

# Hopfen

*Vom Anbau bis zum Bier*



# Hopfen

## *Vom Anbau bis zum Bier*

Martin Biendl, Bernhard Engelhard, Adrian Forster,  
Andreas Gahr, Anton Lutz, Willi Mitter, Roland Schmidt,  
Christina Schönberger



### **Haftungsausschluss**

Alle Angaben in diesem Buch wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und gemeinsam mit dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch lassen sich (im Sinne des Produkthaftungsrechts) inhaltliche Fehler nicht vollständig ausschließen. Die Angaben verstehen sich daher ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie seitens der Autoren oder des Verlages. Autoren und Verlag schließen jegliche Haftung für etwaige inhaltliche Unstimmigkeiten sowie für Personen-, Sach- und Vermögensschäden aus.

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2012 Fachverlag Hans Carl GmbH, Nürnberg  
Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Titelbild: Christina Schönberger  
Covergestaltung: Echtzeit Medien, Tennenlohe  
Layout und Satz: Verlagservice Rohner, Tegernheim  
Druck: 1a Print & Medien, Langenzenn  
ISBN 978-3-418-00808-0

## Dank an Sponsoren und Autoren

Dieses Fachbuch konnte nur verwirklicht werden, weil die aufgeführten Firmen den Autoren den zum Schreiben notwendigen Freiraum gegeben haben und interne Forschungsergebnisse sowie die Räumlichkeiten für zahlreiche Besprechungen bereitgestellt haben. Dafür bedankt sich der Fachverlag Hans Carl an dieser Stelle ganz herzlich.

Unser Dank gilt auch den Autoren. Sie haben Großartiges geleistet, sich trotz Termschwierigkeiten immer wieder neu motiviert und fachliche Diskussionen geführt, bei denen es galt, unterschiedliche Firmenphilosophien auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen.



## Grußwort

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Hopfeninteressierte, Hopfenliebhaber, Hopfenpflanze, Hopfenverarbeiter und Bierbrauer,

für mich ist Hopfen nicht nur eine Kulturpflanze und auch aus wirtschaftlichen Gründen das „Gold des Brauers“ – vielmehr ist meine Wahrnehmung von Hopfen verbunden mit faszinierenden Abläufen in Landwirtschaft und Verarbeitung, mit Empirie, Erfahrung und Wissenschaft sowie mit vielfältigen Aromaeindrücken und Geschmackserlebnissen.

In meiner Zeit als Qualitätsverantwortlicher habe ich die Frühherbsttage in der Hallertau mit anstrengenden Bemusterungen ebenso genossen wie Bonitierungsreisen in amerikanische Hopfenanbaugebiete. Was bei allen Kontakten mit den Beteiligten des Hopfengeschäfts vom Pflanze, über Händler, Wissenschaftler und Verarbeiter bis hin zum Bierbrauer deutlich zum Ausdruck kommt, ist die Passion für den Themenkreis Hopfen.

Auch für die European Brewery Convention (EBC) ist Hopfen ein wichtiges Wissensgebiet. Neben der aktiven Mitwirkung der EBC-Führung in der Gesellschaft für Hopfenforschung waren Themen rund um den Hopfen in den vergangenen Jahren Gegenstand mehrerer EBC-Symposien.

Bei aufmerksamer Betrachtung der Brauereiszene fällt auf, dass sich in den letzten Jahren nicht nur in den USA, sondern auch in vielen Ländern mit Biertradition, wie z. B. Belgien, Deutschland und Tschechien, immer mehr Brauereien erfolgreich mit Bierspezialitäten in einem wettbewerbsintensiven Markt behaupten. Neben der Malzrezeptur, dem Verfahren und dem Hefestamm ist für diese Biere die Verwendung von verschiedensten Hopfensorten mit ausgeprägten Aromaeindrücken ein wichtiges Differenzierungsmerkmal. Somit gewinnt der Hopfen immer größere Bedeutung, die über die reine Rolle als Alpha-Säure-Quelle hinausgeht. Deshalb sind die Kenntnisse über Sorteneigenschaften und interessante Stoffgruppen des Hopfens wie Humulone, Polyphenole, Xanthohumol und Terpenverbindungen wichtig, um Produkteigenschaften zu verstehen und zu gestalten.

Diesem Wissensbedürfnis wurde nun Rechnung getragen und es freut mich sehr, dass die Autorengruppe um Adrian Forster in einer bewundernswerten Art das neue Hopfenbuch herausgegeben hat. Es ist diesem Team aus Hopfenfachleuten gelungen, ein neues Standardwerk für Hopfen zu schaffen. Ich kann mir sehr gut vorstellen, wie viel Freizeit in dieses Kompendium investiert wurde.

Dieses Hopfenbuch ist insofern einzigartig, als aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse, technologische Zusammenhänge und die wichtigen Aspekte der Wertschöpfungskette des Hopfens vom Setzling bis zum abgefüllten Bier vermittelt und anschaulich vorgestellt werden.

In den einzelnen Kapiteln des Buches können Sie in die Welt des Hopfenanbaus und der Marktgegebenheiten eintauchen. Fühlen Sie sich wie ein Hopfenpflanze, der sich mit landwirtschaftlichen Fragestellungen ebenso auseinandersetzt wie mit Pflanzenschutz und Vermarktung.

Genießen Sie die Vielfalt der Kulturpflanze Hopfen über das ausgeprägte Sortenspektrum und die jeweiligen Eigenschaften der unterschiedlichen Varietäten.

Entdecken Sie das großartige Spektrum der Hopfeninhaltsstoffe und wertgebenden Bestandteile. Setzen Sie sich die Brille des Forschers auf und erkunden Sie die Bildungsmechanismen sowie die Vielzahl der daraus resultierenden Komponenten – Geschmacks- und Aromastoffe, Bittersubstanzen und Polyphenole.

Für die Bierbrauer unter Ihnen bietet der Überblick über Hopfenprodukte eine Möglichkeit, sich schnell über Prozesstechnik, Charakteristiken und analytische Parameter zu informieren. Besonders interessant ist das Kapitel der Hopfenbestandteile in Bier, das in einzigartiger und gesamtheitlicher Form den Beitrag von Hopfen zu den Charakteristiken von Bier darstellt. Sie werden beim Studium feststellen, das dieses Buch weit über den Status eines Nachschlagewerks hinausgeht, das nur bei unmittelbarem Bedarf aus dem Regal gezogen wird. Für Hopfeninteressierte ist es durchaus auch eine Lektüre, die zum Schmökern anregt und dazu geeignet ist, regnerische Herbsttage zu versüßen. Hopfen ist eine facettenreiche Pflanze mit faszinierenden Eigenschaften und einer vielschichtigen Wertschöpfungskette. Ich bin sicher, Sie werden viel Freude und interessante Stunden bei der Lektüre haben.

Dr. Stefan Lustig, Präsident der European Brewery Convention



<b>Grußwort</b>	<b>6</b>
<b>Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>1 Hopfenbau</b>	<b>14</b>
1.1 Biologie des Hopfens	14
1.2 Gerüstformen	16
1.3 Anbaugebiete	17
1.3.1 Mitteleuropa	17
1.3.2 USA	18
1.3.3 China	18
1.4 Flächenentwicklung	19
1.5 Umweltgerechte Hopfenproduktion	19
1.5.1 Bodenpflege und Bodenschutz	20
1.5.2 Nährstoffversorgung nach Bodenanalysen	20
1.5.3 Pflanzenschutz nach Warndienst und Bekämpfungsschwellen	21
1.5.4 Weitere Optimierung des Pflanzenschutzmittelaufwands	27
1.5.5 Biologisch erzeugter Hopfen für Bio-Biere	28
1.6 Vermeidung von unerwünschten Rückständen in den Hopfendolden	29
1.6.1 Nitratgehalt	29
1.6.2 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln	30
1.7 Ernte	32
1.7.1 Erntetermin	32
1.7.2 Erntetechnik	34
1.8 Nacherntebehandlung	36
1.8.1 Trocknung	36
1.8.2 Konditionierung	37
<b>2 Hopfenmarkt</b>	<b>39</b>
2.1 Einführung	39
2.2 Historie	40
2.3 Preisbestimmende Parameter	40
2.4 Hopfenverträge	42
2.5 Die internationale Hopfenvermarktung	43
2.6 Hopfen als globales Gut	44
2.7 Flächenentwicklung im Hopfenanbau der letzten Jahre	45
2.8 Umgang mit der Preisvolatilität	45
<b>3 Hopfeninhaltsstoffe</b>	<b>47</b>
3.1 Sekundärmetaboliten des Hopfens	47
3.2 Ätherisches Hopfenöl	49
3.2.1 Monoterpene	51
3.2.2 Sesquiterpene	52
3.2.3 Monoterpenoxide	53
3.2.4 Sesquiterpenoxide	55
3.2.5 Aliphatische Aldehyde und Ketone	55
3.2.6 Geruchsaktive Thiole (Mercaptane)	56
3.2.7 Carbonsäure-Ester und freie Carbonsäuren	56
3.2.8 Pharmakologische Bedeutung von 2-Methyl-3-buten-2-ol	58
3.3 Hopfenbitterstoffe	58
3.3.1 Alpha- und Beta-Säuren	59
3.3.2 Iso-Alpha-Säuren	60
3.3.3 Abbauprodukte von Iso-Alpha-Säuren im Bier	61



3.3.4	Weitere Bitterstoffe in Hopfen und Bier	63
3.3.5	Vorisomerisierungen und Hydrierungen außerhalb der Brauerei	65
3.3.6	Hopfenbitterstoffe und ihr Einfluss auf den Bierschaum	66
3.3.7	Antibakterielle Wirksamkeit von Hopfenbitterstoffen	68
3.3.8	Ernährungsphysiologische Bedeutung von Hopfenbitterstoffen	72
3.4	Hopfenpolyphenole	72
3.4.1	Xanthohumol	74
3.4.2	Isoxanthohumol	79
3.4.3	8-Prenylnaringenin	80
3.4.4	Multifidole	82
3.4.5	Flavonolglykoside	83
3.4.6	Flavan-3-ole	85
3.4.7	Sonstige Polyphenole im Hopfen	88
3.5	Beitrag der Hopfeninhaltsstoffe zur ernährungsphysiologischen Einstufung von Bier	89
<b>4</b>	<b>Qualitätssicherung</b>	<b>93</b>
4.1	Rückverfolgbarkeit	93
4.1.1	Zertifizierung des Hopfens	93
4.1.2	Zweitertifizierung	93
4.2	Qualitätsfeststellung	93
4.3	Bonitierung	95
4.4	Beschreibung qualitätsrelevanter Inhaltsstoffe	96
4.4.1	Unspezifische Analysemethoden	98
4.4.2	Spezifische Analysemethoden	100
4.5	Altersbeschreibungen	105
4.5.1	Bitterstoffe	105
4.5.2	Aromastoffe	106
4.6	Sortenbeschreibung und Sortenbestimmung	107
4.6.1	Analytische Kennzahlen	107
4.6.2	PCR-Methode	108
4.7	Herkunftsbestimmung	108
4.8	Problemstoffe im Hopfen	109
4.8.1	Pflanzenschutzmittelrückstände	110
4.8.2	Schwermetalle	112
4.8.3	Nitrat	113
4.8.4	Mycotoxine	114
4.8.5	Radionuklide	114
4.9	Analyse von Wertstoffen des Hopfens in Würze und Bier	114
4.9.1	Bitterstoffe	114
4.9.2	Aromastoffe	116
4.9.3	Polyphenole	116
<b>5</b>	<b>Hopfensorten</b>	<b>118</b>
5.1	Definition von Aroma- und Bitterhopfen	118
5.2	Züchtungsmethoden	118
5.2.1	Allgemeines	118
5.2.2	Auslesezüchtung (Klonselektion)	119
5.2.3	Kreuzungszüchtung	120
5.3	Das Kommen und Gehen von Hopfensorten	128
5.3.1	Sorten ohne Anbaubedeutung	128
5.3.2	„Eintagsfliegen“	128
5.3.3	Zeitweise erfolgreiche Hopfensorten	128

5.3.4	Dauerläufer	130
5.3.5	Aufsteiger	134
5.4	Schematische Darstellung wichtiger Hopfensorten	134
<b>6</b>	<b>Hopfenprodukte</b>	<b>140</b>
6.1	Lagerung von Doldenhopfen vor der Verarbeitung	140
6.1.1	Allgemeines	140
6.1.2	Frischegrad und Lagerung	141
6.2	Gründe für Hopfenprodukte	143
6.2.1	Allgemeine Probleme des Doldenhopfens	143
6.2.2	Spezielle Anforderungen	144
6.3	Klasifizierung von Hopfenprodukten	145
6.3.1	Konventionelle Hopfenprodukte	145
6.3.2	Isomerisierte Hopfenprodukte	145
6.3.3	Aromaprodukte	145
6.3.4	Sonstige Hopfenprodukte	145
6.3.5	Übersicht zu Hopfenprodukten	145
6.4	Zertifizierung von Hopfenprodukten	146
6.5	Konventionelle Hopfenprodukte	147
6.5.1	Abgepackter Doldenhopfen	147
6.5.2	Hopfenpellets	147
6.5.3	Hopfenextrakte	153
6.6	Stabilität konventioneller Hopfenprodukte	161
6.6.1	Unterschiede zwischen oxidativer und nicht-oxidativer Lagerung von Hopfen	161
6.6.2	Spezielle Probleme bei Hopfenpellets	162
6.6.3	Einfluss von Stoffgemischen bei Extrakten	162
6.6.4	Transport- und Lagerempfehlungen	163
6.6.5	Vorratshaltung von Hopfenprodukten	163
6.7	Die Qualitätskette vom Hopfen bis zum Hopfenprodukt	165
6.8	Dosage konventioneller Hopfenprodukte	165
6.8.1	Allgemeines	165
6.8.2	Automatische Dosage von Hopfenextrakt	167
6.8.3	Automatische Dosage von Hopfenpellets	168
6.8.4	Automatische Dosage und Produktqualität	170
6.9	Vorisomerisierte Hopfenprodukte (Iso-Produkte)	170
6.9.1	Isomerisierte Pellets	171
6.9.2	Stabilisierte Pellets	173
6.9.3	Isomerisierter Kettle-Extrakt (IKE)	173
6.9.4	Iso-Extrakt	176
6.9.5	Hydrierte Iso-Extrakte	176
6.10	Hopfenaromaprodukte	181
6.10.1	Doldenpellets (Whole Hop Pellets)	182
6.10.2	Ölreicher Extrakt aus CO <sub>2</sub> -Extraktion	182
6.10.3	Hopfenöle und Hopfenölfractionen	183
6.10.4	Hopfenölprodukte angereichert mit natürlichen Aromastoffen aus anderen Quellen	187
6.10.5	Hopfenöl-Emulsionen	187
6.10.6	Hopfenaromatabletten (Hop Aroma Tabs)	187
6.10.7	Kombinationen von Hopfenölen mit anderen Hopfenfraktionen	187
6.11	Sonstige Hopfenprodukte	189
6.11.1	Beta-Säuren-Extrakte	189
6.11.2	Lipide und Wachse (Lipidextrakt)	189
6.11.3	Wasserextrakt	189
6.11.4	Xanthohumolreiche Extrakte	190

6.12	Spezifikation von Hopfenprodukten	191
6.12.1	Allgemeines	191
6.12.2	Spezifikationen für verschiedene Produkte	193
6.12.3	Umgang mit Analysenschwankungen	193
6.13	Kennzeichnung von Hopfen und Hopfenprodukten im Bier	194
<b>7</b>	<b>Hopfen im Bier</b>	<b>197</b>
7.1	Einleitung	197
7.1.1	Allgemeines	197
7.1.2	Stoffgruppen des Hopfens im Bier	197
7.1.3	Variabilität der Hopfung und ihr Einfluss auf das Bier	198
7.2	Hopfenrelevante Sensorik	199
7.2.1	Geschmacksempfindung	199
7.2.2	Sensorische Methoden und deren Anwendung	201
7.2.3	Statistische Auswertung sensorischer Daten	208
7.3	Bitterstoffe im Bier	210
7.3.1	Globale Entwicklung der Bierbittere	210
7.3.2	Wesentliches zur Bierbittere	212
7.3.3	Einfluss verschiedener Parameter auf die Isomerisierung bei der Würzekochung	219
7.3.4	Hopfenrelevante Einflussfaktoren auf die Bierbittere	226
7.3.5	Aufteilung von Hopfengaben	230
7.3.6	Einsatz von Downstream-Produkten	234
7.3.7	Verluste an Hopfenbitterstoffen von der Würze bis ins fertige Bier	240
7.3.8	Ausbeute- und Kostenvergleiche	244
7.3.9	Sonstige Aspekte von Hopfenbitterstoffen	247
7.3.10	Nicht hopfenbedingte Einflüsse auf die Bierbittere	260
7.4	Hopfenaromastoffe im Bier	264
7.4.1	Einleitung	264
7.4.2	Beispiele zur Dosage von Hopfen für einen Aromaeintrag	265
7.4.3	Aromadosage mit Hopfenaromaprodukten	267
7.4.4	Aromadosage und Hopfenaromaprodukte nach Bierkultur	268
7.4.5	Einfluss der Hopfensorte auf das Hopfenaroma im Bier	268
7.4.6	Einflussfaktoren auf das Hopfenaroma im Verlauf des Brauprozesses	271
7.4.7	Schlüsselaromastoffe des Hopfens im Bier	273
7.4.8	Einfluss verschiedener Würzekochsysteme auf die Ausbeute von Hopfeninhaltsstoffen	276
7.5	Hopfenpolyphenole im Bier	282
7.5.1	Allgemeines	282
7.5.2	Analyse von Hopfenpolyphenolen	282
7.5.3	Zusammensetzung von HPLC-Polyphenolen in Hopfen	283
7.5.4	Ausbeute an Hopfenpolyphenolen im Bier	285
7.5.5	Vergleich von Malz- und Hopfenpolyphenolen	288
7.5.6	Die Wirkung von Polyphenolen im Bier	289
7.5.7	Dosage von Hopfenpolyphenolen	291
7.6	Spezielle Hopfungsverfahren	295
7.6.1	Hopfenstopfen („dry hopping“)	295
7.6.2	Grünhopfen	302
7.6.3	Lichtstabile Biere	304
7.6.4	Dosage von Downstream-Produkten	305
7.6.5	Hopfenlipide und -wachse	308
7.7	Hopfen und Gushing	311
7.8	Zusammenfassung	313
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>315</b>



## Einleitung

Um 1900 gab es auf dem Buchmarkt allein in deutscher Sprache eine Vielzahl an Lehrbüchern über diverse Hopfenthemen. Da mag es überraschen, dass derzeit in keiner Sprache ein umfassendes Lehrbuch über Hopfen existiert.

Das EBC-Manual of Good Practice mit dem Titel „Hops and Hop Products“, erschienen 1997 mit einer Auflage von immerhin 1.000 Stück, ist seit Jahren vergriffen. Da Hopfen gerade in den letzten zehn bis 15 Jahren verstärkte Aufmerksamkeit in Wissenschaft und Anwendung erfährt, liegt es auf der Hand, ein aktuelles Hopfenbuch ins Auge zu fassen.

Der Fachverlag Hans Carl trat mit der Bitte an Hopfenfachleute heran, gemeinsam ein umfassendes aktuelles Lehrbuch über die relevanten Aspekte des Hopfens zu verfassen. Nicht zuletzt war eine weitere Motivation, das Wissen von Schul- und Hochschulabgängern zu erweitern. So fanden sich acht in der Hopfenbranche tätige Personen zusammen, die den Rohstoff Hopfen aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Das Buch ist für Wissenschaftler, Brauer und Studierende gedacht, die tiefer in die spannende Welt des Hopfens eindringen möchten.

Dass die acht Autoren überwiegend aus der Hallertau stammen, hat rein praktische Gründe. Die mehr als 40 Besprechungen im Autorenkreis waren unter den Aspekten Zeit und Kosten nur bei geografischer Nähe realisierbar. Autoren internationaler Firmen konnten außerdem auf Kollegen in anderen Ländern zurückgreifen und damit auch weltweite Fachkenntnisse einbringen.

Die Hopfensorten (Kapitel 5) – sonst in Zusammenhang mit dem Hopfenanbau (Kapitel 1) beschrieben – werden erst nach den Themen „Hopfenmarkt“ (Kapitel 2), „Hopfeninhaltsstoffe“ (Kapitel 3) und „Qualitätssicherung“ (Kapitel 4) behandelt, da die Kenntnis dieser Kapitel zur Schilderung von Sortenmerkmalen sinnvoll ist.

Schwierig ist die Gliederung von Kapitel 7, „Hopfen im Bier“, da schlüssige Kriterien fehlen. So entstand die Idee von drei Schwerpunkten, nämlich Bitterstoffe, Aromastoffe und Polyphenole des Hopfens im Bier. Diesen drei Säulen sind die Themen „Hopfenrelevante Sensorik“, „Spezielle Hopfungsverfahren“ und „Gushing“ angegliedert.

Kapitel 1 bis 5 sind schwerpunktmäßig nur von je einem Autor verfasst, Kapitel 6 („Hopfenprodukte“) und 7 jedoch von drei bis vier Autoren. Aufmerksame Leser werden unterschiedliche Schreibstile registrieren. Es unterbleibt aber bewusst eine Zuordnung von Kapiteln oder Kapitelteilen zu einzelnen Autoren, da alle für den gesamten Inhalt des Buches stehen.

Am Ende der Kapitel finden sich Literaturangaben, sodass eine vertiefende Beschäftigung mit dem Thema möglich ist. Neben Übersichtsartikeln sind v. a. aktuelle Publikationen berücksichtigt.

Die Autoren danken insbesondere folgenden Personen:

- Susanne Rohner (Verlagsservice, Tegernheim) für Satz und Korrektorat
- Karin Schneider (HVG) für die vielfältige und oft nicht immer einfache Koordination
- Thomas Raiser (J. Barth & Sohn) für das Verfassen von Kapitel 2

### Die Autoren

Christina Schönberger (J. Barth & Sohn)

Bernhard Engelhard und Anton Lutz (Hopfenforschungszentrum Hüll)

Martin Biendl und Willi Mitter (Hopsteiner)

Adrian Forster (HVG)

Andreas Gahr und Roland Schmidt (Hopfenveredlung St. Johann und NATECO<sub>2</sub>, Werke der Handelshäuser J. Barth & Sohn und HVG)