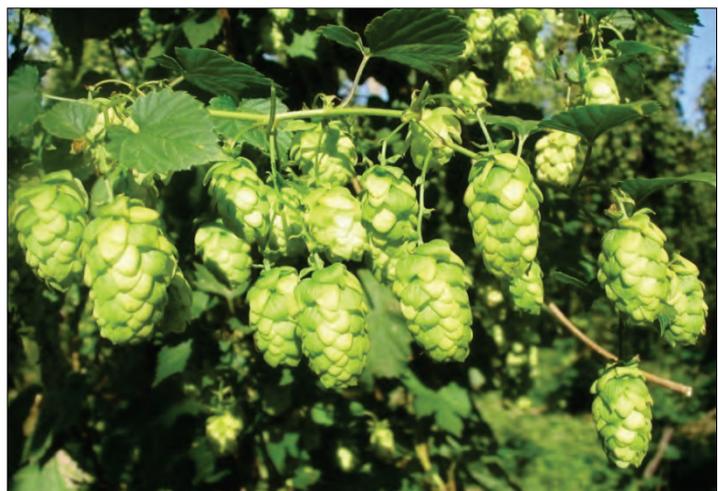




**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Hopfen für alle Biere der Welt



**LfL-Information**

## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Arbeitsbereich Hopfen  
Hüll 5 1/3, 85283 Wolnzach  
E-Mail: [Hopfenforschungszentrum@LfL.bayern.de](mailto:Hopfenforschungszentrum@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08442/9257-0

1. Auflage: März 2011

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 5,00 Euro

© LfL



# **Hopfen**

## **für alle Biere der Welt**

**B. Engelhard, A. Lutz und E. Seigner**

**Hinweis:** Zielgruppen für diese LfL-Informationsschrift sind Hopfenvermarkter, Hopfenveredler und insbesondere Brauer. Es ist eine Vorabveröffentlichung des produktionstechnischen, landwirtschaftlichen Teils des Fachbuches „Hopfen“, das 2011 im Fachverlag Hans Carl erscheinen wird.

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                | Seite     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Hopfen für alle Biere der Welt.....</b>                                                   | <b>7</b>  |
| 1.1 Biologie des Hopfens .....                                                                 | 7         |
| 1.2 Gerüstformen.....                                                                          | 8         |
| 1.3 Anbauggebiete.....                                                                         | 9         |
| 1.3.1 Mitteleuropa .....                                                                       | 9         |
| 1.3.2 USA.....                                                                                 | 11        |
| 1.3.3 China .....                                                                              | 11        |
| 1.4 Flächenentwicklung .....                                                                   | 11        |
| <b>2 Umweltgerechte Hopfenproduktion .....</b>                                                 | <b>13</b> |
| 2.1 Bodenpflege und Bodenschutz.....                                                           | 13        |
| 2.2 Nährstoffversorgung nach Bodenanalysen.....                                                | 14        |
| 2.3 Pflanzenschutz nach Warndienst und Bekämpfungsschwellen.....                               | 15        |
| 2.3.1 Berücksichtigung der Resistenzeigenschaften der Sorten.....                              | 15        |
| 2.3.2 Warndienst für Peronospora ( <i>Pseudoperonospora humuli</i> ).....                      | 16        |
| 2.3.3 Warndienst für Echten Mehltau ( <i>Podosphaera macularis</i> ) .....                     | 17        |
| 2.3.4 Bekämpfungsschwellen für Schädlinge .....                                                | 19        |
| 2.4 Weitere Optimierung des Pflanzenschutzmittelaufwands.....                                  | 21        |
| 2.4.1 Behandlung von Teilflächen .....                                                         | 21        |
| 2.4.2 Technische Ausstattung der Spritzgeräte .....                                            | 22        |
| 2.5 Biologisch erzeugter Hopfen für Bio-Biere .....                                            | 22        |
| <b>3 Vermeidung von unerwünschten Rückständen in den Hopfendolden.....</b>                     | <b>24</b> |
| 3.1 Nitratgehalt.....                                                                          | 24        |
| 3.2 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln.....                                                  | 24        |
| 3.2.1 Erarbeitung und amtliche Festsetzung von Höchstmengen in<br>Lebensmitteln .....          | 24        |
| 3.2.2 Bewertung der Rückstandshöchstmengen von Hopfen im Vergleich zu<br>Gemüse und Obst ..... | 25        |
| 3.2.3 Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben .....                                                | 27        |
| <b>4 Hopfensorten.....</b>                                                                     | <b>28</b> |
| 4.1 Definition von Aroma- und Bitterhopfen.....                                                | 28        |
| 4.2 Züchtungsmethoden .....                                                                    | 28        |
| 4.2.1 Allgemeines.....                                                                         | 28        |
| 4.2.2 Auslesezüchtung (Klonselektion).....                                                     | 29        |
| 4.2.3 Kreuzungszüchtung .....                                                                  | 31        |

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.3.1  | Wesentliche Beweggründe für die Kreuzungszüchtung .....   | 31        |
| 4.2.3.2  | Anfänge der Kreuzungszüchtung .....                       | 33        |
| 4.2.3.3  | Rasante Zuchtfortschritte in den letzten Jahrzehnten..... | 33        |
| 4.2.3.4  | Abläufe der Kreuzungszüchtung .....                       | 34        |
| 4.2.3.5  | Sortenschutz .....                                        | 38        |
| 4.2.3.6  | Weitere weltweit verwendete Zuchtmethoden .....           | 39        |
| 4.3      | Das Kommen und Gehen von Hopfensorten.....                | 40        |
| 4.3.1    | Sorten ohne Anbaubedeutung .....                          | 41        |
| 4.3.2    | „Eintagsfliegen“ .....                                    | 42        |
| 4.3.3    | Zeitweise erfolgreiche Hopfensorten .....                 | 42        |
| 4.3.4    | Dauerläufer .....                                         | 42        |
| 4.3.4.1  | Perle.....                                                | 43        |
| 4.3.4.2  | Aurora.....                                               | 43        |
| 4.3.4.3  | Marynka .....                                             | 44        |
| 4.3.4.4  | Hallertauer Tradition .....                               | 44        |
| 4.3.4.5  | Spalter Select.....                                       | 44        |
| 4.3.4.6  | Cascade.....                                              | 44        |
| 4.3.4.7  | Willamette .....                                          | 45        |
| 4.3.4.8  | Wye Target .....                                          | 45        |
| 4.3.4.9  | Nugget .....                                              | 45        |
| 4.3.4.10 | Galena.....                                               | 45        |
| 4.3.4.11 | Hallertauer Magnum .....                                  | 45        |
| 4.3.4.12 | Hallertauer Taurus .....                                  | 46        |
| 4.3.4.13 | CTZ-Sorten.....                                           | 46        |
| 4.3.5    | Aufsteiger .....                                          | 46        |
| 4.4      | Ernte .....                                               | 47        |
| 4.4.1    | Erntetermin .....                                         | 47        |
| 4.4.2    | Erntetechnik .....                                        | 50        |
| 4.5      | Nacherntebehandlung.....                                  | 52        |
| 4.5.1    | Trocknung .....                                           | 52        |
| 4.5.2    | Konditionierung .....                                     | 53        |
| <b>5</b> | <b>Literatur .....</b>                                    | <b>54</b> |

# 1 Hopfen für alle Biere der Welt

Brauer weltweit erwarten von Hopfen - den für das Bierbrauen unverzichtbaren Rohstoff - höchste optische Qualität und unterschiedlichste Zusammensetzung der wertbestimmenden Inhaltsstoffe. Gesunde, grüne Hopfendolden werden durch optimierte Produktionstechnik erzielt. Die zweite Forderung wird über das unterschiedliche Sortenangebot erfüllt.

„Qualität ist, was der Kunde wünscht“ ist eine gängige Aussage und trifft in der Regel auch zu. Auf Hopfen übertragen heißt das, dass der Brauer andere Vorstellungen von der Hopfenqualität hat als der Hopfenpflanzer oder der Hopfenhandel. Aber auch von Brauer zu Brauer gehen die Anforderungen weit auseinander. Der Hopfenpflanzer zu Beginn der Wertschöpfungskette muss durch Sortenwahl und produktionstechnische Maßnahmen versuchen, alle Forderungen weitgehend zu erfüllen.

## 1.1 Biologie des Hopfens

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



Abb. 1: Hopfendolden wachsen an Seitenästen



Abb. 2: Doldenaufbau



Abb. 3: Hopfenreben in Gerüstanlagen von 5,5 bis 7,5 m Höhe

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 Erdabdeckung entfernt

(cultivation system) und damit auch Krankheitskeime von Echtem und Falschem Mehltau reduziert. Eine Methode in anderen Anbaugebieten ist es, 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 (Aufleitdraht 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 dann der Hopfen mit seinen Klimmhaaren an der Kletterhilfe hoch und kann bis zu 30 cm pro Tag an Länge zunehmen.

Noch vor Erreichen der Gerüsthöhe werden Seitenäste angelegt, an denen die Dolden gebildet werden (Abb. 1). Je nach Sorte und Jahrgang werden auch an den Haupttrieben kurze Äste mit Dolden gebildet. Nach der Blüte und Doldenausbildung zeigt sich dann der Hopfen im vollen Wuchs als sogenannte „Aufleitung“ bzw. „Hopfenrebe“ wie in Abb. 3.

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 (Abb. 2) besteht aus Spindel und Doldenblättern. Ausbildung und Form sind wichtige botanische Unterscheidungskriterien für die Hopfensorten. An den Doldenblättern, insbesondere an den sog. Vorblättern, sind die Lupulindrüsen zu finden, die das Lupulin bilden. Im Prinzip ist nur dieses gelbe Pulver von Interesse.

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 Längenwachstum 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 hohe Sturmanfälligkeit. Die angebauten Sorten bringen andererseits bei diesen Gerüsthöhen die optimalen Erträge.

Um die Nachteile dieser Gerüstform auszuschließen, werden seit einigen Jahren Gerüstformen mit nur 2,5 bis 3,0 m geprüft. Es sind dazu allerdings neue Techniken bei der Bodenbearbeitung, Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und der Ernte erforderlich (Darby, 2004). Um die Form der sog. „Niedrigerüstanlagen“ voranzubringen, ist die Züchtung neuer Sorten notwendig (Darby, 1993; Seigner und Lutz, 2009). Die bisherigen Sorten liegen beim Anbau in den Niedrigerüsten im Ertrag um 30 bis 50 % niedriger. Die möglichen Einsparungen an Produktionskosten können den niedrigeren Ertrag noch nicht ausgleichen.

In China wird wegen starker Winde aus dem Norden eine spezielle Form dieser Niedrigerüstanlagen praktiziert. 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 in die generative (geschlechtliche) Phase erfolgt bei einer Tageslänge von 16 – 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 (siehe Abb. 4). In den Randbereichen der Breitengrade wie z. B. im Anbaugebiet 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 (Südinsel) fallen, haben sich die Hauptanbauländer auf der Nordhalbkugel etabliert.

#### **1.3.1 Mitteleuropa**

Das größte Anbaugebiet 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 Anbaugebiete in Tett nang (Bodensee-Gebiet), Spalt (südlich von Nürnberg) und im Elbe-Saale-Bereich.

Weitere bedeutende Anbaugebiete in Mitteleuropa liegen unter anderem in Tschechien, Polen, Slowenien, England und Frankreich.

In Mitteleuropa können auch Sommer vorkommen, in denen die Wasseransprüche des Hopfens nicht voll erfüllt werden. Damit sind Mindererträge und geringere Alphasäuregehalte verbunden. 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/m<sup>2</sup>.

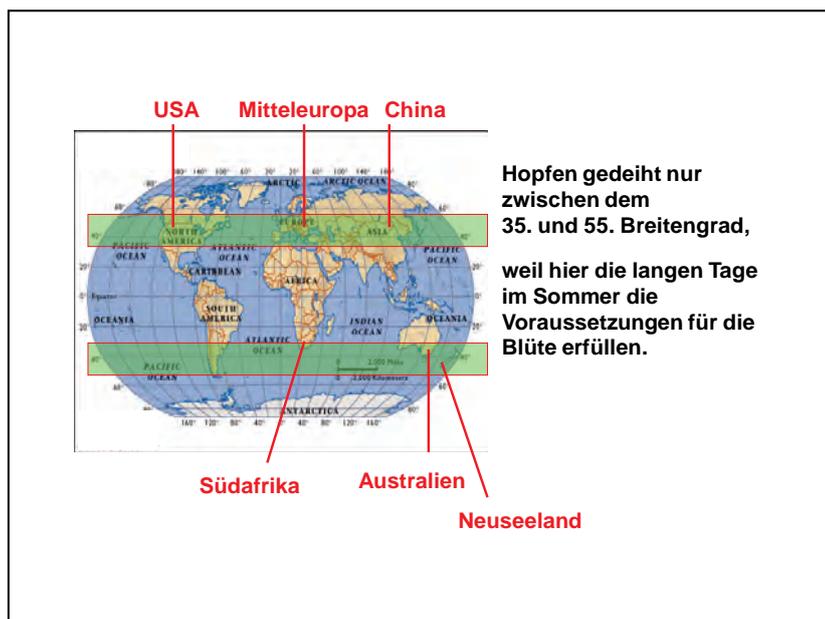


Abb. 4: Hopfenproduzierende Länder in der Nord- und Südhemisphäre. Weltkarte von <http://www.mapquest.de/>

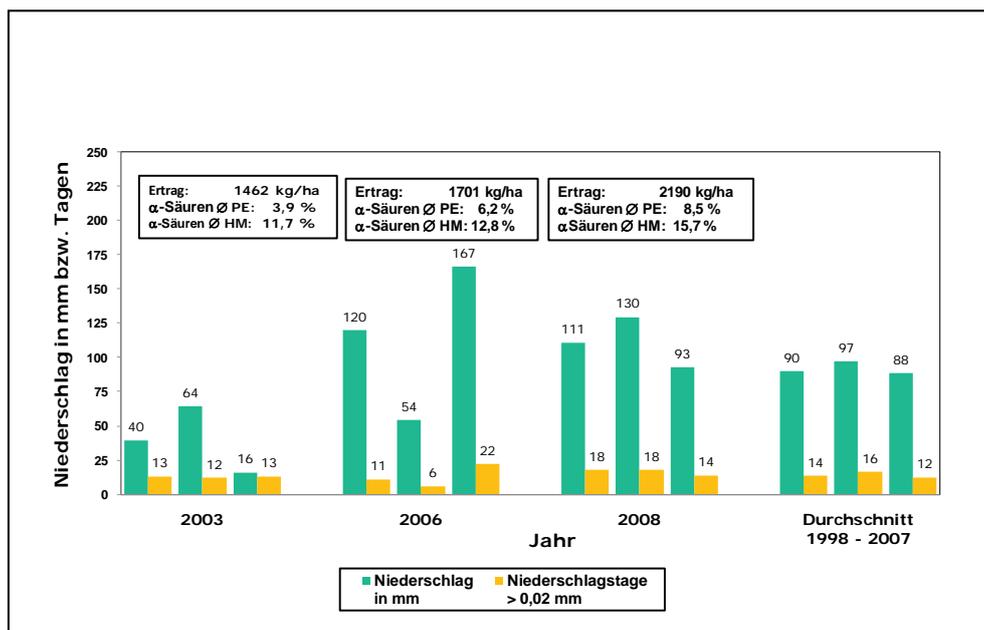


Abb. 5: Zusammenhang von Ertrag und  $\alpha$ -Säurenmengen der Hallertauer Hopfesorten Perle (PE) und Hallertauer Magnum (HM) mit den Regenmengen von Juni bis August. Daten zum Niederschlag von der Agrarmeteorologischen Station Hüll

Im extremen Sommer 2003 wurden in den wichtigen Monaten Juni – August nur 40 % der durchschnittlichen Regenmenge erreicht, mit gravierenden Auswirkungen auf Ertrag und  $\alpha$ -Säuregehalt. Statt des langjährigen Alphasäurendurchschnittes 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 (Abb. 5).

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

### 1.3.2 USA

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

Langanhaltende Hitzeperioden mit bis zu 40° C sind weniger günstig für die Aromaausbildung. Es dominieren deshalb 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 mit sehr starken Winden, die den Anbau auf Hochgerüstanlagen unmöglich machen. Da eine Verlagerung der Anbaugebiete in südlichere Gebiete des Landes mit weniger Wind ebenfalls nicht möglich ist, weil dann die Tageslängen zu kurz werden (35. Breitengrad), muss auf Niedrigerüsten produziert werden. Als Land mit der größten Bierproduktion erzeugt China den Hopfen fast ausschließlich für den Eigenbedarf.

## 1.4 Flächenentwicklung

Die Flächenreduzierung von 1990 auf 2010 zeigt (Tab. 1), 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, insbesondere bei Sorten mit geringer Fläche, Vorverträge zur kontinuierlichen Belieferung abgeschlossen werden sollten.

Die Flächenentwicklung in ausgewählten Ländern (Tab. 2) gibt einen Überblick über die wichtigsten Produzenten. Rund 60 % der Fläche werden von zwei Ländern, Deutschland und den USA, abgedeckt. Bezogen auf die Alphasäurenproduktion 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 (Tab. 1).

Tab. 1: Entwicklung der Hopfenanbauflächen von 1990 bis 2010

|                    |    | 1990      | 1995      | 2000   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009      | 2010       |
|--------------------|----|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| <b>Welt</b>        | ha | 91.271    | 86.786    | 58.991 | 50.273 | 49.466 | 50.455 | 57.297 | 57.108    | ca. 52.772 |
| <b>Deutschland</b> | 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         |
| <b>USA</b>         | 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         |
| <b>Tschechien</b>  | 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          |
| <b>China</b>       | 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. 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<br>+/-        |
|-------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
|             | 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%)         |
| <b>Welt</b> | <b>91.409</b>     | <b>ca. 52.772</b> | <b>- 38.637 ha (-42%)</b> |

## 2 Umweltgerechte Hopfenproduktion

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

Alle produktionstechnischen Einzelheiten zu Anbau, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte können in diesem Zusammenhang nicht ausführlich behandelt werden. Im Wesentlichen werden produktionstechnische Maßnahmen beschrieben, die dazu dienen, einen umweltschonenden und nachhaltigen Hopfenanbau zu gewährleisten. Ebenso wichtig ist es, dem Brauer Hopfen zur Verfügung zu stellen, der gleichzeitig keine unerlaubten Rückstände von Pflanzenschutzmitteln enthält.

Die folgenden Kapitel beschreiben diese Produktion am Beispiel mitteleuropäischer Anbauländer.

### 2.1 Bodenpflege und Bodenschutz

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

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

Untersaaten (Abb. 6) verringern nicht nur die Erosion, sondern haben auch positive Wirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit:

- Sie verbessern die Bodenstruktur durch intensive Durchwurzelung.
- Durch die Bildung von organischer Masse liefern sie einen Beitrag zur Verbesserung der Humusbilanz.
- Sie verringern die Nitratauswaschung durch Stickstoffbindung 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.



Abb. 6: Untersaaten zwischen den Hopfenreihen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit

## 2.2 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 Bodenuntersuchungen 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.

Eine besondere Stellung nimmt der Nährstoff Stickstoff 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 und
- 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 fünf Jahre archiviert werden.

## **2.3 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 aber auch nicht zu viele Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, weil dadurch nur zusätzliche Produktionskosten entstehen und die Umwelt unnötig belastet wird.

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

### **2.3.1 Berücksichtigung der Resistenzeigenschaften der Sorten**

Als Resistenz wird die Widerstandsfähigkeit der Sorten gegen die Schadorganismen bezeichnet. Diese Widerstandsfähigkeit ist genetisch festgelegt und damit langfristig in den Sorten verankert. Bei der Züchtung neuer Sorten muss die Selektion auf Widerstandsfähigkeit ein erstes Ziel sein (siehe Kapitel 4).

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

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

Tab. 3: Wichtige Schadorganismen bei Hopfen

|             | Schadorganismus                                  | Art                             |
|-------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Krankheiten | Welke                                            | <i>Verticillium albo-atrum</i>  |
|             | Peronospora Primärinfektion<br>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>          |
|             | Liebstockelrüssler                               | <i>Otiorrhynchus ligustici</i>  |
|             | Schattenwickler                                  | <i>Cnephasia alticolana</i>     |

### 2.3.2 Warndienst für Peronospora (*Pseudoperonospora humuli*)

Für die Peronospora (Falscher Mehltau, Abb. 7) 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 - 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 4 - 5 Stationen in der Hallertau und an jeweils einer Station in Spalt und Hersbruck wird mit Hilfe einer Sporenfalle (Abb. 8) 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 Peronosporagefahr besteht. Steigt die Anzahl der Zoosporangien in der 4-Tagessumme vor der Blüte über 30 (50 bei toleranten Sorten) und nach der Blüte über 10 (20 bei toleranten Sorten) bei gleichzeitiger Regenbenetzung von mehreren Stunden, erfolgt ein Spritzaufwurf für die jeweiligen Sortengruppen.

Der tägliche Abruf der Warndiensthinweise vom telefonischen Ansagedienst oder aus dem Internet ermöglicht es dem Pflanzler, 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.



Abb. 7: *Peronospora* – Schadbild am Blatt und an den Dolden. Bei Befall sind die Dolden nicht mehr vermarktungsfähig.



Abb. 8: Sporenfalle im Hopfengarten zur Ermittlung der Zoosporangienzahl, vorne im Bild die Wetterstation

### 2.3.3 Warndienst für Echten Mehltau (*Podosphaera macularis*)

Diese Krankheit führt nicht in allen Anbaugebieten und nicht in jedem Jahr zu einer Infektion. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die typischen Schadbilder auf Blatt und Dolden. Es bestehen auch bei der Anfälligkeit gegen diesen Erreger deutliche Sortenunterschiede.



Abb. 9: Schadbilder des Echten Mehltaus auf dem Blatt – Pilzmyzel zerstört das Blattgewebe und damit die Ertragsleistung



Abb. 10: Sehr starker Befall mit Echtem Mehltau auf Hopfendolden

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 Echten Mehltau. Die Prognose geht davon aus, dass bei anfälligen Sorten auf Grund der Produktionstechnik bereits ab Austrieb (flag shoots) im Frühjahr Infektionen möglich und regelmäßige 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 (Schlagenhauser, 2010) erarbeitet. Unter Berücksichtigung dieser neuesten Erkenntnisse zur Biologie und Epidemiologie des Echten Mehltaus in Hopfen wurde die Prognose 2009 in der Hallertau flächendeckend eingeführt (Engelhard und Schlagenhauser, 2009). Dazu werden Witterungsparameter von Wetterstationen, die über das Internet verfügbar sind, täglich nach einer vorgegebenen Formel zu einem Indexwert (0 – 1) verrechnet (Abb. 11, schwarze Kurve). Über die Vegetationsperiode ergibt sich eine Kurve, die mit Bekämpfungsschwellen verglichen wird. Liegt die Infektionskurve über einer der Schwellen, ist gegen den Echten Mehltau eine Bekämpfungsmaßnahme notwendig. Im Beispiel von Abb. 11 erfolgt somit am 14.05. ein Aufruf zur Spritzung für alle Sorten. Zum Unterschied dazu wird am 09.07. und 13.08. 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.

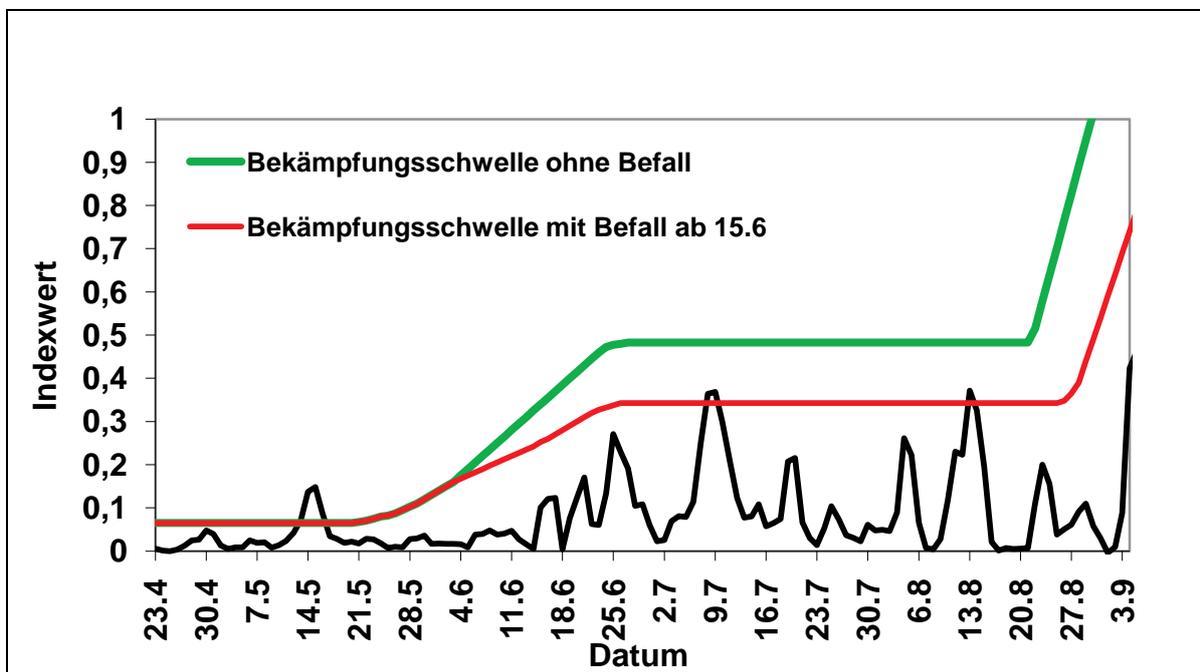


Abb. 11: Prognose zur Bekämpfung des Echten Mehltaus in der Hallertau. Basierend auf Witterungsdaten wird ein Index (schwarze Linie) errechnet. Bei einer Überschreitung der Bekämpfungsschwellen wird ein Spritzaufruf ausgelöst.

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.

### 2.3.4 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 (Abb. 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 (Weihrauch, 2004). Der Durchschnitt der 20 Werte pro Hektar ergibt den Befallsindex für den jeweiligen Hopfengarten. Wird die Bekämpfungsschwelle (siehe Abb. 12, 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 einen bekämpfungswürdigen Spinnmilbenbefall (Weihrauch, 2003) bedeutet.

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

| Spinnmilben    | Geschätzte Anzahl Spinnmilben-Eier |      |            |       |
|----------------|------------------------------------|------|------------|-------|
|                | 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 < 1000 | 4                                  | 4    | 4          | 5     |
| > 1000         | 5                                  | 5    | 5          | 5     |

Sehr wichtig ist die zweite Bonitur 25 – 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 Pflanzschutzmitteln 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 Alphasäuregehalt negativ beeinflusst. In vielen Versuchen konnte sogar nachgewiesen werden, dass bei geringem Spinnmilbenbefall der Alphasäuregehalt ansteigt (Wehrauch, 2005).

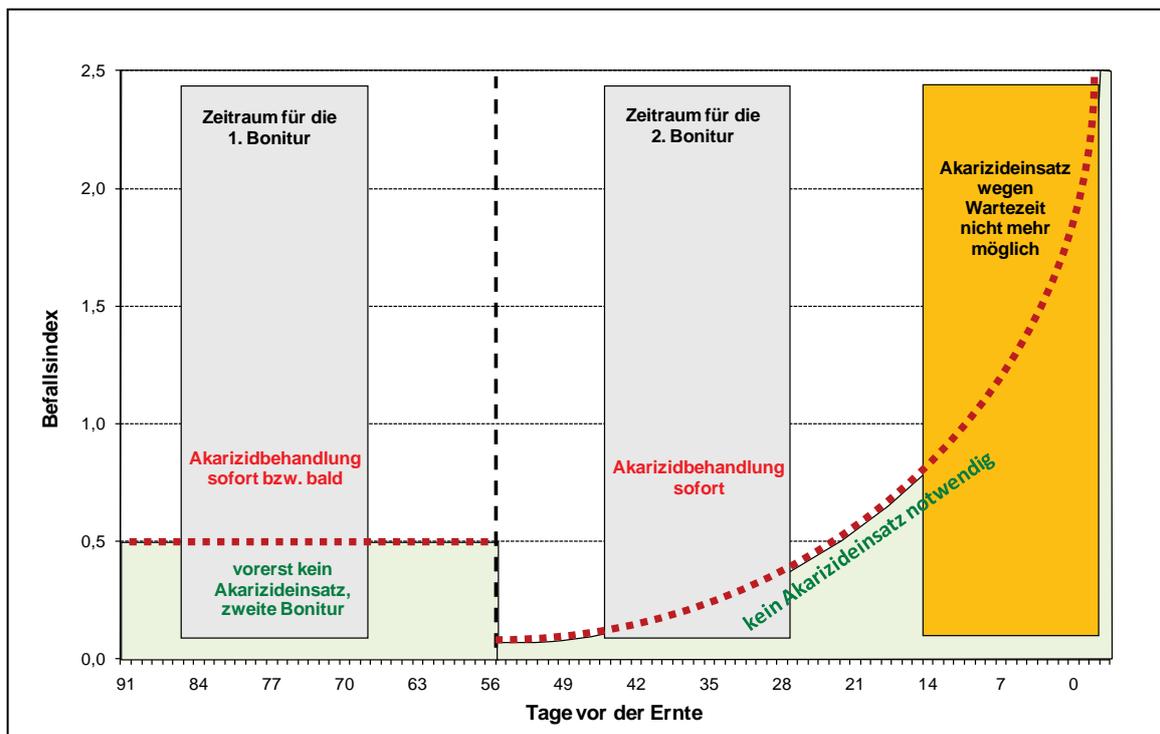


Abb. 12: Bekämpfungsschwellenmodell für die Gemeine Spinnmilbe



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

### **Hopfenblattlaus (*Phorodon humuli*)**

Die Hopfenblattlaus (Abb. 14) 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. 14: Hopfenblattlaus auf Blatt und Dolden – Befall durch die auf Hopfen spezialisierte Blattlausart kann zu totalem Ertragsausfall führen.*

## **2.4 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.

### **2.4.1 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 – 30 % der Gesamtfläche |
| Teilflächenbehandlung: | 5 – 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.

Tab. 5: Applikationsverfahren zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln

|                                  | <b>Einzelstock-<br/>behandlung</b> | <b>Reihen-<br/>Spritzung</b> | <b>Teilflächen-<br/>behandlung</b> |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Liebstöckelrüssler               | X                                  | X                            | X                                  |
| Schattenwickler                  |                                    | X                            | X                                  |
| Peronospora<br>(Primärinfektion) | X                                  | X                            | X                                  |
| Stockfäule<br>(mehrere Erreger)  | X                                  |                              | X                                  |
| Unkrautbekämpfung                |                                    | X                            |                                    |

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

#### 2.4.2 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.

Um zu vermeiden, dass Pflanzenschutzmittel 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.

### 2.5 Biologisch erzeugter Hopfen für Bio-Biere

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

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

Da Brauer von Bio-Bieren grundsätzlich 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 einerseits die Produktionsrichtlinien der Öko-Verbände (in Deutschland z. B. Bioland, Naturland, Demeter) eingehalten werden können und andererseits 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 10 Behandlungen).
  - Unterstützt wird die Wirkung durch biologische Präparate wie Gesteinsmehl, Braunalgen, Schwefel und Hornkiesel.
  - Primärinfektion, sog. „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 aus, den Echten Mehltau zu bekämpfen.

- Blattläuse

Die früher häufig verwendeten Produkte Spruzit (Chrysanthemen-Extrakt) 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 allerdings Produkte auf natürlicher Basis.

Die Produktion erfordert einen deutlich höheren Arbeitseinsatz, so dass 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.

### **3 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 häufig Begrenzungen bei Nitratgehalten und Schwermetallen gesondert beschrieben.

Durch die Produktionstechnik können vom Hopfenpflanzler der Nitratgehalt und die Höhe der Pflanzenschutzmittel-Rückstände beeinflusst werden.

#### **3.1 Nitratgehalt**

Der Einfluss der Stickstoffdüngung wurde bereits unter Punkt 2.2 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.

#### **3.2 Rückstände von Pflanzenschutzmitteln**

##### **3.2.1 Erarbeitung und amtliche Festsetzung von Höchstmengen in Lebensmitteln**

Um Pflanzenschutzmittel einsetzen zu können, muss in der EU für jeden Wirkstoff und für jede Kultur eine einheitliche Höchstmenge festgesetzt sein. Dabei wird die Unbedenklichkeit über umfangreiche Labor- und Feldversuche nachgewiesen. Alle Versuche müssen nach GLP- (Good Laboratory Practice) Richtlinien durchgeführt und dokumentiert werden. 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 (TMDI-Wert = Theoretical Maximum Daily Intake) zu berechnen. Dieser stellt die theoretisch höchstmögliche Aufnahme pro Person und Tag dar. Es wird dabei un-

terstellt, 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 wie z. B. Hopfen eingesetzt werden soll, in Feldprüfungen nachgewiesen werden, dass die maximal zulässige Höchstmenge bei „guter fachlicher Praxis“ eingehalten werden kann. Es sind dazu acht Feldversuche (bei Produkten mit seltenem Einsatz vier Versuche), verteilt über zwei Vegetationsperioden, notwendig. In diesen Versuchen wird das Pflanzenschutzmittel mit der maximalen Zahl von Anwendungen und mit der maximalen Aufwandmenge eingesetzt. Bei der letzten Spritzung muss bis zur Ernte ein bei der Zulassung des Pflanzenschutzmittels als Auflage festgeschriebener Zeitraum, der als Wartezeit bezeichnet wird, eingehalten werden. Nach einem festgelegten Schema werden Ernteproben aus den Parzellen entnommen und der Wirkstoffgehalt des Produktes 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.

### 3.2.2 Bewertung der Rückstandshöchstmengen von Hopfen im Vergleich zu Gemüse und Obst

Alle im Hopfen zugelassenen Pflanzenschutzmittel werden auch in vielen anderen Kulturen bewertet und eingesetzt. Obwohl der „Verzehr“ von Hopfen nur über das Bier erfolgt, gelten für Hopfen dieselben Vorgaben wie bei der Festsetzung des Wertes für z. B. Tomaten oder Erdbeeren.

Tab. 6: Vergleich wichtiger Auflagen für ein Akarizid (gegen Spinnmilben)

| Produkt:<br><b>Vertimec</b>       | Wirkstoff:<br><b>Abamectin</b> | <b>Zulassung in</b> |                |              |               |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------|--------------|---------------|
|                                   |                                | <b>Erdbeeren</b>    | <b>Tomaten</b> | <b>Birne</b> | <b>Hopfen</b> |
| max. Aufwandmenge (l/ha)          |                                | 2,5                 | 5,0            | 2,0          | 1,25          |
| Wartezeit (Tage)                  |                                | 14                  | 3              | 28           | 28            |
| EU-Rückstands-Höchstmenge (mg/kg) |                                | 0,1                 | 0,02           | 0,01         | 0,05          |

Die Diskrepanz der Wartezeit und der Höchstmenge bei Tomaten und Hopfen ergibt zunächst keinen logischen Zusammenhang. Es gilt jedoch immer das Prinzip der Risikominimierung. Wenn z. B. der Wirkstoff Abamectin auf Tomaten (Tab. 6) ausgebracht wird und die Ernte drei Tage später erfolgt, besteht für den Verbraucher keinerlei Risiko. Im Gegensatz zu Tomaten, welche über langen Zeitraum fortlaufend geerntet werden, ergibt die Anwendung von Abamectin im Hopfen drei Tage vor der Ernte aus fachlicher Sicht keinen Sinn, da ein Schaden nur durch eine frühzeitige Spritzung verhindert werden kann. Die Wartezeit kann deshalb auf 28 Tage festgesetzt werden.

Die Tabellen 7 – 9 zeigen analoge Beispiele für andere Schaderreger.

Tab. 7: Vergleich wichtiger Auflagen für ein Insektizid (gegen Blattläuse)

| Produkt:<br><b>Plenum 50 WG</b>   | Wirkstoff:<br><b>Pymetrozine</b> | Zulassung in           |                       |                  |               |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|---------------|
|                                   |                                  | <b>Erdbeeren</b>       | <b>Johannisbeeren</b> | <b>Kopfsalat</b> | <b>Hopfen</b> |
| max. Aufwandmenge (kg/ha)         |                                  | 1,2                    | 0,8                   | 1,2              | 0,8           |
| Wartezeit (Tage)                  |                                  | F (bis kurz vor Blüte) | 14                    | 7                | 21            |
| EU-Rückstands-Höchstmenge (mg/kg) |                                  | 0,5                    | 0,5                   | 2,0              | 15            |

F = durch Anwendungstermin festgelegt

Tab. 8: Vergleich wichtiger Auflagen für ein **Fungizid** (gegen Falschen Mehltau)

| Produkt:<br><b>Ortiva</b>      | Wirkstoff:<br><b>Azoxystrobin</b> | Zulassung in     |                |                     |               |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|---------------------|---------------|
|                                |                                   | <b>Erdbeeren</b> | <b>Tomaten</b> | <b>Schnittlauch</b> | <b>Hopfen</b> |
| max. Aufwandmenge (l/ha)       |                                   | 2,0              | 1,4            | 2,0                 | 3,2           |
| Wartezeit (Tage)               |                                   | 3                | 3              | F                   | 28            |
| Rückstands-Höchstmenge (mg/kg) |                                   | 10,0             | 3,0            | 70,0                | 20,0          |

Tab. 9: Vergleich wichtiger Auflagen für ein **Fungizid** (gegen Echten Mehltau)

| Produkt:<br><b>Flint</b>          | Wirkstoff:<br><b>Trifloxystrobin</b> | Zulassung in     |               |              |               |
|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------|
|                                   |                                      | <b>Erdbeeren</b> | <b>Gurken</b> | <b>Apfel</b> | <b>Hopfen</b> |
| max. Aufwandmenge (kg/ha)         |                                      | 0,9              | 0,5           | 0,45         | 2,5           |
| Wartezeit (Tage)                  |                                      | 3                | 3             | 7            | 14            |
| EU-Rückstands-Höchstmenge (mg/kg) |                                      | 0,5              | 0,2           | 1,0          | 30            |

### 3.2.3 Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben

Der Hopfenpflanzer ist verpflichtet, nur amtlich zugelassene Pflanzenschutzmittel einzusetzen. Bei der Ablieferung der Hopfenpartien an die Hopfenvermarkter muss der Einsatz aller Pflanzenschutzmittel im Pflanzenschutzmittelbogen angegeben und mit rechtsverbindlicher Unterschrift bestätigt werden. Zusätzlich ist das Erntedatum anzugeben, damit die Einhaltung der Wartezeiten überprüft werden kann.

Beratungsstellen informieren die Hopfenpflanzer jedes Jahr vor Beginn der Saison ausführliche Informationen zum jeweiligen Stand der Zulassungen.

Beim Einsatz der zugelassenen Pflanzenschutzmittel bestehen für die europäischen Hopfenpflanzer noch wichtige Einschränkungen durch die sog. US- bzw. Japan-Toleranz. Für die US-Pflanzer gilt es, die EU-Toleranz zu beachten.

Vom Hopfenvermarkter erhalten die Hopfenpflanzer vor Saisonbeginn Auflagen, welche von den im jeweiligen Anbaugebiet zugelassenen Präparaten nicht eingesetzt werden dürfen, da im jeweiligen Importland für diese Substanz keine Höchstmenge bei Hopfen existiert.

Während der Saison werden die Hopfenpflanzer laufend über aktuelle Ereignisse und Änderungen der Zulassungssituation von Pflanzenschutzmitteln informiert. In den USA werden regelmäßig Informationstreffen veranstaltet.

## 4 Hopfensorten

### 4.1 Definition von Aroma- und Bitterhopfen

Die Unterscheidung nach Aroma- und Bittersorten (incl. Hochalphasorten) erfolgt durch die Zulassungsbehörden nach den Angaben des Züchters. Die eindeutige Differenzierung dieser Gruppen nach Inhaltsstoffen ist nicht möglich. Aromahopfen enthalten zwangsläufig Bitterstoffe und Bitterhopfen Aromastoffe. Die Sortengruppen bringen eher zum Ausdruck, welchem Einsatzziel eine Hopfensorte in einer Brauerei dient. Mit Bitter- und Hochalphanhopfen soll Bier primär gebittert werden, mit Aromahopfen verfolgt man auch andere Intentionen wie ein Hopfenaroma im Bier und/oder die Geschmacksförderung durch Polyphenole.

Auch diese Art der Differenzierung kann nicht einfache und klare Grenzen aufzeigen. So lässt sich mit Aromahopfen Bier bittern und umgekehrt mit Bitterhopfen ein Bier auch aromatisieren. Unbestritten ist allerdings, dass ein Brauer mit Aromahopfen nicht nur ein Bier bittern will, die meisten Brauer aber mit Bitterhopfen nur selten Zusatzeffekte erzielen wollen.

Üblicherweise zeichnet Aromahopfen ein mildes, angenehmes Aroma, höhere Polyphenolgehalte und Alphasäurenwerte deutlich unter 10 % aus. Die entscheidenden geruchsaktiven Komponenten kommen nur in äußerst geringen Konzentrationen vor. Sie sind meist nicht bekannt und werden oft erst Jahre nach der Etablierung einer Aromasorte identifiziert. Daher spielt die subjektive Wahrnehmung bei der Entwicklung einer neuen Aromasorte eine bedeutende Rolle. Brauer und Züchter benutzen übliche Deskriptoren von Geruchseindrücken wie z.B. „fruchtig“, „blumig“, „würzig“, aber auch „exotisch“. Die Aromaentfaltung der verschiedenen Aromasorten im Bier kann nur über Brauversuche ermittelt werden.

Bei den Bittersorten erwartet man Alphasäuregehalte von über 10 % und akzeptiert ein kräftiges, manchmal auch als aufdringlich empfundenes Aroma. Eine züchterische Weiterentwicklung sind die Hochalphasorten mit Alphasäuregehalten von über 12 %. Daneben hat sich vor allem in den USA der Begriff "Superhochalpha" eingebürgert. Hier erwartet man Alphasäurenwerte über 15 %.

Im internationalen Sprachgebrauch haben sich noch zwei weitere Begriffe gebildet. Mit "dual-purpose hops" bezeichnet man Sorten, bei denen ein Einsatz sowohl als Aroma- als auch als Bitterhopfen denkbar ist. Typische Vertreter sind die englische Sorte First Gold sowie die beiden US-Sorten Centennial und Chinook und die neuseeländische Sorte Nelson Sauvin. Daneben existiert noch der Begriff "noble hops" oder "noble aroma hops". Hierunter versteht man traditionelle Landsorten wie z. B. Hallertauer Mittelfrüh, Tettnanger, Spalter oder Saazer.

### 4.2 Züchtungsmethoden

#### 4.2.1 Allgemeines

In der Pflanzenzüchtung wurde in Abhängigkeit von den jeweiligen Zielsetzungen und unter Berücksichtigung der biologischen Eigenheiten der jeweiligen Pflanzenart eine Vielzahl von verschiedenen Zuchtmethoden entwickelt. Die zweifellos älteste, die schon angewendet wurde, als von einer wissenschaftlichen Pflanzenzüchtung noch keine Rede sein konnte, war die Auslesezüchtung. Seit Ende des 19. Jahrhunderts mit Entdeckung der Vererbungsregeln durch Mendel wurde mit der Kreuzungszüchtung in ihren verschiede-

nen Formen begonnen, um eine weit größere Variabilität, als sie von Natur aus vorgegeben ist, zu nutzen. Später folgten die Heterosis-, Mutations- und Polyploidiezüchtung und schließlich wurden Gentransfertechniken entwickelt.

Die Auslese oder Selektion als Vorgang ist selbstverständlich ein Bestandteil aller Zuchtmethoden. Das Bessere muss immer durch Auslese vom weniger Guten getrennt werden. Die von der wissenschaftlichen Pflanzenzüchtung entwickelten Züchtungsmethoden unterscheiden sich aber von denen der reinen Auslesezüchtung dadurch, dass bei ihnen der Züchter bewusst und systematisch neue Varianten erzeugt, unter denen er dann selektiert. Bei der reinen Auslesezüchtung hingegen wird nur das ausgelesen und angereichert, was von Natur aus schon in einem Pflanzenbestand vorhanden ist.

#### 4.2.2 Auslesezüchtung (Klonselektion)

Hopfen wird in Zentraleuropa seit mehr als 1000 Jahren kultiviert. Er war damals weit verbreitet und die weiblichen Hopfenpflanzen in den ersten Hopfengärten wurden von wild wachsenden männlichen Pflanzen über den Wind befruchtet. Die Hopfenpflanzer selektierten laufend die schönsten und robustesten Pflanzen für die Vermehrung aus. Auf Grund von natürlichen Hindernissen (Gebirge, große Waldgebiete ...) und der Zersplitterung in Kleinstaaten konnten sich gebietstypische Selektionen, sogenannte Landsorten, herausbilden. Die Pflanzungen wurden zunehmend einheitlicher und die angebauten Hopfen erhielten in der Regel die Bezeichnung der Gegend (Tab. 10), in der sie selektiert wurden.

Tab. 10: Überblick über weltweit angebaute Landsorten

| Land        | Anbaugebiet    | Sorte                       |
|-------------|----------------|-----------------------------|
| Deutschland | Hallertau      | Hallertauer Mittelfrüh      |
| Deutschland | Tettnang       | Tettnanger                  |
| Deutschland | Spalt          | Spalter                     |
| Deutschland | Hersbruck      | Hersbrucker                 |
| Tschechien  | Saaz           | Saazer                      |
| Frankreich  | Elsass         | Strisselspalter             |
| Polen       | Lublin         | Lubliner                    |
| Slowenien   | Savinja-Tal    | Styrian (Savinjski) Golding |
| England     | Kent, Hereford | Fuggle, Golding             |

Lediglich die englischen Landsorten erhielten die Namensbezeichnung Golding und Fuggle nach den Besitzern der Hopfengärten, in denen sie selektiert wurden (Neve, 1991). Golding bezeichnet eigentlich eine ganze Gruppe von Landsorten. Neben der als Canterbury Golding bezeichneten Urform gehören noch weitere Selektionen in diese Gruppe. Sie tragen jeweils vor der Bezeichnung Golding die Ortsangabe der Fundstelle wie z. B. Eastwell Golding. Ende des 19. Jahrhunderts wurden Fehser der Sorte Fuggle im ehemaligen Jugoslawien eingeführt und sehr erfolgreich angebaut. Dieser Fuggle erhielt später wegen einer Verwechslung irrtümlich die Bezeichnung Styrian (Savinjski) Golding.

Auch die Sorten Saazer, Spalter und Tettninger bilden eine Sortengruppe und werden unter der Bezeichnung Saazer-Formenkreis zusammengefasst. Es gelangten Fehser des sehr beliebten Saazer Hopfens nach Süddeutschland in die Gegend südlich von Nürnberg und an den Bodensee. Die hier selektierten Klone erhielten im Laufe der Zeit die Bezeichnungen Spalter und Tettninger entsprechend dem Namen des jeweiligen Anbaugebietes. Ähnliches ist bei der Sorte Hersbrucker geschehen. Hier gelangten Fehser in das Elsass im heutigen Frankreich. Dieser Hersbrucker-Klon wurde in der Folge als Strisselspalter bezeichnet. Trotz des gleichen Genotyps beim Saazer- und Hersbrucker-Formenkreis ergeben sich je nach Anbaugebiet durchaus Unterschiede und damit ein spezifischer Sorteneindruck. Grund hierfür ist der Einfluss von Boden, Witterung und Bewirtschaftung auf die Entwicklung der Pflanzen.

Im 17. Jahrhundert wurden englische Hopfenfehser nach Nordamerika eingeführt (Neve, 1991). Hier kreuzten sich die Hopfen mit männlichen Wildhopfen. Daraus entstand die Sorte Cluster mit einer Reihe von Klonen, die bald den US-Hopfenanbau dominierte.

Alle Landsorten mit Ausnahme von Cluster (Bitterhopfen) gehören in die Gruppe der Aromahopfen und zeichnen sich durch ein feines Aroma aus. Aus diesem Grund werden sie nach wie vor angebaut.

Bei vegetativ vermehrten Kulturpflanzen wie Hopfen, Kartoffeln und Obst werden mit zunehmender Selektionsdauer die Chancen, Verbesserungen zu finden, immer geringer. Bei allen Landsorten wurden in der Vergangenheit die schönsten Einzelpflanzen (Klone) selektiert und vermehrt. Alle daraus entstandenen Pflanzen sind genetisch übereinstimmend. Nur mit genomanalytischen Methoden (genetischer Fingerprint) können die geringfügigen Unterschiede zwischen den verschiedenen Klonen einer Landsorte nachgewiesen werden. Die Auslesezüchtung findet ihre Grenzen dort, wo die natürliche Variabilität des Hopfens in einem bestimmten Gebiet ausgeschöpft ist. Nur durch sehr seltene zufällige Spontanmutationen oder mit gentechnischen Methoden wie dem Einbau von Genen mit definierten Eigenschaften könnte eine solche Klonsorte noch verändert werden.

Landsorten besitzen zwar hervorragende brautechnologische Eigenschaften, ihre weltweite Bedeutung schwindet jedoch zunehmend. Hierfür gibt es eine Reihe von Ursachen:

- Eine Anpassung an den zunehmenden Klimawandel ist nicht in ausreichendem Umfang möglich. Eine tschechische Studie (Mozny et al., 2009) belegt dies bei der Sorte Saazer, wobei in den letzten Jahrzehnten frühere Blühzeitpunkte und auch ein Rückgang des Alphasäuregehaltes festgestellt wurde.
- Agronomische Eigenschaften (Ertrag, Habitus, Niedrigerüsteignung ...) sowie Resistenzen und die Zusammensetzung der chemischen Inhaltsstoffe lassen sich über Klonselktion kaum verbessern.
- Neue Marktsegmente (Hochalphanbereich, Anwendungen außerhalb der Brauwirtschaft ...) können nicht bedient werden.

Die Bestände dieser Landsorten sind weltweit zudem stark überaltert. Nur eine stete Erneuerung und Bereinigung dieser Flächen über die Rodung von Fremdstöcken kann die Erträge verbessern und stabilisieren.

### 4.2.3 Kreuzungszüchtung

In der Regel sind gewünschte Merkmale nur auf unterschiedlichen Sorten bzw. Wildtypen zu finden. Hier kann der Züchter durch Kreuzung die natürliche Variabilität erhöhen und bestimmte positive Merkmalskombinationen gezielt auswählen. Die theoretische Grundlage dafür stellen die Mendelschen Vererbungsregeln dar. Züchterischer Erfolg ist dabei immer eine Kombination aus Erfahrung, Fleiß, Intuition und einer gehörigen Portion Glück. Erschwert wird die züchterische Arbeit (Abb. 15) zudem durch den Umstand, dass Hopfen eine zweihäusige Pflanze ist, wobei nur die weiblichen Hopfen mit ihren Dolden wirtschaftliche Bedeutung haben und zur Sorte entwickelt werden. Im Gegensatz zu den meisten Kulturpflanzen mit zwittrigen Blüten sind daher bei Hopfen Kreuzungen zwischen zwei gut charakterisierten Sorten nicht möglich. Männliche Kreuzungspartner bilden keine Dolden und auch die Gescheine (männliche Blüten) weisen kaum Lupulindrüsen auf. Daher ist ihr Vererbungspotential für die beiden wirtschaftlich so ausschlaggebenden Merkmale Ertrag und Brauqualität nur grob über die weiblichen Geschwister einzuschätzen.



Abb. 15: Zur Kreuzung wird ein Teil der weiblichen Blüten einer ausgewählten Mutterpflanze in eine Kreuzungstüte (pollination bag) gepackt. Nach dem Aufbringen des Pollen des männlichen Kreuzungspartners (links) wird die Tüte (rechts) mit den befruchteten Blüten sofort verschlossen, um Fremdbestäubung zu verhindern.

#### 4.2.3.1 Wesentliche Beweggründe für die Kreuzungszüchtung

Das Hervorbringen erfolgreicher Sorten erleichtert den Zugang zum Weltmarkt beziehungsweise sichert die Position. Nur Anbauggebiete mit einer schlagkräftigen Hopfenzüchtung sind langfristig wettbewerbs- und überlebensfähig. Neue, geänderte Wünsche und Anforderungen der Brauer sowie alternative Anwendungsbereiche außerhalb der Brauwirtschaft können nur mit Sorten erfüllt werden, die neuartige Zusammensetzungen der Inhaltsstoffe aufweisen.

Weiterhin ist Hopfen in verarbeiteter Form als Pellets oder Extrakt relativ stabil und bietet gute Voraussetzungen für eine beherrschbare Logistik. Das Verhältnis von Transportkosten zu Warenwert ist niedrig. Damit sind alle Voraussetzungen für einen globalen Markt gegeben. Die Hopfenanbauländer konkurrieren konsequenterweise intensiv miteinander.



Abb. 16: Wichtige Zuchtziele bei der Kreuzungsplanung

Die typischen Züchtungsziele (Abb. 16) können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Umwelt- und qualitätsrelevante Ziele in Form von Toleranzen oder Resistenzen gegenüber Schädlingen und Krankheiten sind im Laufe der Zeit immer wichtiger geworden. Zwar ist Hopfenanbau ohne jeglichen Pflanzenschutz derzeit nicht realisierbar, aber der Einsatz von möglichst wenig Spritzmitteln ist ein herausragendes Züchtungsziel, das sowohl ökologisch als auch ökonomisch Sinn macht.
- Wirtschaftliche Ziele sind der Ertrag (kg/ha) oder bei Bitterhopfen auch der Alphasäurenenertrag pro Hektar. Ferner spielen agronomische Aspekte wie etwa Robustheit, Windefähigkeit, leichter und verlustarmer Anbau, Niedrigerüsteignung oder gute Eigenschaften bei Pflücke und Trocknung eine Rolle.
- Qualitative Ziele sind beispielsweise neben dem Gehalt an  $\alpha$ -Säuren ein ausgewogenes Hopfenaroma oder Polyphenolspektrum. Zur Beschreibung qualitativer Merkmale können Kennzahlen herangezogen werden.
- Neben eher allgemeingültigen qualitativen Charakteristika werden auch individuelle, spezifische Anforderungen formuliert. Diese können in unterschiedliche Richtungen gehen wie z. B.
  - Individuelle, sensorische Merkmale: Gefragt ist nicht immer ein „typisches“ Hopfenaroma, sondern Anklänge an bestimmte Früchte. So gelingt es, Sorten mit Apfel-, Melonen- oder Johannisbeeraroma zu züchten. Derartige Hopfen mit einem einmaligen Aroma finden als Nischenprodukte gezielt für Biere mit einer besonderen Note eher in kleineren Brauereien Anwendung.
  - Sorten mit spezifischen, für die Pharmazie interessanten Merkmalen wie einem hohen Xanthohumolgehalt (Strathmann et al., 2009).
  - Sorten mit hohem antimikrobiellen Potential, z. B. mit hohem  $\beta$ - statt  $\alpha$ -Säurenanteil (Biendl und Pinzl, 2007)

#### 4.2.3.2 Anfänge der Kreuzungszüchtung

Die wissenschaftlich fundierte Kreuzungszüchtung bei Hopfen begann 1907 mit der Berufung von Prof. Salmon zum Zuchtleiter am Wye College in England (Neve, 1991). Da er sein Zuchtprogramm von Anfang an sehr breit anlegte, ließ er auch in Nordamerika Wildhopfen sammeln. In einer Population aus Manitoba (Canada) fand er eine weibliche Pflanze mit einem überaus reichen Doldenbehang und einem relativ hohen Gehalt an Alphasäuren. Durch Kreuzung mit nahe verwandten männlichen Zuchtlinien entstand bereits 1919 die erste Bittersorte *Brewers Gold*. Wenige Jahre später gelang ihm mit der Sorte *Northern Brewer*, einer Kreuzung von *Canterbury Golding* und einem *Brewers Gold* Nachkommen, der zweite Treffer. Beide Sorten sind in fast allen Stammbäumen moderner Zuchtsorten auf der ganzen Welt vertreten. Die englische Hopfenzüchtung blieb noch lange Zeit weltweit führend.

In den anderen europäischen Anbaugebieten begann die koordinierte Kreuzungszüchtung erst nach den verheerenden Schäden durch die Hopfenperonospora. Diese Krankheit trat zum ersten Mal in Japan um 1905 und wenig später in Nordamerika auf. Bis Ende der 1920er Jahre wurde Peronospora in den wichtigen europäischen und amerikanischen Anbaugebieten die bis dahin stärkste Bedrohung des Hopfenanbaus. Da dieser Pilz alle Pflanzenteile befallen kann, führte er bei den besonders anfälligen Landsorten zu einem vollständigen Ertragsausfall. Um die massiven Ertrags- und Qualitätsverluste in den Griff zu bekommen, wurden in Deutschland (Hüll), Böhmen (Zatec) und den USA (Oregon State University) neue Zentren für die Hopfenforschung geschaffen (Neve, 1991). Allen Beteiligten war schnell klar, dass dieses Problem nur durch die Züchtung nachhaltig gelöst werden kann. In der Folgezeit wurden mit erheblichem Aufwand Wildhopfen gesammelt, auf das Vorhandensein von Peronosporaresistenzen oder anderen positiven Eigenschaften geprüft und in die vorhandenen Landsorten eingekreuzt. Bis zur Entwicklung der ersten Zuchtsorten dauerte es etwa 30 Jahre. Diese konnten sich aber am Hopfenmarkt kaum durchsetzen, da die Brauer noch sehr konservativ eingestellt waren. Neben der mangelnden Bereitschaft, neue Sorten in die Brauerei einzuführen, machte die Ausbreitung der Hopfenwelke die bisherigen Züchterfolge weitgehend zunichte. Erst durch die Einkreuzung von welkeresistentem, englischem Zuchtmaterial (v. a. *Northern Brewer*) und weiterer Verbesserungen agronomischer Eigenschaften wie Ertrag und Habitus gelang den Zuchtsorten im Laufe der 70er Jahre der weltweite Durchbruch. Es wurden innerhalb weniger Jahre in allen wichtigen Anbaugebieten Aroma- (*Perle*, *Aurora*, *Wye Challenger*, *Cascade* ...) und Bittersorten (*Wye Target*, *Galena*, *Nugget*, *Pride of Ringwood* ...) zugelassen, die auch heute noch in erheblichem Umfang angebaut werden.

#### 4.2.3.3 Rasante Zuchtfortschritte in den letzten Jahrzehnten

Ausgehend von diesen neuen und leistungsfähigen Bittersorten wurden in den USA in den 1980er Jahren die sogenannten Hochalphasorten, teilweise auch Super-Hochalphasorten genannt, entwickelt. Sie verfügen über einen Alphasäuregehalt, der stabil über 12 % liegt, und erlauben es den Brauern, die Grundbittere der Biere sehr preiswert einzustellen. In Europa wurde dieser Trend nur in Deutschland und England rechtzeitig erkannt und dieser Zukunftsmarkt intensiv züchterisch bearbeitet. Momentan teilen sich Deutschland und USA dieses wichtige Marktsegment weitgehend unter sich auf. Der Hektarertrag aktueller Hochalphasorten liegt mit 400 kg Alphasäuren/ha mittlerweile beim Achtfachen im Vergleich zu den alten Landsorten (50 kg/ha) und ein Ende der Entwicklung ist noch nicht absehbar. In den USA ist bereits das neue und sehr ambitionierte Zuchtziel 20/20 ausgegeben worden. Hier werden 20 bales/acre mit einem Alphasäuregehalt von 20 % ange-

strebt. Dies entspricht umgerechnet knapp 900 kg Alphasäuren/ha. Da in Jahren mit hohen Alphasäuregehalten bereits bei den bisherigen Hochalphasorten Verarbeitungsprobleme auftreten, bedingt eine solche Entwicklung auch eine Reihe technischer Innovationen im nachgelagerten Bereich.

Nachdem in allen wesentlichen Anbauländern, mit Ausnahme von China, Hopfenzüchtung betrieben wird, ist eine enorme Vielfalt entstanden. Dies führte zum Anbau vieler Sorten in einem Anbaugebiet. So werden derzeit alleine in der Hallertau 14 verschiedene Sorten kommerziell angebaut: zwei traditionelle, klassische Landsorten, sechs Hüller Aromazuchtsorten, je eine ältere englische und amerikanische Bittersorte sowie vier Hüller Hochalphasorten. Eine ähnliche Sortenvielfalt ist in den amerikanischen Anbaugebieten anzutreffen.

Betrachtet man sich die verschiedenen Sortengruppen am Beispiel der Hallertau (Abb. 17), so ist augenfällig, dass innerhalb der letzten 20 Jahre nahezu ein kompletter Sortenwechsel vollzogen wurde. Im Aromabereich wurde der in den 1970er Jahren begonnene Wechsel hin zu Zucht-Aromasorten verstärkt fortgesetzt. Die Landsorten werden weitgehend nur mehr von Brauern verwendet, die Rohstoffe nicht primär nach dem Preis beurteilen. Noch dramatischer war die Entwicklung im Bitterbereich. Hier wurden die alten Bittersorten (Northern Brewer, Brewers Gold ...) komplett durch Hochalphasorten ersetzt.

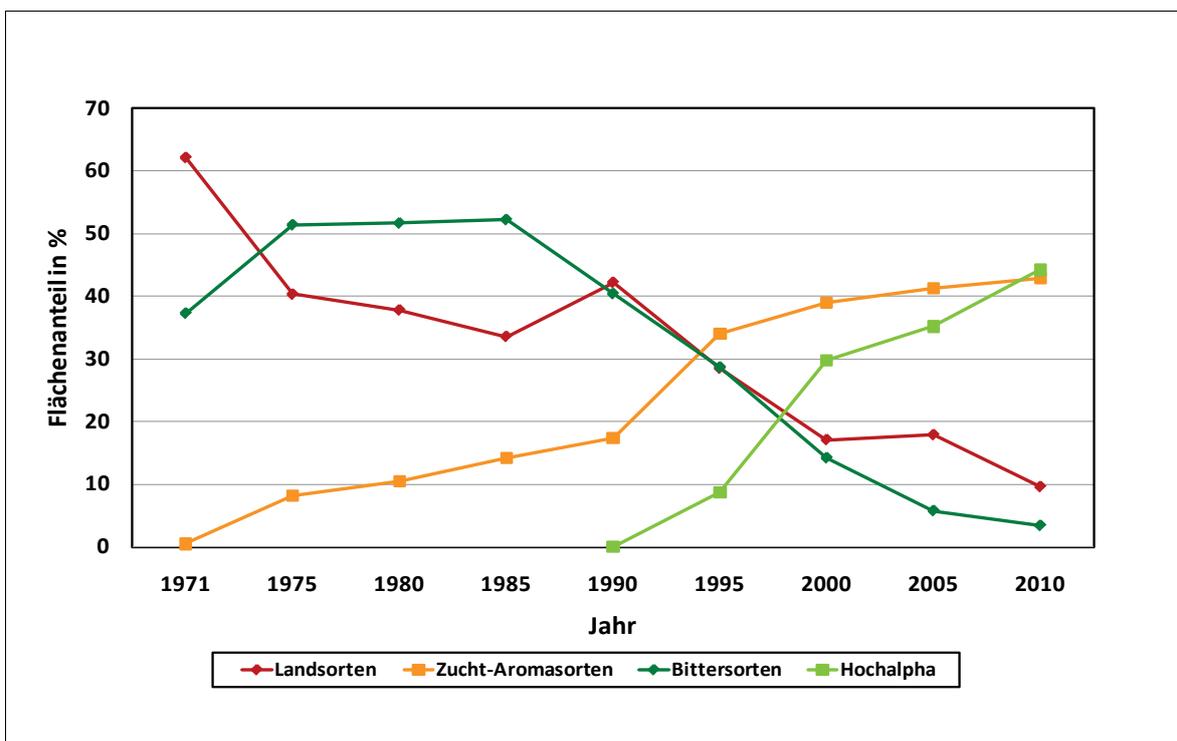


Abb. 17: Flächenanteil verschiedener Sortengruppen in der Hallertau 1971 – 2010

#### 4.2.3.4 Abläufe der Kreuzungszüchtung

Die Entwicklung einer neuen Hopfensorte ist sehr arbeits- und zeitaufwändig. Dies soll im Folgenden am Beispiel des Prüfungsablaufes am Forschungszentrum in Hüll (Abb. 18) dargestellt werden. Bereits bei der Kreuzungsplanung muss der Züchter in langen Zeiträumen von 25 - 40 Jahren denken. Die richtige Festsetzung der züchterischen Schwerpunkte ist somit von entscheidender Bedeutung für ein Anbaugebiet:

- Neue Entwicklungen wie z. B. Niedrigerüst müssen rechtzeitig aufgegriffen und die davon betroffenen Merkmale züchterisch bearbeitet werden, damit bei entsprechender Nachfrage Marktanteile verteidigt und ausgebaut werden können.
- Die verstärkte Erforschung alternativer Anwendungen von Hopfen (Lebensmitteltechnologie, Pharmazie ...) führt zur Definition ganz neuer Zuchtziele.
- Kürzungen bei den Ausgaben für die Züchtung gefährden nicht die aktuelle, aber die langfristige Konkurrenzfähigkeit eines Anbaubietes.



Abb. 18: Entstehung einer neuen Hopfensorte

Bei der Hochalphazüchtung sind nur relativ wenige Zuchtmerkmale (Resistenzen, Alphasäureertrag, Lagerstabilität ...) zu beachten, da bei den meisten Brauern der Preis pro kg Alphasäuren kaufentscheidend ist. Diese Eigenschaften können schon nach wenigen Prüfjahren mit ausreichender Sicherheit bewertet werden. Vielfach sind für die Brauer wenige, von einer neutralen Stelle (z. B. Universitäten, Versuchsbrauerei St. Johann) durchgeführte Kleinsudversuche ausreichend, um eine neue Hochalphasorte zu akzeptieren. Hochalphasorten können daher in der Regel bereits nach zehn Jahren in die Praxis eingeführt werden.

Im Gegensatz dazu dauert es bei Aromazuchtstämmen meist deutlich länger bis alle relevanten Merkmale durchgetestet sind. Ertrags- und Alphaschwankungen sind hier bedingt durch das verwendete Aromazuchtmaterial wesentlich größer. Außerdem sind zusätzliche Merkmale wie Aromaqualität und Öle ganz entscheidend. Interessierte Brauer begnügen sich nicht mit Ergebnissen aus wenigen Kleinsudversuchen, sondern wollen Großsudversuche in der eigenen Brauerei über mehrere Jahre durchführen. Dabei wollen sie ein für ihre Biere optimales Aroma erzielen.

Bei den Aromasorten dauert es deshalb von der Kreuzung bis zur Markteinführung 15 - 20 Jahre. Zudem kann man vielfach erst nach weiteren 10 Jahren abschätzen, ob sich die neue Sorte am Markt etablieren kann.

Daraus ergibt sich bei Aromahopfen seit Jahrzehnten ein wesentlich geringerer Zuchtfortschritt als im Bitterbereich. Die Spannbreite der Kosten für die Hopfung der Biere wird je nach verwendetem Sortentyp (Landsorten - Aromazuchtsorten - Hochalphasorten) zunehmend größer.

Neben den nur unzureichenden Möglichkeiten der Abschätzung des Vererbungspotentials auf der Vaterseite (4.2.3) gibt es noch weitere Unwägbarkeiten. Bei Hopfen spalten bei einer Kreuzung in der Regel die einzelnen Merkmale sehr weit auf. Daher ist es notwendig, eine sehr große Zahl von Sämlingen zuerst im Glashaus und später langjährig im Freiland zu testen, um deutliche Zuchtfortschritte erzielen zu können.



*Abb. 19: Künstliche Inokulation junger Sämlinge mit Echtem Mehltau im Gewächshaus. Als Infektionsquelle für Mehltasporen werden stark infizierte Hopfen zwischen die Sämlinge gestellt.*



*Abb. 20: Selektion mehlttauresistenter Sämlinge*

Die Testung der Sämlinge kann man in folgende vier Abschnitte unterteilen:

1. Resistenzselektion im Gewächshaus: Die Sämlinge werden gezielt mit Pilzen (Hopfen-Peronospora, Echter Mehltau) (Abb. 19) und Schädlingen (Blattlaus) infiziert und es werden in der Folge die resistentesten Typen ausgewählt (Abb. 20).
2. Anzucht der Sämlinge und Geschlechtsbestimmung: Die vorselektierten Sämlinge werden bis zum Herbst in einer Vegetationshalle (Abb. 21) oder im Freiland ausgepflanzt. Hier werden die Sämlinge weiter selektiert und an Hand der Blüten das Geschlecht bestimmt.
3. Mehrjährige Sämlingsprüfung im Zuchtgarten: Die interessantesten Sämlinge werden mehrjährig im Feld angebaut. Dabei prüft man neben den Resistenzen die agronomischen Eigenschaften sowie Ertrag und Qualität.
4. Anbauprüfungen in Zuchtgärten und Praxisbetrieben: Die interessantesten Zuchtstämme werden in größeren Parzellen und auf Praxisbetrieben intensiv geprüft.



*Abb. 21: Anzucht der vorselektierten Sämlinge in einer Vegetationshalle*

Genomanalytische Methoden gewinnen zunehmend auch in der Hopfenzüchtung an Bedeutung und werden teilweise schon routinemäßig eingesetzt. Molekulare Marker sind spezielle DNA-Fragmente, also Chromosomenbereiche, deren Präsenz im Genom mit der Ausprägung bestimmter Merkmale korreliert. Sie werden, den Mendelschen Vererbungsgesetzen folgend, an die jeweilige Nachkommenschaft weitergegeben. Der Einzug von molekularen Markertechniken in die praktische Hopfenzüchtung ist ein entscheidender Meilenstein für eine schnellere und effizientere Züchtung von Qualitätshopfen (Buck et al., 2007; Patzak and Matousek, 2009; Seigner et al., 2009). Die genomanalytischen Methoden unterstützen und beschleunigen hierbei die konventionelle Kreuzungszüchtung in vielfältiger Art und Weise:

- Sichere Geschlechtsbestimmung bei Sämlingen durch genetische Marker (Polley et al., 1997; Jakse et al., 2008).
- Die genetische Diversität im Zuchtmaterial kann exakt bestimmt werden (Seefelder et al., 2000; Murakami et al., 2006; Howard et al., 2011). Diese Informationen können auch zur Auswahl von Kreuzungseltern verwendet werden (Henning et al., 2010).
- Molekulare Selektionsmarker für Resistenzen (Seefelder et al., 2009) und Qualität (Koie et al., 2005; Cerenak et al., 2009) erlauben eine sichere Auslese unabhängig vom Entwicklungsstadium und von wechselnden Umweltbedingungen.
- DNA-basierte Marker erlauben z. B. die gezielte Kombination (Pyramidisierung) mehrerer Resistenzgene, die phänotypisch nicht zu erkennen ist, aber einen längerfristigen Krankheitsschutz versprechen.

Die genannten Faktoren machen deutlich, dass so umfangreiche Züchtungsprogramme nur von großen Hopfenbaunationen oder großen Handelshäusern zu stemmen sind.

#### 4.2.3.5 Sortenschutz

Ist die Entscheidung gefallen, einen neuen Zuchtstamm als Sorte zuzulassen, gibt es zwei unterschiedliche Wege, die Rechte des Züchters an seinem geistigen Eigentum zu gewährleisten. In der Regel durchlaufen neue Sorten in den jeweiligen Ländern eine mehrjährige Prüfung durch staatliche Einrichtungen. Hierbei entscheiden v. a. drei Faktoren über die Erteilung eines langjährigen Sortenschutzes:

- Unterscheidbarkeit: Es muss nachgewiesen werden, dass sich die neue Sorte in mindestens einem Merkmal von allen anderen Sorten unterscheidet.
- Homogenität: Alle Pflanzen müssen in dem für die Unterscheidung wichtigen Merkmal gleich sein.
- Beständigkeit: Entscheidende Sortenmerkmale dürfen sich über mehrere Jahre hinweg nicht verändern.

Seit 1995 können Züchter den Sortenschutz in der gesamten Europäischen Union durch einen einzigen Antrag beim Gemeinschaftlichen Sortenamts in Angers (Frankreich) erhalten. Das Gemeinschaftliche Schutzrecht ist ähnlich dem Patent im gewerblichen Sektor, das jedoch für Pflanzensorten bestimmt ist, von denen Vermehrungsmaterial und Erntegut erzeugt und in Verkehr gebracht wird. Eingeschränkt wird das Recht aus dem Sortenschutz insbesondere durch den Züchternvorbehalt („research exemption“). Die Verwendung einer geschützten Sorte als Kreuzungspartner bei der Züchtung einer neuen Sorte bedarf nicht

der Zustimmung des Sortenschutzinhabers. Dadurch erhalten v. a. kleine Züchter die Möglichkeit, neues Zuchtmaterial zu erhalten und sich so gegen die großen Zuchtkonzerne am Markt zu behaupten.

Im Gegensatz dazu besteht in den USA bereits seit 1930 die Möglichkeit, nicht nur technische Erfindungen, sondern auch Pflanzen durch ein Patent (US Plant Patent Act) zu schützen. Bei dieser Schutzform ist ein Züchternvorbehalt nicht vorgesehen. Die Privatzüchter in den USA nutzen in der Regel diese Form des Patentschutzrechtes und es kommt dadurch zu einer starken Abgrenzung der Zuchtprogramme.

#### 4.2.3.6 Weitere weltweit verwendete Zuchtmethoden

##### Polyploidiezüchtung

Die Polyploidiezüchtung war beim Hopfen weit verbreitet. Heute wird sie nur mehr in Australien (Koutoulis et al., 2005) und Neuseeland (Beatson et al., 2003) verwendet. Weltweit bekannte Sorten wie Willamette und Millennium wurden so erzeugt.

Hopfen ist eine diploide Pflanze, d. h. alle Zellen besitzen einen doppelten Chromosomensatz als Erbgut. Bei der Polyploidie-Methode wird zumeist auf künstliche Art unter Einsatz von Colchicin der weibliche Kreuzungspartner auf einen vierfachen (tetraploiden) Chromosomensatz verdoppelt. Bei einer Kreuzung mit einem diploiden männlichen Zuchtstamm besitzen die meisten Nachkommen einen dreifachen (triploiden) Chromosomensatz. Im Rahmen der Polyploidie-Züchtung in Australien beschreiben Koutoulis et al. (2005) auch die Entstehung und gezielte Selektion von sexuell entstandenen tetraploiden Hopfen aus Samen von triploiden Sorten.

Triploide haben einige Vorteile:

- Die triploiden Nachkommen sind in der Regel kräftiger und robuster.
- Es gibt kaum Probleme mit samenhaltigen Dolden, da die entstandenen Pflanzen meist steril sind und dann keine Samen bilden.
- Die Nachkommen besitzen doppelt so viel weibliches als männliches Erbgut. Damit kommen die Eigenschaften der weiblichen Sorte stärker zur Ausprägung.

Diese Methode hat aber auch entscheidende Nachteile:

- Die Erstellung tetraploider Pflanzen ist sehr aufwändig.
- Mit den unfruchtbaren triploiden Sorten kann nicht weitergekreuzt werden.

Diese beiden Faktoren verlangsamen den Zuchtfortschritt und engen die Variabilität des Zuchtmaterials deutlich ein. Dies sind die Hauptgründe dafür, dass die meisten Hopfenzüchter wieder zur konventionellen Kreuzungszüchtung zurückgekehrt sind.

##### Mutationszüchtung

Auch die Mutationszüchtung wurde bei Hopfen erprobt. Samen werden Röntgen- oder Neutronenstrahlen ausgesetzt, um Mutationen (Erbgutveränderungen) zu erzielen. Des Weiteren werden mutagene Substanzen wie Ethylmethansulfonat eingesetzt (Koutoulis et al., 2005; Nesvadba and Krofta, 2002). Nur ein sehr kleiner Teil der Nachkommen ist für die Weiterzucht erfolgversprechend, da die meisten Pflanzen Defekte zeigen und unbrauchbar sind. Bei der tschechischen Sorten Bor (Beranek and Rigr, 1994), Agnus (Nesvadba and Krofta, 2002) und Rubin (Nesvadba and Krofta, 2008) wurde Zuchtmaterial, das aus der Mutationszüchtung stammte, verwendet.

## Gentransfer

Der Begriff Gentransfer umfasst die künstliche Übertragung von Erbgutabschnitten (DNA-Sequenzen) in lebende Organismen. In Verbindung mit der Pflanzenzüchtung spricht man von der Grünen Gentechnik. Die sogenannten transgenen Nutzpflanzen haben seit ihrer Erstzulassung im Jahre 1996 weltweit rapide an Bedeutung gewonnen und wurden 2010 auf 148 Millionen Hektar weltweit angebaut. Hierbei handelt es sich v. a. um Sojabohnen, Mais und Baumwolle (James, 2010).

Grundsätzlich lassen molekulargenetische Methoden einschließlich Gentransfer gerade bei einem züchterisch so schwierigen Objekt wie dem Hopfen schnelle und gezieltere Züchtungsfortschritte erwarten.

Wissenschaftler an den großen Hopfenforschungszentren beschäftigen sich deshalb seit einiger Zeit mit dieser Technik (Oriniakova and Matousek, 1996; Schwekendiek et al. 2005; Miehle and Seigner, 2007; Batista et al., 2008; Aldinger et al., 2009). Dabei steht im Vordergrund, den Gentransfer an die spezifischen Eigenheiten der Hopfenpflanze anzupassen. Darüber hinaus wird intensiv daran gearbeitet, Gene bzw. Gensequenzen zu identifizieren, die bei Resistenzreaktionen bzw. der Synthese wichtiger Inhaltsstoffe (Okada and Ito, 2001; Matousek et al., 2006; Wang and Dixon, 2008; Nagel et al, 2008; Matousek et al., 2010) beteiligt sind. Bisher wurden weltweit mit gentechnisch veränderten Hopfenpflanzen keine Freisetzungsversuche durchgeführt.

Seit sich immer klarer abzeichnet, dass die Grüne Gentechnik ganz im Gegensatz zur Roten Gentechnik im Humanbereich bei den Verbrauchern auf starke Vorbehalte trifft, werden in der Folge gentechnische Methoden vorwiegend zur Aufklärung von Genfunktionen wie z. B. Resistenzmechanismen (Oberhollenzer et al., 2009; Seigner und Oberhollenzer, 2011) verwendet. Da bei der Zulassung und Sicherheitsprüfung sehr hohe, für eine so kleine Kultur wie Hopfen kaum zu finanzierende Kosten entstehen, ist auf absehbare Zeit keine gentechnisch veränderte Hopfensorte zu erwarten.

### 4.3 Das Kommen und Gehen von Hopfensorten

Über Jahrhunderte hinweg gab es kaum Verschiebungen im Sortenspektrum. In nahezu jedem Anbaugebiet bildete sich eine typische Landsorte (Tabelle 10) heraus, die fast auf der gesamten Hopfenfläche angebaut wurde. Erst durch die Kreuzungszüchtung ergab sich die Möglichkeit, die Variabilität des zur Verfügung stehenden Erbgutes enorm zu vergrößern. Im Laufe des 20. Jahrhunderts gelangen hinsichtlich aller relevanten Sortenmerkmale enorme Zuchtfortschritte. Nach anfänglichen Vorbehalten der Brauer wurden neue Zuchtsorten zunehmend akzeptiert und sie verdrängten in den meisten Anbaugebieten die alten Landsorten (Abb. 17). Lediglich in Tschechien dominiert noch Saazer. Mittlerweile wurden weltweit mehr als zweihundert Hopfensorten gezüchtet. Allerdings verlief deren Entwicklung sehr unterschiedlich. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Flächenentwicklung einzelner Zuchtsorten am Beispiel der Hallertau.

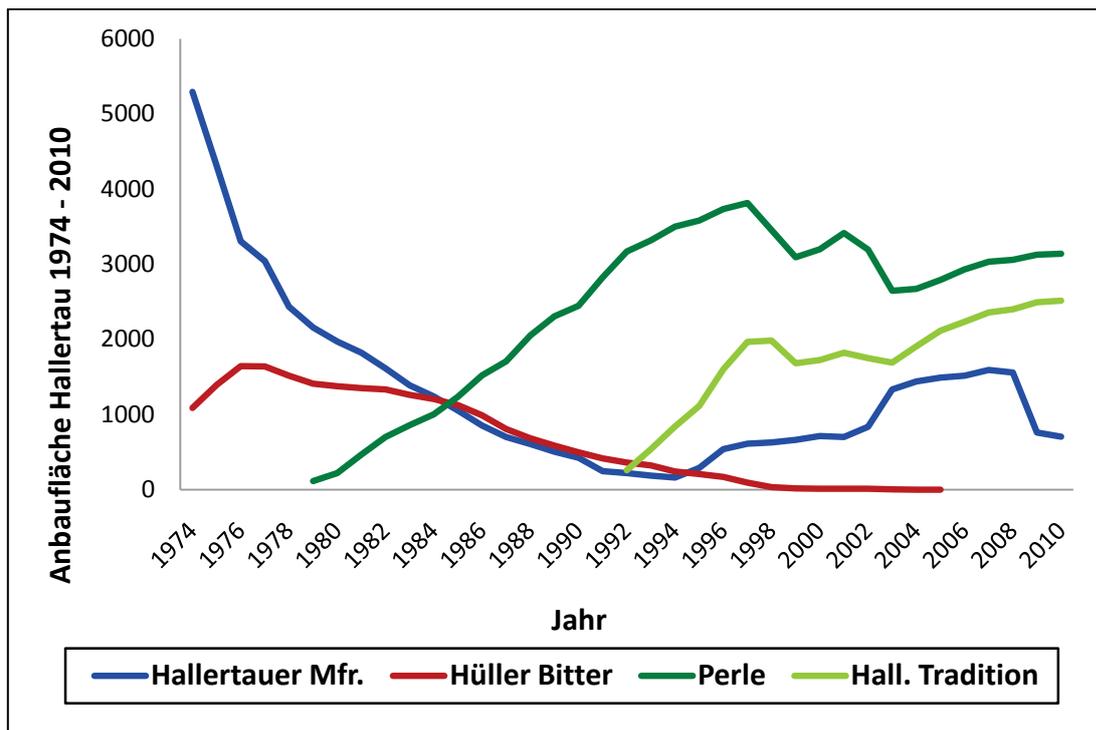


Abb. 22: Flächenentwicklung der Aroma-Zuchtsorten in der Hallertau

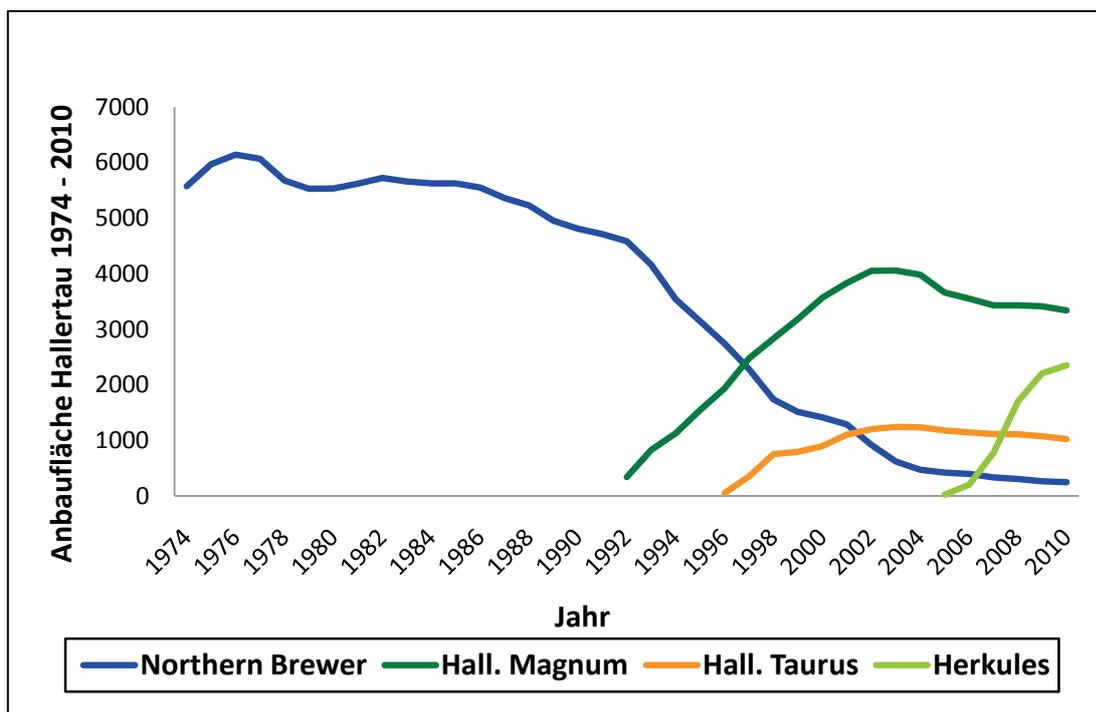


Abb. 23: Flächenentwicklung der Bitter-Zuchtsorten in der Hallertau

### 4.3.1 Sorten ohne Anbaubedeutung

Die Mehrzahl der gezüchteten Sorten werden zwar zugelassen, erlangen aber keine Anbaubedeutung. Hierfür gibt es die unterschiedlichsten Gründe. Da es in der Regel drei Jahre dauert, bis die Sortenprüfung abgeschlossen ist, werden von den Züchtern oft mehrere Zuchtstämme zur Prüfung angemeldet. Bis zur Zulassung der Sorten werden diese weiter

intensiv getestet. Zeigt einer der Zuchtstämme Schwächen oder ein anderer bessere Leistungen, so führt dies dazu, dass eine neue Sorte überhaupt nicht am Markt erscheint. Ein Beispiel hierfür ist die deutsche Sorte Neptun. Sie stand zeitgleich mit Herkules in der Zulassungsprüfung, erreichte aber kein vergleichbares Leistungspotential und reagierte wesentlich stärker auf Witterungsextreme. Aus diesem Grund wurde die Sorte zwar zugelassen, aber nicht für den Praxisanbau freigegeben.

In anderen Fällen werden Sorten für einen bestimmten Abnehmer entwickelt. Ändern sich hier die Besitzverhältnisse oder die Rohstoffpolitik der Brauerei, so entfällt die Basis für die Markteinführung. Darüber hinaus kann ein weiterer Teil der neuen Sorten die Anforderungen der Abnehmer nicht befriedigend erfüllen.

#### **4.3.2 „Eintagsfliegen“**

Manchmal zeigen Zuchtstämme sehr gute Ergebnisse in den langjährigen Prüfungen. Sie werden deshalb umgehend als Sorte zugelassen und erreichen innerhalb kurzer Zeit einen großen Flächenumfang. Im Praxisanbau können trotzdem ungeahnte Probleme auftreten. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die amerikanische Hochalphasorte Symphony. Sie ging im Jahr 1997 in großem Stil in den Anbau. In diesem Jahr wurde der Echte Mehltau erstmals in den US-Anbaugebieten eingeschleppt. Die neue triploide Sorte erwies sich als überaus anfällig. Bei den meisten Beständen war der Befallsgrad so hoch, dass sie nicht mehr beerntet werden konnten. Die komplette Anbaufläche musste sofort wieder gerodet und durch andere weniger empfindliche oder resistente Sorten ersetzt werden.

#### **4.3.3 Zeitweise erfolgreiche Hopfensorten**

Viele Hopfensorten erlangen für einen gewissen Zeitraum Anbaubedeutung. Dies ist v. a. typisch für Hochalphasorten. Besonders in diesem Marktsegment ist der Zuchtfortschritt so schnell, dass ein Teil der Sorten bereits nach wenigen Jahren wieder von leistungsfähigeren Nachfolgern abgelöst werden.

In den USA erschienen mit Millennium und Warrior Anfang des Jahres 2000 zwei neue Hochalphasorten am Markt. Innerhalb von zwei Jahren erreichten sie eine Anbaufläche von jeweils über 500 ha. In den Folgejahren zeigte sich, dass der Hektarertrag in kg Alphasäuren/ha meist etwas niedriger ist als bei den etablierten CTZ-Sorten und dass kurze Zeit später erschienene neue Hochalphasorten deutlich leistungsfähiger sind. Ähnlich verlief die Markteinführung der Sorte Hallertauer Merkur im Jahr 2000 in Deutschland. Die Landwirte zeigten sich anfangs aufgeschlossen gegenüber der ersten mehltaresistenten Zuchtsorte aus Hüll. Für diese Sorte ungünstige Witterungsbedingungen in den Folgejahren führten dazu, dass Hallertauer Merkur keine große Anbaubedeutung erreichte. Die Markteinführung der wesentlich ertragsstärkeren Sorte Herkules im Jahr 2005 führte umgehend zu einem raschen Absinken der Anbauflächen.

#### **4.3.4 Dauerläufer**

Nur in wenigen Fällen können sich Sorten mit einer erheblichen Anbaubedeutung (Tab. 11) über Jahrzehnte am Markt behaupten. Dies sind in der Regel Sorten, die für alle am Hopfenmarkt beteiligten Partner Vorteile bieten. Für die Landwirte sind eine breite Resistenz bzw. geringe Anfälligkeit gegen die wichtigsten Krankheiten und Schädlinge sowie gute agronomische Eigenschaften (Habitus, Windefähigkeit, unempfindlich gegen Witterungsextreme,...) besonders entscheidend. Hohe, stabile Erträge und eine günstige Kombination der Inhaltsstoffe sind für Hopfenpflanzer, Hopfenvermarkter und Brauer entscheidende Parameter.

Tab. 11: Langjährig erfolgreiche Zuchtsorten

| Land        | Sorte                     | Richtung | Zulassung | Mutter          | Fläche<br>2010 |
|-------------|---------------------------|----------|-----------|-----------------|----------------|
| Deutschland | Perle                     | Aroma    | 1978      | Northern Brewer | 3403           |
| Deutschland | Hall. Tradition           | Aroma    | 1993      | Hall. Gold      | 2623           |
| Deutschland | Spalter Select            | Aroma    | 1993      | 76/18/80        | 801            |
| Deutschland | Hall. Magnum              | Bitter   | 1993      | Galena          | 4202           |
| Deutschland | Hall. Taurus              | Bitter   | 1995      | 82/39/37        | 1054           |
| USA         | Cascade                   | Aroma    | 1972      | Fuggle          | 753            |
| USA         | Willamette                | Aroma    | 1976      | Fuggle          | 1450           |
| USA         | Nugget                    | Bitter   | 1978      | USDA 65009      | 862            |
| USA         | Galena                    | Bitter   | 1979      | Brewers Gold    | 826            |
| USA         | CTZ-Sorten                | Bitter   | 1999      | USDA 65009      | 3078           |
| Slowenien   | Aurora<br>(Super Styrian) | Aroma    | 1972      | Northern Brewer | 950            |
| Polen       | Marynka                   | Bitter   | 1988      | Brewers Gold    | 850            |
| England     | Wye Target                | Bitter   | 1972      | 1/61/1          | 110            |

#### 4.3.4.1 Perle

Die Sorte Perle wurde bereits 1965 gekreuzt und resultiert aus der Kombination von Northern Brewer mit einem peronosporaresistenten männlichen Hüller Aromazuchtstamm. In Deutschland wurden zwar seit den 1950er Jahren mehrere Zuchtsorten zugelassen, aber lediglich Hüller Bitter erreichte trotz einiger ungünstiger agronomischer Eigenschaften (zu starke Wüchsigkeit, hohe Mehltauanfälligkeit, schwankende Erträge ...) eine gewisse Anbaubedeutung. Perle war nun die erste Hüller Zuchtsorte mit durchwegs positiven Anbaueigenschaften, höheren Alphasäuregehalten und günstiger Aromaeinstufung. Die Anbaufläche in Deutschland stieg seit der Markteinführung im Jahr 1978 kontinuierlich bis auf über 3800 ha Mitte der 1990er Jahre an. In der Folgezeit ging die Anbaufläche zwar wegen der stärkeren Konkurrenz durch andere Aromasorten etwas zurück, aber Perle ist nach wie vor die weltweit erfolgreichste Zucht-Aromasorte. Erneuten Auftrieb gab der Sorte Ende der 1990er Jahre die Einführung der Perle-Erhaltungszucht. Hierbei wurden aus mehreren Praxisgärten die schönsten Pflanzen ausgewählt, der Ertrag bestimmt und alle relevanten Inhaltsstoffe analysiert. Mit den besten Einzelpflanzen baute man anschließend eine neue virusfreie Vermehrung auf. Mit diesem „verjüngten“ Fenchermaterial bepflanzte Bestände erreichen seither deutlich höhere Erträge und Alphasäuregehalte.

Da die Brauer zur Hopfung ihrer Biere sehr unterschiedliche Philosophien in Bezug auf Qualität und Alphasäuregehalt vertreten, haben Aromahopfen mit einem etwas höheren Alphasäuregehalt die größten Chancen, sich lange am Hopfenmarkt zu behaupten. Solche teilweise auch „dual purpose“ bezeichneten Sorten lassen sich sowohl für die Grundhopfung, als auch für die letzte Hopfengabe verwenden.

#### 4.3.4.2 Aurora

In etwa das gleiche Marktsegment bedient die slowenische Sorte Aurora. Auch sie ist ein Nachkomme der englischen Sorte Northern Brewer. Sie wurde bereits 1972 in die Praxis eingeführt und lange Zeit zusammen mit einigen ähnlichen Sorten unter der Bezeichnung

Super Styrian vermarktet. Erst seit dem Beitritt in die EU müssen diese Sorten nun separat zertifiziert werden. Im Gegensatz zur Perle erlangte sie aber nur in Zentraleuropa Marktbedeutung.

#### 4.3.4.3 Marynka

Die wichtigste polnische Zuchtsorte resultiert aus einer Kreuzung von Brewers Gold mit einem männlichen jugoslawischen Zuchtstamm. Diese Bittersorte mit einem Alphasäuregehalt von etwa 10 % konkurriert mit den beiden Aromasorten Perle und Aurora bei Qualitätsbrauern um die Verwendung in der ersten Hopfengabe.

#### 4.3.4.4 Hallertauer Tradition

Nachdem bei der Landsorte Hallertauer Mfr. vor allem wegen der hohen Welkeanfälligkeit die Liefersicherheit zunehmend gefährdet war, wurde ein Nachfolger mit ähnlichen Braueigenschaften gesucht. Nach intensiven Anbauprüfungen und Sudversuchen wurde die Sorte Hallertauer Tradition im Jahr 1992 zugelassen. Sie genießt sowohl bei den Pflanzern als auch bei den Brauern zunehmende Akzeptanz und die Fläche stieg seither kontinuierlich auf über 2500 ha an.

Bei den Landwirten ist sie wegen der hervorragenden agronomischen Eigenschaften, der breiten Resistenz und der stabilen Erträge die beliebteste Sorte. Auch hier wurde, nach den äußerst positiven Ergebnissen bei der Sorte Perle, eine Erhaltungszucht aufgebaut. Neues, leistungsfähiges Pflanzmaterial steht seit dem Jahr 2011 zur Verfügung. Bei Brauern auf der ganzen Welt ist Hallertauer Tradition mittlerweile die gefragteste Zuchtsorte im Segment der feinen Aromahopfen. Dabei bietet sie mit einem im Vergleich zu den Landsorten um 150 % höheren Alphasäurenertrag/ha zugleich deutliche Kostenvorteile.

#### 4.3.4.5 Spalter Select

Diese ebenfalls im Jahr 1992 zugelassene Sorte besitzt eine hervorragende Aromaqualität, die wie der Name bereits anzeigt, dem Saazer-Formenkreis ähnlich ist. Sie zeichnet sich durch günstige Resistenzeigenschaften aus. Spalter Select ist so blattlaustolerant, dass in der Regel auf eine Blattlausbekämpfung verzichtet werden kann. Damit ist sie prädestiniert für den Biohopfenanbau. Da sie zusätzlich stabil hohe Erträge erbringt, ist sie bei den Landwirten beliebt. Leider hat der Ausstieg eines wichtigen Abnehmers zu einem deutlichen Rückgang der Anbaufläche geführt.

#### 4.3.4.6 Cascade

Ein wahrer Dauerläufer mit einer „Wiedergeburt“ in den letzten Jahren stellt die bereits 1972 zugelassene Sorte Cascade dar. Sie resultiert aus einer Kreuzung der englischen Landsorte Fuggle mit einem unbekanntem männlichen Zuchtstamm. Bereits kurz nach der Markteinführung nahm die Anbaufläche enorm zu und Anfang der 1980er Jahre wurden in den USA bereits über 2500 ha angebaut. In den folgenden Jahrzehnten nahm die Anbaufläche wieder kontinuierlich bis auf unter 400 ha ab. Hauptgrund hierfür war die zunehmende Konkurrenz durch andere Aroma-Zuchtsorten auf dem Weltmarkt. Einen erneuten Aufschwung nahm die Sorte in jüngster Zeit mit der US-Craft Brewer Bewegung, da sie eine individuelle Fruchtnote aufweist. Weltweit unternehmen die Hopfenzüchter nun große Anstrengungen, um neben traditionellen Aromatypen weitere Sorten mit intensiven Fruchtaromen zu entwickeln.

#### 4.3.4.7 Willamette

Diese triploide Sorte resultiert aus einer Kreuzung der englischen Landsorte Fuggle mit einem männlichen Fuggle-Nachkommen. Das Aroma ist dementsprechend ähnlich zu Fuggle und ersetzte diese Sorte auch rasch im Anbau. Willamette zeichnet sich durch mittlere Erträge und Alphasäuregehalte aus. Die über Jahrzehnte hinweg stabil hohe Anbaufläche hat sich aber in den Jahren 2009 und 2010 wegen des Ausstiegs eines großen internationalen Braukonzerns aus dieser Sorte und des übervollen Weltmarktes stark verringert.

#### 4.3.4.8 Wye Target

Die bereits 1965 gekreuzte und 1972 zugelassene Bittersorte besitzt hohe Alphasäuregehalte sowie eine hohe Mehltau- und Welkeresistenz. Diese ist in England besonders wichtig, da sich hier bereits seit langer Zeit eine besonders aggressive Welkerasse herausgebildet hat. In der Folge erreichte Target auch in Belgien und Deutschland Anbaubedeutung. Die schwache Windefähigkeit und die sehr geringe Lagerstabilität verhinderten aber einen noch höheren Anbauumfang.

#### 4.3.4.9 Nugget

Die 1978 zugelassene Sorte Nugget revolutionierte zusammen mit den Sorten Wye Target und Galena sowohl die Hopfenzüchtung als auch den gesamten Hopfenmarkt. Dies waren in den 1970er Jahren die ersten Bittersorten mit einem Alphasäuregehalt von über 10 % und einem deutlich höheren Ertragspotential. Sie erlaubten damit eine enorme Reduzierung der Kosten für die erste Hopfengabe.

Diese an der Oregon State University gezüchtete Sorte entstammt einer Kreuzung zweier bedeutender amerikanischen Zuchtstämme. Die Mutter USDA 65009 ist zugleich die Mutter der CTZ-Sorten und der Vater USDA 63015M ist auch Elter der Sorte Centennial. Da beide Zuchtlinien mehrere Generationen zurück von Brewers Gold abstammen, liegt deren genetischer Anteil bei über 60 %. Im Vergleich zu Brewers Gold wurde nicht nur der Alphasäuregehalt erhöht, sondern auch die Aromaqualität deutlich verbessert. Da Nugget mit seinen hohen Alphasäureerträgen/ha ein neues Marktsegment eröffnete, stieg die Anbaufläche innerhalb weniger Jahre auf über 3000 ha an. Diese Sorte ist zwar anfällig gegenüber Peronospora und Welke, aber in den USA resistent gegenüber dem Echten Mehltau. Damit ist Nugget seit Jahren eine wichtige Resistenzquelle in der Hochalphazüchtung, die allerdings in Deutschland längst gebrochen ist.

#### 4.3.4.10 Galena

Zeitgleich mit Nugget wurde die in Idaho gezüchtete Sorte Galena zugelassen. Sie entstammt einer Kreuzung von Brewers Gold mit einem unbekanntem männlichen Zuchtstamm. Neben einem hohen Alphasäuregehalt weist sie einen hohen Betasäuregehalt und eine sehr gute Lagerstabilität auf. Es ist zu erwarten, dass Galena in absehbarer Zeit weitgehend durch die Sorte Super Galena ersetzt wird.

#### 4.3.4.11 Hallertauer Magnum

Bedingt durch den überaus großen Markterfolg der amerikanischen Hopfenpflanzer mit Bittersorten, die einen Alphasäuregehalt über 10 % aufweisen, geriet Deutschland bei der Produktion von Bitterhopfen enorm unter Druck. Ab Ende der 1980er Jahre begann man deshalb Wye Target und Nugget auch hier anzupflanzen. Nachdem sich beim Anbau we-

gen mangelnder Resistenzen und einiger agronomischer Nachteile wie schlechte Windfähigkeit und späte Reife keine optimalen Ergebnisse erzielen ließen, wurde 1992 Hallertauer Magnum nach lediglich siebenjähriger Prüfung als erste deutsche Hochalphasorte zugelassen. Sie entstammt einer Kreuzung von Galena mit einem peronosporatoleranten männlichen Zuchtstamm. Auf Grund der guten Praxisergebnisse und des zunehmenden Trends hin zu Hochalphasorten nahm die Fläche rasant zu. Bereits nach 10 Jahren war Hallertauer Magnum mit über 4000 ha Anbaufläche die erfolgreichste Zuchtsorte weltweit. Seit Einführung der leistungsfähigeren Sorte Herkules im Jahr 2005 nimmt die Fläche zwar ab, Magnum wird aber noch auf absehbare Zeit Marktbedeutung besitzen.

#### 4.3.4.12 Hallertauer Taurus

Nach der überaus erfolgreichen Markteinführung von Hallertauer Magnum wurde bereits im Jahr 1995 eine weitere deutsche Hochalphasorte zugelassen. Sie ist zwar anfällig gegenüber der Peronospora-Primärinfektion und dem Echten Mehltau, bringt aber auf günstigen, leichten Standorten Alphasäureerträge, die über denen von Magnum liegen. Darüber hinaus zeichnet sie sich durch große kompakte Dolden und eine exzellente Lagerstabilität aus. Damit ist Hallertauer Taurus ein besonders interessanter Kreuzungselter.

#### 4.3.4.13 CTZ-Sorten

Diese Sortengruppe umfasst die drei Hochalphasorten Columbus, Tomahawk und Zeus. Sie entstammen einer Kreuzung der Nugget-Mutter USDA 65009 mit einem unbekanntem männlichen Zuchtstamm. Diese Sorten sind damit Halbschwestern von Nugget. Es gilt als gesichert, dass es sich bei Columbus und Tomahawk um den gleichen Genotyp handelt. Auch bei Zeus ist dies zu vermuten, aber nicht gesichert. Diese CTZ-Sortengruppe zeichnet sich durch ein sehr hohes Ertragspotential bei gleichzeitig hohen Alphasäuregehalten aus. Der enorme Zuchtfortschritt im Vergleich zu Galena und Nugget führte zu einem raschen Anstieg der Anbauflächen auf über 4700 ha in den USA. Negativ ist die sehr geringe Lagerstabilität.

### 4.3.5 Aufsteiger

Wie bereits mehrfach erwähnt, stehen im Hochalphabereich bereits neue Sorten (Tab. 12) zur Verfügung, die alle Eigenschaften besitzen, um die bisherigen „Dauerläufer“ abzulösen. Hierbei sind v. a. die amerikanischen Sorten Apollo, Bravo, Super Galena und Summit zu nennen, wobei jede dieser Sorten besonders interessante Eigenschaften besitzt. Apollo zeichnet sich durch sehr hohe Alphasäuregehalte aus. Bravo bringt als „high yielder“ sehr hohe Praxiserträge. Super Galena zeigt ähnliche Braueigenschaften wie Galena und konnte diese bereits teilweise verdrängen. Summit ist im Vergleich zu den anderen Hochgerüstsorten etwas schwächer wüchsig. Damit besteht auch die Möglichkeit, Summit in Niedrigerüstanlagen zu produzieren.

Tab. 12: Neue erfolgversprechende Zuchtsorten

| Land        | Sorte        | Richtung | Zulassung | Mutter            | Fläche<br>2010 |
|-------------|--------------|----------|-----------|-------------------|----------------|
| Deutschland | Herkules     | Bitter   | 2006      | Hall. Taurus      | 2542           |
| USA         | Apollo       | Bitter   | 2006      | Zeus              | 335            |
| USA         | Bravo        | Bitter   | 2006      | Zeus              | 168            |
| USA         | Super Galena | Bitter   | 2007      | unbekannt         | 413            |
| USA         | Summit       | Bitter   | 2007      | Lexus             | 1310<br>(2009) |
| Australien  | Galaxy       | Bitter   | 2008      | J 78 (tetraploid) | 6              |
| England     | Boadicea     | Aroma    | 2010      | 23/90/58          | 50             |

In Deutschland liegen überaus gute Praxisergebnisse mit der neuen Sorte Herkules vor. Der Ertrag in kg Alphasäuren/ha konnte im Vergleich zu Hallertauer Magnum und Hallertauer Taurus um rund 50 % gesteigert werden.

Mögliche Aufsteiger könnten die triploide australische Hochalphasorte Galaxy und die englische Zwerg-Aromasorte (dwarf variety) Boadicea werden. Letztere ist die erste vollständig blattlausresistente Zuchtsorte auf dem Markt.

## 4.4 Ernte

### 4.4.1 Erntetermin

Hopfen wird nicht in der physiologischen Reife wie z. B. die Braugerste geerntet, sondern mitten im Wachstum mit einem Wassergehalt der Dolden von 75 - 80 %. Jede Sorte hat einen Zeitrahmen in dem Ertrag, Alphasäuregehalt, weitere Inhaltsstoffe und äußeres Aussehen gut kombiniert sind (Lutz et al., 2009). Dies wird im weiteren Verlauf am Beispiel der Aromasorte Hallertauer Tradition aufgezeigt.

Die Abbildung 24 zeigt die normalen farblichen Veränderungen der Hopfendolden während der Abreife. Die sortentypische dunkelgrüne Ausgangsfarbe der unreifen Dolden verändert sich mit zunehmender Reife zunächst zu gelblichen und dann zu bräunlichen Farbtönen. Die Geschwindigkeit der Farbveränderung ist sowohl sorten- als auch witterungsabhängig. Regenperioden beschleunigen die Veränderung der Doldenfarbe. Der Befall mit Krankheiten und Schädlingen hat ebenfalls großen Einfluss. Innerhalb weniger Tage kann sich die äußere Qualität negativ verändern. Es wird auch deutlich, dass zwischen der Doldenfarbe und dem Alphasäuregehalt kein direkter Zusammenhang besteht. In der Regel wird erst mit zunehmender Reifezeit der optimale Alphasäuregehalt erreicht. Erst bei Überreife fällt dieser wieder leicht ab.

In die Berechnung der Gesamtpunktzahl für die äußere Qualität fließen die positiven Merkmale Pflücke, Doldenfarbe und Zapfenwuchs sowie die negativen Merkmale Befall mit Krankheiten und Schädlingen als auch fehlerhafte Behandlung (Zerblätterung, Übertrocknung, Fremdgeruch ...) ein. Es können maximal 35 Punkte erreicht werden.

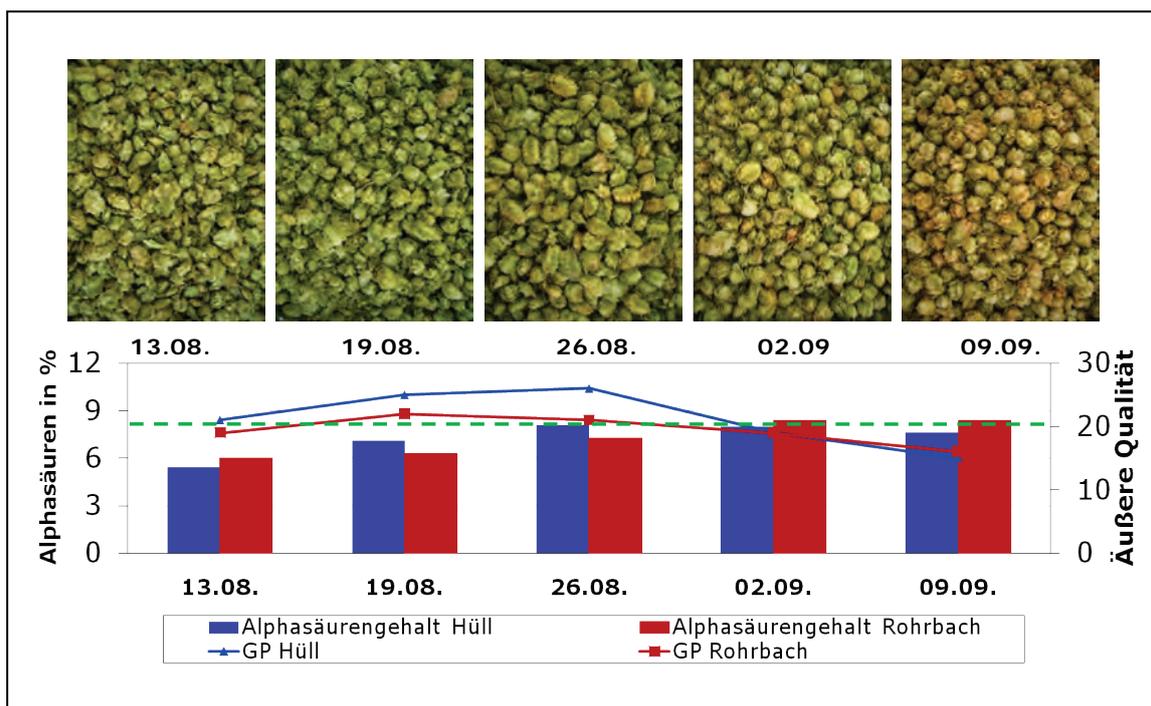


Abb. 24: Einfluss des Erntetermins auf  $\alpha$ -Säuregehalt und äußere Qualität bei der Sorte Hallertauer Tradition an zwei Standorten. GP = Gesamtpunktzahl (maximal 35 Punkte) äußere Qualität; grün gestrichelte Linie = Orientierungslinie für den Alphasäuregehalt

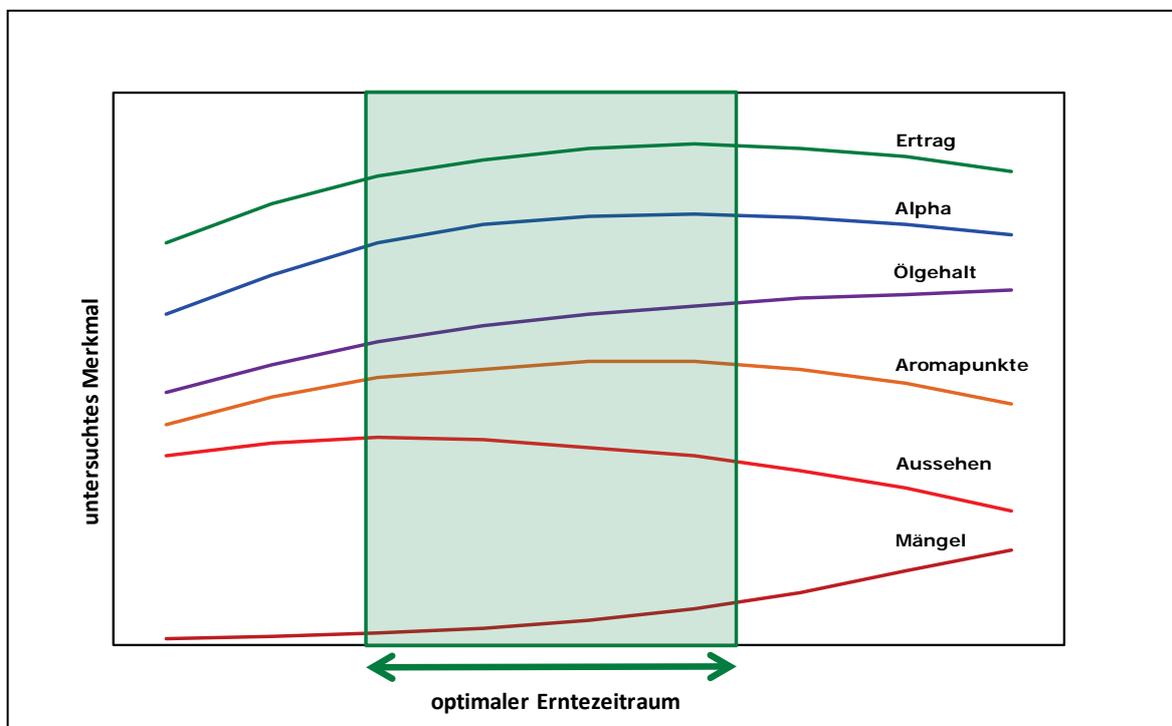


Abb. 25: Schematische Darstellung der entscheidendsten Faktoren, die Ertrag und Qualität zu verschiedenen Erntezeitpunkten beeinflussen.

Für jede Hopfensorte wird in mehrjährigen Exaktversuchen der optimale Erntezeitpunkt (Abb. 25) ermittelt. Die verschiedenen Qualitätsparameter verändern sich während des Versuchszeitraumes unterschiedlich. Daraus ergibt sich je nach Sorte ein empfohlener Erntezeitbereich von 7 – 14 Tagen.

Über den möglichen Erntezeitraum hinweg, verändert sich auch das Aromaprofil der Sorten. Während am Anfang der Erntetermine das Aroma als „schwach und grasig“ beurteilt wird, gehen die Aromabonituren bei späteren Terminen in Richtung „volles, harmonisches“ Aroma. Die Veränderung korreliert mit dem Ölgehalt im Hopfen (Abb. 26). Mit zunehmender Reife steigt dieser an. Zu beachten ist dabei, dass sich die Zusammensetzung des Hopfenöls deutlich verändert. Hauptsächlich steigt der Myrcengehalt an.

Insgesamt wird deutlich, dass es nicht ein einziges enges Zeitfenster als optimalen Erntetermin gibt. Die verschiedenen Qualitätsmerkmale liegen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Optimum. Sind die höchsten Ertrags- und Alphasäuregehalte erreicht, kann die äußere Qualität bereits deutlich beeinträchtigt sein.

Das Verständnis für einen optimalen Erntezeitpunkt ist von Brauer zu Brauer unterschiedlich. Da zudem Witterungs- und Jahrgangseinflüsse eine entscheidende Rolle spielen, sind Kompromisse gefragt. Grüne Hopfendolden bedeuten nicht automatisch gute Qualität, denn eine einheitlich grüne Farbe ist selten mit einer optimalen Zusammensetzung der Inhaltsstoffe korreliert. Ein mäßiger Krankheitsbefall mit Farbabweichungen ist vielfach günstiger einzustufen als eine zusätzliche späte Pflanzenschutzmaßnahme mit der Gefahr von erhöhten Rückständen.

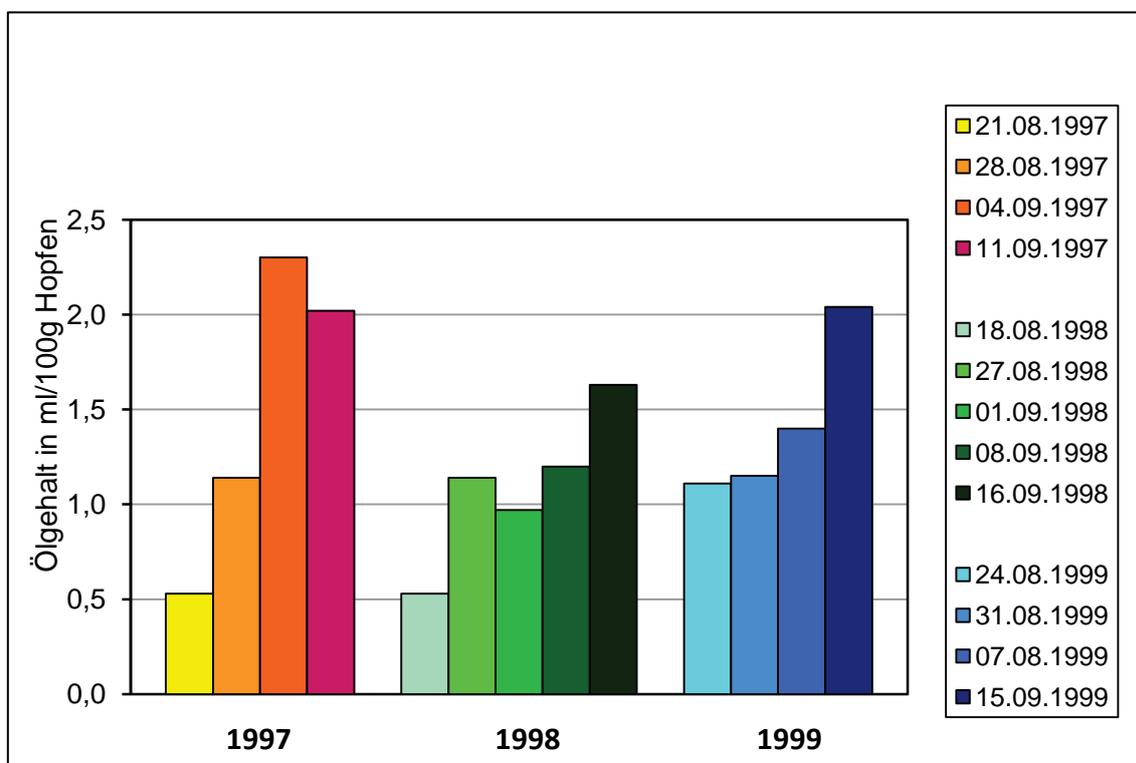


Abb. 26: Veränderung des Ölgehaltes bei der Sorte Hallertauer Tradition im Laufe der Abreife



ten vom Feld zum Erntezentrum in etwa halbiert werden und das zeitaufwändige Einhängen der Reben entfällt.



*Abb. 28: Stationäre Pflückmaschine im Einsatz*



*Abb. 29: „Field Harvester“ im Einsatz auf einer US-Hopfenfarm. Quelle: Hopsteiner*

## 4.5 Nacherntebehandlung

### 4.5.1 Trocknung

Mit dem Transport der Hopfenreben vom Hopfengarten zur Pflückmaschine beginnt eine Phase, in der bisher optimal erzeugte Qualitäten innerhalb weniger Stunden deutlich gemindert werden können. Die Trocknung der Hopfendolden muss innerhalb weniger Stunden erfolgen, um eine Erwärmung des Erntegutes zu verhindern. Andernfalls bekommen sie eine unansehnliche Doldenfarbe und können einen Fremdgeruch annehmen.

In der Hopfendarre werden die Dolden mit einer Trocknungstemperatur von etwa 65° C auf 9 – 11 % Wassergehalt getrocknet. Dieser Vorgang dauert je nach Ausgangsfeuchte und Witterung vier bis fünf Stunden. Die Trocknung von Hopfen erfordert viel Erfahrung, weil die Trocknungsparameter ständig an die unterschiedlichsten Witterungsbedingungen, Sortenunterschiede und den Reifezustand angepasst werden müssen. Technische Hilfsmittel, direkte und indirekte Messmethoden wurden erarbeitet und getestet, um den Trocknungsprozess optimal führen zu können (Münsterer, 2006; 2009; 2010).

Den Einfluss der Witterung auf den möglichen Wasserentzug und dadurch auf den Trocknungseffekt, verdeutlicht Tab. 13. Bei gleichbleibender Luftmenge, die durch die Hopfendarre gedrückt wird, werden sehr unterschiedliche Mengen an Wasser von den Dolden abtransportiert. Der Verbleib der Hopfendolden in der Darre variiert daher auch im Verlauf des Tages.

Tab. 13: Einfluss der Witterung auf die Trocknungsleistung (max. Wasserabtransport in g/m<sup>3</sup> Luft)

| Situation               | Temperatur | rel. Luftfeuchte | g Wasser/m <sup>3</sup> Luft | max. Wasserabtransport g/m <sup>3</sup> Luft |
|-------------------------|------------|------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| Darrabluf aus Trocknung | 30° C      | 100 %            | 30,5 g                       | --                                           |
| Ansaugluft morgens      | 12° C      | 80 %             | 8,6 g                        | <b>21,9 g</b>                                |
| Ansaugluft nachmittags  | 25° C      | 40 %             | 9,3 g                        | <b>21,2 g</b>                                |
| Ansaugluft vor Gewitter | 25° C      | 80%              | 20,8 g                       | <b>9,7 g</b>                                 |

Trocknungstechnisch ist die Hopfendolde (Abb. 30) extrem ungünstig aufgebaut, denn die Spindel im Zentrum der Dolde enthält viel Wasser. Über die feinen Kapillaren der Doldenblätter wird es abgeführt. Werden diese durch zu hohe Trocknungstemperaturen zerstört, bleiben die Spindeln zu feucht. Es besteht dann die Gefahr, dass sich der Hopfen im Ballen erwärmt und verdirbt.

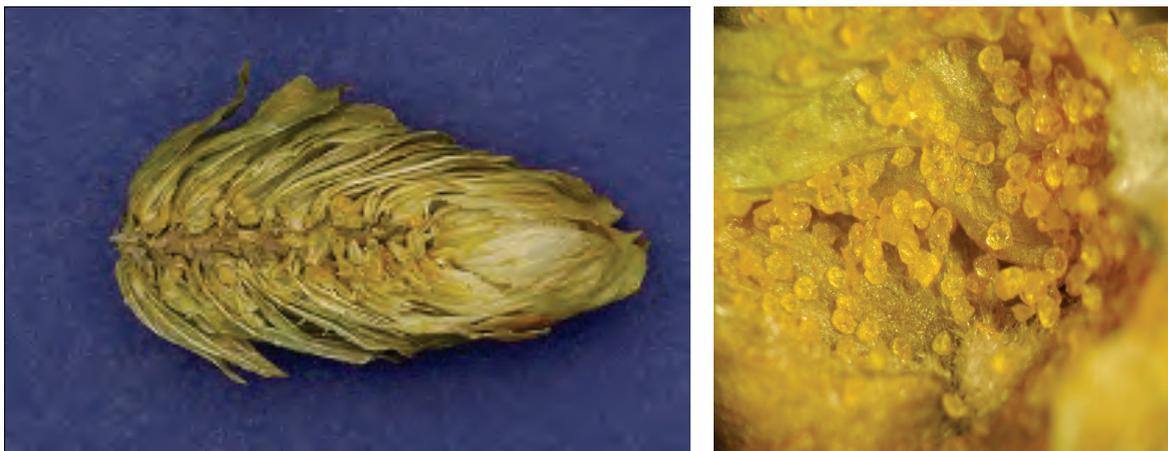


Abb. 30: Getrocknete Hopfendolde (links) mit Lupulindrüsen, wie sie unter dem Binokular zu sehen sind (rechts)

#### 4.5.2 Konditionierung

Auch bei bester Trocknungstechnik gelingt es nicht, einen völlig homogen getrockneten Hopfen zu erhalten. Sowohl innerhalb der Dolde (Spindel – Doldenblatt), als auch im Gesamtinhalt der Darre gibt es relativ große Unterschiede im Wassergehalt. Es muss deshalb eine Nacherntebehandlung, die sogenannte Konditionierung, erfolgen. Ziel dieser Behandlung ist es, den Wassergehalt sowohl innerhalb der Dolde als auch in der Gesamtpartie zu homogenisieren.

Früher wurde dazu der Hopfen auf den Hopfenböden mehrere Tage bis Wochen aufgeschüttet, um einen Ausgleich des inhomogenen Hopfens zu erreichen. Durch eine Konditionierung erfolgt dieser Vorgang innerhalb weniger Stunden. Dabei wird der Hopfen in diesen Kammern belüftet. Je nach Bedarf kann die Temperatur und Luftfeuchte geregelt werden (Münsterer, 2006). Als Sollwerte bei Eintritt der Luft wurden ermittelt:

- 20 – 24° C
- 58 – 65 % rel. Luftfeuchte.

Unter diesen Voraussetzungen kann nach ca. vier Stunden ein optimaler, homogener Wassergehalt von 9 - 10 % erreicht werden.

Erst nach diesen Behandlungen können die Dolden in die Rechteckballen abgesackt werden. Nach Siegelung, Zertifizierung, Versehen mit der Herkunftsbescheinigung, kann die sortenreine Ware vermarktet werden.

Die heute in allen Lebensmittelbereichen geforderte „Rückverfolgbarkeit der Ware bis zum Erzeuger“ ist bei Hopfen seit Jahrzehnten eine Selbstverständlichkeit. Die Herkunftsbescheinigung begleitet die Partie über die Hopfenverarbeitung bis zum Brauer.

## 5 Literatur

Aldinger, C., Stanke, M., Alheit, K., Gática, A., Höhnle, M., Matousek, J., Weber, G. (2009): Modification of the synthesis of bioactive flavonoids in transgenic hop *Humulus lupulus* L. by PAP1/MYB75 from *Arabidopsis thaliana* L.. Proceedings, International Hop Growers Convention, Scientific Commission, 56-59.

[http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc09\\_proceedings.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc09_proceedings.pdf)

Batista, D., Fonseca, S., Serrazina, S., Figueiredo, A., Pais, M.S. (2008): Efficient and stable transformation of hop (*Humulus lupulus* L.) var. Eroica by particle bombardment. *Plant Cell Rep* 27:1185–1196.

Beatson, R.A., Ferguson, A.R., Weir, I.E., Graham, L.T., Ansell, K.A. and Ding, H. (2003): Flow cytometric identification of sexually derived polyploids in hop (*Humulus lupulus* L.) and their use in hop breeding. *Euphytica* 134:189-194.

Beranek, F., und Rigr, A. (1994): Sortenzusammensetzung des böhmischen Hopfens. *Chemelarstvi – International edition*, 4-13.

Biendl, M., Pinzl, Ch. (2007): Arzneipflanze Hopfen – Anwendungen, Wirkungen, Geschichte. Schriftenreihe des deutschen Hopfenmuseums Wolnzach. ISBN 3-929749-05-X

Buck E, Wiedow C & Beatson R. (2007): Molecular Marker Development and Use in the NZ Hop Breeding Programme. Proceedings, International Hop Growers Commission, Scientific Committee, 22-25. ISSN 1814-2192.

Cerenak, A., Satovic Z., Jakse, J., Luthar, Z., Carovic-Stanko, K., Javornik, B. (2009): Identification of QTLs for alpha acid content and yield in hop (*Humulus lupulus* L.). *Euphytica*, 170, 1-2, 141-154.

Darby, P. (2004): Hop Growing in England in the Twenty First Century. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, Vol.165, ISSN - 0080 - 4134

Darby, P., Farris, M.D., Green, C.P., Gunn, R.E. (1993): Dwarf hops – their history, progress and prospects. Proc. of the Scientific Commission of the International Hop Growers' Convention, Wye, England, 37 - 45.

Engelhard, B., Schlagenhauer, S. (2009): Prognosemodell als neue Entscheidungshilfe zur Bekämpfung des Echten Mehltaus (*Podosphaera macularis*) im Hopfen - Start in der Hallertau 2009. *Hopfen-Rundschau* 60, 77-82.

Henning, J.A., Townsend, M.S. and Matthews, P. (2010): Predicting Offspring Performance in Hop (*Humulus lupulus* L.) using AFLP markers. *J. Amer. Soc. Brew. Chem.* 68, 125-131.

Howard, E.L., Whittock, S.P., Jakse, J., Carling, J., Matthews, P.D., Probasco, G., Henning, J.A., Darby, P., Cerenak, A., Javornik, B., Kilian, A., Koutoulis, A. (2011): High-throughput genotyping of hop (*Humulus lupulus* L.) utilizing diversity arrays technology (DArT). *Theor Appl Genet* DOI 10.1007/s00122-011-1529-4 (online).

Jakse, J., Stajner, N., Kozjak, P., Cerenak, A., Javornik, B (2008): Trinucleotide microsatellite repeat is tightly linked to male sex in hop (*Humulus lupulus* L.). *Molecular Breeding: new Strategies in Plant Improvement*, 21(2), 139-148.

James, C. (2010): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY

- Koie, K., Inaba, A., Okada, Y., Kaneko, T., and Ito, K. (2005): Construction of the genetic linkage map and QTL analysis on hop (*Humulus lupulus* L.). Acta Hort. (ISHS), 668, 59-67.
- Koutoulis, A., Price, A., Leggett, G. (2005): Polyploid breeding and mutagenesis in hop (*Humulus lupulus* L.). Acta Horticulturae 668, 41-46.
- Lutz, A., Kneidl, J., Seigner, E., Kammhuber, K. (2009): Hopfenqualität – Ernte zum richtigen Zeitpunkt, LfL-Information.
- Matousek J., Vrba, L., Skopek, J., Orctova, L., Pesina, K., Heyerick, A., Baulcombe, D., De Keukeleire, D. (2006): Sequence analysis of a "true" chalcone synthase (chs\_H1) oligofamily from hop (*Humulus lupulus* L.) and PAP1 activation of chs\_H1 in heterologous systems. J Agric Food Chem 54, 7606-7615.
- Matousek, J., Kocabek, T., Patzak, J., Stehlik, J., Fussy, Z., Krofta, K., Heyerick, A., Rolda-Riuz, I., Maloukh, L., De Keukeleire, D. (2010): Cloning and Molecular Analysis of HlbZip1 and HlbZip2 Transcription Factors Putatively Involved in the Regulation of the Lupulin Metabolome in Hop (*Humulus lupulus* L.). J. Agric. Food Chem. 2010, 58, 902–912.
- Miehle, H., Seigner, E. (2007): Production of powdery mildew resistant hops via gene transfer. Proc. of the Scientific Commission, International Hop Growers` Convention. Tettang, Germany, 78-81. [www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/wk07\\_bericht\\_2.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/wk07_bericht_2.pdf)
- Mozny, M., Nekovar, J., Sparks, T. (2009): The impact of climate change on the harvest and quality of Saaz hops in the Czech Republic. In.: International conference on climate change and its impact on Europe. October, Praha.
- Münsterer, J. (2006): Optimale Hopfentrocknung und Konditionierung von Hopfen, LfL-Information.
- Münsterer, J. (2009): Entwicklung und Erprobung einer neuartigen Messtechnik zur weiteren Optimierung der Trocknungsleistung. Hopfen Rundschau 60 (5), 110-112.
- Münsterer, J. (2010): Steigerung der Trocknungsleistung von Hopfen durch ein optimales Schüttgewicht. Hopfen-Rundschau 8, 214-215.
- Murakami, A., Darby, P., Javornik, B., Pais, M.S., Seigner, E., Lutz, A., Svoboda, P. (2006): Molecular phylogeny of wild Hops, *Humulus lupulus* L. Heredity 97, 66–74.
- Nagel, J., Culley, L.K., Lu, Y., Liu, E., Matthews, P.D., Stevens, J.F., Page, J.E. (2008): EST analysis of hop glandular trichomes identifies an *O*-methyltransferase that catalyzes the biosynthesis of xanthohumol. Plant Cell 20, 186-200.
- Nesvadba, V., Krofta, K. (2002): The new hop variety Agnus as the result of breeding process innovation in Czech Republic. In: Rostlinna vyroba, 48 (11), 513-517.
- Nesvadba, V., Krofta, K. (2008): Czech Hop Varieties. In: Czech Hops 2008. Ministry of Agriculture of the Czech Republic and Hop Growers of the Czech Republic (eds.), 13-14.
- Neve, R.A. (1991): Varieties and breeding. In: R.A. Neve (ed.), Hops, 196-223. Chapman and Hall, London.
- Oberhollenzer, K., Lutz, A., und Seigner, E. (2011): Charakterisierung der Interaktion Hopfen-Hopfenmehltaupilz auf Zellebene und Funktionsanalyse von an der Abwehr beteiligten Genen. Jahresbericht – Sonderkultur Hopfen

- Oberhollenzer, K., Seigner, E., Lutz, A., Eichmann, R., Hückelhoven, R. (2009): Powdery mildew on hops (*Humulus lupulus* L.): Histochemical studies and development of a transient transformation assay. Proceedings of the Scientific Commission, International Hop Growers` Convention, Leon, Spain, ISSN 1814-2192, 23-26.  
[www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc09\\_proceedings.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc09_proceedings.pdf)
- Okada, Y., Ito, K. (2001): Cloning and analysis of valerophenone synthase gene expressed specifically in lupulin gland of hop (*Humulus lupulus* L.). *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65, 150-155.
- Oriniakova, P. and Matousek, J. (1996): Viroid infection of hop (*Humulus lupulus* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens* and conditions for hop transformation. *Rostl. Vým.* 52, 233-239.
- Patzak, J. and Matousek, J. (2009): Gene specific molecular marker development. *Acta Hort. (ISHS)*, 848, 73-80.
- Polley, A., Ganal, M.W., Seigner, E. (1997): Identification of sex in hop (*Humulus lupulus*) using molecular markers. *Genome* 40 (3), 357-361.
- Schlagenhauser, St. (2010): Erstellung einer witterungsgestützten Befallsprognose zur Bekämpfung des Echten Mehltaus (*Podospaera macularis*) an Hopfen (*Humulus lupulus*). Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Schwekendiek, A., C. Horlemann, O. Spring, M. Stanke, M. Höhnle, and G. Weber (2005): Hop (*Humulus lupulus* L.) Transformation with Stilbene Synthase for Increasing Resistance against Fungal Pathogens. *Acta Hort.* 668, 101-107.
- Seefelder, S., Seidenberger, R., Lutz, A., Seigner, E. (2009): Development of Molecular Markers Linked to Powdery Mildew Resistance Genes in Hop (*Humulus lupulus* L.) to Support Breeding for Resistance. Proceedings 32rd EBC Congress, Hamburg.
- Seigner, E. und Lutz, A. (2009): Züchtung von Zwerghopfen für den Niedrigerüstanbau. Jahresbericht – Sonderkultur Hopfen, Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Arbeitsbereich Hopfen, und Gesellschaft für Hopfenforschung e.V., 41-47.
- Seigner, E., Lutz, A., Oberhollenzer, K., Seidenberger, R., Seefelder, S., Felsenstein, F. (2009): Breeding of Hop Varieties for the Future. II International Humulus Symposium, ISHS, *Acta Horticulturae* 848, 49-57.
- Strathmann, J., Bertl, E., Hussong, R., Klimo, K., Steinle, R., Frank, N., Gerhäuser, C. (2009): Xanthohumol from hops prevents hormone-dependent tumorigenesis in vitro and in vivo. *Acta Hort. (ISHS)*, 848, 179 -187.
- Wang, G. and Dixon, R.A. (2008): Heterodimeric geranyl(geranyl)diphosphate synthase from hop (*Humulus lupulus*) and the evolution of monoterpene biosynthesis. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0904069106](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0904069106)
- Weihrauch, F. (2003): Entwicklung einer Bekämpfungsschwelle für die Gemeine Spinnmilbe *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Acari, Tetranychidae) in der Sonderkultur Hopfen. Logos-Verlag, Berlin. 109 pp.
- Weihrauch, F. (2004): A new monitoring approach for the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in hop culture. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection* 111, 197-205.

Weihrauch, F. (2005): Evaluation of a damage threshold for two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), in hop culture. *Annals of Applied Biology* 146, 501-509.

#### **Als weitere Informationsquellen wurden genutzt:**

Barth, H.J., Ch. Klinke, und C. Schmidt (1994): *Der große Hopfenatlas: Geschichte und Geographie einer Kulturpflanze.* (ed. Joh. Barth & Sohn, Nürnberg)..

Barth-Haas Hops Companion, John I. Haas, Inc. (2009): *A guide to the Varieties of Hops and Hop Products* (Tim Kostelecky. ed.). ISBN 978-1-61584-564-4

Barth-Haas-Group (1970 - 2010): *Der Barth Bericht – The Wizard of Hops* (jährlich), ed. Joh. Barth & Sohn GmbH & Co KG., Nürnberg, Deutschland.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Arbeitsbereich Hopfen, in Zusammenarbeit mit Hopfenberatungsstellen der Bundesländer (jährlich): *Hopfen – Anbau, Sorten, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte* („Das grüne Heft“)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Arbeitsbereich Hopfen, und Gesellschaft für Hopfenforschung e.V. (jährlich): *Jahresbericht – Sonderkultur Hopfen.*

Darby, P. (2010): *The English hop industry. Proceedings, 47<sup>th</sup> Hop Seminar with international participation, Portoroz, Slovenia, 115-120.*

Drexler, G.: *Internationaler Überblick zu Aromahopfensorten von 1990 bis heute,* Brauwelt Nr. 5-6, 2011, 144-147.

Haunold, A. (2007): *Historical perspectives on some major US hop varieties*

Haunold, A. and Nickerson, G.B. (1993): *Factors Affecting Hop Production, Quality, and Brewer Preference.* Republished from *BrewingTechniques'* May/June 1993.

<http://www.brewingtechniques.com/library/backissues/issue1.1/haunold.html>

Haunold, A., Townsend, S., Henning, J: *Hop Cultivar Descriptions*

<http://www.ars.usda.gov/pandp/docs.htm?docid=14772>

Henning, J.A. (2009): *Hop Cultivars and Breeding,* In: *Compendium of Hop Diseases and Pests.* Mahaffee, W., Pethybridge, S., and David H. Gent (eds.)

Kohlmann, H und Kastner, A. (1975): *Der Hopfen – Hopfenbau und Betriebswirtschaft.* Hopfen-Verlag Wolnzach.

Lemmens, G. W. Ch.: *The Breeding and Parentage of Hop Varieties*

[http://www.basicbrewing.com/radio/pdf/TheBreeding\\_Varieties.pdf](http://www.basicbrewing.com/radio/pdf/TheBreeding_Varieties.pdf)

National Hop Association of England, HRI-HortiTech (1999): *The Hop Guide- A Guide to the Culture Production and Use of Hops in England.* ISBN-13: 9780900347054

Simon H. Steiner, Hopfen, GmbH: *Entscheidungsdaten für den Hopfeneinkauf* (jährlich), ed. Simon H. Steiner, Hopfen, GmbH, Mainburg, Deutschland.

Townsend, S., Henning, J: *USDA-ARS Hop Cultivar Pedigree*

<http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/2450/hoppedigree.pdf>

Van Valkenburg, D. (1995): A Question of Pedigree -- The Role of Genealogy in Hop Substitutions. Republished from *BrewingTechniques*' September/October 1995.  
<http://www.calferm.org/edu/hops/Pedigree.htm>.

Wikipedia mit versch. Stichworten (z. B. Pflanzenzüchtung, Gentechnik,...)

Yakima Chief Inc.: Hop Varietal Guide – High quality hops from the Yakima valley  
<http://www.yakimachief.com/hopvarieties/ycivarieties.pdf>

Die Autoren danken dem ehemaligen Züchter des Arbeitsbereiches Hopfen Herbert Ehrmaier, Pfaffenhofen, sowie Harald Schwarz, Hopsteiner, und Dr. Peter Darby, Wye Hops Ltd., für wertvolle Informationen.