmt. Die Wirkung von Aromen geht weit über die reine Geruchswahrnehmung hinaus und ist eng mit erlernten Assoziationen und Erwartungen verknüpft. In der Vergangenheit gab es eine Vielzahl an Publikationen dazu, wie sich das Hopfenaroma durch „Dry Hopping“ oder Hopfenstopfen beeinflussen lässt. Dieser Artikel rückt die konventionelle Hopfung im Heißbereich in den Fokus.

Hopfenstopfen bietet großes Potenzial, die Aromatik des Bieres zu beeinflussen. Im betrieblichen Alltag stellt es jedoch einen zusätzlichen Prozessschritt dar, der oxidative und mikrobiologische Risiken birgt. Dieser Prozess benötigt Zeit, bindet Ressourcen und verursacht somit Kosten. Je nach Anlagentechnik ist es mitunter schlicht nicht möglich, das Dry Hopping technologisch adäquat durchzuführen. Deshalb lohnt sich ein Blick auf die Möglichkeiten, die der Heißbereich im Brauprozess für ein intensives Hopfenaroma bietet.



Abb. 1: Hopfen entfaltet eine Vielfalt an Aromen (Foto: KI generiert)

Sensorik allgemein

Aroma ist weit mehr als die Summe einzelner Aromastoffe. Obwohl moderne analytische Verfahren heute Hunderte flüchtiger Verbindungen im Bier identifizieren und quantifizieren können, lässt sich aus diesen Messdaten allein nur begrenzt vorhersagen, wie ein Bier tatsächlich riecht oder schmeckt. Der Grund liegt in der außerordentlichen Komplexität der menschlichen Geruchswahrnehmung.

Der Geruchssinn arbeitet nicht nach dem Prinzip „ein Stoff – ein Geruch“. Vielmehr aktiviert jeder Aromastoff mehrere Geruchsrezeptoren, während umgekehrt jeder Rezeptor auf zahlreiche verschiedene Moleküle reagieren kann. Das resultierende Duftbild entsteht erst aus dem Muster der aktivierten Rezeptoren und der anschließenden Verarbeitung im Gehirn. Zusätzlich konkurrieren unterschiedliche Aromastoffe um dieselben Rezeptoren, beeinflussen sich gegenseitig oder verändern die Wahrnehmung anderer Verbindungen.

Besonders bedeutsam sind dabei synergistische Effekte. Häufig tragen Stoffe zum Gesamteindruck eines Aromas bei, obwohl ihre Konzentration unterhalb des individuellen Wahrnehmungsschwellenwertes liegt. In Kombination mit anderen Verbindungen können sie bestimmte Geruchsnoten verstärken, abrunden oder überhaupt erst entstehen lassen.

Umgekehrt kann die Entfernung einer scheinbar sensorisch irrelevanten Verbindung dazu führen, dass sich das Aroma eines Bieres deutlich verändert. Aus analytischer Sicht hätte diese Substanz keinen direkten Aromabeitrag geleistet; für die Gesamtwahrnehmung war sie jedoch Teil eines komplexen Wechselwirkungssystems.

Daraus ergibt sich eine wichtige Erkenntnis für die Rohstoffkunde und Sensorik: Die chemische Analyse kann wertvolle Informationen über die Zusammensetzung eines Aromas liefern, sie ersetzt jedoch nicht die sensorische Beurteilung. Selbst wenn sämtliche Konzentrationen der enthaltenen Aromastoffe bekannt wären, bliebe die Vorhersage des tatsächlichen Geruchseindrucks eine anspruchsvolle, wenn nicht unmögliche Aufgabe. Erst das Zusammenspiel von Analytik und menschlicher Sensorik ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Aromawahrnehmung.

Hopfenaroma

Gerade beim Hopfen wird diese Komplexität besonders deutlich. Die charakteristischen tropischen, zitrischen, harzigen, kräuterartigen, grün-grasigen, blumigen oder gewürzartigen Noten entstehen nicht durch einzelne Leitsubstanzen allein, sondern durch das Zusammenwirken zahlreicher Aromakomponenten, deren gegenseitige Wechselwirkungen das letztlich wahrgenommene Hopfenaroma prägen.

Bei längerer Kochdauer werden viele Hopfenaromasubstanzen ausgetrieben. Von den über 400 verschiedenen Aromastoffen verbleibt nur ein kleiner Teil in der Würze, zudem in völlig veränderten Mengenrelationen. Durch Reaktionen mit Sauerstoff verbleiben jedoch auch viele Aromen in der Würze und beeinflussen das Bieraroma.

Weitere Prozessschritte wie Gärung, Lagerung und Filtration bewirken chemische Umwandlungen und weitere Mengenverschiebungen. Sieht man von „Single-Hop“-Varianten ab, lässt sich das Aroma im Bier selten mit der verwendeten Hopfensorte in Zusammenhang bringen [1]. Tabelle 1 listet die Anteile verschiedener Stoffgruppen im ätherischen Hopfenöl auf [1].

Tabelle 1: Anteile reiner Kohlenwasserstoffe und Oxidationsverbindungen/Terpenoide im ätherischen Öl

Reine Kohlenwasserstoffe		Oxi-Verbindungen / Terpenoide	
Monoterpene	40 %	Carbonsäure-Ester	15 %
Sesquiterpene	40 %	Carbonsäuren	1 %
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	< 1 %	Monoterpenoxide	1 %
		Sesquiterpenoxide	1 %
		Aliphatische Aldehyde und Ketone	1 %
		(O ₂ -haltige) Thiole	< 1 %

Bei der klassischen Heißdosierung verdampft der Großteil der leichtflüchtigen Hopfenölkomponenten (v.a. Monoterpenkohlenwasserstoffe wie Myrcen). Das im fertigen Bier wahrnehmbare Hopfenaroma wird daher überwiegend von hitzestabileren, polarerer Verbindungen geprägt, darunter Carbonsäureester, Monoterpenalkohole wie Linalool und Geraniol sowie deren Oxidationsprodukte (u.a. Linalooloxide, Humulenepoxide und Caryophyllenoxid).

Linalool kann selbst bei konventioneller Hopfung während der Würzekochung den Geruchsschwellenwert im Bier überschreiten. Daher könnte man vermuten, dass Linalool die Hauptleitsubstanz des Hopfenaromas im Bier ist. Untersuchungen an binären Lösungen haben jedoch gezeigt, dass sich bereits bei der Mischung von nur zwei Stoffen (z.B. Linalool und Geraniol) der Schwellenwert vollständig verschieben kann – sowohl nach oben als auch nach unten [2].

Die Vielzahl an maskierenden und synergistischen Effekten macht eine Vorhersage auf Grundlage der Analytik unmöglich. Zudem kann die Analytik nur bekannte Stoffe erfassen. Die bereits erwähnten Thiole wurden vor 20 Jahren noch nicht berücksichtigt, da ihre Schwellenwerte im ng/l-Bereich sehr gering sind und der analytische Aufwand sehr hoch und damit kostenintensiv war und ist.

Hopfenöl, das sehr wahrscheinlich im Bier ankommt

Die Schwierigkeit besteht darin abzuschätzen, wie viel vom dosierten Aroma im fertigen Bier ankommt. Wie bei der Bitterstoffausbeute hängt dies von verschiedenen Faktoren ab:

- Kochdauer;
- pH-Wert;
- Kochtemperatur;
- Würzezusammensetzung (Stammwürze);
- Kochsystem.

Die Bitterstoffausbeute ist von Brauerei zu Brauerei unterschiedlich und kann auch innerhalb einer Brauerei von Sorte zu Sorte schwanken. Sie ist daher ein Erfahrungswert. In der Regel ist bei Bitterstoffen von Verlusten von etwa 70 Prozent auszugehen. Vergleichbare Werte für das Aroma liegen nicht vor; es wird jedoch davon ausgegangen, dass mindestens 85 Prozent der eingebrachten Aromen während der Kochzeit verdampfen. Daraus ergeben sich folgende Orientierungswerte:

- Dezentestes Hopfenaroma im Bier nach einer Hopfenöldosage von 0,5 ml/hl Würze;
- intensiveres Hopfenaroma im Bier ab einer Hopfenöldosage von 1 ml/hl Würze.

Die Frage ist dabei immer auch: „Um welches Bier geht es?“ Ein schlankes Bier mit einer Schüttung aus 100 Prozent Pilsner Malz oder ein bernsteinfarbenes Festbier? Je nach Bierstil und Aromaintensität muss die oben genannte Empfehlung in die eine oder andere Richtung angepasst werden. Die Aromagabe des Hopfens über den Hopfenölgehalt zu berechnen, ist in jedem Fall sinnvoller als über den Alphagehalt oder das reine Gewicht des Hopfens.

Noch präziser ist die Beschränkung auf die oben genannten Inhaltsstoffe, also Monoterpenoxide und Carbonsäureester. Beispiel: Eine Brauerei verwendet einen Hopfen mit 1 ml Hopfenöl je 100 g Hopfen. Monoterpenoxide und Carbonsäureester machen davon zusammen 16 Prozent aus. Für die Berechnung ergäbe sich damit ein Wert von 0,16 ml „Hopfenöl, das sehr wahrscheinlich im Bier ankommt“.

Eine Brauerei kann auf bestehende Rezepte zurückgreifen und die Öldosage bereits gebrauter Biere berechnen. So lässt sich die sensorische Relevanz im fertigen Bier durch Verkostung beurteilen; bei Bedarf können bei Folgesuden technologische Anpassungen vorgenommen werden. Entscheidend für alle Benchmark-Berechnungen ist, dass die Durchführung nicht variiert, sondern einem standardisierten Prozess folgt.

Dosagezeitpunkt

Für den Dosagezeitpunkt gilt: Je später, desto besser. Geeignete Zeitpunkte sind das Ausschlagen bei Kochende oder die Dosage im Whirlpool. Eine Temperaturabsenkung auf unter 80 °C (ohne Berücksichtigung der energiewirtschaftlichen Folgen) führt dazu, dass sich das Dampfdruck-Löslichkeits-Verhältnis vieler Aromen verschiebt, was sich deutlich auf das Hopfenaroma auswirkt. Es ist sogar von höheren Linaloolwerten als bei der Kalthopfung die Rede [3]. Eine Hopfengabe im Whirlpool im Bereich üblicher Whirlpooltemperaturen erhöht den Gehalt an Monoterpenoxiden immer.

Hefe als Aromabooster

Ein weiteres Aromapotenzial des Hopfens bei konventioneller Hopfengabe im Heißbereich liegt in der sogenannten „Biotransformation“ von Hopfenölen und der enzymatischen Freisetzung meist glykosidisch gebundener Terpene oder peptidisch gebundener Thiole. Das bedeutet, dass während der Gärung durch die Hefe Aromen des Hopfens freigesetzt oder umgewandelt werden (Abb. 2).

Diese gebundenen Stoffgruppen sind nicht flüchtig. Somit leistet auch die erste Hopfengabe einen Aromabeitrag. Zudem ist der relative Gehalt dieser Stoffgruppen im Aromahopfen höher. Für die Freisetzung ist die Enzymausstattung der Hefe verantwortlich. Die Hefe benötigt dafür entweder das Enzym β -Glukosidase (Freisetzung der glykosidisch gebundenen Terpene) oder β -Lyase (Freisetzung der peptidisch gebundenen Thiole).



Abb. 2 Biotransformationspotenzial und Aromausprägungen verschiedener Hefestämme [4]

Die Hefestämme LalBrew Pomona oder LalBrew New England weisen zum Beispiel eine sehr hohe β -Glukosidase-Aktivität auf. Der Hefestamm LalBrew Verdant IPA zeigt zusätzlich eine hohe β -Lyase-Aktivität.

Enthält der Hopfen relevante Mengen an thiolbildenden Cystein-/Glutathion-Precursoren, die erst durch hefevermittelte Biotransformation als freie, extrem geruchsaktive Thiole freigesetzt werden, können diese das Aromabild über Synergieeffekte so dominieren, dass eine Dosageberechnung allein über den Gesamtöl- oder Linaloolgehalt weder repräsentativ noch reproduzierbar ist.

Der Einsatz eines zusätzlichen Hefestamms bringt im normalen Brauereialltag ebenfalls zusätzlichen Aufwand mit sich, obwohl dieser zu Beginn des Artikels vermieden werden sollte. Ob es einfacher ist, im Betrieb über eine Möglichkeit zum Hopfenstopfen oder über einen zusätzlichen Hefestamm nachzudenken, hängt von den jeweiligen Brauereigegebenheiten ab. Auch im untergärigen Bereich steht beispielsweise mit LalBrew NovaLager ein Hefestamm zur Verfügung, der eine gute β -Glukosidase-Aktivität besitzt.

Untergärige Hefen besitzen zum Teil β -Lyase-Aktivität, vor allem aber das Potenzial, Citronellol aus dem Hopfen freizusetzen. In der Masterarbeit von Theresa Nina Zimmer wurden β -Lyase-aktive untergärige Hefestämme der Doemens Hefebank identifiziert und Aromaprofile der ausgewählten Hefestämme in Kombination mit den Hopfensorten Cascade und Sorachi Ace entwickelt [5].

Die sensorische Beurteilung bestätigte bei den Hefestämmen 314, 370, W547, W548 und W574 mit hoher Enzymaktivität eine hefestammspezifische Aromaentwicklung im Bier. Die vollständigen Aromaprofile sind auf der Website von Doemens einsehbar. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse des Stammes 314.

Ergebnisse der Profilprüfung des Hefestamms 314;
Darstellung der Mittelwerte der Merkmalseigenschaften

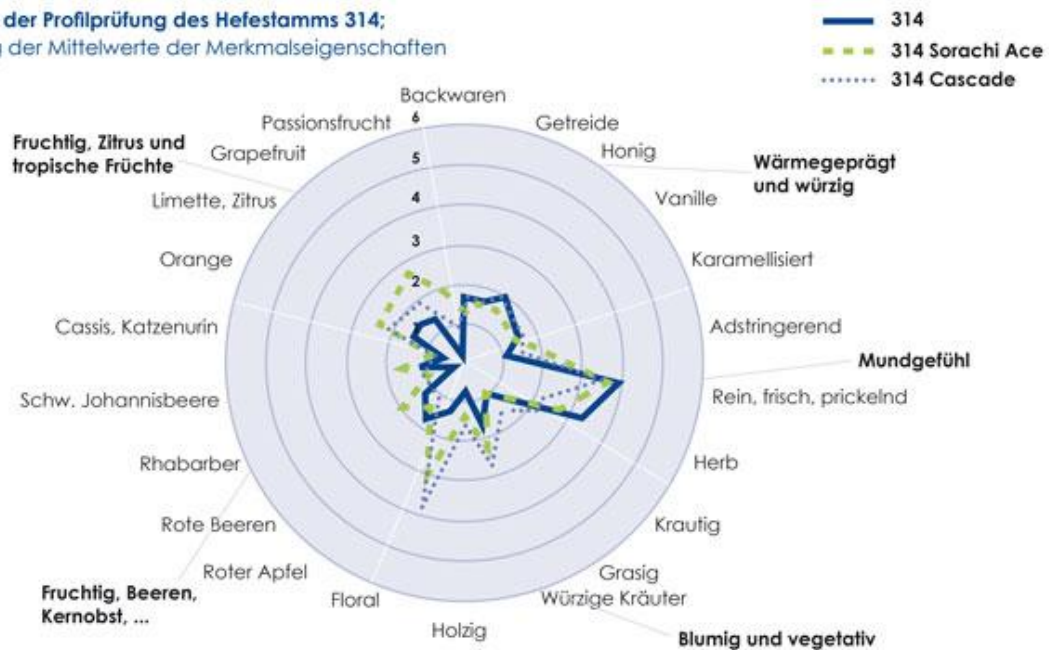


Abb. 3 Ergebnisse der Profilprüfung des Hefestamms 314 – Mittelwerte der Merkmaleigenschaften
[5]

Zusammenfassung

Zur Förderung des Hopfenaromas bereits im Heißbereich werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Hopfen im Heißbereich möglichst spät zugeben
- Hopfen im Whirlpool dosieren
- Whirlpooltemperatur absenken
- Für die Bittergabe zu Kochbeginn vermehrt Aromahopfen einsetzen, um höhere Anteile nicht flüchtiger, glykosidisch gebundener Terpene und peptidisch gebundener Thiole einzubringen
- Enzymaktivität des vorhandenen Hefestamms prüfen
- Aromadosage über das „Hopfenöl, das sehr wahrscheinlich im Bier ankommt“ berechnen
- Ein geschultes Verkosterpanel einsetzen: Nur sensorisch lassen sich maskierende und synergistische Effekte sowie der Einfluss bislang nicht berücksichtigter oder nur aufwendig analysierbarer Stoffgruppen, etwa der Thiole, im fertigen Bier bewerten.

Literatur

1. Biendl, M.; Engelhard, B.; Forster, A.; Gahr, A.; Lutz, A.; Mitter, W.; Schmidt, C.; Schönberger, C.: Hopfen – vom Anbau bis zum Bier, Fachverlag Hans Carl, Nürnberg, 2012.
2. Hanke, S.: Untersuchungen zum Einfluss der Hopfungstechnologie auf die Geschmacksstabilität und Harmonie untergäriger Biere, Dissertation, Technische Universität München, 2010.
3. Suregork: „Hop Science II: Hop Oil Composition“, Blog „Suregork Loves Beer“, 2012.
<https://beer.suregork.com/?p=2259>, abgerufen am 21.07.2026.
4. Lallemand Brewing: Bierhefen & Bakterien, Broschüre, Lallemand Inc., 2020.
https://doemens.org/uploads/2021/02/bifold_lps_lalbrew_eng_a3_aug2020.pdf, abgerufen am 21.07.2026.
5. Zimmer, T.: Auswirkungen von Hefestämmen mit β -Lyase-Aktivität in Wechselwirkung mit Hopfen auf das Aromaprofil des Bieres, Kurzfassung der Masterarbeit, Mai 2019. In: Doemens Hefebank und Mikroorganismensammlung, Doemens Akademie, Gräfelfing,
<https://doemens.org/uploads/2026/02/broschuere-hefebank-und-mikroorganismensammlung-2026.pdf>, abgerufen am 21.07.2026.

Jens Luckart

Dipl.-Ing. für Brauwesen und Getränketechnologie, Leiter der Doemens Genussakademie



Veröffentlicht in „Brauwelt“ (Fachverlag Hans Carl)
(Nr. 20 vom 01. Oktober 2026, S. 722-725)

<https://brauwelt.com/de/themen/sudhaus/649790-hopfenaroma-im-bier-mit-konventioneller-hopfung-im-hei%C3%9Fbereich>