

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: Verlagsservice Rohner, Tegernheim

ISBN 978-3-418-00911-7

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 Terminschwierigkeiten 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, Hopfenpflanzer, 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 Hopfenpflanzer, 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



Grußwort	6
Einleitung	13
1 Hopfenbau	14
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 Warndienst und Bekämpfungsschwellen	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
2 Hopfenmarkt	39
2.1 Einführung	39
2.2 Historie	40
2.3 Preisbestimmende Parameter	40
2.4 Hopfenvorverträge	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
3 Hopfeninhaltsstoffe	47
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
4	Qualitätssicherung	93
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 Analysenmethoden	98
4.4.2	Spezifische Analysenmethoden	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
5	Hopfensorten	118
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
6	Hopfenprodukte	140
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	Varisomerisierte 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 ₂ -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
7	Hopfen im Bier	197
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
8	Ausblick	315

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 Kapiteln 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 NATECO₂, Werke der Handelshäuser J. Barth & Sohn und HVG)

1 Hopfenanbau

Hopfen ist ein unverzichtbarer Rohstoff zur Herstellung von Bier. Zahlreiche Anbauggebiete auf allen Kontinenten und insbesondere eine enorme Vielfalt an Hopfensorten erfüllen nahezu alle qualitativen Wünsche der Brauer, auch wenn diese Wünsche noch so divergierend sind. Allein die Entwicklung der durchschnittlichen Hopfungskosten, unabhängig von der Reduzierung der Hopfengaben, von etwa 0,80 €/hl Bier im Jahr 1960 auf etwa ein Viertel im Jahr 2010 macht deutlich, welche Fortschritte im Hopfenanbau stattfanden bzw. noch stattfinden. Unverändert ist allerdings die Forderung der Brauer nach Hopfen ohne Krankheits- und Schädlingsbefall, also nach „gesundem“ Hopfen mit ansprechendem Aussehen und Geruch.

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick, welche Maßnahmen und Anstrengungen erforderlich sind, um diese Ziele zu erreichen.

1.1 BIOLOGIE DES HOPFENS

Die Kulturpflanze Hopfen (*Humulus lupulus* L.) gehört zur Familie der Hanfgewächse (Cannabaceae) und zur Ordnung der Nesselgewächse (Urticales).

Hopfen ist eine ausdauernde Pflanze, die über einen Wurzelstock im Frühjahr wieder neu austreibt. Gut gepflegte Anlagen können bis zu 25 Jahre kontinuierlich gleichbleibende Erträge liefern. Die Hopfenstöcke werden in mitteleuropäischen Anbaugebieten und in Oregon (USA) nach den Wintermonaten zurückgeschnitten, d. h., die Triebe des Vorjahres werden bis auf die neuen Knospen im Damm unter der Erdbedeckung entfernt (cultivation system) und damit auch Krankheitskeime von Echtem und Falschen Mehltau reduziert. Eine Methode in anderen Anbaugebieten ist, die Austriebe zunächst mechanisch oder chemisch zu entfernen (non cultivation system), um damit das Anfangswachstum zu vermindern und Krankheiten einzudämmen.

Von den vielen Austrieben des Wurzelstocks werden nur zwei oder drei kräftige Triebe an eine Kletterhilfe (Aufleitsdraht oder Aufleitschnur) angeleitet. Weitere Triebe des Stocks werden entfernt. Dies ist überwiegend Handarbeit und stellt die Arbeitsspitze im Hopfenjahr dar. Als rankende Pflanze (rechtswindend) wächst der Hopfen dann mit seinen Klimmhaaren an der Kletterhilfe hoch und kann pro Tag bis zu 30 cm an Länge zunehmen.

Noch vor Erreichen der Gerüsthöhe werden Seitenäste angelegt, an denen die Dolden gebildet werden (Abbildung 1). Je nach Sorte und Jahrgang werden auch an den Haupttrieben kurze



Abb. 1: Hopfendolden wachsen an Seitenästen



Abb. 2: Hopfenreben von 5,5 bis 7,5 m Höhe in Gerüstanlagen

Äste mit Dolden gebildet. Nach der Blüte und Doldenausbildung zeigt sich der Hopfen im vollen Wuchs als sogenannte Aufleitung bzw. Hopfenrebe wie in Abbildung 2.

Hopfen ist eine zweihäusige Pflanze. Dies bedeutet, dass sich an einer Pflanze entweder männliche Gescheine oder weibliche Blüten befinden. Zur Hopfenproduktion werden nur weibliche Pflanzen angebaut, da nur diese Dolden ansetzen. Die Dolde ist botanisch betrachtet ein Zapfen und besteht aus bis zu 60 Einzelblüten. Jede dieser Einzelblüten könnte von männlichen Pollen befruchtet werden und einen Samen ausbilden.

Männliche Pflanzen müssen in den Anbaugebieten gerodet werden, damit es nicht zur unerwünschten Pollenausschüttung und damit auf weiblicher Seite zur Samenbildung kommt. Der hohe Fettsäuregehalt im Samen würde die Schaum- und Geschmacksstabilität der Biere negativ beeinflussen. Nur im Zuchtverfahren für neue Sorten werden männliche Pflanzen zur Kreuzung eingesetzt. Die Hopfendolde (Abbildung 3) besteht aus Spindel und Doldenblättern. Ausbildung und Form

sind wichtige botanische Unterscheidungskriterien für die Hopfensorten. Im Fokus des Interesses liegt jedoch das Lupulin. Dieses gelbe Pulver ist an den Doldenblättern, insbesondere an den sogenannten Vorblättern, in den Lupulindrüsen zu finden.



Abb. 3: Doldenaufbau

Hopfen ist ursprünglich in Flusstälern (Auen) zu finden. Dort kommen sowohl weibliche als auch männliche Pflanzen vor. Zur Arterhaltung wird Samen gebildet, der im Herbst ausreift und im Frühjahr eine neue Pflanze bildet.

Für die Hopfenproduktion erfolgt die Vermehrung rein vegetativ, d. h., Pflanzenteile, die im Frühjahr vom Stock abgeschnitten und eingepflanzt werden, treiben an Knospen („Augen“) aus und bilden neue Pflanzen. Für die Hopfenpflanzerei ist dies die Hauptform der Vermehrung zur Neuanlage von Hopfengärten. Die vegetative Vermehrung kann auch über junge Triebe erfolgen, die über einer Blattetage abgeschnitten und in Erde gepflanzt werden. Durch die vegetative Vermehrung bleibt die jeweilige Pflanze bzw. Sorte genetisch völlig unverändert.

1.2 GERÜSTFORMEN

Hopfen benötigt für sein Wachstum in der freien Natur Bäume oder Sträucher als Kletterhilfe und im landwirtschaftlichen Anbau Holz- oder Betongerüste mit Drahtverspannungen, um sein Längswachstum voll entfalten zu können. In den Hopfenanbaugebieten weltweit haben sich Gerüsthöhen von 5,5 m wie z. B. in den USA und England, 7,0 m beispielsweise in der Hallertau und 7,5 m in Tett nang entwickelt. Diese Gerüste werden als Hochgerüste bezeichnet. Nachteilig sind die hohen Kosten, die schwierige Ausbringung der Pflanzenschutzmittel und die Sturmanfälligkeit. Andererseits bringen die angebauten Sorten bei diesen Gerüsthöhen optimale Erträge. Um die Nachteile dieser Gerüstform auszuschließen, werden seit einigen Jahren Gerüstformen mit nur 2,5 bis 3,0 m geprüft (Abbildung 4). Dazu sind allerdings neue Techniken bei der Bodenbearbeitung, der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und der Ernte erforderlich. Um die Form der sogenannten Niedrigergerüstanlagen voranzubringen, ist die Züchtung neuer Sorten notwendig. Die bisherigen Sorten liegen beim Anbau in den Niedrigergerüsten im Ertrag um 30 bis 50 % niedriger. Die möglichen Einsparungen an Produktionskosten können den niedrigeren Ertrag noch nicht ausgleichen.



Abb. 4: Niedrigergerüstanlage mit 3 m Gerüsthöhe

In China wird wegen starker Winde aus dem Norden eine spezielle Form dieser Niedrigerüstanlagen eingesetzt. Die Aufleitform ist vergleichbar mit laubenartigen Weinanlagen und erfordert viel Handarbeit.

1.3 ANBAUGEBIETE

Die wichtigste Einschränkung für den Anbau von Hopfen kommt nicht von Boden- und Klimabedingungen, sondern von den Lichtverhältnissen bzw. Tageslängen. Die Umstellung von der vegetativen Wachstumsphase auf die generative (geschlechtliche) Phase erfolgt bei einer Tageslänge von 16 bis 18 Stunden. Wenn die Tage dann wieder kürzer werden bilden sich die Blüten. Diese Bedingungen werden nur zwischen dem 35. und 55. Breitengrad auf der Nord- und Südhalbkugel erfüllt (Abbildung 5). In den Randbereichen der Breitengrade wie z. B. im Anbauggebiet George in Südafrika sind daher auch nur noch sehr spät reifende Sorten anbaufähig. Da in diese Zone auf der südlichen Halbkugel nur die Spitzen von Südamerika, Afrika und Australien (Tasmanien) sowie Neuseeland (Südinselfall) fallen, haben sich die Hauptanbauländer auf der Nordhalbkugel etabliert.

1.3.1 Mitteleuropa

Das größte Anbauggebiet der Welt ist die Hallertau im Süden der Bundesrepublik Deutschland (Bayern). Gute klimatische Bedingungen, günstige Bodenverhältnisse und eine bäuerliche Betriebsstruktur haben über zwei Jahrhunderte zu dieser Konzentration des Hopfenanbaus geführt. In Deutschland befinden sich auch Anbauggebiete in Tettanng (Bodensee-Gebiet), Spalt (südlich von Nürnberg) und im Elbe-Saale-Bereich. Weitere bedeutende Anbauggebiete in Mitteleuropa liegen u. a. in Tschechien, Polen, Slowenien, England und Frankreich.

In Mitteleuropa können Sommer vorkommen, in denen die Wasseransprüche des Hopfens nicht voll erfüllt werden. Damit sind Mindererträge und geringere Alpha-Säuren-Gehalte verbunden.

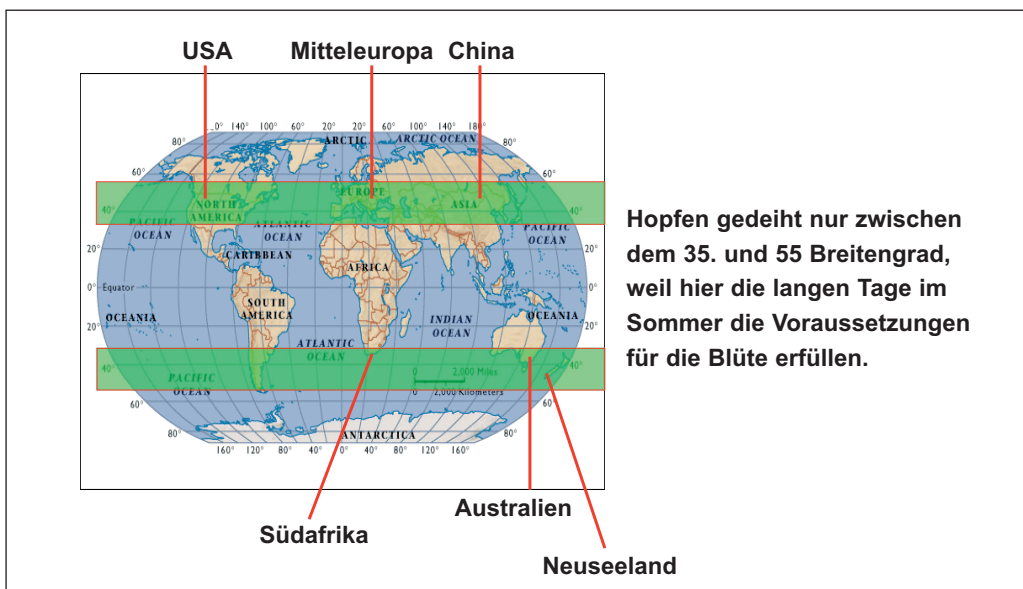


Abb. 5: Hopfen produzierende Länder in der Nord- und Südhemisphäre (Weltkarte von <http://www.mapquest.de>)

Auf der Nordhalbkugel ist die wichtigste Voraussetzung für gute Erträge und Inhaltsstoffe ausreichend Regen in den Monaten Juni, Juli und August mit jeweils etwa 100 mm/m².

Im extremen Sommer 2003 wurden in den wichtigen Monaten Juni bis August nur 40 % der durchschnittlichen Regenmenge erreicht, mit gravierenden Auswirkungen auf Ertrag und Alpha-Säuren-Gehalt. Statt des langjährigen Alpha-Säuren-Durchschnitts von 7,4 % bei der Sorte Perle und 13,9 % bei Hallertauer Magnum wurden nur 3,9 bzw. 11,7 % erreicht. Das Optimum an Ertrag und Qualität wurde 2008 erreicht. Die Regenmenge und vor allem die Regenverteilung waren in diesem Jahr besonders günstig (Abbildung 6).

In den mitteleuropäischen Anbaugebieten fehlt häufig das notwendige Oberflächen- und Grundwasser zur Bewässerung aller Flächen. Aktivitäten werden entwickelt, um zumindest ein Drittel der Hopfenfläche mit Tröpfchenbewässerung zu versorgen.

1.3.2 USA

Der erste Hopfenanbau in den USA erfolgte an der Ostküste, hat sich dann aber in den Westen in die Staaten Washington, Oregon und Idaho verlagert. Das Hauptanbaugebiet befindet sich heute im Yakimatal südöstlich von Seattle. Da dort die natürlichen Niederschläge nicht ausreichen, wurde schon vor Jahrzehnten mit künstlicher Bewässerung gegengesteuert. Die Sicherheit der Wasserrechte war und ist in diesem Gebiet ein existenzieller Grundpfeiler. Dies schafft die Voraussetzung für jährlich gleichbleibende Erträge und Qualitäten.

Lang anhaltende Hitzeperioden mit bis zu 40 °C sind weniger günstig für die Aromaausbildung. Deshalb dominieren auch die Bitter- und Hochalphasorten. In Oregon und Idaho ist das Klima ausgeglichener mit höheren Niederschlägen und gemäßigten Temperaturen. Der Anteil der Aromasorten ist dort deshalb auch höher.

1.3.3 China

Die chinesischen Anbaugebiete befinden sich im Nordosten im Bereich der Ausläufer der Wüste Gobi. Dort herrschen sehr starke Winde, die den Anbau auf Hochgerüstanlagen unmöglich

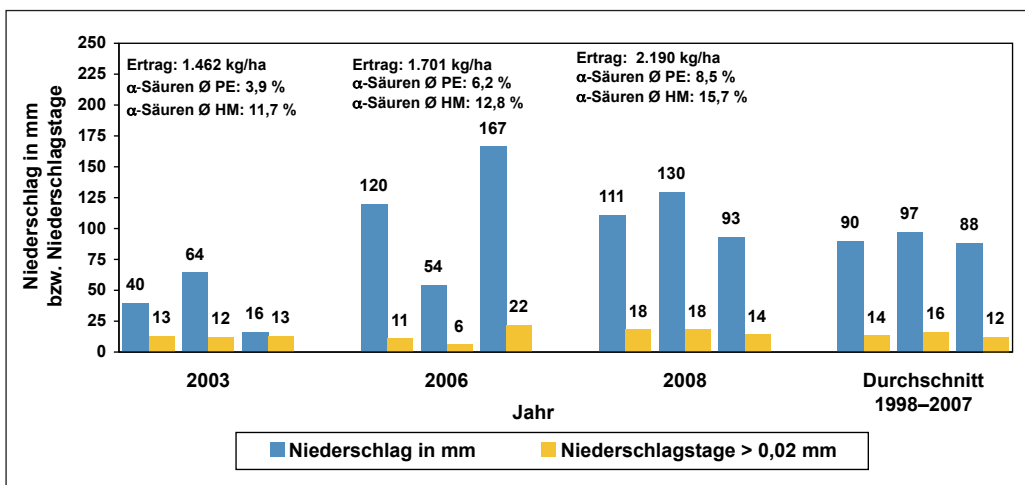


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Ertrag sowie α-Säurenmengen der Hallertauer Hopfensorten Perle (PE) und Hallertauer Magnum (HM) und den Regenmengen von Juni bis August (Daten zum Niederschlag von der Agrarmeteorologischen Station Hüll)

machen. Da eine Verlagerung der Anbauggebiete in südlichere Gebiete des Landes mit weniger Wind ebenfalls nicht möglich ist, weil dann die Tageslängen zu kurz werden (35. Breitengrad), muss auf Niedrigergerüsten produziert werden. Als Land mit der größten Bierproduktion erzeugt China den Hopfen fast ausschließlich für den Eigenbedarf.

1.4 FLÄCHENENTWICKLUNG

Die Flächenreduzierung von 1990 bis 2010 (Tabelle 1) zeigt, dass die Hopfenproduzenten weltweit reagieren, wenn keine kostendeckenden Preise zu erzielen sind bzw. die Produktion nicht über Vorverträge zu festen Preisen abgesichert ist. Für die Brauer bedeutet dies, dass die jährliche Flächenentwicklung beobachtet werden muss und rechtzeitig Vorverträge zur kontinuierlichen Belieferung abgeschlossen werden sollten, insbesondere bei Sorten mit geringer Fläche. Die Flächenentwicklung in ausgewählten Ländern (Tabelle 2) gibt einen Überblick über die wichtigsten Produzenten. Rund 60 % der Fläche werden von zwei Ländern abgedeckt: Deutschland und den USA. Bezogen auf die Alpha-Säuren-Produktion beläuft sich die Menge auf rund 75 %. Weltweit wird eine große Anzahl von Sorten mit den verschiedensten Inhaltsstoffen und Eigenschaften angebaut. Allerdings belegen derzeit die zehn wichtigsten Sorten in Deutschland rund 95 % und in den USA rund 85 % der Anbauflächen.

Interessant sind auch die Unterschiede im Anteil an Aromahopfen und Bitterhopfen (Tabelle 1).

1.5 UMWELTGERECHTE HOPFENPRODUKTION

Hopfen ist ein Naturprodukt, das stark auf Jahrgangseinflüsse reagiert. Auch bei noch so guter Produktionstechnik gibt es in allen Anbaugebieten der Welt witterungsbedingte Einflüsse, die sich sowohl auf die äußere Qualität als auch auf die Inhaltsstoffe auswirken.

Produktionstechnische Einzelheiten zu Anbau, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte können in diesem Zusammenhang nicht ausführlich behandelt werden. Wichtig ist eine Hopfenproduktion, die dem Brauer gesunden Hopfen zur Verfügung stellt, der gleichzeitig keine unzulässigen Rückstände enthält. Im Wesentlichen werden produktionstechnische Maßnahmen beschrieben,

		1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Welt	ha	91.271	86.786	58.991	50.273	49.466	50.455	57.297	57.108	ca. 52.772
Deutschland	ha	20.113	21.930	18.594	17.161	17.170	17.671	18.695	18.485	18.386
davon		(BRD)								
Aromahopfen	%	63	62	58	59	60	59	56	53	53
Bitterhopfen	%	37	38	42	41	40	41	44	47	47
USA	ha	14.357	17.490	14.627	11.924	11.884	12.510	16.551	16.076	12.647
davon										
Aromahopfen	%	31	30	24	39	40	41	35	25	26
Bitterhopfen	%	69	70	76	61	60	59	65	75	74
Tschechien	ha	11.807	10.074	6.108	5.672	5.415	5.389	5.335	5.305	5.187
davon		(CSFR)								
Aromahopfen	%	100	100	100	99	99	99	99	99	98
Bitterhopfen	%	0	0	0	1	1	1	1	1	2
China	ha	ca. 8.500	ca. 6.550	4.930	3.486	3.544	4.106	5.683	ca. 7.200	ca. 5.100
davon										
Aromahopfen	%	5	4	4	11	15	17	13	ca. 13	ca. 12
Bitterhopfen	%	95	96	96	89	85	83	87	ca. 87	ca. 88

Tab. 1: Entwicklung der Hopfenanbauflächen von 1990 bis 2010

Tab. 2: Veränderung der Hopfenflächen in ausgewählten Ländern während der letzten 20 Jahre. Die Auflistung der Länder erfolgte nach ihrer flächenmäßigen Bedeutung im Jahr 2010.

	Anbaufläche in ha		Veränderung
	1991	2010	+/-
Deutschland	22.567	18.386	-4.181 ha (-19 %)
USA	16.018	12.647	-3.371 ha (-21 %)
Tschechien	10.201	5.187	-5.014 ha (-49 %)
China	ca. 8.000	ca. 5.100	-2.900 ha (-36 %)
Polen	2.225	ca. 2.000	-225 ha (-9 %)
Ukraine	7300	1.345	-5.955 ha (-82 %)
Slowenien	2.388	1.237	-1.151 ha (-48 %)
England	3527	1.100	-2.427 ha (-69 %)
Frankreich	584	536	-48 ha (-8 %)
Australien	1.125	514	-611 ha (-53 %)
Spanien	1.387	477	-910 ha (-66 %)
Rumänien	2.380	220	-2.160 ha (-91 %)
Welt	91.409	ca. 52.772	-38.637 ha (-42%)

die einen umweltschonenden und nachhaltigen Hopfenanbau gewährleisten. Grundlage dazu sind mehrjährige Feldversuche und die Umsetzung der Ergebnisse über die Beratung. Die folgenden Kapitel beschreiben diese Produktion am Beispiel mitteleuropäischer Anbauländer.

1.5.1 Bodenpflege und Bodenschutz

Der Boden ist für den Hopfenpflanzer ein sehr wichtiger Produktionsfaktor. Die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit muss hohe Priorität haben. Hopfen als Dauerkultur wird weltweit in Reihen bewirtschaftet, die 2,7 bis 4,2 m voneinander entfernt sind. Zwischen den Reihen bietet die Hopfenpflanze keinen Schutz vor Bodenerosion.

Während die gesamte Fläche in früheren Jahren durch ständige Bodenbearbeitung frei von Pflanzenwuchs gehalten wurde, versucht man heute, den Boden zwischen den Reihen mit Zwischenfrüchten möglichst lange bedeckt zu halten. Eingesät werden Winterraps, Winterrüben, Ölrettich oder Roggen.

Untersaaten (Abbildung 7) verringern nicht nur die Erosion, sondern haben auch positive Wirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit:

- Sie verbessern die Bodenstruktur durch intensive Durchwurzelung.
- Durch die Bildung organischer Masse tragen sie zur Verbesserung der Humusbilanz bei.
- Durch Stickstoffbindung verringern sie die Nitratauswaschung während des Winters und schützen so die Gewässer.
- Sie erhöhen die biologische Aktivität des Bodens.

Die Hopfenreihe (Bifang) wird, um eine direkte Wasserkonkurrenz auszuschalten, frei von Pflanzenwuchs gehalten.

1.5.2 Nährstoffversorgung nach Bodenanalysen

Nur ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis zwischen den Hauptnährstoffen Kalk, Phosphat, Kali und Magnesium sichert ein gesundes Pflanzenwachstum und einen hohen Ertrag. Die Höhe des Vorrats bzw. der Nachlieferung dieser Nährstoffe wird in den Hopfengärten mittels Boden-



Abb. 7: Untersaaten zwischen den Hopfenreihen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

untersuchungen festgestellt. Mit dem Analyseergebnis erhält der Hopfenpflanzer Hinweise, welche Mengen an Dünger aktuell gegeben werden müssen.

Hopfen ist auch auf Spurenelemente angewiesen. Bor und Zink werden in höheren Mengen benötigt, als dies bei anderen Kulturen der Fall ist. Im Bedarfsfall können Spurenelemente kurzfristig auch direkt über das Blatt gegeben werden, um Wachstumsdepressionen zu vermeiden. Der Nährstoff Stickstoff nimmt eine besondere Stellung ein. Bei einer Unterversorgung reagiert der Hopfen relativ rasch mit Ertragsminderungen. Zu hohe Gaben andererseits

- fördern das Blattwachstum und die Anfälligkeit gegenüber Krankheiten
- belasten durch Auswaschung das Grundwasser
- erhöhen den Nitratgehalt in den Hopfendolden.

Über langfristige Düngungsversuche konnte festgestellt werden, welche Mengen an Stickstoff zu welchem Zeitpunkt abgestimmt auf die Hopfensorte gegeben werden müssen, damit nitratarme Hopfendolden umweltschonend produziert werden können.

Die Bodenuntersuchungsergebnisse und die Höhe der Düngergaben müssen von den Hopfenpflanzern zum Nachweis gesetzlicher Vorgaben mindestens sieben Jahre archiviert werden.

1.5.3 Pflanzenschutz nach Warndienst und Bekämpfungsschwellen

Hopfen wird jährlich von Schadorganismen befallen, die entsprechend bekämpft werden müssen. Ziel der Pflanzenschutzmaßnahmen muss sein, den Hopfen bis zur Ernte gesund zu erhalten. Es sollen jedoch auch nicht zu viele Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, weil dadurch nur zusätzliche Produktionskosten entstehen und die Umwelt belastet wird.

Grundsätzlich gilt, dass die Hopfenproduktion ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht möglich ist, auch nicht im sogenannten biologischen Anbau. Aufgabe der Forschung an Hopfeninstituten und Universitäten ist es, Bekämpfungsschwellen und Prognosemodelle zu erarbeiten. Diese Entscheidungshilfen erlauben es der Beratung und dem Hopfenpflanzer, festzustellen, ob und wann eine Bekämpfung gegen den entsprechenden Schadorganismus notwendig ist. Die Bekämpfungsschwelle ist erreicht, wenn der zu erwartende Schaden größer ist als die Kosten des Produkts und der Ausbringung.

1.5.3.1 Berücksichtigung der Resistenzeigenschaften der Sorten

Die Widerstandsfähigkeit der Sorten gegen die Schadorganismen wird als Resistenz bezeichnet. Diese Widerstandsfähigkeit ist genetisch festgelegt und damit langfristig in den Sorten veran-

kert. Bei der Züchtung neuer Sorten muss die Selektion auf Widerstandsfähigkeit ein erstes Ziel sein.

Weltweit werden die Sorten von den Züchtern im Versuchsanbau im direkten Vergleich beurteilt und auf Widerstandsfähigkeit bzw. Anfälligkeit hinsichtlich der wichtigsten Schadorganismen (Tabelle 3) eingestuft.

	Schadorganismus	Art
Krankheiten	Welke	<i>Verticillium albo-atrum</i>
	Peronospora Primärinfektion Sekundärinfektion	<i>Pseudoperonospora humuli</i>
	Echter Mehltau	<i>Podosphaera macularis</i>
	Botrytis	<i>Botrytis cinerea</i>
Schädlinge	Gemeine Spinnmilbe	<i>Tetranychus urticae</i>
	Blattlaus	<i>Phorodon humuli</i>
	Liebstöckelrüssler	<i>Otiorhynchus ligustici</i>
	Schattenwickler	<i>Cnephasia alticolana</i>

Tab. 3: Wichtige Schadorganismen bei Hopfen

Resistenzen der Sorten sind auf Dauer nicht stabil. Insbesondere die Krankheitserreger versuchen in der Natur, den Resistenzcode durch genetische Änderungen zu durchbrechen und das Überleben für ihre Art zu garantieren. Die Einteilung der Sorten in Resistenzgruppen ist deshalb veränderlich und muss aufgrund von Praxisbeobachtungen und neuen Versuchsergebnissen laufend angepasst werden.

1.5.3.2 Warndienst für *Peronospora* (*Pseudoperonospora humuli*)

Für die *Peronospora* (Falscher Mehltau, Abbildung 8) gibt es in fast allen Anbauregionen der Welt einen Warndienst. In Bayern hat die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft einen *Peronospora*-Warndienst eingerichtet. Früher wurden gegen diese Krankheit im wöchentlichen Turnus 15 bis 17 Bekämpfungsmaßnahmen pro Saison durchgeführt. Mit der Einführung des Warndienstes konnte die Anzahl der Spritzungen auf drei bis vier bei toleranten Zuchtsorten und auf fünf bis sechs Behandlungen bei anfälligen Sorten reduziert werden.

An vier bis fünf Stationen in der Hallertau und an jeweils einer Station in Spalt und Hersbruck



Abb. 8: *Peronospora* – Schadbild am Blatt und an den Dolden. Bei Befall sind die Dolden nicht mehr vermarktungsfähig.

wird mithilfe einer Sporenfalle (Abbildung 9) täglich die Anzahl der Zoosporangien in der Luft ermittelt. Witterungsdaten von über zehn Messstationen, die in EDV-Witterungsmodellen verarbeitet werden, liefern zusätzliche Informationen zur Vorhersage der Peronospora-Befallswahrscheinlichkeit. Aufgrund der Vielzahl der gewonnenen Daten gibt der Peronospora-Warndienst täglich über den telefonischen Ansagedienst und das Internet bekannt, ob Peronospora-gefahr besteht. Steigt die Anzahl der Zoosporangien in der Vier-Tages-Summe vor der Blüte über 30 (50 bei toleranten Sorten) und nach der Blüte über zehn (20 bei toleranten Sorten) bei gleichzeitiger Regenbenetzung von mehreren Stunden, erfolgt ein Spritzauftrag für die jeweiligen Sortengruppen.



Abb. 9: Sporenfalle im Hopfengarten zur Ermittlung der Zoosporangienzahl; vorn im Bild die Wetterstation

Der tägliche Abruf der Warndiensthinweise vom telefonischen Ansagedienst oder aus dem Internet ermöglicht es dem Pflanze, ausschließlich bei Infektionsgefahr zu spritzen. Folgendes ist dabei zu beachten:

- Die Bestände müssen laufend auf Krankheitsmerkmale kontrolliert werden.
- Die Bekämpfung ist spätestens zwei Tage nach Aufruf durchzuführen.
- Wildwachsende Hopfen sind zu roden, weil sie meist von Peronospora befallen sind und benachbarte Hopfengärten gefährden.
- Eine ordnungsgemäße Bekämpfung des Erstbefalls im Frühjahr (Primärinfektion) ist Voraussetzung für die Spritzung nach diesem Warndienst.

1.5.3.3 Warndienst für Echten Mehltau (*Podosphaera macularis*)

Diese Krankheit führt nicht in allen Anbaugebieten und nicht in jedem Jahr zu einer Infektion. Abbildung 10 und 11 zeigen die typischen Schadbilder auf Blatt und Dolden. Auch bei der Anfälligkeit gegen diesen Erreger bestehen deutliche Sortenunterschiede.

Die Biologie dieses Schaderregers ist sehr komplex. Prognosemodelle zur wirksamen Bekämpfung sind erst im Aufbau. In den Anbaugebieten der USA gibt es seit 2003 einen Warndienst zu Echtem Mehltau. Die Prognose geht davon aus, dass bei anfälligen Sorten aufgrund der Produktionstechnik bereits ab Austrieb (flag shoots) im Frühjahr Infektionen möglich und regel-



Abb. 10: Schadbild des Echten Mehltaus auf dem Blatt – Pilzmyzel zerstört das Blattgewebe und damit die Ertragsleistung



Abb. 11: Sehr starker Befall mit Echtem Mehltau auf Hopfendolden

mäßige Spritzungen notwendig sind. Je nach Witterung und Pflanzenschutzmittel können die Intervalle der Spritzungen jedoch zwischen sieben und 18 Tagen schwanken.

In der Hallertau wird ebenfalls an der Einführung eines Prognosemodells gearbeitet. Die Grundlagen dazu wurden zunächst in orientierenden Praxisversuchen gelegt und von 2007 bis 2009 in Labor- und Freilandprüfungen mit reproduzierbaren, wissenschaftlich abgesicherten Tests erarbeitet. Unter Berücksichtigung dieser neuesten Erkenntnisse zur Biologie und Epidemiologie des Echten Mehltaus in Hopfen wurde die Prognose 2009 in der Hallertau flächendeckend eingeführt. Dazu werden Witterungsparameter von Wetterstationen, die über das Internet verfügbar sind, täglich nach einer vorgegebenen Formel zu einem Indexwert (0 bis 1) verrechnet (Abbildung 12, schwarze Kurve). Über die Vegetationsperiode ergibt sich eine Kurve, die mit Bekämpfungsschwellen verglichen wird. Liegt die Infektionskurve über einer der Schwellen, ist eine Bekämpfungsmaßnahme gegen den Echten Mehltau notwendig. Im Beispiel von Abbildung 12 erfolgt somit am 14. Mai ein Aufruf zur Spritzung für alle Sorten. Zum Unterschied dazu wird am 9. Juli und am 13. August nur die rote Linie überschritten. Daher sind nur Hopfengärten zu behandeln, in denen bei Kontrollen ein Befall festgestellt wird. Überschreitet die Indexkurve auch die grüne Linie, sind zusätzlich anfällige Sorten zu behandeln, selbst wenn der Bestand befallsfrei ist.

Dabei ist Folgendes von besonderer Bedeutung:

- Die Mehлтаuprognose ist darauf ausgelegt, Erstinfektionen zu verhindern. Werden Pusteln gefunden, z. B. verursacht durch einen Wildhopfen, kann der Befall kaum mehr vollständig bekämpft werden.
- Die Bekämpfung im Frühjahr ist besonders wichtig. Da die Pflanzen zu diesem Zeitpunkt noch klein sind, kann mit wenig Aufwand viel erreicht werden.
- Spritzungen zu einem Zeitpunkt ohne Infektionsrisiko sind wirkungslos.

Vorbeugende, produktionstechnische Maßnahmen (z. B. reduzierte Stickstoffdüngung) tragen ebenfalls dazu bei, den Befall zu reduzieren.

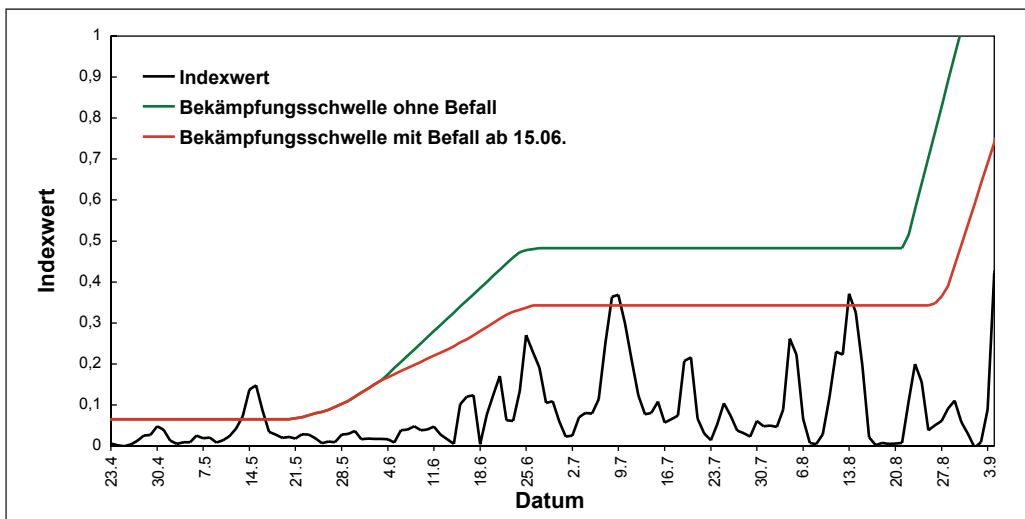


Abb. 12: Prognose zur Bekämpfung des Echten Mehltaus in der Hallertau. Basierend auf Witterungsdaten wird ein Index (schwarze Linie) errechnet. Bei einer Überschreitung der Bekämpfungsschwellen wird ein Spritzaufwurf ausgelöst.

1.5.3.4 Bekämpfungsschwellen für Schädlinge

Bei der Bekämpfung der wichtigsten Schädlinge wurden ebenfalls Schwellenwerte erarbeitet. Jeder Landwirt muss die notwendigen Kontrollen selbst durchführen, um zu ermitteln, in welcher Stärke die Schädlinge in seinen Beständen auftreten. Zu beachten ist dabei, dass der aktuelle Befall grundsätzlich nicht mit den Bedingungen des Vorjahres vergleichbar ist. Die eigene Kontrolle vor einer Pflanzenschutzmaßnahme ist deshalb zwingend erforderlich.

Gemeine Spinnmilbe (*Tetranychus urticae*)

Grundsätzlich sind zu diesem Schädling (Abbildung 13) mindestens zwei Kontrollen notwendig. An mindestens 20 Einzelblättern pro Hektar Hopfenfläche wird die durchschnittliche Anzahl der Spinnmilben durch Zählung – in der Regel mit einer Lupe – festgestellt. Für jedes Blatt errechnet sich daraus entsprechend der Tabelle 4 ein Indexwert. Der Durchschnitt der 20 Werte pro Hektar ergibt den Befallsindex für den jeweiligen Hopfengarten. Wird die Bekämpfungsschwelle (siehe Abbildung 14, dicke gepunktete Linie) überschritten, ist eine Pflanzenschutzbehandlung notwendig. Als Faustregel bei der ersten Bonitur eines Gartens gilt, dass ein leichter Befall auf jedem zweiten Blatt bereits auf einen bekämpfungswürdigen Spinnmilbenbefall verweist.

Sehr wichtig ist die zweite Bonitur 25 bis 45 Tage vor der geplanten Ernte. Ist zu diesem Zeitpunkt die Bekämpfungsschwelle nicht überschritten, so kann der Schädling auch bei optimalen Vermehrungsbedingungen keine Population mehr aufbauen, die Schaden verursacht. Ein späterer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist in der Regel nicht mehr möglich, da die Wartezeit (festgelegter Zeitraum zwischen letztmöglichem Einsatztermin und Ernte) dann nicht mehr eingehalten werden kann.

Ertragsermittlungen haben ergeben, dass bis zu 70 Spinnmilben pro Blatt zum Zeitpunkt der Ernte noch toleriert werden können. Bis zu diesem Befall werden weder Ertrag noch Alpha-Säuren-Gehalt negativ beeinflusst. In vielen Versuchen konnte sogar nachgewiesen werden, dass der Alpha-Säuren-Gehalt bei geringem Spinnmilbenbefall ansteigt.



Abb. 13: Gemeine Spinnmilbe – gelbe Blattauffhellungen zeigen, dass die Spinnmilben auf der Blattunterseite saugen und Nährstoffe entziehen. Bei Doldenbefall werden diese bräunlich.

Spinnmilben	Geschätzte Anzahl Spinnmilbeneier			
	0	<30	30 bis 300	>300
0	0	1	2	3
1 bis <10	1	1	2	3
10 bis <50	2	2	3	3
50 bis <100	3	3	3	4
100 bis <1.000	4	4	4	5
>1.000	5	5	5	5

Tab. 4: Ermittlung des Befallsindex zur Bekämpfung der Gemeinen Spinnmilbe

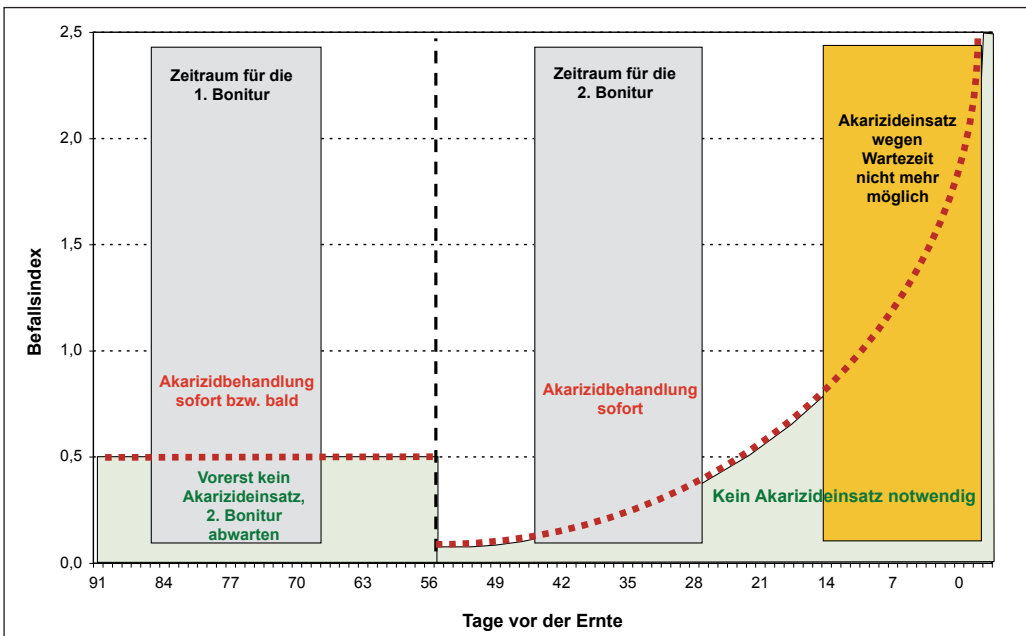


Abb. 14: Bekämpfungsschwellenmodell für die Gemeine Spinnmilbe

Hopfenblattlaus (*Phorodon humuli*)

Die Hopfenblattlaus (Abbildung 15) ist in jedem Jahr in fast jedem Hopfengarten ein bekämpfungswürdiger Schädling. Die Überwinterung erfolgt an Bäumen und Sträuchern der Prunus-Arten (z. B. Pflaumen, Mirabellen). Im Frühjahr, je nach Witterung ca. Mitte Mai, entwickelt sich eine geflügelte Form, die auf den Hopfen als alleinigen Sommerwirt wechselt und die Sommerpopulation aufbaut. Durch Saugen an den Blättern werden der Hopfenpflanze wichtige Nährstoffe entzogen. Dies führt zu Mindererträgen und Qualitätseinbußen.

Für den Hopfenpflanzer ist es wichtig, durch Kontrollen den optimalen Termin der Bekämpfungsmaßnahme festzulegen. Sind zum Zeitpunkt der Doldenbildung Blattläuse auf den Pflanzen, besteht die große Gefahr, dass sie in die Dolden eindringen und dort nicht mehr bekämpft werden können.



Abb. 15: Hopfenblattlaus auf Blatt und Dolden – Befall durch die auf Hopfen spezialisierte Blattlausart kann zu totalem Ertragsausfall führen

1.5.4 Weitere Optimierung des Pflanzenschutzmittelaufwands

Werden die Beratungshinweise zu den Prognosemodellen für Krankheiten beachtet und die Kontrollen in den Hopfengärten zur Feststellung der Bekämpfungsschwellen durchgeführt, ist bereits ein großes Maß an sachgerechtem Pflanzenschutz erfüllt. Weitere Maßnahmen führen zur Optimierung des Pflanzenschutzes.

1.5.4.1 Behandlung von Teilflächen

Eine praxisübliche Methode, den Mittelaufwand zu minimieren, ist die Behandlung von Einzelstöcken oder Teilflächen. Dadurch lässt sich die zu behandelnde Fläche auf einen Bruchteil der gesamten Kulturfläche begrenzen:

- Einzelstockbehandlung: 0,05 % der Gesamtfläche
- Reihenspritzung: 10 bis 30 % der Gesamtfläche
- Teilflächenbehandlung: 5 bis 30 % der Gesamtfläche

Mit einem durchschnittlichen Reihenabstand von 3,2 m und einem Einzelpflanzenabstand von 1,5 m in der Reihe ist Hopfen für dieses Verfahren gut geeignet. Tabelle 5 zeigt die jeweils geeigneten Applikationsarten für die wichtigsten Schadorganismen und Unkräuter.

Neben den Kosten wird auch eine eventuelle Beeinträchtigung der im Boden lebenden Nützlinge minimiert.

Tab. 5: Applikationsverfahren zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln

	Einzelstock-behandlung	Reihen-spritzung	Teilflächen-behandlung
Liebstöckelrüssler	x	x	x
Schattenwickler		x	x
Peronospora (Primärinfektion)	x	x	x
Stockfäule (mehrere Erreger)	x		x
Unkraut-bekämpfung		x	

1.5.4.2 Technische Ausstattung der Spritzgeräte

In Anbauländern mit hohem technischen Standard ist es heute üblich, dass die Spritzgeräte in regelmäßigem Turnus in anerkannten Werkstätten überprüft werden. Nur wenn alle Bauteile, insbesondere Pumpen, Manometer und Düsen, voll funktionsfähig sind, kann eine gute Verteilung des Pflanzenschutzmittels über die gesamte Wuchshöhe der Pflanze gewährleistet werden. Schadhafte Technik bringt unbefriedigende Wirkung und erfordert zusätzliche Spritzungen. Damit Pflanzenschutzmittel nicht auf Nachbarflächen, auf angrenzende Straßen oder in Gewässer (Gräben, Bäche) gelangen, wurde eine spezielle Technik erarbeitet. Dieses sogenannte abdriftmindernde Spritzverfahren (spezielle Düsen, Windleitblech, zweimalige Spritzungen in Richtung Hopfen) ist z. B. in Deutschland offiziell als abdriftmindernde Technik anerkannt.

1.5.5 Biologisch erzeugter Hopfen für Bio-Biere

Weltweit wird zunehmend über Bio-Biere diskutiert. Zur Herstellung dieser Biere sind Rohstoffe notwendig, die nach Bio-Richtlinien produziert wurden. Die Behandlung dieser Rohstoffe muss durchgängig bis zur Brauerei nach diesen Richtlinien erfolgen.

Ökologische Produktion geht von einer ganzheitlichen Betrachtung der Produktionsvoraussetzungen aus: Boden – Standortwahl – Bodenpflege – Sortenwahl – auf die Witterung abgestimmte Bodenbearbeitung – standortgerechte organische Düngung – Förderung der Vermehrung bzw. Einsatz von Nützlingen

Die wichtigsten Unterschiede zwischen der Produktion nach Bio-Richtlinien und konventionellem Anbau sind

- der Verzicht auf mineralischen Stickstoffdünger
- der Verzicht auf synthetische Pflanzenschutzmittel.

Da Brauer von Bio-Bieren dieselben Qualitätsanforderungen an den Rohstoff Hopfen haben wie alle anderen Brauer, muss auch der Bio-Hopfenpflanzer die Schadorganismen bekämpfen.

Mit Unterstützung der Hopfenforschungseinrichtungen müssen Wege gefunden werden, mit denen die Produktionsrichtlinien der Öko-Verbände (in Deutschland z. B. Bioland, Naturland, Demeter) eingehalten werden können und vermarktungsfähiger Hopfen produziert werden kann. Eine sehr wichtige Vorgabe ist die Sortenwahl. Brauer von Bio-Bieren sollten auf sehr krankheitsanfällige Sorten verzichten. Je nach Infektionsdruck, der witterungsbedingt von Jahr zu Jahr stark schwankt, können diese Sorten auch bei bester Produktionstechnik mit den Mitteln des Bio-Landbaus nicht gesund erhalten werden. Bestimmte Anbauggebiete, Standorte und Sorten eignen sich besonders gut. Gegen Schadorganismen tolerante Sorten können mit folgenden Produkten gesund gehalten werden:

Peronospora (Falscher Mehltau)

- Kupferhaltige Pflanzenschutzmittel in reduzierter Menge. Die Kupfermenge wird in der Praxis auf häufigere, aber insgesamt geringe Einzelgaben aufgeteilt (bis zu zehn Behandlungen).
- Unterstützt wird die Wirkung durch biologische Präparate wie Gesteinsmehl, Braunalgen, Schwefel und Hornkiesel.
- Primärinfektionen, sogenannte Bubiköpfe, müssen von Hand entfernt werden.

Echter Mehltau

Diese Krankheit spielt im Öko-Hopfenbau eine untergeordnete Rolle, da kein mineralischer, leicht löslicher Stickstoffdünger eingesetzt wird. Die kombinierten Spritzungen mit schwefelhaltigen Produkten reichen zur Bekämpfung des Echten Mehltaus aus.

Blattläuse

Die früher häufig verwendeten Produkte Spruzit (Chrysanthemenextrakt) und NeemAzal (Azadirachtin) sind in ihrer Wirkung nicht mehr so effektiv. Als sehr gut wirksam hat sich in Versuchen am Hüller Hopfenforschungszentrum der Extrakt von Holz des in Südamerika wachsenden Strauchs *Quassia amara* (Quassin) herausgestellt.

Gemeine Spinnmilbe

Eine wirksame Hilfe gegen diesen Schädling, der über den Boden zuwandert, ist die Einsaat von Zwischenfrüchten und die Entfernung der Blätter an der Rebenbasis. In Kombination mit der Anbringung von Leimbarrieren an der Rebe kann dieser Schädling in Schach gehalten werden.

Auch Bio-Hopfenpflanzer müssen Pflanzenschutzbehandlungen durchführen (z. T. sogar häufiger als die konventionellen Anbauer), sie verwenden dafür allerdings Produkte auf natürlicher Basis. Die Produktion erfordert einen deutlich höheren Arbeitseinsatz, sodass die Produktionskosten pro Kilogramm Hopfen bei gleichzeitig niedrigerem Ertrag um über 50 % höher angesetzt werden müssen. Werden die Hopfenpartien zu Pellets verarbeitet, müssen vor der Verarbeitung alle Einrichtungen peinlichst gereinigt werden, damit keine Kontamination mit synthetischen Wirkstoffen erfolgt.

Die Hopfenproduktion nach Richtlinien der Bio-Verbände ist möglich, aber aufwendiger und damit teurer.

1.6 VERMEIDUNG VON UNERWÜNSCHTEN RÜCKSTÄNDEN IN DEN HOPFENDOLDEN

Brauereien verbinden ihren Vertrag in der Regel mit Spezifikationen hinsichtlich erlaubter oder verbotener Rückstände. Neben Vorgaben zu Pflanzenschutzmittelrückständen werden Begrenzungen bei Nitratgehalten und Schwermetallen häufig gesondert beschrieben.

Durch die Produktionstechnik kann der Hopfenpflanzer den Nitratgehalt und die Höhe der Pflanzenschutzmittel-Rückstände beeinflussen.

1.6.1 Nitratgehalt

Der Einfluss der Stickstoffdüngung wurde bereits unter 1.5.2 (S. 20) beschrieben. Schwankungen beim Nitratgehalt werden auch von der Witterung während der Ernte hervorgerufen. Feuchtigkeit, kombiniert mit Temperaturen über 15 °C, regen den Stoffwechsel an und führen zu erhöhten Nitratgehalten. In gewissem Umfang gibt es auch noch Sortenunterschiede.

1.6.2 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln

1.6.2.1 Rückstandshöchstmengen in Lebensmitteln

Um Pflanzenschutzmittel einsetzen zu können, müssen in der EU für jeden Wirkstoff und jede Kultur einheitliche Rückstandshöchstmengen festgesetzt sein. Dabei wird die Unbedenklichkeit über umfangreiche Labor- und Feldversuche nachgewiesen, die nach den Richtlinien der GLP (Good Laboratory Practice) durchgeführt und dokumentiert werden müssen. Für die Festsetzung der Höchstmenge sind in allen Ländern unabhängige staatliche Behörden zuständig.

Bestimmung der erlaubten Tagesdosis (Acceptable Daily Intake, ADI-Wert)

Im Labor werden an verschiedenen Tierarten alle Auswirkungen der zu untersuchenden Substanz z. B. Kanzerogenität in Kurzzeit- (drei Monate) und Langzeitfütterungsversuchen (zwei Jahre) geprüft. Aus diesen Daten wird die erlaubte Tagesdosis errechnet (ADI-Wert). Dieser Wert stellt die Wirkstoffmenge dar, die nach aktuellem Kenntnisstand täglich ein Leben lang ohne erkennbares Risiko aufgenommen werden kann. Angegeben wird er in Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht und Tag.

Da Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln nicht nur in einer Kultur eingesetzt werden, wird die tägliche Aufnahme verschiedener Nahrungsmittel (abgeleitet vom Pro-Kopf-Verzehr) berücksichtigt, um die theoretisch maximale Aufnahmemenge, den TMDI-Wert (TMDI: Theoretical Maximum Daily Intake), zu berechnen. Dieser Wert stellt die theoretisch höchstmögliche Aufnahme pro Person und Tag dar. Dabei wird unterstellt, dass alle Nahrungsmittel mit der maximal zulässigen Höchstmenge belastet sind. Sollte der TMDI-Wert den ADI-Wert übersteigen, ist der sogenannte Warenkorb überschritten und Zulassungen in Kulturen werden gestrichen bzw. weitere Zulassungen werden nicht mehr ausgesprochen.

Versuche zur Überprüfung der tatsächlichen Rückstände bei guter landwirtschaftlicher Praxis

Unabhängig von den Laborprüfungen muss für jeden Wirkstoff, der in einer Kultur z. B. Hopfen eingesetzt werden soll, in Feldprüfungen nachgewiesen werden, dass die maximal zulässige Höchstmenge bei „guter fachlicher Praxis“ eingehalten wird. Dazu sind vier repräsentative Feldversuche notwendig. Dabei wird das Pflanzenschutzmittel mit der maximalen Zahl von Anwendungen und der maximalen Aufwandmenge eingesetzt. Bei der letzten Spritzung muss bis zur Ernte ein bei der Zulassung des Pflanzenschutzmittels als Auflage festgeschriebener Zeitraum eingehalten werden, die sogenannte Wartezeit. Nach einem festgelegten Schema werden Ernteproben aus den Parzellen entnommen und der Wirkstoffgehalt des Produkts im Erntegut analysiert. Aus diesen Werten wird die Abbaukurve errechnet. Entscheidend ist der höchste Rückstandswert, der unter Berücksichtigung der Wartezeit zum Zeitpunkt der Ernte gefunden wird.

Zulässige Rückstandshöchstmenge

Liegt der zum Zeitpunkt der Ernte gefundene Rückstandswert unter dem ADI-Wert – in der Regel unter 20 % – wird dieser als „maximal zulässige Höchstmenge“ festgesetzt. Die Rückstandshöchstmenge wird in mg/kg Lebensmittel angegeben. Liegt der in den Rückstandsversuchen ermittelte Wert über dem ADI-Wert, wird die Wartezeit verlängert oder das Produkt für diese Indikation nicht zugelassen. Besteht die Möglichkeit, dass ein Wirkstoff im Bier vorkommt, müssen zusätzlich Sudversuche durchgeführt werden.