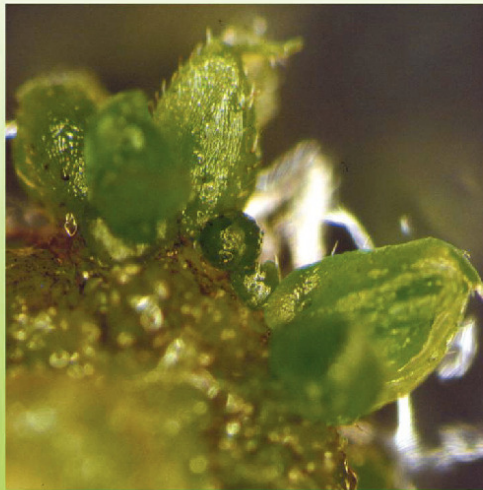




Christoph Horlemann (Autor)
**Genetische Transformation und Regeneration von
Hopfen (*Humulus lupulus* L.)**

**Genetische Transformation
und Regeneration
von Hopfen
(*Humulus lupulus* L.)**

Christoph Horlemann



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3388>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Hopfen (*Humulus lupulus* L.) zählt zur Familie der Hanfgewächse (*Cannabinaceae*) und der Ordnung der Nesselgewächse (*Urticaceae*) (Small, 1978). Der Kulturhopfen ist in der gemäßigten Klimazone der ganzen nördlichen Hemisphäre heimisch (Neve, 1991). Er ist eine mehrjährige Kletterpflanze, die an 7 - 8 m hohen Gerüsten kultiviert wird und 15 - 20 Jahre voll ertragsfähig bleibt. Hopfen ist diözisch, d. h. weibliche und männliche Blüten befinden sich nicht auf ein und derselben Pflanze.

Von kommerziellem Interesse sind beim Hopfen die zapfenähnlichen, weiblichen Blütenstände, die so genannten Dolden (Abbildung 1a). In speziellen Drüsen, die sich vorwiegend an der Basis der Vorblätter der Einzelblüten befinden, bildet die weibliche Hopfenpflanze das gelbe Lupulin (Abbildung 1b). Dieses enthält Aroma-, Gerb- und Bitterstoffe, die in der Heilkunde, vor allem aber in der Bierherstellung verwendet werden. Hopfen verleiht Bier unter anderem Bitternis, Aroma und Haltbarkeit (Haas und Barsoumian, 1994; Deinzer und Yang, 1994; Mizobuchi und Sato, 1985; Bamforth, 1985). Hopfensorten werden je nach Zusammensetzung der Inhaltsstoffe als Aroma-, Bitter- oder Hochalpha-Sorten bezeichnet (de Cooman et al., 1998).

Männliche Hopfenpflanzen (Abbildung 1c) werden ausschließlich zu Züchtungszwecken angepflanzt. Da die Befruchtung weiblicher Blüten zu größeren, gröberen Dolden führt, steigt der Ertrag. Die Qualität des Hopfens wird jedoch herabgesetzt und der Lupulingehalt nimmt ab (Zattler und Krauß, 1970). Daher müssen in Deutschland männliche Hopfenpflanzen gerodet werden (Kohlmann und Kastner, 1975). Alle Hopfensorten werden auch deshalb generell nur klonal vermehrt und erhalten.

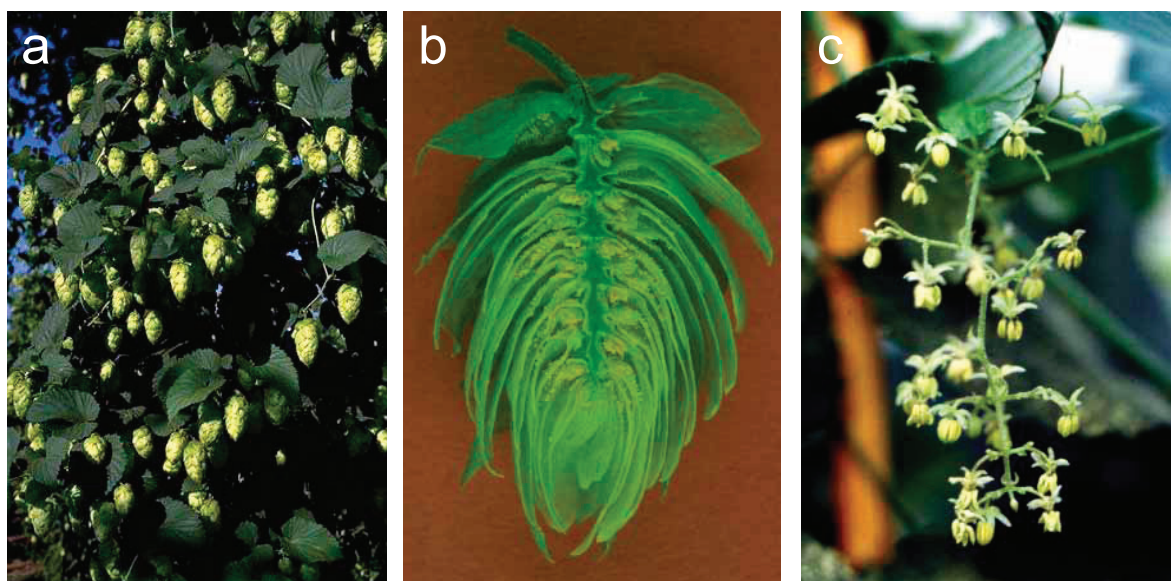


Abbildung 1:
Weibliche und männliche Blütenstände des Hopfens

a weibliche Blütenstände (Bild von www.hopunion.com)

b aufgeschnittene Hopfendolde, an der Basis der Vorblätter der Einzelblüten wird das gelbe Lupulin gebildet (Bild aus Fleischer (2003))

c männliche Blütenstände

Die weltweit mit Abstand wichtigsten Hopfenproduzenten sind Deutschland und die Vereinigten Staaten von Amerika. In beiden Ländern zusammen wurden im Jahr 2002 ca. zwei Drittel der Weltjahresproduktion hergestellt (Weingarten, 2003). In Deutschland wird Hopfen vor allem in der Hallertau, aber auch in den Regionen Elbe-Saale, Hersbruck, Spalt und Tettang angebaut. Traditionell wurde in den Regionen jeweils eine spezifische Sorte angepflanzt, die nach dem Anbaugebiet benannt wurde (wie z. B. die Sorte Hallertauer mittelfrüh, Spalter oder Tettnanger). Die Sorte Tettnanger ist wegen ihrer Qualität und ihres außerordentlich feinen Aromas besonders geschätzt.

Als mehrjährige Pflanze in einem relativ geschlossenen Anbaugebiet ist der Kulturhopfen durch Krankheiten und Schädlinge besonders gefährdet. Das häufig windstille und feuchte Kleinklima in den Hopfengärten fördert vor allem Pilzkrankheiten (Kremheller, 1990). Das Schadbild, die Bedeutung und die Bekämpfung der wichtigsten Krankheiten und Schädlinge des Hopfens sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Diese können meist nur durch das

Pathogen	Bedeutung	Bekämpfung
Falscher Mehltau (<i>Pseudoperonospora humuli</i> (Miy. & Takah.) Wilson)	<ul style="list-style-type: none"> • weltweit bedeutenste Krankheit des Hopfens • Blüten- und Doldenbefall kann zu vollständigem Ertragsverlust führen 	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzmittel • Warndienst • Sortenwahl
Echter Mehltau (<i>Sphaerotheca humuli</i> (de Candolle) Burrill)	<ul style="list-style-type: none"> • tritt nicht in jedem Jahr und an jedem Standort gleich stark auf • Ertrag und Qualität können stark beeinträchtigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzmittel
Verticilliumwelke (<i>Verticillium albo-atrum</i> Reinke & Berthold und <i>Verticillium dahliae</i> Klebahn)	bei anfälligen Sorten: <ul style="list-style-type: none"> • 100%iger Ertragsausfall • Absterben des Hopfenstockes 	<ul style="list-style-type: none"> • Sortenwahl • Hygienemaßnahmen
Hopfenblattlaus (<i>Phorodon humuli</i> Schränk)	<ul style="list-style-type: none"> • befällt jedes Jahr alle Hopfensorten • unzureichende Bekämpfung führt zu Ertragsverlust und Qualitätsminderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzmittel
Rote Spinne (<i>Tetranychus urticae</i> Koch)	<ul style="list-style-type: none"> • in heißen, trockenen Jahren und auf leichten, sandigen Böden • erhebliche Ertrags- und Qualitätsverluste 	<ul style="list-style-type: none"> • Spritzmittel

Tabelle 1:
Bedeutung und Bekämpfung der wichtigsten Krankheiten und Schädlinge des Hopfens

Spritzen von Pflanzenschutzmitteln bekämpft werden. Hinzu kommt, dass bei anfälligen Sorten, in Befallslagen und bei ungünstigen Wetterbedingungen die Pflanzenschutzmaßnahmen unbedingt präventiv erfolgen müssen (Kremheller, 1990; Kohlmann und Kastner, 1975). Geschieht dies nicht, so kommt es im späteren Vegetationsverlauf zu erheblichen Ertrags- und Qualitätseinbußen. Zur Optimierung des Spritzmitteleinsatzes wurden Frühwarndienste eingerichtet, die aufgrund von Witterung und aktuellen Befallsdaten eine Befallsprognose erstellen und dementsprechende Spritzempfehlungen herausgeben (Engelhard et al., 1999; Moosherr, 1990; Kremheller, 1990). Hinzu kommt, dass die Pflanzenschutzmittel wegen der Höhe der Hopfengärten in speziellen Turbinen-Spritzmaschinen ausgebracht werden müssen, wo-

durch es zwangsweise zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln auf die angrenzenden Gebiete kommt.

Aus ökonomischen, aber auch ökologischen Gründen ist daher eine Reduzierung des Spritzmitteleinsatzes sehr erstrebenswert. Durch den Anbau von Hopfenpflanzen, die widerstandsfähiger gegen Krankheiten und Schädlinge sind, lässt sich dieses am sinnvollsten erreichen. Um zu widerstandsfähigeren Hopfenpflanzen zu gelangen, sind mehrere Ansätze denkbar.

1. Neuzüchtung widerstandsfähiger Sorten

Der nahe liegende Ansatz ist die klassische Einkreuzung widerstandsfähiger Genotypen. Dabei sollten die Neuzüchtungen neben einer erhöhten Widerstandsfähigkeit auch ausreichende Ertrags- und Qualitätseigenschaften besitzen. Auf diese Weise konnte zum Beispiel die Sorte Hüller Bitterer hergestellt werden, die neben guten Aromaeigenschaften auch eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber *Pseudoperonospora humuli* aufweist (Kohlmann und Kastner, 1975). Im Allgemeinen ist Züchtung bei Hopfen allerdings sehr komplex und langwierig. Auf alte und bereits etablierte Sorten wie den Tettlinger ist dieser Ansatz außerdem nur sehr schwierig übertragbar. Zum einen fehlen Männchen der Sorte Tettlinger, da diese im Anbaugebiet ausgerottet wurden. Zum anderen wäre eine Erhaltung der essentiellen und besonderen Qualitätseigenschaften dieser Sorte - wenn überhaupt - nur durch langwierige Rückkreuzungsprogramme möglich.

2. Selektion widerstandsfähigerer Klone aus einer Population

mit genetischer Variabilität

Die Sorte Tettlinger wurde bisher als „alte Landsorte“ bezeichnet (Haunold, 1990), d.h. man ging davon aus, dass der Tettlinger sich aus einem Gemisch unterschiedlicher Genotypen zusammensetzt. Diese Annahme wurde durch eine phänotypische Heterogenität der Sorte im Anbaugebiet gestützt. Ein weiterer Ansatz, um zu widerstandsfähigeren Pflanzen zu ge-

langen, wäre die Selektion widerstandsfähigerer Klone aus dieser Landsorte heraus. Robert Fleischer (Fleischer, 2003; Fleischer et al., 2003) untersuchte mit dieser Zielsetzung die genetische Variabilität des Tettnangers und kam zu dem Ergebnis, dass keine genetische Variabilität innerhalb dieser Sorte vorhanden ist und sie deshalb als Klon zu bezeichnen ist. Eine Selektion resistenterer Genotypen innerhalb dieser Sorte ist daher nicht möglich.

3. Erzeugung somaklonaler Varianten

Ein weiterer denkbarer Ansatz zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit einer Sorte wäre die Ausnutzung der innerhalb der Gewebekultur auftretenden somaklonalen Variation. Connell und Heale führten mehrere Versuche zur Regeneration somaklonaler Varianten aus Kallus- und Suspensionskulturen in Gegenwart von Kulturfiltraten des Pilzes *Verticillium albo-atrum* durch (Heale et al., 1989a, b; Connell und Heale, 1986). Die regenerierten Pflanzen wiesen *in vivo* eine leicht erhöhte Toleranz gegenüber *Verticillium* auf. Gleichzeitig zeigten sie allerdings zahlreiche Störungen physiologischer und morphologischer Art und häufig auch anormale Ploidiegrade. Sustar-Vozlic et al. (1999) konnten bei der Untersuchung der somaklonalen Variation bei Hopfen keine unterschiedlichen RAPD-Profile bei den regenerierten Pflanzen feststellen.

4. genetische Transformation zur Erhöhung der Widerstandskraft

Durch die genetische Transformation mit Genen, die eine erhöhte Widerstandskraft induzieren, könnten die Resistenzeigenschaften von Hopfen verbessert werden. Solche Gene könnten artübergreifend ausgewählt werden und mit Hilfe eines Transformationssystems in etablierte Sorten übertragen werden, ohne dass deren besonderen Qualitäts- und Sortenmerkmale verloren gehen.