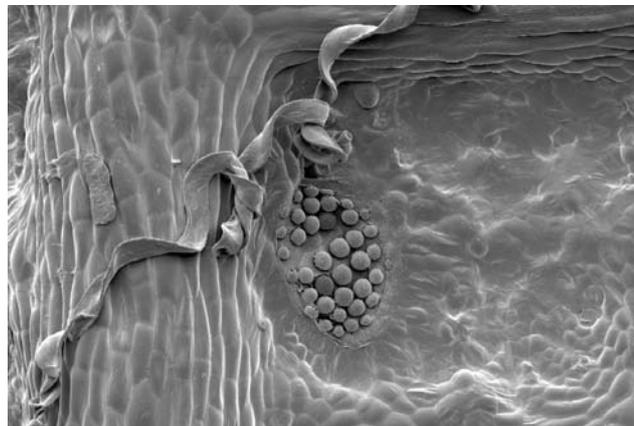


# **Hopfenextrakt (*Humulus lupulus*) als Fungizid gegen *Plasmopara viticola***



**Masterarbeit von Lucia Schreiner**

**Universität für Bodenkultur, Wien**  
Fachbereich angewandte Pflanzenwissenschaften  
Hauptbetreuung: Prof. Astrid Forneck  
Vertretung: Dr. Ulrike Anhalt

**In Zusammenarbeit mit dem Weinbauinstitut Freiburg**  
Hauptbetreuung: Dr. Hans- Heinz Kassemeier  
Vertretung: Dr. Karsten Schmidt



**Ich widme diese Arbeit meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben**

**Danksagung:**

Für ihre freundliche und selbstlose Hilfe bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich bei den folgenden Personen ganz herzlich bedanken: Fedor Lösch vom Weinbauinstitut Freiburg für viele wertvolle Anregungen aus der weinbaulichen Praxis, Silvia Herzog, Solleman Miller und Gerda Willers für die Hilfe bei der Durchführung der Umfrage sowie bei allen teilnehmenden Betriebsleiterrinnen und Betriebsleitern, Dr. Karl Moder für die Statistikberatung, meiner Mutter für unverdrossenes Korrekturlesen der Rechtschreibung und Chevon Prince für die Korrektur des Abstracts.

## Inhalt

1. Einleitung .....	11
2. Literaturüberblick.....	13
2.1. Biologie des Schaderregers <i>Plasmopara viticola</i> .....	13
2.1.1. Geschichte und Bedeutung.....	13
2.1.2. Taxonomie.....	13
2.1.3. Schadbild.....	14
2.1.4. Primärer Infektionszyklus .....	15
2.1.5. Sekundärer Infektionszyklus .....	16
2.1.6. Resistenzmechanismen der Rebe gegen <i>Plasmopara viticola</i> .....	18
2.2. Rebschutz mit Kupfer - eine Entdeckung wird zur Herausforderung .....	22
2.2.1. Eigenschaften des Kupfers .....	22
2.2.2. Kupfer als Fungizid.....	23
2.2.3. Risiken des Kupfereinsatzes.....	24
2.2.4. Kupfereinsatz als Herausforderung im ökologischen Weinbau.....	31
2.3. Die lange Suche nach Alternativen .....	32
2.3.1. Kupferreduzierung .....	32
2.3.2. Kupferersatz .....	36
2.3.3. Weitere Lösungsmöglichkeiten der Kupferproblematik .....	41
2.4. Hopfen als Pflanzenschutzmittel .....	42
2.4.1. Geschichte und Bedeutung.....	42
2.4.2. Inhaltsstoffe von Hopfen und Hopfenextrakt.....	44
2.4.3. Bisherige Nutzung des Hopfenextrakts als Pflanzenschutzmittel.....	45
3. Material und Methoden .....	47
3.1. Materialien .....	47
3.1.1. Chemikalien .....	47

3.1.2.	Hilfsmittel und Geräte für die Umfrage .....	48
3.1.3.	Hilfsmittel und Geräte Zur Chemikalienmischung .....	49
3.1.4.	Hilfsmittel und Geräte für die mikroskopischen Versuche .....	49
3.1.5.	Hilfsmittel und Geräte für die Blattscheiben- und Blattversuche .....	49
3.1.6.	Hilfsmittel und Geräte für die Ganzpflanzenversuche .....	51
3.1.7.	Hilfsmittel und Geräte für die Auswertung .....	51
3.2.	Methoden.....	51
3.2.1.	Der Umfrage.....	51
3.2.2.	Der mikroskopischen Versuche.....	53
3.2.3.	Der Blattscheiben- und Blattversuche.....	55
3.2.4.	Der Ganzpflanzenversuche.....	59
3.2.5.	Der Statistischen Auswertung .....	59
4.	Ergebnisse .....	61
4.1.	Umfrage zum Einsatz von Kupfer im Weinbau .....	61
4.2.	Mikroskopische Versuche zur Hopfenextraktwirksamkeit .....	67
4.3.	Versuche an Pflanzenmaterial .....	79
4.3.1.	Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben.....	79
4.3.2.	Kurative Wirkung des Hopfenextrakts.....	84
4.3.3.	Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes .....	86
4.3.4.	Untersuchung der Wirkung des Hopfenextraktes an Ganzpflanzen .....	88
4.3.4.1.	Bei einer Infektion 0 Tage nach der Behandlung.....	88
4.3.4.2.	Bei einer Infektion einen Tag nach der Behandlung .....	92
4.3.5.	Systemische Wirkung des Hopfenextraktes .....	97
4.3.5.1.	Bei einer Infektion null Tage nach der Behandlung.....	97
4.3.5.2.	Bei einer Infektion einen Tag nach der Behandlung .....	100
5.	Diskussion .....	104

6. Schlussfolgerung .....	117
7. Abstract .....	120
8. Zusammenfassung .....	121
9. Literaturverzeichnis.....	123
10. Anhang.....	146

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Übersicht über einige wichtige bisher untersuchte Mittel.....	38
Tabelle 2: Kodierung des Sporenverhaltens.....	54
Tabelle 3: Umfrageergebnisse zu Problemen mit <i>P. viticola</i> , Kupferpräparat- einsatzhäufigkeit, Reinkupfermenge in g/ha und Kupferschäden, N= 30.....	64
Tabelle 4: Zeitpunkt des Kupfereinsatzes, N= 30 .....	66
Tabelle 5: Ort der Kupferprobleme bei den betroffenen Betrieben, N= 30 .....	67
Tabelle 6: Hopfenextraktwirkung nach fünf Minuten.....	68
Tabelle 7: Hopfenextraktwirkung nach zehn Minuten.....	69
Tabelle 8: Kupferwirkung nach zwei Minuten.....	71
Tabelle 9: Kupferwirkung nach fünf Minuten .....	72
Tabelle 10: Kupferwirkung nach zehn Minuten.....	73
Tabelle 11: Wirkung von 1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen .....	76
Tabelle 12: Wirkung von 0,1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen .....	77
Tabelle 13: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben.....	79
Tabelle 14: Kupferwirkung auf Blattscheiben .....	81
Tabelle 15: Kurative Wirkung des Hopfenextrakts.....	85
Tabelle 16: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes.....	87
Tabelle 17: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen .....	90
Spritzmitteleinwirkzeit .....	90

Tabelle 18: Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen .....	91
Spritzmitteleinwirkzeit .....	91
Tabelle 19: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag .....	94
Spritzmitteleinwirkzeit .....	94
Tabelle 20: Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag.....	96
Spritzmitteleinwirkzeit .....	96
Tabelle 21: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen .....	98
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke .....	98
Tabelle 22: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen .....	99
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallshäufigkeit .....	99
Tabelle 23: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag .....	101
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke .....	101
Tabelle 24: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag .....	103
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallshäufigkeit .....	103

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Ölflecken (Quelle: <a href="http://blog.weinbau24.de/wp-content/uploads/Oelflecken.jpg">http://blog.weinbau24.de/wp-content/uploads/Oelflecken.jpg</a> ) ..	14
Abb. 2: Infektionszyklus (Quelle: Abb. 2: Infektionszyklus: <a href="http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg">http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg</a> ).....	18
Abb. 3: Phytotoxizität des Hopfenextraktes .....	44
Abb. 4: Automatisiertes Spritzgerät .....	50
Abb. 5: Blattscheibenversuche .....	57
Abb. 6: Ganzblattversuche .....	58
Abb. 7: Probleme mit <i>Plasmopara viticola</i> , kodiert von 0 (keine) bis 4 (sehr groß).....	61
Abb. 8: Durchschnittlich verwendete Reinkupfermenge in g/ha .....	62
Abb. 9: Durchschnittliche Kupfereinsatzhäufigkeit pro Jahr.....	62

Abb. 10: Kupferschäden, kodiert von 0 (keine) bis 4 (sehr groß).....	63
Abb. 11: Kupfereinsatzzeitpunkt.....	66
Abb. 12: Hopfenextraktwirkung nach fünf Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	68 68
Abb. 13: Hopfenextraktwirkung nach zehn Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	69 69
Abb. 14: Kupferwirkung nach zwei Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	70 70
Abb. 15: Kupferwirkung nach fünf Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	72 72
Abb. 16: Kupferwirkung nach zehn Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	73 73
Abb. 17: Hopfenextraktwirkung, Übersicht, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	75 75
Abb. 18: Kupferwirkung, Übersicht, Wirkung kodiert von 0 (keine ..... Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	75 75
Abb. 19: Wirkung von 1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen, Wirkung kodiert..... von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	76 76
Abb. 20: Wirkung von 0,1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen, Wirkung..... kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt) .....	77 77
Abb. 21: Kupferwirkung bei verschiedenen Temperaturen im Überblick, Wirkung..... kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt) .....	78 78
Abb. 22: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben in den einzelnen Wiederholungen.....	80
Abb. 23: Kupferwirkung auf Blattscheiben in den einzelnen Wiederholungen.....	82
Abb. 24: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben.....	83
Abb. 25: Kupferwirkung auf Blattscheiben .....	83

Abb. 26: Kurative Wirkung des Hopfenextrakts.....	84
Abb. 27: Kurative Wirkung des Hopfenextraktes in den einzelnen Wiederholungen .....	86
Abb. 28: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes.....	87
Abb. 29: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes in den einzelnen Wiederholungen ....	88
Abb. 30: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen .....	89
Spritzmitteleinwirkzeit.....	89
Abb. 31: Durchschnittliche Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter .....	91
Ganzpflanzen nach null Tagen Spritzmitteleinwirkzeit.....	91
Abb. 32: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen .....	93
Spritzmitteleinwirkzeit.....	93
Abb. 33: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag .....	93
Spritzmitteleinwirkzeit.....	93
Abb. 34: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag .....	95
Spritzmitteleinwirkzeit in den verschiedenen Wiederholungen.....	95
Abb. 35: Durchschnittliche Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach	96
einem Tag Spritzmitteleinwirkzeit.....	96
Abb. 36: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen .....	97
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke .....	97
Abb. 37: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen .....	99
Spritzmitteleinwirkzeit, durchschnittliche Befallshäufigkeit.....	99
Abb. 38: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag .....	100
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke .....	100
Abb. 39: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag .....	102
Spritzmitteleinwirkzeit in den verschiedenen Wiederholungen.....	102
Abb. 40: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag .....	103
Spritzmitteleinwirkzeit, durchschnittliche Befallshäufigkeit.....	103

Abb. 13: Hopfenextraktwirkung nach .....	108
fünf Minuten, kodiert von 0 (keine .....	108
Wirkung) bis 5 (Spore platzt).....	108
Abb. 14: Hopfenextraktwirkung nach .....	108
zehn Minuten, kodiert von 0 .....	108
(keine Wirkung) bis 5 (Spore .....	108
platzt).....	108
Abb. 41: Kupfer-Hopfenextraktkomplexe 1 .....	114
Abb. 42: Kupfer-Hopfenextraktkomplexe 2 .....	114

## Abkürzungsverzeichnis

Ca.	Circa
cm	Zentimeter
Cu	Kupfer
Fg	Freiheitsgrad
ha	Hektar
Ho.	Hopfenextrakt
Hrsg.	Herausgeber
kg	Kilogramm
Km/h	Studenkilometer
l	Liter
mg	Milligramm
µg	Mükrogramm

ml

Milliliter

WH

Wiederholung

## 1. Einleitung

Der Anbau von Wein ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Weltweit werden 7,4 Mio. ha Rebfläche bewirtschaftet (HOFMANN UND WILLER; 2010), europaweit wurden 2009/10 auf 3.331.493 ha 163.600.000 hl Wein erzeugt (EU, 2010). In Österreich sind es etwa 20.181 Betriebe und 45.585 ha (STATISTIK AUSTRIA, 2011), in Deutschland 102.691,83 ha. Im Zuge steigender Ansprüche im Bereich des Umweltschutzes (UMWELTBUNDESAMT, 2006) sieht sich der Weinbau heute zunehmenden Herausforderungen gegenüber. Eine der kritisch betrachteten Praktiken ist die Anwendung des Schwermetalls Kupfer im Pflanzenschutz.

Kupfermittel werden im Weinbau in erster Linie gegen *Plasmopara viticola* eingesetzt, einen sehr bedeutenden Schadpilz der Rebe. Im 19. Jahrhundert aus Nordamerika eingeschleppt, richtet er unter den europäischen Reben große Schäden an. Seit der zufälligen Entdeckung des Kupfers als wirksames Mittel gegen diese Rebkrankheit, wurde Kupfer intensiv eingesetzt. Die Folge war eine zum Teil erhebliche Akkumulation dieses Schwermetalls in einigen Weinbergböden. Das für höhere Tiere und Pflanzen nur in hohen Konzentrationen wirksame Gift ruft bei Boden- und Wasserorganismen einen nicht unerheblichen Schaden hervor. Die EG führte daher eine Begrenzung der jährlich verwendeten Kupfermenge auf 6 kg/ha und Jahr ein. Dies führte gerade bei ökologisch arbeitenden Betrieben zu Problemen, da gegen *Plasmopara viticola* wirksame Fungizide aus natürlichen Grundstoffen kaum vorhanden sind. Andererseits wird der ökologische Weinbau immer bedeutsamer und hat besonders in Europa einen großen Flächenzuwachs zu verzeichnen. In Österreich werden derzeit etwa 5% der Rebflächen ökologisch bewirtschaftet. Aber auch der konventionelle Weinbau muss sich zunehmend strengeren Umweltvorgaben anpassen. Schärfere Boden- und Wasserschutzgesetze führen zu immer ausgefeilteren und sparsameren Dünge- und Pflanzenschutzkonzepten.

Bemühungen, Kupfermittel zu reduzieren oder zu ersetzen, werden daher schon seit langem unternommen. Im Zuge des EU-Programmes REPCO wurde die Suche in den letzten Jahren noch einmal intensiviert. Im Laufe dieser Entwicklung wurden die Spritztechniken und Spritzstrategien verbessert, Prognosesysteme entwickelt, resistente Rebsorten gezüchtet, die Reberziehung verbessert und sehr viele Naturstoffe auf ihre Eignung als Kupferersatz geprüft. Trotzdem ist Kupfer im ökologischen Weinbau bisher nicht ersetzbar, es werden vielmehr große Ertragsausfälle bei einem vollständigen Kupferverzicht befürchtet.

Ein noch nicht untersuchtes Mittel gegen *Plasmopara viticola* ist Hopfenextrakt. Während Hopfen heute vor allem in der Brauerei verwendet wird, war er in Altertum und Mittelalter eher als Gewürz und Medizin in Gebrauch. Die Phytotherapie ist seit einigen Jahren dabei, diese Pflanze wiederzuentdecken. Nun hat auch die Phytomedizin nachgezogen und es wurden bereits einige fungizide und insektizide Wirkungen des Hopfenextrakts nachgewiesen.

In Tradition der Bemühungen zum Kupferersatz im Weinbau befasst sich die vorliegende Arbeit daher mit folgenden Fragen:

Eignet sich Hopfenextrakt für die Bekämpfung von *Plasmopara viticola*?

Spielt der Kupfereinsatz im Weinbau wirklich noch eine große Rolle?

Ist die Kupferschädlichkeit erwiesen? Wenn ja, stellt Hopfenextrakt einen Ersatz für Kupferpräparate dar?

## 2. Literaturüberblick

### 2.1. Biologie des Schaderregers *Plasmopara viticola*

#### 2.1.1. Geschichte und Bedeutung

Das Pathogen *Plasmopara viticola* (Berk.&Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni. wurde 1878 mit Reblausresistentem Pflanzgut aus den USA (DENZER, 1999) nach Südfrankreich eingeschleppt (BAUER, 2008). Da *Plasmopara viticola* in Europa daher nicht heimisch ist, konnten europäische Reben keinerlei Resistenzen gegen dieses Pathogen entwickeln (WILBOIS ET AL., 2009). Es befällt alle Reborgane mit Ausnahme der Wurzel (PERTOT ET AL., 2003 a) und gilt in Europa als eine der zerstörerischsten Weinkrankheiten. Ein starker Befall führt zu Ernteverlusten bis zum Totalausfall. Zudem wird die Rebe durch den Blattverlust geschwächt und in ihrer Holzreife behindert, wodurch sie im Winter frostgefährdeter wird. Dies führt auch zu einer schlechteren Austriebsentwicklung im Folgejahr (REDL ET AL, 1995). Die durch das Pathogen ausgelöste Rebkrankheit wird „Falscher Mehltau“, im Englischen „downy mildew“ genannt. Da der Pilz zur Ordnung der *Peronosporales* gehört, ist im Volksmund auch die Bezeichnung „Peronospora“ üblich.

#### 2.1.2. Taxonomie

**Reich:** *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni. gehört zum Reich der *Chromista*. Es handelt sich dabei um Kieselalgen, Blaualgen und Oomycota (AGRIOS, 1997). Damit ist *Plasmopara viticola* den echten Pilzen weniger verwandt als einigen heterokonten Algen (KORTEKAMP, 2001).

**Stamm:** Sie gehört dem Stamm der *Oomycota* an. Diese Pilzklasse produziert als sexuelle Sporen Oosporen und bildet, als besonderes Merkmal, Zoosporen aus.

**Klasse:** Weiter wird *Plasmopara viticola* der Klasse der *Oomyceten* zugeteilt. Diese Pilze sind mit einem nicht septierten Myzel ausgestattet und daher leicht unter dem Mikroskop zu erkennen. Sie nutzen ihre Oosporen als Dauersporen.

**Ordnung:** Sie gehört außerdem zur Ordnung der *Peronosporales*. Bei all diesen Pilzen sind die Sporangien zitronenförmig und keimen mittels Keimschlauch oder durch die Freisetzung von Zoosporen.

**Familie:** Darüber hinaus gehört *Plasmopara viticola* zur Familie der *Peronosporaceae*-obligate Parasiten, welche ihre Sporangien auf Sporangienträgern ausbilden und über Wind verbreiten (AGRIOS, 1997, KORTEKAMP, 2001).

**Gattung:** *Plasmopara viticola* wird zur Gattung der *Plasmopara* gezählt. Sie umfasst 20 Arten spezialisierter Pflanzenparasiten.

**Art:** Der vollständige Name der Art ist *Plasmopara viticola* (Berk.&Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni., oder Falscher Mehltau der Weinrebe (AGRIOS, 1997). Sie ist obligat biotroph, das bedeutet, dass eine Zucht auf künstlichem Nährmedium nicht möglich ist (KORTEKAMP, 2001).

### 2.1.3. Schadbild

Das Schadbild besteht zu Beginn aus runden, 2-3 cm großen, aufgehellten gelbgrünen Flecken blattoberseits, den „Ölflecken“. Später zeigt sich ein weißer Pilzrasen aus baumartigen Sporangienträgern auf der Blattunterseite. Im weiteren Verlauf werden die Befallsherde von innen heraus nekrotisch, bei einem starken Befall verdorrt das ganze Blatt und fällt zu Boden (SNOEK, 1986).



Abb. 1: Ölflecken (Quelle: <http://blog.weinbau24.de/wp-content/uploads/Oelflecken.jpg>)

Bei einem Befall der Gescheine, Ranken oder Triebspitzen ebenso wie bei jungen grünen Beeren oder dem Stielgerüst zeigt sich ein weißer Sporangienrasen, welcher später gelblich wird. Die befallenen Organe verkrümmen sich, verdorren und fallen ab (BAUER, 2008). Ältere Beeren, etwa ab Erbsengröße, zeigen keinen Rasen mehr. Die Beere wird bläulich, später braun, schrumpft lederartig ein und fällt zum Teil ab (SNOEK, 1986). Mit dem Weichwerden oder Färben werden die Beeren immun gegen *Plasmopara viticola*. Altersbedingt entwickeln sie eine Wachsschicht und ihre Stomata verkorken, so dass der Pilz nicht mehr eindringen kann (BAUER, 2008).

#### **2.1.4. Primärer Infektionszyklus**

*Plasmopara viticola* überwintert bei uns in Form von sexuell befruchteten, gelblichen und kugelförmigen Oosporen (Dauersporen). Diese bilden sich im Herbst auf befallenem Rebmaterial und überwintern in Herbstlaub und auf Traubenmumien. Milde, nasse Winter und reichliche Niederschläge im April begünstigen die Überwinterung (REDL ET AL, 1995). In wärmeren Regionen Europas wurde auch ein Überwintern des Myzels in verholzten Ranken, Trieben oder Traubenmumien nachgewiesen (KEIL, 2007).

Die Oosporen variieren genetisch sehr stark und können zu unterschiedlichen Zeiten, Feuchtegraden und Temperaturen keimen (GESSLER ET AL., 2003). Daher zieht sich die Primärinfektion der Blätter über den ganzen Sommer hin und ist zwischen Mai und August sehr häufig. Nach neueren Erkenntnissen kommt ihr deswegen große Bedeutung zu (GESSLER ET AL., 2003). GESSLER ET AL. (2003) geben an, die Infektion durch Oosporen könnte bis August etwa 50% der Gesamtinfektion ausmachen. Die Oosporen sind stark räumlich gebunden, daher ist die Vorjahresinfektion von großer Bedeutung (GESSLER ET AL., 2003). Die genetische Vielfalt reduziert sich bis zum Sommer durch Selektion auf einige wenige dominante Klone (GESSLER ET AL., 2003)

Die ersten Oosporen sind reif, wenn die Temperatursumme 160°C überschreitet (GEHMANN, 1987). Diese errechnet sich aus der Summe der positiven Abweichungen in °C von allen Tagesmittelwerten über 8°C, gemessen ab dem 1. 1. in 2 m Höhe (GEHMANN, 1987).

Sobald das Klima geeignet ist, etwa bei einer durchschnittlichen Bodentemperatur von 8°C und hoher Luftfeuchte (KADISCH, 1986), keimen die Oosporen. Es bildet sich je ein Makrosporangium mit 30 bis 60 Zoosporen. Die Sporangien gelangen mit Hilfe von

Regenspritzern (seltener Wind) auf grünes Pflanzengewebe und verursachen eine Primärinfektion (HÄSELI UND MATASCI, 2006). Das Pflanzengewebe muss dazu grün sein und Spaltöffnungen besitzen. An der Rebe müssen zwei bis drei Blätter entfaltet sein und die Blattgröße bei über 2 cm Durchmesser liegen. Die Triebgröße muss mindestens 10 cm betragen (BAUER, 2008).

Sobald sie das Pflanzengewebe erreicht haben, platzen die Sporangien auf und entlassen ihre Zoosporen, welche sich mit zwei Geißeln aktiv fortbewegen. Innerhalb von einer Minute bis zu einem Tag erreichen sie die Stomata der Pflanze (KADISCH, 1986, BAUER, 2008), auf der Blattunterseite und der Beerenhaut (JACKSON, 2000). Hier werfen sie ihre Geißeln ab und einzystieren sich. Dies bedeutet, sie kapseln sich mit einer etwas festeren Außenmembran ein. Anschließend schieben sie einen Keimschlauch durch die Öffnung (KADISCH, 1986, BAUER, 2008). Der interzelluläre Raum wird mit Hyphen besiedelt (UNGER ET AL., 2007), das Myzel hat dabei einen Durchmesser von 1 bis 60 µm, je nach der Größe des verfügbaren Raumes (AGRICOS, 2005). Später wachsen Haustorien in die Pflanzenzellen hinein um den Zellsaft aufzusaugen (KADISCH, 1986). Dies führt nach ca. eineinhalb Tagen zu den sogenannten „Ölflecken“ (UNGER ET AL., 2007). Die Inkubationszeit beträgt je nach Temperatur vier bis 14 Tage für junge Blätter. Für ältere kann es erheblich länger dauern, anstatt der Ölflecken entwickeln sich oft kleinere, abgegrenzte gelbe Flecken, die „Mosaikflecken“. Später im Jahr verkürzt sich die Inkubationszeit zusehends, da das Klima wärmer und feuchter wird (BAUER, 2008).

#### **2.1.5. Sekundärer Infektionszyklus**

Etwa drei Tage nach der Primärinfektion beginnt die sekundäre Sporulation. Bei hoher Luftfeuchte und ab ca. 18°C bildet sich ein weißer Sporangienrasen auf der Blattunterseite (UNGER ET AL., 2007). Dabei wachsen baumartige Sporangienträger mit zitronenförmigen Sporangien aus den Spaltöffnungen (SNOEK, 1986).

Während das im Blatt geschützte Myzelium auch tagsüber wachsen kann, läuft die Bildung der Sporangien nur bei Dunkelheit ab. Sie dauert bei geeigneten Bedingungen etwa sieben Stunden (RUMBOLZ ET AL., 2002). 27,5°C sind ideal (KEIL, 2007), 13°C das Minimum. Es sind mindestens vier Stunden Blattnässe nötig, wird diese auch nur für 20 Minuten unterbrochen sind erneut vier Stunden vonnöten (MAIER, 2005). Die Sporangien sind potentiell heterokaryotisch, das heißt, sie können verschiedene Genotypen in sich tragen.

Daher können sich auch bei asexueller Vermehrung verschiedenen Genotypen an einem Ort befinden (KEIL, 2007). Ein Ölfleck kann unter feuchten Bedingungen mehrmals sporulieren, nach etwa zehn Tagen Trockenheit geht seine Vitalität zurück. Die gebildeten Sporangien sind unter feuchten Bedingungen etwa zehn Tage lebensfähig. Je älter die Sporangien sind, desto langsamer geht die Zoosporenreife in ihnen vonstatten (BAUER, 2008)

Die Sporangien werden ab einer Windgeschwindigkeit von 1m/sec verbreitet, dazu kommt ein Transport über flugfähige Weinberginsekten (KEIL, 2007), Tau und Regen (HÄSELI UND MATASCI, 2006). Allerdings konnten allein für Zentraleuropa 2300 Genotypen von *Plasmopara viticola* identifiziert werden. Dies legt nahe, dass sie sich nicht so weit verbreiten wie bisher angenommen (GOBBIN, 2005). So geht GOBBIN (2005) von etwa 20 m im Umkreis der sekundären Infektionsquelle aus. Epidemien entwickeln sich demnach schrittweise aus einem dominanten und vielen lokalen Erregern, welche sich lediglich ein bis zwei Meter pro Tag ausbreiten. Auch laut HÄSELI UND MATASCI (2006) werden die Sporangien nicht weiträumig windverbreitet. Daher hängt der *Plasmopara viticola*-Befall stark vom Oosporenbesatz und damit von dem Vorjahresbefall ab (HÄSELI UND MATASCI, 2006).

Nach der Verbreitung haften die Sporangien stark an der Blattoberfläche, wie ist allerdings noch unbekannt. In der Zellwand wurden Zuckerverbindungen gefunden, welche zur Anhaftung dienen könnten (KEIL, 2007). Sporangien sind im Freiland etwa ein bis vier Tage lebensfähig, diese Zeit verkürzt sich mit steigender Temperatur und sinkender Luftfeuchte (MAIER, 2005). Für eine Sekundärinfektion muss die Blattunterseite tropfnass sein und die Temperatursumme 50 Gradstunden betragen. Die Gradstunden errechnen sich aus der Temperatur in °C, multipliziert mit den Stunden der Blattnässedauer (BLAESSER, 1978).

Nach einiger Zeit unter feuchten Bedingungen schlüpfen aus den Sporangien vier bis acht Zoosporen, welche sich auf die Suche nach einem Blatteingang, z. B. Wunden oder Stomata, machen (HÄSELI UND MATASCI, 2006). Eine Verletzung des Blattes steigert die Infektionsgefahr daher zusätzlich (KEIL, 2007). Die Zoosporen schlüpfen am besten zwölf Stunden nach der Infektion bei 20°C, ab 10 oder 30°C findet keine Sporulation mehr statt. Für die Zoosporenkeimung sind demgegenüber 25°C optimal. Sind seit der Infektion mehr als zwölf Stunden verstrichen, werden die Zoosporen reifer und damit keimfähiger (LALANCETTE ET AL., 1988). Die Sekundärinfektion wiederholt sich mehrmals pro Vegetationsperiode, besonders bei feucht-warmer Witterung (KADISCH, 1986).

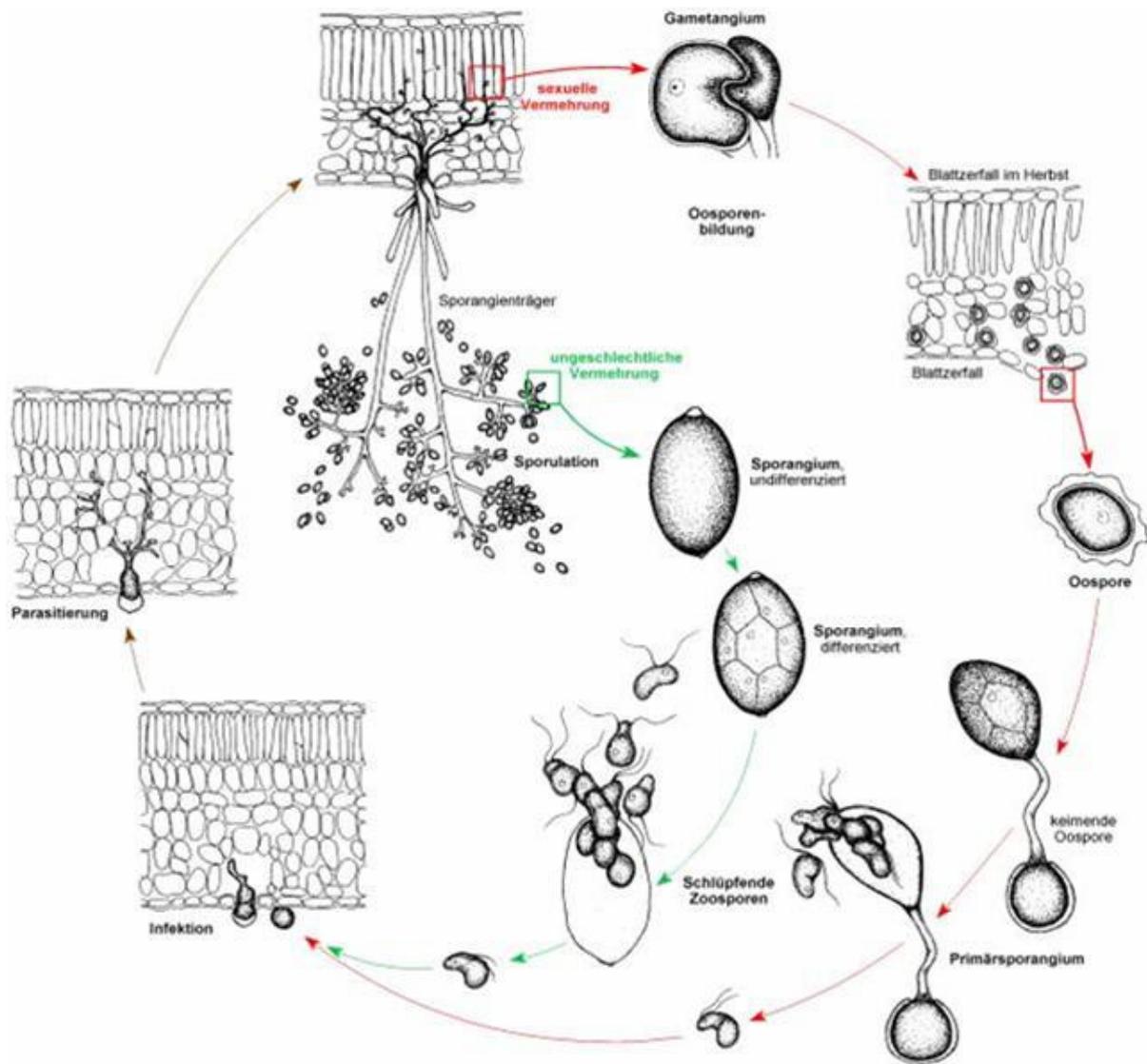


Abb. 2: Infektionszyklus (Quelle: Abb. 2: Infektionszyklus: [http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung\\_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg](http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg))

### 2.1.6. Resistenzmechanismen der Rebe gegen *Plasmopara viticola*

Während die europäische Rebe *Vitis vinifera* stark anfällig gegen *Plasmopara viticola* ist, gibt es viele resistente amerikanische *Vitis*- Arten (PERTOT ET AL., 2003 b). Auch Wildreben sind eindeutig resistenter als Kultursorten. Je näher eine Kulturrebe den Wildreben genetisch steht, desto resistenter ist sie daher (REUTHER, 1961).

Nicht-Wirtspflanzen, beispielsweise Gartensalat (*Lactuca sativa*) können *Plasmopara viticola* bereits am Eindringen in die Zelle hindern. Resistente Reben hingegen reagieren erst auf die Bildung der Haustorien (DÍEZ-NAVAJAS ET AL., 2008). Die Anlagerung der Zoosporen an die Spaltöffnungen beispielsweise wird nicht beeinflusst (DENZER, 1999). Haustorien scheinen

für die Pathogenerkennung essentiell zu sein (DÍEZ-NAVAJAS ET AL., 2008), dabei dienen Zellwand-Glucane sowie eventuell Proteine des Pilzes der Pflanze als Elicitoren. Resistente und nicht-resistente Reben reagieren grundsätzlich gleich. So konnte gezeigt werden, dass nicht-virulenten Pathogene von den *Plasmopara viticola*-anfälligen Reben auf die selbe Weise bekämpft wurden, wie *Plasmopara viticola* von resistenten Reben. Lediglich die Pathogenerkennung unterscheidet sich, nicht resistente oder nur leicht tolerante Reben reagieren nicht oder verspätet und schwächer auf *Plasmopara viticola* (KORTEKAMP, 2001). Die zunächst ausgelöste lokale Resistenz findet in zwei Phasen statt. Zuerst eine Hypersensitive Reaktion, danach eine Steigerung der Phenolaktivität in den Nachbarzellen. Diese führt zur Ausschüttung von Abwehrstoffen (s. u.) und einer Verstärkung der Zellwand (KORTEKAMP, 2001).

Die Hypersensitive Reaktion ist eine vertikale, also spezifische, induzierte, aktive Resistenz (PRELL, 1996). Die Zellen sterben an und rund um die Infektionsstelle kurz nach dem Eindringen des Erregers ab. So wird dessen Ausbreitung verhindert und er geht aus Nahrungsmangel ein. Die abgestorbenen Zellen werden als Abwehrnekrosen in Form kleiner, brauner Flecken auf den Blättern sichtbar (PRELL, 1996, PERTOT ET AL., 2003 b). Der Wirt wird nur an der befallenen Stelle gegen das Pathogen resistent. Die übrige Pflanze wird, im Gegensatz zur Aktivierung von Resistenzgenen, nicht in Alarmbereitschaft versetzt (ELSTNER ET AL., 1996; UNGER ET AL., 2007). Die Hypersensitive Reaktion bedeutet nicht immer das völlige Ende des Pathogenwachstums, aber sie reduziert dieses. Darüber hinaus sind die Nekrosen das erste äußerlich sichtbare Zeichen für eine Resistenzreaktion der Rebe (BELLIN ET AL., 2009).

Eine Hypersensitive Reaktion kann auf verschiedenste Art stattfinden. Die Rebsorte *Solaris* beispielsweise zerstört die Zellwände von Rebe und Pilz durch Viniferin, das Zytoplasma wird verdünnt. Die Sorte IRAC 2091 hingegen erzeugt ein Pterostilben, welches die Zellorganellen von Pilz und Pflanze auflöst (ALONSO-VILLAVARDE ET AL., 2011a). Die Hypersensitive Reaktion wird aber vermutlich immer von Phytoalexinen ausgelöst, so dass sie durch den Nachweis solcher bestimmbar ist (MALACARNE ET AL., 2009). Bei den Phytoalexinen handelt es sich um niedermolekulare antimikrobielle Verbindungen, also Toxine. Bei der Gattung *Vitis* sind dies Stilbene und Stilbenderivate, welche in den Blättern und Beeren nach einer Infektion mit *Plasmopara viticola* gebildet werden. Die wichtigsten sind trans-Resveratrol und  $\epsilon$ -Viniferin (ELSTNER ET AL., 1996, CADLE-DAVIDSON, 2008).

Beide Pflanzeninhaltsstoffe hemmen die Pilzkeimung, dabei ist die Wirkung des Resveratrol doppelt so stark wie die des  $\epsilon$ -Viniferin (DERCKES UND CREASY, 1989). Da trans-Resveratrol vor allem in alten Blättern und Beeren gebildet wird, steigt die Resistenz der einzelnen Pflanzenteile mit dem Alter derselben an (ELSTNER ET AL., 1996, CADLE-DAVIDSON, 2008). Weitere wichtige Phytoalexine der Rebe sind trans-Piceid, trans-Pterostilben und viele weitere Viniferine (MALACARNE ET AL., 2011). Die Hypersensitive Reaktion wird vermutlich durch trans-Resveratrol und trans-Piceid ausgelöst (MALACARNE ET AL., 2009).

Im Zuge der Hypersensitiven Reaktion findet nicht nur ein Zelltod statt, die befallenen Zellen senden auch Signalstoffe an ihre Nachbarzellen. Dadurch steigt die Peroxidaseaktivität, eine Reaktion, welche mit dem Resistenzniveau der Reben positiv korreliert. Zusätzlich wird etwa zwölf bis fünfzehn Stunden nach Infektionsbeginn eine Ablagerung phenolischer Verbindungen in die Zellwand angeregt, insbesondere von Tanninen und Flavonolen. Dies führt zu einer Zellwandverstärkung und somit einem Einschluss des Pathogens in der toten Zelle. Eine Lignifizierung konnte hingegen nicht nachgewiesen werden (KORTEKAMP, 2001). Zusätzlich bilden die Blattadern starke Barrieren für den Pilz (UNGER ET AL., 2007). Die ausgeschütteten Polyphenole können auch Verbindungen mit Enzymen der Pilze eingehen und diese so in ihrer Aktivität hemmen. Ein Beispiel wären die Pektinasen des Pilzes, welche diesem das Durchdringen der Zellwand ermöglichen sollen (KORTEKAMP, 2001). Durch eine Mischung von Polyphenolen und Peroxidasen können Chinone gebildet werden. Diese sind noch einmal pilzgiftiger als ihre Ausgangsprodukte (KORTEKAMP, 2001).

Im Zuge der Resistenzreaktion werden verschiedene Resistenzgene aktiviert. Sie gehören zur Klasse 10 der „Pathogenesis-Related Genes“ (engl. Pathogen-bezogene (Abwehr-) Proteine) oder PR10 Gene (HE ET AL., 2012). Bei Proteinen, welche mit Metabolismus und Stressbewältigung zu tun haben, handelt es sich meist um Isoformen der PR-10-Proteine. Deren Aktivität steigt bei einer Infektion an, während die Proteine für Photosynthese und Energieproduktion weniger aktiv sind (MILLI ET AL., 2012). Möglicherweise wird durch die Aktivierung von Resistenzgenen eine systemische Resistenz der ganzen Pflanze ermöglicht, welche dann über die oben beschriebenen lokalen Resistenzen hinausginge (KORTEKAMP, 2001). Im Laufe der Zeit wurden einige Resistenzgene entdeckt, sie scheinen sich von Sorte zu Sorte und besonders von Art zu Art zu unterscheiden. MALACARNE ET AL. (2011) beispielsweise konnten 57 Resistenzgene finden. CASAGRANDE ET AL. (2011) entdeckten

einen Genlocus, welcher die Hypersensitive Reaktion auszulösen scheint. Es handelt sich um das Rpv3 (Resistent to Plasmopara viticola) Gen, welches wiederum von dem, ebenfalls für die Hypersensitive Reaktion wichtigen Gen HSR1 und den Salicylsäure-pathogenesis verknüpften Genen PR1 und PR2 abhängt. In der asiatischen Wildrebe *Vitis amurensis* Rupr. wurde Rpv8 entdeckt, eine neue Gruppe gekoppelter Resistenzgene (BLASI, P. ET AL., 2011). Insgesamt scheinen die Resistenzgene oft gekoppelt und geclustert (also auf einem Genlocus) vorzukommen (KORTEKAMP, 2001). Resistenzgene werden polygenetisch vererbt, es kommen dabei maternale Effekte zum tragen. (SESTRAS ET AL., 2009). Die Selektion auf Resistenz kann in der Weinzucht markergestützt vorgenommen werden (FISCHER, 2005). Dabei ist es besonders wichtig, auf die Vererbung der Erkennungs- und Signalprozesse der Pflanzen zu achten, da diese eine besonders große Rolle in der Abwehr spielen. Ziel ist es, eine Breitband-Resistenz zu erreichen (KORTEKAMP, 2001). Manche Reben sind zwar resistent gegen ein einzelnes Isolat, im Feld aber anfällig, da sie nur eine rassenspezifische Resistenz besitzen (CADLE-DAVIDSON, 2008). CADLE-DAVIDSON (2008) bewertet die Vielfalt vorhandener Resistenzgene daher sehr positiv.

Mit einer steigenden Innokullumkonzentration steigt zwar auch die Infektionsrate, nicht zwingend aber die ausgelöste Immunantwort. Anfällige Reben erzeugen bei geringerem Druck sogar eine höhere Menge an Stilbenen als bei größerem Befallsdruck. Umgekehrt fällt die Reaktion bei resistenten Reben aus, hier steigt die Menge des erzeugten Stilbenes und auch dessen Wirksamkeit mit dem Druck (ALONSO-VILLAVERDE ET AL., 2011b). Interessant ist, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Befallshäufigkeit und Befallsstärke zu bestehen scheint. Manche Reben sind anfällig gegen *Plasmopara viticola*, prägen aber nur geringe Symptome aus oder umgekehrt. Ebenso wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anfälligkeit von Blättern und der von Trauben oder Gescheinen nachgewiesen (BOSO ET AL., 2011).

Rebresistenz ist neben der Genetik auch von Umweltfaktoren abhängig. In Versuchen konnte HÄSELI (2006) nachweisen, dass der Boden eine Rolle bei der Resistenzausprägung spielt. Dieses Ergebnis wurde 2011 durch THUERIG ET AL. bestätigt. Reben, welche von verschiedenen Weinbergen stammen, können demnach verschiedene Toleranzgrade aufweisen, obwohl sie genetisch ident sind. Kompostgaben hingegen erhöhen die Resistenz nicht. Auch Klima und sonstige Umwelt spielen eine Rolle. Freilandpflanzen erwiesen sich als resistenter als Gewächshausreben. Dies ist wohl auf die Abhärtung ersterer

zurückzuführen (DEGLÈNE-BENBRAHIM ET AL., 2010). Interessanterweise spielt die phänotypische Ausprägung der Rebe eine untergeordnete Rolle bei der Rebresistenz. So scheinen Traubenfarbe und -dichte keinen Einfluss zu haben (BOSO ET AL., 2011). BOSO ET AL. konnten 2010 auch keinen klaren Zusammenhang zwischen Blattmorphologie und Resistenz feststellen. Allerdings stellten KORTEKAMP UND ZYPRIAN (1999) fest, dass die Resistenz mit einer Behaarung auf der Blattunterseite ansteigt. Dies ist auf die schlechtere Benetzbarkeit der behaarten Blattfläche und damit einer für die Zoosporenkeimung zu trockenen Umwelt zurückzuführen (KORTEKAMP UND ZYPRIAN, 1999).

## **2.2. Rebschutz mit Kupfer - eine Entdeckung wird zur Herausforderung**

### **2.2.1. Eigenschaften des Kupfers**

Kupfer macht mit  $3 \cdot 10^{-4}\%$  nur einen sehr geringen Teil der Erdkruste aus. Es kommt zum Teil gediegen, meist aber als Oxid, Sulfid oder Karbonat in der Natur vor. Wichtige Kupferminerale sind Kupferglanz (CuS), Rotkupfererz (Cu<sub>2</sub>O), Malachit (Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Kupferlasur (Cu<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Kupferkies (CuFeS<sub>2</sub>), Buntkupfererz (Cu<sub>3</sub>FeS<sub>3</sub>), Cuprit (Cu<sub>2</sub>O) und Cubanit (CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) (SCHWISTER, 2005). Die Kupfergehalte autochthoner Böden schwanken je nach Ausgangsgestein (AUBERT UND PINTA, 1977). In Westeuropa wurden zwischen 0,5 und 10 mg Kupfer/ kg Boden gemessen (SCHÖNBERG, 1978).

Reines Kupfer ist gelblich gefärbt, weich, zäh und kristallisiert in kubisch-flächenzentrierten Gittern (LATSCHA ET AL., 2004). Da es sich um ein Schwermetall mit kleinem Atom- oder Ionenradius handelt, ist es stark kovalent. Das heißt, es bildet in Wasser unlösliche Halogenide und Sulfide und hat eine hohe Neigung zur Komplexbildung (SCHWISTER, 2005). Im Boden wird Kupfer deshalb sehr stark an organische Substanz und Anionen gebunden, daher findet so gut wie keine Auswaschung ins Grundwasser statt (RICHTER, 2005). Mögliche Oxidationsstufen des Kupfers sind 0 bis +4, von Bedeutung sind allerdings nur die Stufen +1 und +2 (SCHWISTER, 2005). Zweiwertiges Kupfer ist weniger gut pflanzenaufnehmbar als einwertiges Kupfer, wird aber bevorzugt austauschbar an Tonminerale gebunden (JEYAKUMAR ET AL., 2010).

Kupfer spielt als Mikronährstoff im pflanzlichen Stoffwechsel eine Rolle. Es ist hier für Redoxprozesse bedeutsam, wie beispielsweise die Umwandlung von Ascorbinsäure in

Dehydroascorbinsäure. Zusätzlich wird es für den Ligninaufbau und die Leghämoglobinbildung in den Knöllchen der Leguminosengewächse genutzt. Tierische Organismen verwenden Kupfer bei der Synthese von Hämoglobin im Blut (RICHTER, 2005). Auf der anderen Seite gehört Kupfer zu den giftigsten Schwermetallen. In Versuchen an Pflanzen wurde Kupfer nach den beiden etwa gleich giftigen Metallen Silber und Titan an zweiter Stelle eingeordnet, noch vor Quecksilber, Nickel, Kobalt, Cäsium und Blei (KOPITKE ET AL., 2011). Kupfersulfat ist, nach reinem Quecksilber, toxischer als Quecksilberchlorid, Quecksilberoxyd, Arsenoxyd, Zinkoxyd und Blei-Natriumoxyd (MALISZEWSKA ET AL., 1985). Für höhere Tiere sind nichtsdestotrotz nur sehr hohe Kupferkonzentrationen toxisch (SCHWISTER, 2005). Die Wirkung des Kupfers erklärt sich durch seine hohe Neigung zur Komplexbildung. Dadurch kann es bei Überdosierung in einem Organismus organische Substanzen wie etwa Enzyme komplexieren, welche diesem dann nicht mehr zur Verfügung stehen (WISKAMP, 1996). Bei Pflanzen zeigt sich Kupferüberschuss durch Chlorosen, Ertragsverlust und Absterben einzelner Pflanzenteile (SCHÖNBERG, 1978)

### **2.2.2. Kupfer als Fungizid**

Die toxische Wirkung des Kupfers kommt bei seinem Gebrauch als Fungizid zum Tragen. Es wirkt als Kontaktmittel direkt auf die Sporenkeimung von Schadpilzen, daher ist es nur präventiv, nicht aber kurativ verwendbar (HOFMANN, 2003). Kupfer bietet eine langandauernde Wirkung durch gute Haftfähigkeit auf den Blättern (HILDEBRANDT, 1957). Daher kann es, als Abschluss-spritzung, Spätbefall vorbeugen (NIEDER, 1992). Es hat den Vorteil, nützlichsschonend zu sein, zusätzlich hat es positive Nebenwirkungen auf Pflanzen, z. B. verbesserte Kohlenhydratverwertung (HOFMANN, 2003) und Holzreife. Dazu kommen Nebenwirkungen gegen roten Brenner (HOFMANN, 2003) sowie Oidium und Botritis (NIEDER, 1992). Ein Nachteil sind die für junge Triebe, Triebspitzen und Blüten phytotoxischen Eigenschaften, wenn bei kaltem Wetter gespritzt wird (HILDEBRANDT, 1957).

Seit Ende des 19. Jh. werden im Weinbau kupferhaltige Pflanzenschutzmittel gegen Schadpilze eingesetzt (WILBOIS ET AL., 2009). Entdeckt wurde diese Verwendungsform des Kupfers 1885 durch MILLARDET in Form der sogenannte Bordeaux-Brühe, als dieser bemerkte, dass Reben in Bordeaux, welche zum Schutz vor Diebstahl mit Kupferkalk gespritzt waren, nicht von Mehltau befallen wurden. Bei dieser Brühe handelt es sich um 1 kg Kupfersulfat und 350 bis 400 g Branntkalk in 100 l Wasser gelöst. Durch Beimischung des

Kalks entsteht Kupferhydroxyd. Dadurch werden Verbrennungen durch das Kupfer auf den behandelten Pflanzen vermieden (WITTASEK, 1987).

In Deutschland wurde 1884 in Geisenheim zum ersten Mal *Plasmopara viticola* gefunden. Daraufhin wurde 1886 die Verwendung von Kupferkalk geprüft, zum großflächigen Einsatz kam es aber erst ab 1910. Gute Erfolge stellten sich allerdings erst ab 1918 ein, als mit Hilfe des Inkubationskalenders von Müller gezielt gespritzt werden konnte. Damit stand ein wirksames Mittel gegen Pilzkrankheiten zur Verfügung - aber eben nur ein einziges. Durch exzessiven Gebrauch mangels Alternativen, akkumulierte sich das ausgebrachte Kupfer im Laufe der Jahre erheblich (WITTASEK, 1987). Bis in die Fünfzigerjahre hinein bewegten sich die pro Hektar und Jahr eingesetzten Kupfermengen im Bereich zwischen 20 und 30, zum Teil sogar 80 kg Kupfersulfat (HOFMANN, 2003 UND WILBOIS ET AL., 2009). Ende der 30er Jahre führte dies zu Wachstumsdepressionen an den Reben (GÄRTEL, 1985). Daher begann man nach anderen Präparaten zu suchen (GÄRTEL, 1985). Heute haben Kupfermittel vor allem im ökologischen Weinbau größere Bedeutung (KULA, 2003). Im europäischen konventionellen Rebbau werden sie häufig zusätzlich zu anderen Spritzmitteln als Resistenzbrecher genutzt (KÜHNE ET AL., 2009). Viele Winzer verwenden Kupfer auch zur Abschluss-spritzung, um die Holzreife der Rebstöcke zu unterstützen (HILDEBRANDT, 1957) oder als Ersatz für die Kupferschönung im Wein (KÜHNE ET AL., 2009).

Heute werden neben Kupfersulfat auch andere Kupfersalze und -oxide als Fungizide genutzt. Verwendete Verbindungen sind Kupfer(I)-Oxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), Kupfer(II)-Oxychlorid ( $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) und Kupfer(I)-Hydroxid ( $\text{CuOH}$ ). Nichtsdestotrotz ist Kupfer(II)-Sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ) noch immer das wichtigste Kupfersalz (SCHWISTER, 2005). Dessen Pentahydrat (Kupfervitriol,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ist sehr gut wasserlöslich (SCHRÖTER, 2001).

### **2.2.3. Risiken des Kupfereinsatzes**

Durch seine toxischen Eigenschaften und seine Tendenz, sich zu akkumulieren, ist Kupfer heute zu einem wichtigen Umweltgift geworden. Besonders empfindlich reagieren Boden- und Wasserorganismen auf erhöhte Kupferwerte.

#### **2.2.3.1. Kupferakkumulation in Böden**

Wie viele Umweltgifte, gelangt Kupfer meist durch autochthonen Eintrag in die Natur, beispielsweise durch Abgase, Klärschlamm, Kompost oder Pflanzenschutzmittel. Laut CACHADA (2012) sind die Abgase aus Verkehr und Industrie Hauptverursacher der

Kupferkontamination der meisten Böden. Besonders hohe Kupfermengen finden sich daher in den Böden stadtnaher Waldgebiete (HORNBERG (1991). BUCHAUER fand 1973 auf mehrere 1000 mg/kg Boden erhöhte Werte im Umkreis der erzverarbeitenden Industrie. Besonders bedeutende Eintragungen leistet aber die Landwirtschaft. Durch die jahrelange Nutzung des Kupfers als Pflanzenschutzmittel können in manchen Böden heute Kupfermengen vorkommen, welche sich durchaus bereits im toxischen Bereich bewegen (HEIBERTSHAUSEN ET AL., 2007). HOFMANN (2003a) spricht von bis zu 2880 mg/kg Boden in der Feinerde einzelner Weinberge, FERNÁNDEZ-CALVIÑO ET AL. (2011) konnten 25 bis 1120 mg feststellen.

Frisch in Salzform zugesetztes Kupfer wird zuerst austauschbar an Tonminerale und als Karbonat gebunden, bereits nach 60 Tagen ist das meiste Kupfer aber nicht austauschbar an Eisen- oder Manganoxye und organische Masse gebunden (GUO ET AL., 2011). Organische Liganden sind dabei die wichtigsten Komplexbildner (KIAUNE UND SINGHASEMANON, 2011). Durch eine Bindung lässt die Kupferverfügbarkeit stark nach (KOPITKE ET AL., 2011). Dies führt zu zwei wichtigen Effekten: Kupfer, welches dem Boden als Salz zugeführt wird, z. B. als Spritzmittel, ist um einiges besser verfügbar und damit toxisch als Kupfer, welches bereits organisch gebunden eingebracht wird, beispielsweise als Dünger in Form von Klärschlamm (MADEROVA ET AL., 2011). Zusätzlich steigt die Wirkung mit sinkendem organischem Anteil im Boden, wie LEJON ET AL. (2008) auf Weinbergböden klar nachweisen konnten. Dies scheint die Tendenz zu erklären, dass höhere Kupferanteile in ökologisch bewirtschafteten Böden weniger schädlich wirken als in konventionell bewirtschafteten. Auch eine Senkung des pH sorgt für eine höhere Verfügbarkeit des Kupfers (WANG ET AL., 2011 a). Daher wird Kupfer auf sauren Böden leichter ausgewaschen (ARENT, 1960) und es sind erst ab etwa einem pH von 4,5 toxische Wirkungen festzustellen (HOFMANN, 2003). Ebenso spielen CO<sub>2</sub> Gehalt (Karbonatbildung) und Temperatur und damit Jahreszeit und Bodentiefe eine wichtige Rolle (KIAUNE UND SINGHASEMANON, 2011). Besonders in tieferen Bodenschichten liegt der größte Teil des Kupfers in nicht austauschbar gebundener Form vor. Der freie Anteil des Metalls beträgt zwischen 0,5 und 7%, je nach Boden pH und Belastung. Dabei sind die Kupfergehalte normalerweise nicht gleichmäßig im Boden verteilt. Da Kupfer schlecht löslich ist, akkumuliert es sich zuerst in den oberen Bodenschichten (DELAS, 1959, 1980). Aus diesen Gründen sind die Auswirkungen des Kupfers stark standortabhängig.

Obwohl also die Höhe der tatsächlich toxischen Kupferkonzentrationen schwankt, ist seine Wirkung auf Bodenorganismen als solche unbestritten (HOFMANN, 2003). Allerdings konnten

LEJON ET AL. (2008) auch bestätigen, dass das Bodenleben bis zu einem gewissen Maß in der Lage ist, mit Kupfer umzugehen und sich an erhöhte Konzentrationen anzupassen. Es kommt dabei zu einer Verschiebung des Artengefüges und Verminderung der Biodiversität. Dies führt zu dem Effekt, dass Kupfer bei langfristig angelegten Tests stets für weniger toxisch befunden wird als bei kurzfristigen. Dabei werden die Konsequenzen, welche sich durch die Artenverschiebung für den Boden ergeben, allerdings nicht berücksichtigt. Beispielsweise können kupferresistente Bakterien weniger organische Masse mineralisieren als die sensiblen Arten (KULA UND GUSKE, 2003). Eine Artverschiebung kann bereits ab sehr niedrigen, noch unter den heutigen Grenzwerten angesiedelten Konzentrationen auftreten (VAN BEELEN UND DOELMAN, 1997).

Kupfertoxizität äußert sich in vielfältiger Weise. So senken Kupferspritzmittel für den Weinbau nachweislich die Eifruchtbarkeit von Schnecken. Auch Konzentrationen, welche unter der praxisüblichen Ausbringungsmenge liegen, zeigen diesen Effekt (DRUART ET AL., 2012). Ebenso kann die Kupferkonzentration in den Schnecken selbst steigen. Dies kann zu Kupfervergiftungen bei Schneckenräubern führen (HOANG ET AL., 2011). Besonders gut untersucht sind die Auswirkungen auf Regenwürmer. Endogäische Arten meiden Böden mit einem Kupfergehalt von über 200 mg Kupfer/kg Boden (HOLMSTRUP UND HORNUM, 2012). An der Regenwurmart *Eudrilus eugeniae* konnte gezeigt werden, dass Kupfer besonders auf Kopf, Magen und Darm des Wurmes toxisch wirkt (SHARMA UND SATYANARAYAN, 2011). Vermutlich durch die körperliche Belastung erhöht sich außerdem bei hohen Kupferwerten die Hämoglobinkonzentration im Blut und es bildet sich Methämoglobin (CALISI ET AL., 2011).

Während Bodenlebewesen gegenüber Kupferbelastung empfindlich reagieren, können Pflanzen recht hohe Kupferwerte im Boden vertragen. JEYAKUMAR ET AL. stellte 2010 fest, dass Kupfer einen schädigenden Einfluss auf die Pappelart *Populus deltoides yunnanensis* hat. Allerdings war das Kupfer bis zu einer Konzentration von 226 mg/kg Boden für die Pflanzen ungefährlich. Im Gegensatz dazu reagierten die mit untersuchten Mycorrhizapilze der Pappel bereits bei 137 mg/kg Boden, andere Bodenmikroorganismen starben bereits bei 12 mg ab.

Nichtsdestotrotz können hohe Kupferkonzentrationen im Boden auch Pflanzen schädigen. Untersuchungen zur Fitness verschiedener Beikräuter auf kupferhaltigen Böden (0 - 400 mg/kg Boden) zeigten einen deutlich negativen Einfluss der Kupferkonzentration auf

deren Wachstumsstärke, Fortpflanzung und Überlebensrate (BRUN ET AL., 2002). Bei 23 bis 57 mg Kupfer/kg Boden stellte AHRENT 1960 hellgrüne Flecken auf den Blättern von Senfpflanzen fest, ab 152 mg stellte sich eine Wuchsreduzierung auf ca. 2 cm ein. Der Senfertrag sank ab 66 mg, bei 100 mg betragen die Ertragsverluste bereits 20%. GUO ET AL. konnten 2011 beweisen, dass Kupfer die Länge von Wurzeln senken kann. Koexistierende Kationen wie Aluminium, Mangan, Calcium, Magnesium, Wasserstoff, Natrium und Kalium können diese Wirkungen durch elektrostatische Effekte vermindern. Sie beeinflussen die Bindung des Kupfers an den Boden und seine Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln (WANG ET AL., 2012). Interessant ist, dass auch arbuskuläre Mykorrhiza die Einflüsse des Kupfers auf Pflanzen lindern können (MEIER ET AL., 2011). Eine Erhöhung der Bodendichte hingegen führt zwar zu keiner direkten Steigerung der Toxizität des Kupfers, schwächt aber Pflanzen und Bodenleben allgemein und macht sie anfällig für schädigende Kupferwirkung (MENEZES-OLIVEIRA ET AL., 2011).

Für Reben kommt die Kupfertoxizität weniger zum Tragen. Da Weinbergböden meist etwa pH-neutral sind, wird in der Regel nur wenig Kupfer gelöst. Bei einem pH unter 6 können 25 mg/kg Sandboden oder 100 mg/kg Tonboden für die Reben phytotoxisch wirken. In Ertragsweingärten kommt dies sehr selten vor, da der pH meist über diesem Wert liegt. Ausgewachsene Rebwurzeln reichen zudem normalerweise bis unter die Akkumulationszone des Kupfers (DELAS, 1959, 1980). Darüber hinaus sind die oberirdischen Rebeile nicht empfindlich auf Kupfergehalte im Boden. Im Gegensatz dazu konnte in Stecklingsversuchen gezeigt werden, dass Wurzeln mit Plasmolyse in der Rinde und vermindertem Wachstum reagieren, wenn sie mit kontaminiertem Wasser in Berührung kommen. Dazu kommt, dass sich Kupfer in den Wurzeln ablagert, wodurch auch die oberirdischen Organe auf lange Sicht Schaden nehmen können (WANG ET AL., 2011 b).

Obwohl Mikroorganismen um vieles empfindlicher auf Kupferbelastung reagieren als höhere Tiere oder Pflanzen, können Tests auf die Toxizität bestimmter Kupferkonzentrationen an Mikroorganismen Aussagen über die Toxizität auf höhere Lebewesen ermöglichen. Die hohe Sensibilität der Mikroorganismen bürgt dabei für eine frühe und gründliche Erkennung und Einschätzung des Risikos (VAN BEELEN UND DOELMAN, 1997). Dabei reagieren nicht alle Bodenmikroorganismen gleich empfindlich. Während Ascomyceten beispielsweise viel Kupfer vertragen, reagieren Azotobacterarten sehr früh (MALISZEWSKA ET AL., 1985).

Eine gute Kennzahl für die Kupferbelastung ist die biologische Verfügbarkeit des Kupfers, also die Kupfergehalte verschiedener Bodenlebewesen und Pflanzen. Dabei gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen Arten. So akkumulierten Regenwürmer der Art *Lumbricus terrestris* wenig Kupfer, *Lumbricus rubellus* aber mehr. Ein ähnliches Bild bietet sich bei Tausendfüßlern (*Myriapoda*) - Erdläufer (*Geophilomorpha*) nehmen wenig Kupfer auf, Steinläufer (*Lithobiomorpha*) aber viel. Dies kann vermutlich auf die Verschiedenartigkeit ihrer Beutetiere zurückgeführt werden. Als besonders aufnahmefreudig und damit gute Bioindikatoren erwiesen sich Kellersasseln (*Porcellio scaber*) und Spinnen (*Arachnida*). Allerdings haben das physiologische Kupferbedürfnis der Tiere, ihre Verdauung, Speichervermögen, Konsumrate, Lebensraum, Diät, Aktionsradius und Aktivitätsrhythmus einen starken Einfluss auf ihre Körperkupfergehalte und damit die für sie toxischen Belastungen (WITTASSEK, 1987). Einen interessanten Ansatz zur Messung der tatsächlichen Kupfergiftigkeit schlugen 2011 FERNÁNDEZ-CALVIÑO ET AL. mit der "Pollution induced Community Tolerance" (engl. „Belastungsverursachte Gesellschafts Toleranz“) vor. Dabei soll getestet werden, wie tolerant bestimmte Bakterien aus dem zu untersuchenden Boden gegen Kupfer sind. Über die Toleranzentwicklung kann auf die Belastung geschlossen werden, welcher diese Bakterien in ihrer natürlichen Umwelt ausgesetzt sind, ohne dass einzelne Umweltfaktoren, wie z. B. der Humusgehalt des Bodens, vernachlässigt werden.

Trotz der Schwierigkeiten, die tatsächliche Kupfertoxizität zu bestimmen, sind einige Richtwerte festgelegt worden. So gelten 100 mg Kupfer/kg Boden für Regenwürmer und 200 mg für Collembolen als toxisch (KULA UND GUSKE, 2003). Mikroorganismen reagieren bereits ab 20 mg, Bakterien tendenziell stärker als Pilze (KULA UND GUSKE, 2003). In Österreich dürfen Böden, je nach Bundesland, maximal 40 bis 100 mg Gesamtkupfer/kg luftgetrocknetem Boden enthalten (UMWELTBUNDESAMT, 2003) in Deutschland liegen die Vorsorgegrenzwerte zwischen 20 und 60mg/kg getrocknetem Boden (BbodSchV, 1999; Anhang II, 4.1.). Seit 1991 ist der Kupfergebrauch in der Landwirtschaft daher durch die EG-Verordnung Nr. 2092/91 auf 8 kg/ha\*Jahr beschränkt, für das Jahr 2006 ist in der Verordnung eine weitere Senkung auf 6 kg/ha\*Jahr festgeschrieben. Nur noch die Wirkstoffe Kupferhydroxyd, Kupferoxychlorid, Kupfersulfat und Kupferoxyd sind zugelassen. (VO (EWG) Nr. 2092/91, Anhang II, Teil B, Absatz IV). Diese Zulassungen wurden 2002 durch die VO (EG) Nr. 1918/2002 bestätigt (VO (EG) Nr. 1918/2002, Anhang II, Teil B, Absatz IV). Im ökologischen Landbau existieren darüber hinaus noch weitergehende Vorschriften der

Verbände, welche den Kupfergebrauch auf maximal 4, zum Teil sogar 3 kg Kupfer/ha\*Jahr beschränken (KÜHNE ET AL., 2003; WILBOIS ET AL., 2009). Laut WILBOIS ET AL. (2009) werden in der Praxis durchschnittlich nur etwa 2,5 kg Kupfer/ha\*Jahr verwendet.

#### **2.2.3.2. Kupferakkumulation in Gewässern**

Nicht nur in Böden wirkt sich Kupfer schädigend aus, sondern auch und gerade in Gewässern. Dort kommt es als freies Ion, hydratisiert, als Karbonat oder an andere anorganische oder organische Liganden gebunden vor (KIAUNE UND SINGHASEMANON, 2011). Das meiste Kupfer wird durch organische Substanzen komplexiert und lagert sich in den Sedimenten am Gewässergrund ab. Es ist in dieser Form ungefährlich, nur die gelösten Ionen ( $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{CuOH}^+$  und  $\text{Cu}_2\text{OH}_2^+$ ) sind für Lebewesen aufnehmbar (KULA, 2003). Je mehr organische Anteile ein Gewässer enthält, desto schwächer wirkt sich daher die Toxizität des Kupfers aus (AL-REASI ET AL., 2011). Allerdings können Mikroorganismen das Kupfer aus den Sedimenten mineralisieren. So kann es von Wasserpflanzen aufgenommen und so wieder in den Kreislauf eingebracht werden (ROSEN ET AL., 2011).

Neben dem Gehalt des Wassers an organischen Liganden ist die Toxizität, wie im Boden, von verschiedenen weiteren Faktoren wie Temperatur und pH- Wert abhängig. Dies macht es sehr schwer, Grenzwerte für Kupfergehalte festzulegen. In natürlichen Gewässern finden sich zwischen 0,5 und 2  $\mu\text{g}$  Kupfer/l. In anthropogen beeinflussten kann dieser Wert auf bis zu 11  $\mu\text{g}$  steigen. Ein Wert von 3,7  $\mu\text{g}$  wird als toxisch eingestuft, wobei die Schwellenwerte für verschiedene Wasserorganismen stark abweichen (KULA, 2003).

Die schädigende Wirkung einer Kupferkontamination konnte vielfältig nachgewiesen werden: Sie senkt die Population des weißen Störs (*Acipenser transmontanus*) und sensibler Lachsarten (*Salmonidae spp.*). Besonders schädlich ist eine chronische Kupferbelastung im Juvenilstadium (VARDY ET AL., 2011). Auch ein Effekt auf Barsche (*Tilapia spp.*) wurde nachgewiesen (CHEN ET AL., 2011). Darm und Kiemen von Fischen sind von Kupferbelastungen ganz besonders stark betroffen (POLO UND SCRIMSHAW, 2012). Dabei ist es bedeutsam, ob der Kupfergehalt stabil oder schwankend ist, da sich Fische an einen schwankenden Kupfergehalt schwer anpassen können (CHEN ET AL., 2011). Bei Larven des Zebrafisches (*Danio rerio*) senkt die Aufnahme von Kupfer die Aufnahme zweiwertigen Kalziums, Magnesiums, Natriums und Kaliums. Eventuell werden die für die Aufnahme dieser Kationen benötigten Kanäle durch das Kupfer beansprucht. Möglich ist auch, dass sich

der Diffusionsgradient durch höhere Kupferkonzentrationen im Wasser verringert. So wird die Kationenaufnahme erschwert. In diesem Fall ergibt sich die Kupfertoxizität also weniger aus den Wirkungen des Kupfers direkt, als aus dem induzierten Mangel anderer Kationen (ALSOP UND WOOD, 2011).

Auf Gewässerböden beheimatete Lebewesen, wie Algen oder Muscheln, werden besonders durch kupferhaltige Sedimente beeinflusst (ROSEN ET AL., 2011). Aber auch weidende aquatische wirbellose Kleinstlebewesen nehmen das in den Sedimenten abgelagerte Kupfer durch ihr Futter, also Algen und andere Wasserpflanzen, auf (CAIN ET AL., 2011). Aquatische Insektenarten, beispielsweise Wasserflöhe (*Daphnia magna*) (AL-REASI ET AL., 2011), können ebenfalls durch kontaminiertes Futter geschädigt werden (BRIX ET AL., 2011). Auch in Sedimenten am Gewässerboden hängt die Kupfertoxizität stark vom Gehalt an organischer Substanz, zusätzlich aber von der Partikelgröße der Sedimente ab. Daher unterliegt sie von Gewässer zu Gewässer starken Schwankungen. Bei einer Partikelgröße von 63 µm sind vermutlich alle Lebewesen ungefährdet, wenn der Kupfergehalt 3,5 mg/g organischen Kohlenstoffs nicht übersteigt. Kurzzeitig sind auch 11 mg möglich, auf die Dauer führt dies aber zu Langzeitschäden (SIMPSON ET AL., 2011).

Auch auf Sumpf- und Wasserpflanzen kann Kupfer schädigend wirken. Allerdings reagieren die Pflanzen weit weniger empfindlich als die Wasserlebewesen selbst. Ernste Schäden treten erst bei 250 mg auf. Für Breitblättrigen Merk (*Sium latifolium* L.) wurden ab 1 bis 10 mg Kupfer/l Wasser Reaktionen festgestellt (KRYLOVA, E., G.; 2011).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der Biofilm von Gewässern bei Kupferbelastung genau wie in Böden anpasst. Die Kupfertoleranzen steigen und es findet eine Artverschiebung statt. Spezies mit Kupferentgiftungsmechanismen haben dabei große Vorteile (TLILI ET AL., 2011).

Da Kupfer im Boden sehr stark festgelegt wird (AHRENT, 1960), gelangt es kaum durch Grundwasser in die Oberflächengewässer. Hingegen spielt der direkte Eintrag durch Spritzabdrift eine große Rolle. Um das Risiko einer Gewässerkontamination durch Kupfer zu senken, müssen im Weinbau daher Abstände zu Gewässern eingehalten werden. Diese betragen je nach Mittel, Staat und Bundesland zwischen 10 m, wenn keine verlustmindernden Spritztechniken eingesetzt werden und 5 m beim Einsatz solcher (KULA, 2003). Die

Vorschriften gelten allerdings nur für Gewässer welche ständig Wasser führen, so dass bei Regen ein Eintrag durch Rinnsale und Erosion möglich bleibt (KULA, 2003).

#### **2.2.4. Kupfereinsatz als Herausforderung im ökologischen Weinbau**

Besonders relevant ist die Verwendung von Kupfer im Bioweinbau. Es sind kaum andere natürliche Spritzmittel gegen *Plasmopara viticola* vorhanden. Aus natürlichen Stoffen wie Pflanzen, Mikroorganismen und Mineralien gewonnene Substanzen sind allerdings die einzigen im Ökolandbau zugelassenen Alternativen. Trotz des relativ hohen Kupfergebrauchs wird in der Praxis normalerweise keine Kupferanreicherung auf ökologisch bewirtschafteten Weinbergen festgestellt (WILBOIS ET AL., 2009). Demgegenüber werden die Ertragsausfälle bei einem vollständigen Verzicht auf Kupfer bei 50 bis 100% vermutet (WILBOIS ET AL., 2009).

Da in neuester Zeit vermehrt Bioweine gefragt sind, wird der ökologische Weinbau derzeit immer wichtiger (VATERLAUS, 2000). Weltweit wurden 2008 2% der Gesamtrebfläche biologisch bewirtschaftet (HOFMANN UND WILLER; 2010). Besonders in Europa ist diese Entwicklung schon weit fortgeschritten. Aber auch außerhalb sind erste Ansätze zu beobachten wie z. B. die „Cape Organic Growers Association“ in Südafrika (WILLER, 2000). Interessant ist, dass die Winzer außerhalb Europas bei der Suche nach alternativen Pflanzenschutzmitteln einen Vorsprung erreicht haben. Dies könnte an der komplizierten Rechtslage zum Pflanzenschutz innerhalb der EU liegen (WILLER, 2000). Bisher konnten die strengen Pflanzenschutzmittelgesetze teilweise dahingehend umgangen werden, dass die Mittel als Pflanzenstärkungsmittel zugelassen wurden. So konnten vor allem kleinere Firmen ihre Kosten im Rahmen halten. Dazu kommt die oft geringere Wirksamkeit alternativer Mittel, die den gesetzlichen Anforderungen als Pflanzenschutzmittel oft nicht genügen. Daher haben viele alternative Wirkstoffe im Ökolandbau lediglich eine Zulassung als Pflanzenstärkungsmittel (KLAWITTER, 2011). Ab dem 14. Februar 2012 ist eine solche Zulassung nicht mehr möglich (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2012). Damit werden einige neue Schwierigkeiten für den ökologischen Weinbau vermutet (KLAWITTER, 2011).

Ökologischer Weinbau wird in der gesamten europäischen Union betrieben (WILLER UND ZANOLI, 2000). Der Anteil an der Gesamtrebfläche liegt bei etwa 3,2% innerhalb der EU und 2,8% im geografischen Europa. Der jährliche Flächenzuwachs ist groß (HOFMANN UND

WILLER; 2010). Ein mengenmäßiger Schwerpunkt findet sich heute in Südeuropa (WILLER UND ZANOLI, 2000). Die größten Flächen befinden sich in Italien, gefolgt von Spanien und Frankreich (HOFMANN UND WILLER; 2010). Konträr dazu wurden die ersten Versuche zum ökologischen Weinbau im Deutschland der 1970er Jahre unternommen. Bereits 1985 wurde dort das Label „Ecovin“ gegründet, in Österreich folgte 1999 „Bio-Veritas“. Heute befindet sich der größte Markt für Ökoweine in Deutschland, gefolgt von Zentral- und Nordeuropa (WILLER UND ZANOLI, 2000).

In Österreich haben wir etwa ein Anteil von 5% Ökoflächen an der Gesamtweinbaufläche (HOFMANN UND WILLER; 2010). Diese finden sich vor allem in Niederösterreich und dem Burgenland. Der Schwerpunkt liegt auf Weißwein, am häufigsten angebaute Sorte ist grüner Veltliner. Die meisten Ökowinzer sind in „ERNTE für das Leben“ oder „Austria Bio“ organisiert (SCHINNERL, 2000). Der größte Teil des Weines wird direkt vermarktet (SCHMÜCKING, 2012). In Deutschland beträgt der ökologisch bewirtschaftete Flächenanteil derzeit etwa 4,4% (HOFMANN UND WILLER; 2010).

### **2.3. Die lange Suche nach Alternativen**

#### **2.3.1. Kupferreduzierung**

Um die beschriebenen Probleme durch kupferhaltige Fungizide in den Griff zu bekommen, wird seit vielen Jahren intensiv an der Reduzierung der üblichen Kupfermengen gearbeitet. Ziel ist es, diese so weit zu senken, dass sie der von den Pflanzen jährlich als Mikronährstoff aufgenommenen Menge entspricht, so dass sich ein Kreislauf einstellen kann (KÜHNE ET AL., 2003). Da ein großer Teil der Ernte oft in Form von Tresterkompost wieder im Weinberg ausgebracht wird und auch Schnittholz und Herbstlaub meist dort verbleiben, beträgt der tatsächliche Entzug über Trauben im Herbst nach GÄRTEL (1985) allerdings lediglich etwa 26 g/ha.

Im Laufe der letzten Jahre wurden bereits einige verschiedene Ansätze zur Kupferreduzierung verfolgt. 2008 beispielsweise verglichen BORTOLOTTI ET AL. die Wirksamkeit verschiedener Kupferverbindungen miteinander. Die Wirkung von Kupferhydroxid fiel dabei am stärksten aus, 5 kg Mittelaufwand/ha\*Jahr reichten für den Pflanzenschutz aus. Trotzdem vermuten sie, dass bei größerem Krankheitsdruck mehr Kupfer nötig wäre (BORTOLOTTI ET AL., 2008).

Allerdings berichteten HEIBERTSHAUSEN ET AL. schon 2007 von Versuchen, nach denen es gelungen sei, den Kupferverbrauch unter 3 kg zu senken. Dabei wurden verschiedene Kupferprodukte verglichen und mit Pflanzenextrakten und Gesteinsmehl gemischt. HOFMANN ET AL. schrieben 2008 von guten Ergebnissen mit Kupferhydroxid und Kupferoxychlorid in niedriger Dosierung. Er meint aber, dass ein Pflanzenschutz mit unter 3 kg Kupfer/ha\*Jahr bei starkem Befallsdruck noch unmöglich sei. Dieser Ansicht stimmten auch KAUER ET AL. (2003) zu. Sie sagten sogar voraus, dass sich die heutigen Probleme im Pflanzenschutz durch die Klimaveränderung in Zukunft noch verschärfen werden.

Aber nicht nur die Kupferverbindungen, sondern ebenso die Spritztechnik haben Einfluss auf die benötigte Kupfermenge. Laut MOHR ET AL. (2008) lässt sich eine Infektion mit *Plasmopara viticola* durch 0,3 µg Kupfer/cm<sup>2</sup> Blattunterseite vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, sind je nach verwendeter Spritztechnik 160- 400 g Reinkupfer/ha und Spritzgang nötig. Am effektivsten sind Geräte mit turbulenter Luftströmung. Um die neuen jungen Blätter zu schützen, werden damit überschlagsmäßig etwa 200 g Reinkupfer/ha und Spritzgang gebraucht. Durch den Luftwirbel werden die Blätter gedreht und damit auch von unten benetzt (MOHR ET AL., 2008). Besonders sparsam sind Recyclingspritzgeräte. Mittels eines Folientunnels wird der Spritzmittelanteil, welcher nicht auf die Reben trifft, aufgehalten und in Auffangwannen unter dem Gerät gleitet. So kann überschüssiges Mittel gesammelt und recycelt werden (HILLEBRAND ET AL., 1998).

Auch die Spritzstrategie kann zu Einsparungen der benötigten Kupfermenge beitragen. Während man bei einer Routinespritzung alle zehn bis 14 Tage auf etwa acht bis zwölf Spritzungen pro Jahr kommt (REDL ET AL, 1995), kann eine gezielte Strategie mit Hilfe eines Prognosesystemes weit sparsamer sein (BLEYER ET AL., 2003). Eine solche kann vorbeugend oder kurativ erfolgen. Für eine vorbeugende Behandlung muss die Spritzung direkt nach Ende der Inkubationszeit getätigt werden, kurz bevor die Sporulation einsetzt. Bei der kurativen Methode wird das Mittel direkt nach der Infektion appliziert. Damit kann die Spritzfolge genauer auf das Wetter abgestimmt und so die Spritzgänge reduziert werden (MOHR, 2005).

Prognosemodelle basieren meist auf der Temperatursumme nach GEHMANN. Demnach kann die Primärinfektion nur stattfinden, wenn die Temperatursumme bei 170°C liegt und ausreichend Regen gefallen ist (GEHMANN, 1987). Ein anderer Ansatz ist es, zu über 5 mm Regen mindestens 15 cm Trieblänge vorauszusetzen (BLEYER ET AL., 2003). Bisher wird in

Rheinessen vor allem das Peronospora-Risikomodell-Oppenheim verwendet (HILL, 1990). In Baden-Württemberg (Deutschland) und in der Schweiz (MOHR, 2005) kommt das Stufenweise-Risiko-Analyse-Modell (KAST 1991) zum Einsatz. Letzteres Modell eignet sich besser als das erstgenannte für stark differenziertes Gelände. Es basiert auf vielen verschiedenen vernetzten Wetterstationen, welche jeweils Niederschlag und Temperatur erfassen. Daraus werden Prognosen für die Peronospora- und Oidiumbekämpfung erstellt (KAST, 2002). In Österreich gibt es nur wenige regionale Warndienste (BAUER, 2008). Daher empfiehlt BAUER (2008) für Österreich eine Ergänzung der Prognosen überregionaler Warndienste mittels privater Kleinwetterstationen.

Im Weinbauinstitut Freiburg wurden obige Prognosemodelle nochmals verbessert. Dafür wurde das Blattwachstum zwischen zwei Spritzungen untersucht. Demnach dürfen sich unter einem hohen Befallsdruck je 300 bis 400 cm<sup>2</sup> ungeschützter Blatflächenzuwachs entwickeln, bevor die nächste Spritzung erfolgen muss. Dieser neue Ansatz wurde in die bestehenden Prognosemodelle integriert (BLEYER ET AL., 2003) und es entstand das Programm VitiMeteo. Dieses wird durch das Weinbauinstitut Freiburg (Deutschland) und das Institut „Agroskope“ in Wädenswil (Schweiz) betreut und seit 2003 in Baden-Württemberg und der Schweiz eingesetzt (BLEIYER, 2008).

HÄSELI UND MATASCI (2006) raten, beim Auftreten der ersten Symptome sofort zu spritzen, um den Primärbefall einzudämmen. Aus diesem entwickelt sich der größte Teil der weiteren Infektionen. Da sich die Infektion normalerweise langsam aufschauelt, vertritt NIEDER im Gegensatz dazu die Meinung, es müsse erst nach der dritten Inkubationsperiode gespritzt werden, spätestens aber kurz vor der Blüte (NIEDER, 1992). Auch GESSLER ET AL. raten, die Epidemie erst zu beobachten. Sonst könne das vorhandene Inokulum nicht eingeschätzt werden und die Epidemie in einem Spritzfenster auftreten (GESSLER ET AL., 2003).

Eine Reduzierung der Kupfermenge bleibt ohne nennenswerte Nachteile. So konnte in Experimenten gezeigt werden, dass die Erntemenge durch einen Minimalfungizideinsatz nicht beeinflusst wird (JERMINI ET AL., 2003). Die Pflanze kann den durch den verstärkten Pilzbefall verursachten Blattverlust durch in der Wurzel gespeicherte Stoffe ausgleichen. Im Laufe von zwei Jahren führt dies zwar zu einer Schwächung der Pflanze, die Blattgröße, nach drei Jahren auch Sprosslänge und Ertrag, gehen zurück. Dieser Einfluss ist allerdings sehr gering,

die Pflanze kann sich innerhalb eines Jahres mit geringem Befallsdruck bereits erholen (JERMINI ET AL., 2003).

Neben den direkten Bemühungen zur Optimierung des Pflanzenschutzes wird auch versucht, neue, pilzresistente Rebsorten zu züchten. Laut BASLER (2002) können solche Sorten mit wenig bis keinen Fungiziden auskommen und trotzdem einen sensorisch vollwertigen Wein erzeugen. WILLER UND ZANOLI berichteten 2000 von Blindweinproben, welche die neuen pilzresistenten Sorten auf ein Niveau mit klassischen Weinen hoben. Als interessante Sorten nennt BASLER (2002) Seyval blanc, Solaris, Chardonel, Regent, Rondo und verschiedene Zuchtversuche des Weinbauinstitutes Freiburg in Deutschland. Ein Problem ist die Rechtslage in der EU, welche es schwierig macht, neue Rebsorten zuzulassen (WILLER UND ZANOLI, 2000; BASLER, 2002). Auch ist der Markt träge und nimmt nur zögerlich neue Weine auf (WILLER UND ZANOLI, 2000; BASLER, 2002).

Natürlich gibt es auch schon heute resistenterere und weniger resistente Weinsorten, unter denen der Winzer wählen kann. Außergewöhnlich anfällig für *Plasmopara viticola* sind beispielsweise Chenin Blanc, Albariño, Prieto Picude (BOSO ET AL., 2011) und Tempranillo (BOSO UND KASSEMAYER, 2008). Aber auch Cabernet Sauvignon, Pinot Blanc, Pinot Noir, Müller Thurgau und Riesling sind anfällige Sorten (BOSO ET AL., 2011). Wenig empfindlich sind dagegen Silveiriña, Caiñobravo, Follajeiro und Brancellao Blanco (BOSO ET AL., 2011). Als resistent kann zum Beispiel die Rebsorte Solaris bezeichnet werden (BOSO UND KASSEMAYER, 2008).

Die Wahl resistenter Rebsorten gehört zum Bereich des vorbeugenden Pflanzenschutzes, auf welchen besonders im ökologischen Landbau viel Wert gelegt wird. Dazu gehören aber auch pflanzenbauliche Maßnahmen, besonders im Bereich der Reberziehung. Da die Primärinfektion meist über Regenspritzer erfolgt, ist es günstig, die Reben mit hohen Stämmen zu ziehen und diese rechtzeitig unten von Wasserschossen zu befreien. Auch weiträumige Anlagen und ein lockerer Aufbau der Blattwand senken die Infektionsgefahr, da die Blätter bei besserer Durchlüftung schneller abtrocknen (MOHR, 2005). Laubwandarbeiten sollten nur bei geeignetem Wetter und mit anschließender Pflanzenschutzbehandlung durchgeführt werden, weil Blattverletzung die Infektionsgefahr steigern (KEIL, 2007). Da *Plasmopara viticola* in Herbstlaub und auf Traubenmumien überwintert, sollten Falllaub und ungeerntete Beeren im Herbst möglichst entfernt werden (MOHR, 2005).

### 2.3.2. Kupferersatz

Schon seit langem wird versucht, einen wirkungsvollen Ersatz für Kupferpräparate im ökologischen Weinbau zu finden. 2004 wurde das EU- Programm REPCO ins Leben gerufen, im Rahmen dessen intensiv nach Kupferalternativen für den ökologischen Landbau gesucht wird. Dabei werden für den biologischen Landbau taugliche Fungizide in Labor und Feld getestet und daraus neue Pflanzenschutzstrategien entwickelt. Die Bemühungen, einen Kupferersatz zu finden, haben sich seither noch einmal intensiviert und im Laufe der letzten Jahre wurden unzählige Naturstoffe auf ihre Eignung hin untersucht (TAMM, 2010).

MOHNS (2000) beispielsweise untersuchte verschiedene Pflanzenstärkungsmittel auf ihre Wirksamkeit gegen falschen Mehltau in Kräutern, allerdings ohne auf ein signifikant wirksames Präparat zu stoßen. Im Gegensatz dazu fand KAST (2003) verschiedene, präventiv wirksame Pflanzenextrakte. Die Effekte waren signifikant, für die Praxis allerdings zu gering. Ähnlich verhielt es sich mit Grünschnittkompostextrakt (LARBI ET AL., 2006). DAGOSTIN ET AL. (2008) konnten bei Versuchen mit Pflanzenextrakten sowie Tonerde einige vielversprechende Alternativen finden, bei hohem Befallsdruck war die Wirkung aber nicht ausreichend (DAGOSTIN ET AL., 2008). Ähnliche Ergebnisse erhielten auch LA TORRE ET AL. (2007) bei der Untersuchung verschiedenster Mineralien. 2011 prüfte DAGOSTIN nochmals 112 Stoffe. Er erzielte gute Ergebnisse mit Resveratrol, trotzdem konnte kein praxistaugliches Mittel gefunden werden.

Vielversprechender waren Versuche mit Phosphorsäure und Tonerde. Erste Untersuchungen zu Phosphorsäure ( $H_3PO_3$ ) wurden bereits 1991 unternommen. Damit konnte der Befall bei einer Applikation bis zu zwölf Tage nach der Infektion noch gesenkt werden, ab 13 Tage wurde nurmehr die Sporulation des Pathogenes gehemmt (WICKS ET AL., 1991). Die Wirkung Phosphoriger Säure konnte von HOFMANN (2003 b) nicht bestätigt werden. Im Vergleich zu 3 kg Kupfer/ha\*Jahr war sie nur bei geringem Befallsdruck gegeben. Da sich Phosphorige Säure im Boden rasch zu Phosphat abbaut, ist sie als Umweltgift unbedenklich. Ein Problem ist aber ihre starke Persistenz im Wein (KAST UND SCHIEFER, ohne Jahrgang). HOFMANN führte 2003 (b) Versuche mit Pflanzenstärkungsmitteln, MYCO- SIN Vin (saurer Tonerde, Aluminiumsilikat), Pflanzen- und Algenextrakten sowie Phosphoriger Säure im Vergleich zu 3 kg Kupfer/ha\*Jahr durch. Die Wirkung der alternativen Pflanzenschutzmittel war sehr schwankend, bei hohem Befallsdruck versagten sie sämtlich. Bei mittlerem und niedrigem Druck erwies sich MYCO-SIN Vin als das beste der untersuchten Mittel. 2008 konnten

HOFMANN ET AL. Und DAGOSTIN ET AL. die gute Wirksamkeit von MYCO-SIN Vin bei geringem und mittlerem Befallsdruck bestätigen, bei HÄSELI ET AL. (2006) erwies sich MYCO-SIN als nur leicht schlechter als Kupfer.

Neben einer direkten Wirkung erhoffte man sich von verschiedenen Naturstoffen auch eine Induktion von Resistenzen gegen *Plasmopara viticola*. AZIZ ET AL. (2006) untersuchten Chitosan unter diesem Aspekt. Durch die Behandlung bildeten sich die Phytoalexine Resveratrol und  $\epsilon$ -Viniferin sowie Piceid in den Blättern. Im Gegenzug dazu schnitt Chitosan bei HÄSELI ET AL. (2006) nicht besonders gut ab. Es wurde im Rahmen eines Versuches mit 38 weiteren Substanzen geprüft. Dabei lag die Wirkung von Aluminium-positiv und MYCO-SIN nur leicht unter der der Kupferpräparate. HARM untersuchte 2005 die Wirkungen von Chitosan und einigen Pflanzenextrakten, ohne zu einem befriedigenden Resultat zu gelangen. DAGOSTIN ET AL. (2011) wiederum erzielte gute, wenn auch nicht praxisgenügende Ergebnisse mit Chitosan.

Durch  $\beta$ -1,3-glucan laminarin aus der Blaualge (*Laminaria digitata*) konnte *Plasmopara viticola* 2003 an bereits infizierten Pflanzen zurückgedrängt werden. Die Abwehrkräfte der Pflanzen wurden gesteigert, indem der pH im extrazellulären Medium durch das Einströmen zweiwertigen Kalziums gehoben wurde. Darüber hinaus wurden zehn Resistenzgene aktiviert, der Chitinasenanteil stieg an, Resveratrol und  $\epsilon$ -Viniferin wurden gebildet (AZIZ ET AL., 2003). Eine resistenzfördernde Wirkung konnte auch durch  $\beta$ -aminobutyric acid erzeugt werden (COHEN, 2002).

Die Autoren sind sich darüber einig, dass Kupfer im ökologischen Weinbau heutzutage zwar durch Alternativen reduzier-, aber nicht ersetzbar ist (LA TORRE ET AL., 2007; DAGOSTIN ET AL., 2008). Die Wirkungen der untersuchten Mittel schwanken stark und verschwinden bei starkem Befallsdruck sogar ganz. Einzig MYCO-SIN (Aluminiumsilikat/ saurer Ton) und phosphorige Säure werden in vielen Untersuchungen durchgängig als bei geringem und mittlerem Befallsdruck wirksam beschrieben.

Dazu kommt noch ein weiteres Problem. Wie andere Pathogene ist auch *Plasmopara viticola* in der Lage, Resistenzen gegen Spritzmittel zu entwickeln. Daher sollten die verwendeten Präparate unbedingt abgewechselt und in den geringstmöglichen Konzentrationen verwendet werden (LEROUX, P. UND CLERJEAU, M.; 1985). Diese Erkenntnisse führen zu der

Schlussfolgerung, dass ein Kupferersatzstoff allein nicht ausreichend wäre um eine dauerhafte Wirksamkeit zu garantieren (WILBOIS ET AL., 2009).

**Tabelle 1: Übersicht über einige wichtige bisher untersuchte Mittel**

Mittel	Wirksamkeit	Quelle
<b>Pflanzenextrakte</b>		
Elot- Vis (Extrakte aus Hanf ( <i>Cannabis</i> ), Traubenkirsche ( <i>Prunus padus</i> ) und Ringelblume ( <i>Calendula officinalis</i> ))	Keine signifikante Wirkung bzw. schwankend	MOHNS, 2000, DAGOSTIN ET AL., 2008; 2011
Milsana (Sachalin-Staudenknöterich- ( <i>Reynoutria sachalinensis</i> -) extrakt)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Telmion (Raps- ( <i>Brassica napus</i> ) öl).	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Efeublättern ( <i>Hedera helix</i> )	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	KAST, 2003
Faulbaumrinde ( <i>Frangula alnus</i> )	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	KAST, 2003
Weidenrinde ( <i>Salix spp.</i> )	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	KAST, 2003
Schlüsselblumenwurzeln ( <i>Primula veris</i> )	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	KAST, 2003
Rhabarberwurzeln ( <i>Rheum rhabarbarum</i> ).	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	KAST, 2003
Blualge ( <i>Laminaria digitata</i> )	Kurativ, gering	AZIZ ET AL., 2003
Orangen- ( <i>Citrus × aurantium</i> L.) öl	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007

Weiden- ( <i>Salix spp.</i> ) extrakt	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008; 2011
Traubenkirschenextrakt ( <i>Prunus padus</i> )	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008
Ringelblumenextrakt ( <i>Callendula officinalis</i> )	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008
Salbei ( <i>Salvia officinalis</i> )	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	DAGOSTIN ET AL., 2011
Thymianöl ( <i>Thymus vulgaris</i> )	Unbefriedigend	HARM, 2005
Sesam- ( <i>Sesamum indicum</i> ) öl	Unbefriedigend	HARM, 2005
Mais- ( <i>Zea mays</i> ) öl	Unbefriedigend	HARM, 2005
Robinien- ( <i>Gliricidia sepium</i> ) extrakt	Unbefriedigend	HARM, 2005
<b>Minerale und Salze</b>		
Kaliwasserglas (Silizium)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
MYCO-SIN (Aluminiumsilikat/ saure Tonerde)	Geringe Wirkung	MOHNS, 2000
Steinhauers Mehлтаuschreck (Natriumhydrogencarbonat)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000; HOFMANN, 2003
Phosphorsäure (H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> )	Schwankend	WICKS ET AL., 1991
Calzium	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007; DAGOSTIN ET AL., 2011
Magnesium	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007

Eisen	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Kalium	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Zink	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Mangan	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Stickstoff	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Phosphor	Geringe Wirkung	LA TORRE ET AL., 2007
organischer Kalk	Schwankend	LA TORRE ET AL., 2007
Aluminium-positethyl	Schwankend	HÄSELI ET AL., 2006
<b>Organische Substanzen</b>		
FZB 24 ( <i>Bacillus subtilis</i> )	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Chitosan	Umstritten	AZIZ ET AL., 2006
$\beta$ -aminobutyric acid	Schwankend	COHEN, 2002
Saphonin	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008
Clonotri (Mittel auf Mikroorganismenbasis)	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008
Trichodex (Mittel auf Mikroorganismenbasis)	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008

Fettsäuren	Schwankend	DAGOSTIN ET AL., 2008
Schimmelpilz <i>Trichoderma harcianum</i>	Signifikant, aber für die Praxis zu gering	DAGOSTIN ET AL., 2011
<b>Gemischte Pflanzenstärkungsmittel</b>		
Biplantol (Mineraliengemisch)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Neudo Vital (Natürliche Fettsäuren und Pflanzenextrakte)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Oikomb (Silikat, Pflanzenextrakte, ätherische Öle)	Keine signifikante Wirkung	MOHNS, 2000
Grünschnittkompostextrakt	Schwankend	LARBI ET AL. 2006

### 2.3.3. Weitere Lösungsmöglichkeiten der Kupferproblematik

Neben der Vermeidung einer Kupferkontamination gibt es auch Möglichkeiten, bereits belastete Böden wieder zu regenerieren. Beispielsweise kann eine Düngung mit Kalzium (FAN ET AL., 2012) oder organischer Masse erfolgen (PIETRZAK UND UREN, 2011). Vermutlich erfolgt dies über ein Anheben des pH-Wertes und Bindung des Kupfers als Ligand. Zu viel Kalzium allerdings führt selbst zu Schäden an Boden und Pflanzen (FAN ET AL., 2012). Weiter ist es möglich, den Boden mit weniger kontaminierter Erde zu mischen. Oft genügt es auch schon, den Oberboden durch Pflügen mit tieferen Schichten zu vermengen, da sich Kupfer meist an der Oberfläche akkumuliert (PIETRZAK UND UREN, 2011). Auch Phytoremediation (Aufnahme des Schwermetalls durch Pflanzen und anschließende Entsorgung derselben) wurde bereits als Möglichkeit in Betracht gezogen (PIETRZAK UND UREN, 2011).

Ein weiterer interessanter Ansatz ist der Einsatz von Bakterien, um das im Boden angesammelte Kupfer zu binden. ANDREAZZA ET AL. (2010) fanden im Rahmen eines Versuches mit 106 verschiedenen kupferresistenten Bakterien zwei vielversprechende Arten: *Bacillus pumilus*, welcher in 24 Stunden bis zu 120 mg Kupfer/l aufnehmen kann und *Staphylococcus pasteurii*, welcher es immerhin auf 80 mg bringt. Über die genauen Konzepte

solcher Mikroorganismen bei der Kupferentgiftung wird spekuliert. Laut ASHIDA ET AL. (1962) wird das aufgenommene Kupfer bei kupferresistenten Hefen (*Sacharomyces spp.*) als Kupfersulfid in der Zellwand angelagert. Durch diese Umwandlung kann das Kupfer offenbar entgiftet werden. Allerdings spielen vermutlich noch andere Faktoren in die Kupferresistenz mit hinein, wobei die Permeabilität der Zellwand allerdings keine Rolle zu spielen scheint.

## **2.4. Hopfen als Pflanzenschutzmittel**

Der gewöhnliche Hopfen (*Humulus lupulus* L.) gehört zu Ordnung der Nesselgewächse (*Urticaceae*) (SCHRAMM, 1997; RAMAN, 1998) und der Familie der Hanfgewächse (*Cannabaceae* ENDL.). Er wächst als Liane mit rechtswindendem Stängel, welcher mit Kletterhaken besetzt ist und 2 bis 6 m in die Höhe rankt. Die Blätter sind gegenständig und handförmig geteilt. Die Pflanze ist zweihäusig, während die männlichen Blütenstände rispig sind, entwickeln die weiblichen Pflanzen eiförmige Scheinähren („Dolden“). Hopfen ist in ganz Europa heimisch und kommt autochthon in Auen- und Niedlungswäldern sowie Gebüsch und Erlenbrüchen vor (BÄBLER, 1999; JÄGER, 2011; SEYBOLD, 2011).

### **2.4.1. Geschichte und Bedeutung**

Heute wird Hopfen vor allem mit Bier assoziiert, seine Verwendung reicht aber schon deutlich weiter in der Zeit zurück als die Kunst des Bierbrauens. Erwähnt wird er erstmals bei Plinius dem älteren (23 oder 24- 79 n. Chr.) - als Hopfensprossengemüse. Auch zur Würzung von Fleisch scheint Hopfen im antiken Rom verwendet worden zu sein. Als Bierwürze wurde er im Altertum hingegen eher nicht gebraucht. Damals setzte man Bier aufputschende Kräuter wie Stechapfel oder Bilsenkraut zu. Hopfen mit seiner beruhigenden Wirkung passt nicht in dieses Konzept. Die Nutzung pflanzlicher Rauschmittel im Bier wurde im Laufe des Spätmittelalters im Zuge vieler Brauordnungen und im 20. Jh. endgültig mit dem Reinheitsgebot unterbunden. Hopfen setzte sich als Ersatz und beliebte Bierwürze durch. In den spätmittelalterlichen Klöstern, wurde seine sedative Wirkung vermutlich auch zur Beruhigung der männlichen Libido geschätzt (SCHRAMM, 1997).

Ein planmäßiger Anbau von Hopfen ist ab dem 8. Jh. für Franken nachgewiesen, ursprünglich kam der Kulturhopfen vermutlich aus dem römischen Reich und dem Kaukasus (SCHRAMM, 1997). Da sich nur unbefruchtete Hopfendolden zur Herstellung von Bier und Medikamenten verwenden lassen, werden nur die weiblichen Hopfenpflanzen als Kulturpflanzen genutzt

(SCHRAMM, 1997). In Österreich ist der Hopfenanbau wenig verbreitet, 2010 wurde er auf insgesamt 242 ha betrieben. Besonders bedeutsam sind Niederösterreich, Oberösterreich und die Steiermark (STATISTIK AUSTRIA, 2011 b).

Neben dem Gebrauch als Bierwürze ist die Phytotherapie heute das wichtigste Verwendungsgebiet des Hopfens. Im Mittelalter wurde er häufig als Beruhigungsmittel oder als Medikament für die Verdauung und Entwässerung erwähnt. Seit dem 18. Jh. wird er auch in der Schulmedizin gebraucht. Anfang des 20. Jh. kamen erste Hopfenarzneimittel auf den Markt, von welchen heute eine große Menge existieren (SCHRAMM, 1997). Verwendet wird Hopfen auch heute noch als pflanzliches Sedativum, dazu kommt ein Einsatz gegen Frauenleiden (SCHRAMM, 1997). In klinischen Studien wurde die beruhigende Wirkung des Hopfens experimentell erwiesen (KUBISCH ET AL., 2003). Es wurde auch eine antibakterielle Wirkung belegt, welche es ermöglicht, den Ethanolextrakt des Hopfens als Antibiotikaersatz zum Beispiel in der Hühnermast zu verwenden (KASRA KERMANSHAHI ET AL., 2009). Seit einiger Zeit wird sogar versucht, Hopfen gegen Krebs einzusetzen (SCHRAMM, 1997).

Daneben sind bei Überdosierung oder falscher Anwendung allerdings auch allergene bzw. schädigende Wirkungen bekannt. So reizt Lupulin die Haut örtlich, was zu Jucken, Röte, Schwellungen oder Blasenausschlag führen kann, auch die Augen können stark gereizt werden. Bei einer Einnahme kann es zu Vergiftungserscheinungen mit Erbrechen, Fieber, Nervosität, Atemnot, Pulsverlangsamung, Schweißausbrüchen, Verstopfungen, Schlafsucht und erweiterten Pupillen kommen. Bereits ein bis zwei Gramm der reinen Droge können beim Menschen erste Symptome erzeugen (EIFLER, 1940). In neuerer Zeit wurden Untersuchungen zu Allergien und allergenen Symptomen bei Hopfenbauern durchgeführt. Dies belegten die hautreizende Wirkung des Hopfens (ŚPIEWAK ET AL., 2001) und bewiesen, dass ein dauernder Umgang mit Hopfen durch dessen allergene Eigenschaften auf lange Sicht gesundheitsschädigend wirken kann (GÓRA ET AL., 2004). Auch Auf Pflanzen kann Hopfen in Überdosierung toxisch wirken.

LÖSCH (2010) stellte bei 0,6%igem Hopfenextrakt eine Phytotoxizität auf Reblaub fest. Die behandelten Blätter entwickelten Nekrosen bis hin zu kleinen Löchern im Blattgewebe.



Abb. 3: Phytotoxizität des Hopfenextraktes

#### **2.4.2. Inhaltsstoffe von Hopfen und Hopfenextrakt**

Obwohl die Inhaltsstoffe des unverarbeiteten Hopfens, wie bei jedem Naturprodukt, stark schwanken, sollen hier einige Faustzahlen gegeben werden. Demnach enthält Hopfentrockenmasse etwa 60% Rohfaser, 12% Wasser (MITTER, 2012), 7,7% Asche und 3,6% Stickstoff Trockensubstanz. 2,2% davon sind Proteinstickstoff (BEHRENS, 1896), dabei sind zwischen 0,250 und 1% Anteile  $\text{NO}_3$  möglich (MAIER, 1989). Dazu kommen 2 - 6% Polyphenole und Flavonoide (BORDE, 1989), sowie 15 - 24% Bitterstoffe (Gesamtharze) und 0,5 - 2,5% ätherische Öle (SCHRAMM, 1997, MITTER, 2012).

Die Doldendeckblätter der weiblichen Hopfenblüten tragen an ihrer Innenseite hellgelbe Drüsenschuppen, welche das sogenannte Lupulin enthalten. Hierin sind alle geschmacklich und medizinisch wirksamen Substanzen des Hopfens konzentriert (SCHRAMM, 1997). Es setzt sich aus 2,25% ätherischen Ölen, 10% Hopfenbitter, 5% Gerbstoffe (Cholin, Asparagin), 3 -4% Dextrose sowie eine Spur Myricylpalmitat und 55% Hopfenharz zusammen. Hopfenharz wiederum besteht aus den  $\alpha$ -Säuren oder Humulon,  $\beta$ -Säuren oder Lupulon,  $\alpha$ -Harz,  $\beta$ -Harz und  $\gamma$ -Harz. Humulone und Lupulone sind Bitterstoffe (SCHRAMM, 1997), welche in der Medizin einige Bedeutung besitzen. 1925 gelang es erstmals, Humulon aus dem Hopfen zu isolieren und dessen medizinische Wirksamkeit zu erweisen (SCHRAMM, 1997). Lupulone sind, ihrer schlechten Löslichkeit wegen, weniger bedeutsam (BORDE, 1989). Durch eine Reaktion zwischen Humulonen und Lupulonen unter Sauerstoffeinwirkung entsteht

2- methyl-3-buten-2ol, die sedativ wirksame Substanz des Hopfens. Daher nimmt diese bei einer Hopfenlagerung zu (WOHLFART ET AL., 1983).

Die ätherischen Öle sind sehr leicht flüchtig und in Wasser unlöslich. Sie beinhalten zu 80% Terpene, vor allem Myrcen und Humulen, dazu kommt das beruhigend wirkende Methylbutanol (SCHRAMM, 1997). Weiter sind enthalten: Dipenten, Sesquiterpene (vor allem Caryophyllen), Geraniol, ein Allergen der Haut (ROTH, 2010), Luparenol, Ameisensäure, Valeriansäure und Isovaleriansäure (EIFLER, 1940). Die Stoffe werden bereits verschiedentlich eingesetzt. Ameisensäure beispielsweise wird in der Imkerei gegen Varroamilbe gebraucht (BOLLI ET AL., 1992), Myrcen ist ein Pheromon des Borkenkäfers (DETTNER UND PETERS, 2003).

Hopfenextrakt enthält 91% Bitterstoffe, 2% Wasser und 7% Hopfenöle, aber keine Gerbstoffe oder Rohfaseranteile (MITTER, 2012). Darüber hinaus sind organische Säuren und deren Salze enthalten, daher reagiert wässriger Hopfenextrakt stets als Säure. Wie stark hängt allerdings von Sorte, Herkunftsgebiet und Jahrgang ab (BEHRENS, 1896). Die Säuregehalte in durch Erhitzen von einem Teil Hopfen in 20 Teilen Wasser gewonnenem Hopfenextrakt betragen: 0,018% Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), 0,043% Phosphorsäure ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 0,014% Schwefelsäure ( $\text{SO}_3$ ), 0,249% Zitronensäure ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$ ) und 0,05% Äpfelsäure ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ ). Dazu kommen die Basen 0,091 g Kali ( $\text{K}_2\text{O}$ ) und 0,011% Kalk ( $\text{CaO}$ ), weiter sind Spuren von Oxalsäure enthalten. Oxalsäure ist stets an Kalk gebunden und geht daher nicht in die Lösung des Hopfenextraktes über. Einige andere Säuren haben keinen oder nur einen minimalen Einfluss auf den pH-Wert, da sie nur als neutrale Salze oder in Spuren vorkommen. Daher sind lediglich Äpfelsäure, Zitronensäure und Phosphorsäure als aktive Säuren des Hopfenextrakts zu betrachten. Mengenmäßig am bedeutsamsten ist die Zitronensäure bzw. das Zitrat. (BEHRENS, 1896). Sie wird wegen ihrer antimikrobiellen Wirkung sehr häufig in der Industrie verwendet (SENNHENN-KIRCHNER, ET AL., 2004).

#### **2.4.3. Bisherige Nutzung des Hopfenextrakts als Pflanzenschutzmittel**

In neuester Zeit wurde Hopfenextrakt auch für einige Pflanzenschädlinge und Krankheiten als alternatives Pflanzenschutzmittel geprüft. GÖKÇE ET AL. beispielsweise untersuchte die Wirkung des Hopfenextraktes gegen Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*). Eine Behandlung erwies sich 2007 als für die Larven zu 99% letal, damit lag die Wirkung des Hopfenextraktes nahe der der Positivkontrolle durch ein konventionelles Insektizid (GÖKÇE

ET AL., 2007). Auch 2012 ging das Larvengewicht durch eine Behandlung mit 0,4 bis 4 mg Hopfenextrakt/ml zurück. Adulte Käfer reagierten sogar noch empfindlicher auf die Behandlung (GÖKÇE ET AL., 2012). FLESAR ET AL. (2010) waren bei dem Versuch erfolgreich, Hopfenextrakt gegen die Larven der Amerikan Foulbrood Disease (*Paenibacillus larvae spp. larvae*) einzusetzen. Interessant ist, dass bei diesem Versuch auch eine eventuelle toxische Wirkung des Hopfenextraktes auf Honigbienen untersucht und bis zu einer Konzentration von 100 µg/Biene ausgeschlossen werden konnte (FLESAR ET AL., 2010).

Aber nicht immer erwies sich der Hopfenextrakt als wirksames Insektizid. Bei einer Untersuchung der Verwendungsmöglichkeiten eines Methanolextraktes des Hopfens gegen bekreuzten Traubenwickler (*Lobesia botrana*) zeigte sich keine Wirkung (GÖKÇE ET AL., 2011). Im Gegensatz dazu stellte sich bei Versuchen 2006 heraus, dass die Motten des Wicklers von Hopfenextrakt ähnlich wie durch ein Sexualpheromon angezogen werden, so dass die Eigelege auf 12,5% des erwarteten Wertes sanken (GÖKÇE ET AL., 2006). Eine ähnliche Wirkung wurde auch für die Blattroller Obliquebanded leafroller (*Choristoneura rosaceand*) und Red-banded leafroller Moth (*Argyrotaenia velutina*) erhofft, allerdings erfolglos (GÖKÇE ET AL., 2005). Durch YANAR ET AL. wurden 2011 (a) Experimente zur Akarizidwirkung des Hopfenextrakts bei Gemeiner Spinnmilbe (*Tetranychus urticae*) durchgeführt. Auch hier zeigte sich keine Wirkung.

Neben den nachgewiesenen insektiziden Wirkunge, gibt es auch einige vielversprechende Versuche, Hopfenextrakt als Fungizid zu verwenden. YANAR ET AL. (2011 b) setzten Hopfenextrakt gegen *Alternaria solani* ein und erzielte eine signifikante Wirkung mit Konzentrationen zwischen 0,2 und 8%. Mit steigender Konzentration stiegen auch die Effekte, ab 8% stellte sich eine für die Praxis befriedigende Wirkung ein. Auch ein Einsatz gegen *Phytophthora infestans* war signifikant erfolgreich. Allerdings gehörte Hopfenextrakt hier nicht zu den Pflanzenextrakten mit den vielversprechendsten Ergebnissen (YANAR ET AL., 2011 c). Gegen *Plasmopara viticola* wurde Hopfenextrakt bisher nicht eingesetzt.

## 3. Material und Methoden

### 3.1. Materialien

#### 3.1.1. Chemikalien

**Hopfenextrakt:** Sämtliche Versuche zur Hopfenextraktwirksamkeit wurden mit 40%igem Hopfenextrakt RV0407-51 von „DSM Nutritions“ durchgeführt.

**Kupfer:** Für die mikroskopischen sowie die Blattscheibenversuche wurde Kupfer (II) Sulfat-5- hydrat von „Merck“ verwendet. Die schnelle und vollständige Löslichkeit des Kupfer (II) Sulfat- 5- hydrates (SCHRÖTER, 2001) ermöglicht eine sofortige gleichmäßige Verteilung des Wirkstoffs auf den Proben.

Für die Blattscheiben-, Blatt- und Ganzpflanzenversuche wurden folgende Spritzmittel verwendet:

#### **Melody Combi:**

Wirkstoff: Iprovalicarb 90g/kg und Folpet 563g/kg.

Basisaufwand: 0,6kg/ha

Wirkungsweise: kurativ.

#### **Folpan:**

Wirkstoff: Folpet 800g/kg.

Basisaufwand: 0,4 kg/ha

Wirkungsweise: protektiv.

#### **Pergado:**

Wirkstoff: Folpet 400g/kg, Mandipropamid 50g/kg

Basisaufwand: 0,8kg/ha

Wirkungsweise: protektiv, translaminar.

**Agar Agar:** Agar Agar „Kobe I“, pulverförmig, von „Roth“. Die Gelstärke betrug 1,5 (1000g/cm<sup>2</sup>)

### 3.1.2. Hilfsmittel und Geräte für die Umfrage

**Fragebogen** in Deutsch bzw. Englisch und Afrikaans (s. Anhang).

1) Wie würden Sie Ihre Probleme mit Plasmopara viticola (falschem Mehltau) bewerten:	Sehr groß	Groß	Mittel	Unbedeutend	Keine Probleme
2) Setzen Sie Kupferpräparate gegen Plasmopara viticola ein?	Ja		Nein		
2. a) Wenn ja, wie oft ca. verwenden Sie Kupferpräparate in einem durchschnittlichen Jahr?					
2b) Zu welchem Stadium verwenden Sie Kupfer normalerweise?	Entwickelte Gescheine-Blüte	Abgehende Blüte bis Traubenschluss	Weichwerden der Beeren (Abschlussspritzung)		Nur nach Warndienst
2 c). Welche Präparate wenden Sie an?					
2 d) In welcher Aufwandmenge verwenden Sie diese Präparate?					
3) Haben Sie Probleme durch den Kupfereinsatz (Bsp. hohe Kupferkonzentrationen in Boden)?	Ja		Nein		
3a) Wenn ja, wie würden Sie diese Probleme einordnen:	Sehr groß	Groß	Mittel	Unbedeutend	Keine Probleme
3b) Um welche Probleme handelt es sich konkret?	Boden		Gewässer		Wein

### **3.1.3. Hilfsmittel und Geräte Zur Chemikalienmischung**

**Feinwaage:** „Mettler Toledo AB 204- S“, geprüft durch „Waagen Greishaber GmbH“.

**Pipetten:** „Eppendorf“ 10- 100µl und „Pipetman“ von „Gilson“, 100 -1000µl.

**PH- Meter:** „CG 820“ von „Schott Geräte“.

**Glasflaschen:** von „Schott Duran“, 2l

**Autoclav:** „Tuttnauer Systec 3870 ELV“ bei 119°C, 20min. und Ende bei 80°C

**Sterilbank:** „Safe Fast Classics“ von „Ehret“.

### **3.1.4. Hilfsmittel und Geräte für die mikroskopischen Versuche**

**Mikroskop:** „Axiophot Zeiss“ Durchlicht- und Auflicht- Fluoreszenzmikroskop mit Interferenzkontrast, Videokameraaufsatz, eingebauter Fotokamera und UV-Lampe von „Zeiss“.

**Kälte-Wärmekammer:** „LTS 120 Heating/Freezing Stage“ von „Linkam Scientific Instruments LTD“ mit Linkam PE 94. Die Kammer kann Temperaturen von -30°C bis +120°C erzeugen, wenn die Umgebungstemperatur 10°C bis 40°C beträgt und erreicht dabei eine Stabilität von +/- 0,1°C. Die Größe der Kammer beläuft sich auf 310x 230x 80mm.

**Objektträger:** Für die Verhaltensbeobachtung der Zoosporen wurden geschliffene Objektträger von „Glaswarenfabrik Karl Hecht GmbH & Co KG“ verwendet. Diese waren 76x 26x 1,35mm groß und besaßen in ihrer Mitte eine runde eingeschliffene und polierte Vertiefung von 15-18mm Durchmesser und 0,6 bis 0,8mm Tiefe.

Für die Verhaltensbeobachtung der Zoosporen in der Kälte-Wärmekammer wurden flache Objektträger „Knittel Gläser“ von 76x 26mm Größe verwendet.

**Deckgläschen:** 24x 24mm.

### **3.1.5. Hilfsmittel und Geräte für die Blattscheiben- und Blattversuche**

**Pflanzenmaterial:** Es wurden Topfreben der anfälligen Rebsorte Müller-Thurgau verwendet (BOSO ET AL., 2011). Da junge Blätter leichter infizierbar sind ELSTNER ET AL., 1996, CADLE-

DAVIDSON, 2008), waren die geernteten Blätter etwa ein bis zwei Wochen alt. Für die Blattversuche wurden Blätter mit der Mindestgröße 40x 40mm geerntet.

**Korkbohrer:** 14mm Durchmesser

**Pinzette:** „Wironit 5869“.

**Plastikschalen:** Für die Blattscheiben: „Square Petri Dish“ von „Greiner Bio-One“, 120x 120x 17mm. Für die ganzen Blätter: „Square- Petri- Dish“ von „Thermo Scientific“ der Größe 245x 245x 25mm. Papierunterlagen „Pehazell“ von „Hartman“.

**Spritzgerät:** automatisiertes Spritzgerät von Schachtner. Spritzgeschwindigkeit 2,5 kmh, Spritzdruck 3 bar.

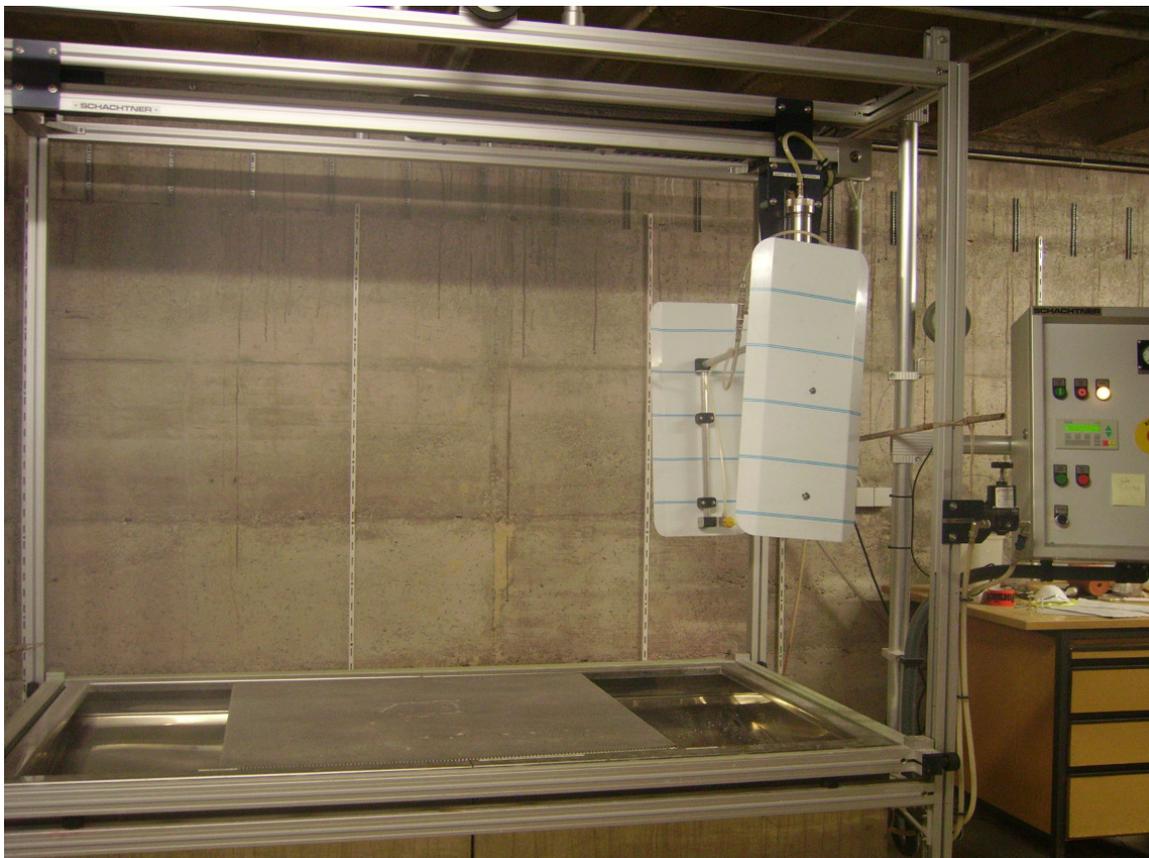


Abb. 4: Automatisiertes Spritzgerät

**Düse:** „Teejet 8001 ESV“ Flachstrahldüse von Schachtner.

**Zoosporen:** *Plasmopara viticola*- stamm des Weinbauinstitutes Freiburg

**Pasteurpipetten:** aus Glas zum Einmalgebrauch von „Brand GmbH und Co KG“

**Zählkammer:** „Fuchs Rosenthal“, Tiefe 0,2mm, Kleinquadratfläche 0,0625mm<sup>2</sup>

**Klimakammer:** Firma „Ehret“, 200V, 50Herz, 900 Watt, mögliche Temperaturspanne von 0-80°C.

### **3.1.6. Hilfsmittel und Geräte für die Ganzpflanzenversuche**

**Pflanzenmaterial:** „Müller- Thurgau“ Topfpflanzen mit ca. 4 Wochen alten Trieben.

**Düse:** „Teejet 8002 EVS“ Flachstrahldüsen von Schachtner.

**Sprühflasche:** „Air- Boy“ von „Agol Chemie“.

**Glashauss:** ohne Heizung, geregelte Belüftung, Luftfeuchte oder Beleuchtung.

### **3.1.7. Hilfsmittel und Geräte für die Auswertung**

**Textverarbeitung:** Microsoft Word XP für Windows.

**Statistik:** SPSS 18 für Windows.

**Grafiken:** SPSS 18 für Windows.

## **3.2. Methoden**

### **3.2.1. Der Umfrage**

Die Umfrage wurde in den drei Ländern Österreich, Deutschland und Südafrika, teils persönlich, teils telefonisch durchgeführt. Es wurden in jedem Land zehn Betriebsleiterinnen oder Betriebsleiter befragt. Für Südafrika wurde der Fragebogen in Englisch und Afrikaans übersetzt (s. Anhang).

Die Reihenfolge der Fragen diente der langsamen und möglichst vorurteilsfreien Heranführung an die Thematik der Kupferprobleme. Daher beziehen sich die Fragen 2 bis 2d wertfrei auf die eingesetzte Kupfermenge, erst in den Fragen 3 bis 3b wird nach möglichen Problemen oder Schäden durch den Kupfereinsatz gefragt. Die mehrmals auf verschiedene Weise gestellten Fragen nach der eingesetzten Kupfermenge dienen einer Überprüfung der Verlässlichkeit der Angaben. Würden sich die hier gegebenen Antworten stark

widersprechen, könnte der entsprechende Fragebogen von der Auswertung ausgenommen werden. Frage eins dient der Einstimmung auf die Problematik und Eingrenzung des Themas und fragt daher nach Problemen mit *Plasmopara viticola* allgemein.

Die Ergebnisse wurden für die Auswertung folgendermaßen kodiert:

Frage 1. (Wie würden Sie Ihre Probleme mit *Plasmopara viticola* (falschem Mehltau) bewerten):

4	3	2	1	0
Sehr groß	Groß	Mittel	Unbedeutend	Keine Probleme

Frage 2 (Setzen Sie Kupferpräparate gegen *Plasmopara viticola* ein?) dient lediglich dem logischen Aufbau des Fragebogens. Bei einer Negierung wurde für die Frage 2 a (Wenn ja, wie oft ca. verwenden Sie Kupferpräparate in einem durchschnittlichen Jahr?) „0“ eingetragen, so dass Frage 2 in der Auswertung nicht aufscheint.

Frage 2b (Zu welchem Stadium verwenden Sie Kupfer normalerweise?) wurde wie folgt kodiert:

1	2	3	4
Entwickelte Gescheine-Blüte	Abgehende Blüte bis Traubenschluss	Weichwerden der Beeren (Abschlussspritzung)	Nur nach Warndienst

Die Fragen 2a bis 2d (Wie oft ca. verwenden Sie Kupferpräparate in einem durchschnittlichen Jahr?, Welche Präparate wenden Sie an? und In welcher Aufwandmenge verwenden Sie diese Präparate?) werden genutzt, um die jährlich verwendete Reinkupfermenge pro Hektar zu errechnen. Daher tauchen die letztgenannten beiden Fragen ebenfalls nicht gesondert in den Ergebnissen auf.

Die Frage 3 (Haben Sie Probleme durch den Kupfereinsatz (Bsp. Hohe Kupferkonzentrationen im Boden?)) diente lediglich als Auftakt zu 3a (Wenn ja, wie würden

Sie diese Probleme einordnen?). Eine Verneinung der Frage 3 wurde daher in 3a als „Keine Probleme“ vermerkt. Die möglichen Antworten auf 3a wurden wie folgt kodiert:

4	3	2	1	0
Sehr groß	Groß	Mittel	Unbedeutend	Keine Probleme

Frage 3b (Um welche Probleme handelt es sich konkret?) erhielt folgenden Schlüssel:

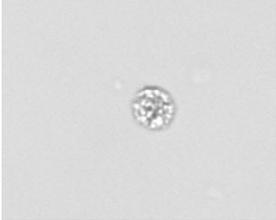
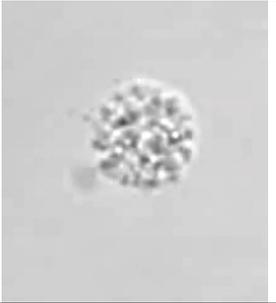
3	2	1
Boden	Gewässer	Wein

Die kodierten Antworten wurden in Tabellen abgetragen und statistisch ausgewertet.

### 3.2.2. Der mikroskopischen Versuche

Für die mikroskopischen Versuche wurden *Plasmopara viticola*-Zoosporen, aus dem Hausstamm des Weinbauinstitutes Freiburg, auf Topfpflanzen in der Klimakammer gezüchtet. Die Sporangien wurden mittels einer Pasteurpipette und Aqua destillata von den befallenen Blättern abgespült. Diese Lösung musste anschließend 20 min bis eine Stunde reifen, um den Zoosporenschlupf zu ermöglichen. Daraufhin wurde der Suspension Kupferlösung zugeführt, so dass der tatsächliche Reinkupferanteil in der endgültigen Lösung auf dem Objektträger 0,08 mg/l, 0,07 mg/l, 0,06 mg/l, 0,05 mg/l, 0,04 mg/l, 0,03 mg/l, 0,02 mg/l und 0,01 mg/l betrug. Abschließend konnte die Wirkung des Kupfers unter dem Mikroskop beobachtet werden. Das Sterben der Zoosporen wurde dabei in folgende Stadien eingeteilt:

**Tabelle 2: Kodierung des Sporenverhaltens**

<b>Verhalten</b>	<b>Kode</b>	<b>Bild</b>	<b>Erläuterung</b>
Zoospore schwimmt unbeeinflusst:	<b>0</b>		Unbeeinflusste Zoosporen sind meist mandelförmig und drehen sich um ihre Längsachse. So schrauben sie sich zielgerichtet und zügig durch die Lösung, Störstellen werden dabei rasch überwunden.
Zoospore schwimmt leicht irregulär:	<b>1</b>		z. B. langsamer oder weniger zielgerichtet.
Zoospore schwimmt irregulär:	<b>2</b>		Dreht sich z. B. um ihre eigene Querachse, ohne eine Vorwärtsbewegung zu erreichen.
Zoospore enzystiert sich:	<b>3</b>		Sie wirft ihr Flagellum ab und bleibt liegen.  <- Flagellum
			Dabei verliert die Zoospore ihre Mandelform und wird rund. Teilweise ist auch die verstärkte Außenhülle zu sehen.
Zoospore platzt fast:	<b>4</b>		Sie zittert, bläht sich auf und bekommt eine unregelmäßige, blasige Außenhülle.
Zoospore platzt:	<b>5</b>		

Diese Stadien wurden nach zwei, fünf und zehn Minuten geschätzt und als Wirkung des Kupfers in Tabellen abgetragen. Zu jeder Versuchsvariablen „Konzentration“ und „Zeit“ wurden sechs Wiederholungen durchgeführt.

Um einzugrenzen, ob die Zoosporen Kupferlösung aktiv aufnehmen, oder ob letztere passiv in sie hinein diffundiert, wurde der Versuch noch einmal in einer Kälte-Wärmekammer bei standardisierten Temperaturen wiederholt. Das Spektrum von 10°C, 15°C, 20°C und 25°C, umfasst alle im Weinberg zur Innokulationszeit wahrscheinlichen Temperaturen. Dem Versuch lag die Überlegung zugrunde, dass sich der Stoffwechsel der Zoosporen bei höheren Temperaturen beschleunigt (LALANCETTE ET AL., 1988) und daher auch das Kupfer schneller aufgenommen werden müsste. Demnach sollten die Zoosporen bei höheren Temperaturen schneller an der Kupferlösung zugrunde gehen. Um sowohl eine Steigerung der Aufnahme als auch eine in jedem Fall wirksame Kupfermenge aufzuzeigen, wurde mit 0,1mg Kupfer/l und 1mg Kupfer/l behandelt. Die Abschätzung der Stadien erfolgte jeweils nach zehn Minuten, es wurden sechs Wiederholungen pro Temperatureinstellung und Konzentration durchgeführt.

Anschließend wurde auch die Wirkung des Hopfenextrakts unter dem Mikroskop untersucht. Die Konzentrationen betragen 0,125%, 0,0125%, 0,00125%, 0,000125%, 0,0000125% und 0,00000125%, die Wirkung wurde nach fünf und zehn Minuten geschätzt. Zu jeder Konzentration und Einwirkungsdauer wurden vier Wiederholungen durchgeführt.

### **3.2.3. Der Blattscheiben- und Blattversuche**

Für die Blattscheibenversuche wurden zunächst Agarplatten vorbereitet. Dazu wurden jeweils 20 g Agar in 1l Wasser eingerührt und in Glasflaschen von 2l Fassungsvermögen autoklaviert. Anschließend wurden junge Blätter geerntet und mit einem Korkbohrer Blattscheiben ausgestochen. Da junge Blätter leichter infizierbar sind als ältere (ELSTNER ET AL., 1996, CADLE-DAVIDSON, 2008), sollte eine möglichst hohe Gleichmäßigkeit hinsichtlich des Alters der verwendeten Blätter gewährleistet werden. Daher wurden aus jedem Blatt möglichst viele Scheiben gestochen und mittels einer Pinzette gleichmäßig auf alle benützten Agarschalen verteilt. Die Blattunterseite kam dabei nach oben zu liegen, um später infiziert werden zu können (SNOEK, 1986). Insgesamt erhielt so jede Schale 36 Blattscheiben.

Die bestückten Schalen wurden anschließend mittels des automatisierten Spritzgerätes mit den zu untersuchenden Mitteln behandelt. Dabei wurde lediglich ein Düsenarm verwendet, der Abstand zwischen Düse und Spritztisch betrug 610mm. Im ersten Versuch wurde die wirksame Minimalmenge von Kupfer auf Blattscheiben geprüft. Es wurden jeweils 36 Blattscheiben mit 100 mg Cu/l, 150 mg Cu/l, 200 mg Cu/l, 250 mg Cu/l, 300 mg Cu/l, 350 mg Cu/l oder 400 mg Cu/l behandelt, dazu kamen eine Negativ- und eine Positivkontrolle mit Folpan. Der Versuch wurde dreimal wiederholt, insgesamt wurden 972 Stichproben ausgewertet.

In einem weiteren Versuch wurde die Wirksamkeit des Hopfenextraktes auf Blattscheiben untersucht. Hierzu wurden Konzentrationen von 0,1%iger, 0,2%iger, 0,25%iger, 0,3%iger und 0,35%iger Hopfenextraktlösung auf jeweils 36 Blattscheiben aufgetragen. Zusätzlich wurde eine Negativkontrolle, sowie eine Positivkontrolle mit Folpan angelegt. Der Versuch fand in drei Wiederholungen mit insgesamt 897 Stichproben statt.

Da die chemischen und die organischen Mittel sich zu Komplexen zusammenschlossen, musste das automatisierte Spritzgerät sehr intensiv zwischen den Spritzungen gereinigt werden. Hierzu wurde zuerst mit Wasser gespritzt, anschließend wurden die Düsensiebe in Salzsäure eingelegt. Daraufhin wurde der gesamte Apparat mit Alkohol und anschließend wieder mit Wasser gereinigt.

Zur Infektion der Blattscheiben wurde, wie in den Mikroskopierversuchen, Zoosporenlösung gewonnen. Anschließend wurde die Sporangien-dichte mit der Zählkammer ausgezählt und auf 20.000 Sporangien/ml verdünnt. Von dieser Lösung wurden dann jeweils 100 µl auf jede Blattscheibe pipettiert.

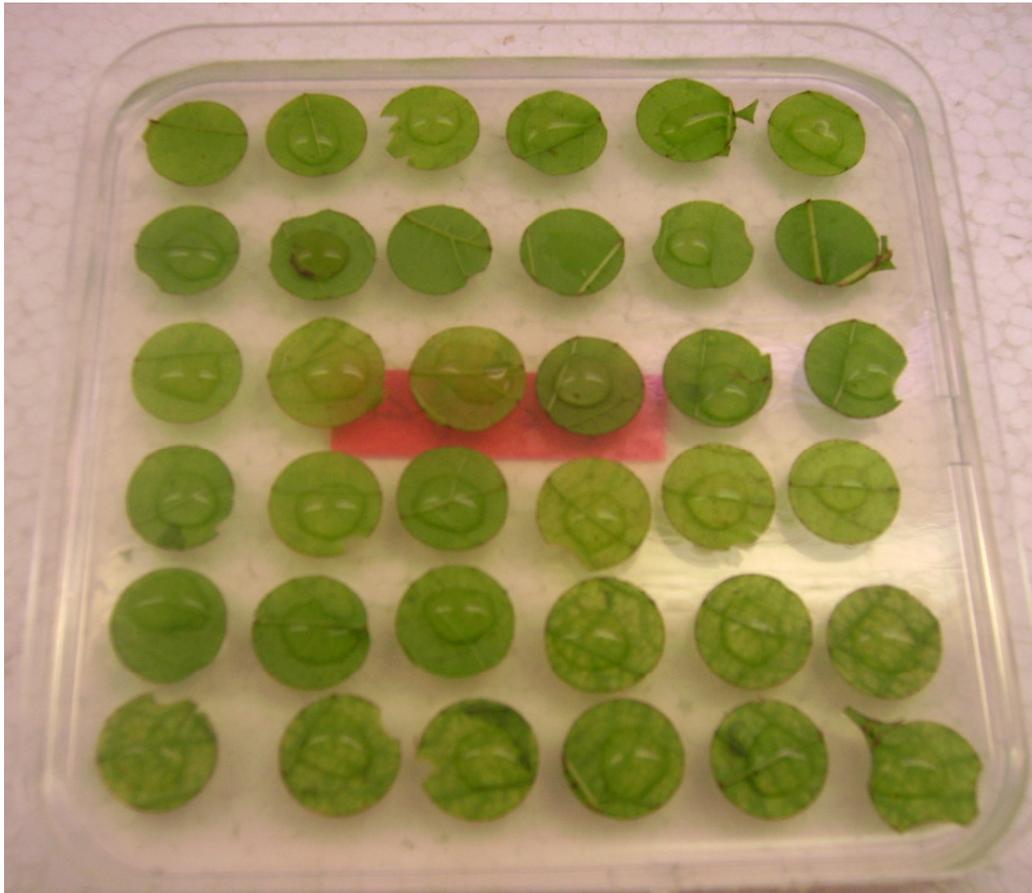


Abb. 5: Blattscheibenversuche

Die Versuche zur Kurativität und Translaminarität wurden auf ganzen Blättern durchgeführt, da sich diese, im Gegensatz zu Blattscheiben, wenden lassen. Hierzu wurden die Blätter geerntet, in Aqua destillata abgespült und anschließend behandelt. Für die Untersuchung der Kurativität wurden je 20 bis 25 Blätter (je nach Wiederholung) mit 0,3%iger oder 0,35%iger Hopfenextraktlösung auf der Blattunterseite gespritzt. Für die Negativkontrolle wurden 15 Blätter mit Aqua destillata und für die Positivkontrolle 15 bis 20 Blätter mit Melody Combi behandelt. Anschließend wurden je fünf Blätter in mit befeuchtem Papier ausgelegte Plastikschaalen gelegt und für einen Tag in die Klimakammer gestellt. Erst danach wurde die Blattunterseite mit *Plasmopara viticola* infiziert, wofür die bei den Blattscheiben beschriebene Sporangienlösung mittels einer Sprühflasche aufgebracht wurde. Der Versuch wurde dreimal wiederholt, insgesamt wurden 327 Stichproben verwendet.

Die Versuche zur Translaminarität wurden wie folgt durchgeführt: Zehn bis 30 Blätter (je nach Wiederholung) wurden auf der Blattoberseite mit 0,35%iger Hopfenextraktlösung, Aqua

destillata oder Pergado behandelt. Nach 4 Stunden wurden die Blätter umgedreht, in den mit feuchtem Papier ausgelegten Plastikschaalen verteilt und, wie in den Versuchen zur Kurativität, auf der Blattunterseite infiziert (SNOEK, 1986). Dieser Versuch fand in drei Wiederholungen mit insgesamt 181 Stichproben statt.

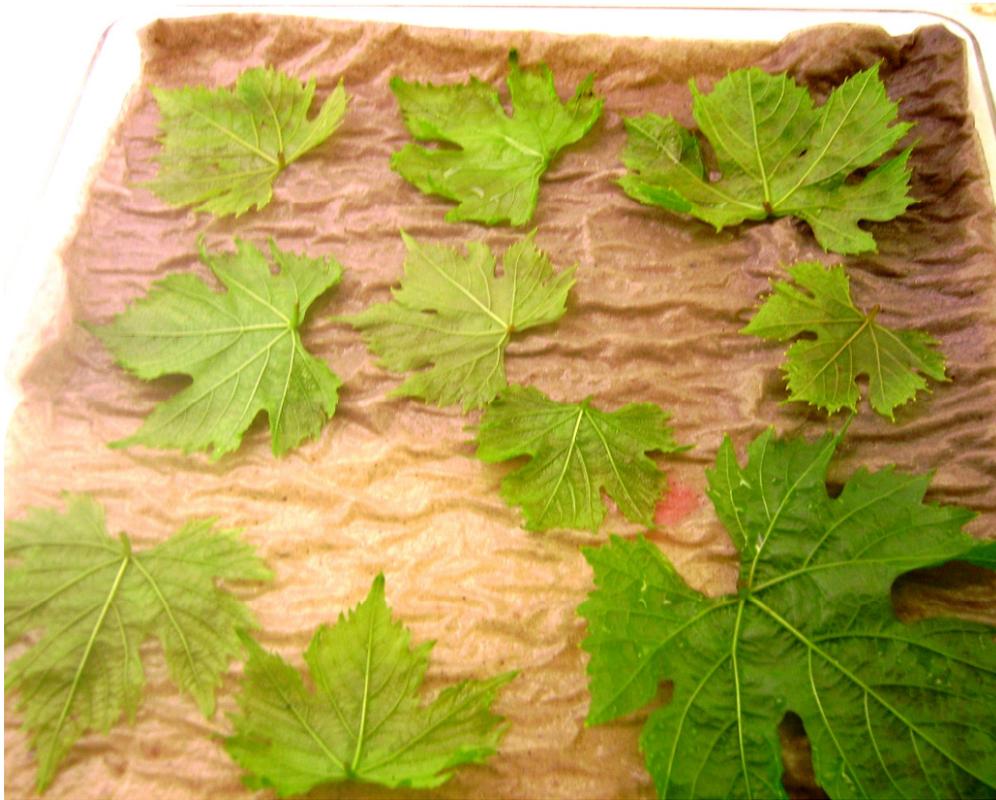


Abb. 6: Ganzblattversuche

Die infizierten Blattscheiben und Blätter wurden anschließend für sechs Tage in die Klimakammer gestellt. Diese war auf 16 Stunden Beleuchtung und acht Stunden Dunkelheit eingestellt, es herrschten 25°C. Da die Luftfeuchtigkeit in der Klimakammer nicht geregelt war, mussten Blattscheiben und Blätter etwa alle drei bis vier Tage mittels einer Sprühflasche mit Aqua destillata angefeuchtet werden. Nach der Sporulation wurde der Prozentanteil der befallenen Fläche an der Gesamtfläche geschätzt. Hierbei wurden sowohl deutlich sichtbare Myzelien und Sporangienrasen als auch „Ölflecken“, also verfärbte Blattstellen gezählt. Diese Verfärbungen weisen darauf hin, dass das Blatt bereits im inneren von Myzelien befallen ist, welche lediglich noch nicht sporuliert haben.

### **3.2.4. Der Ganzpflanzenversuche**

Um eine eventuelle systemische Wirkung des Hopfenextraktes zu untersuchen, wurden Versuche an ganzen Topfpflanzen durchgeführt. Hierzu wurden jeweils fünf Pflanzen mittels des automatischen Spritzgerätes behandelt. Dieses wurde mit zwei Spritzarmen ausgerüstet zur Tunnelspritzung genutzt, die Abstände zwischen den Düsen betragen 600 mm, von den Düsen zum Spritztisch 520 mm. Aufgetragen wurden Folpan, 0,3%ige und 0,35%ige Hopfenextraktlösung oder Wasser. Da Folpan keine systemische Wirkung hat, wurde die gesamte Pflanze damit gespritzt, für alle übrigen Mittel wurden die Spitzen der Pflanzen mit Plastiksäcken abgedeckt und zugeklebt, so dass sie unbehandelt blieben. Anschließend wurden die gesamten Pflanzen einschließlich der Spitze noch am selben Tag, oder aber einen Tag später, mit einer Sprühflasche und einer eingestellten Sporangienlösung von 20.000 Sporangien/ml infiziert. Nach fünf Tagen wurden die Pflanzen mit Aqua destillata zur Pilzsporulation angeregt und anschließend die Befallsstärke (Anteil befallener Blattfläche pro Blatt) für jedes ihrer Blätter sowie die Befallshäufigkeit (Anteil befallener Blätter an den Gesamtblättern) geschätzt. Dieser Versuch wurde in zwei Wiederholungen durchgeführt. Bei der Auswertung nach null Tagen wurden im gespritzten Pflanzenteil 398, im ungespritzten 233 Blätter geschätzt. Die nach einem Tag infizierten Pflanzen besaßen 331 gespritzte und 188 ungespritzte Blätter.

### **3.2.5. Der Statistischen Auswertung**

Die meisten der in dieser Arbeit erhobenen Daten sind metrischer Natur. Zu all diesen Untersuchungen wurden deskriptive Statistiken gerechnet. Die mittels Mikroskopie erzielten Ergebnisse konnten keinen Signifikanztests unterzogen werden, da die Datenmenge dafür nicht ausreichte. Das übrige Datenmaterial wurde zunächst mittels Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung, und mittels Levene-Test auf Varianzhomogenität geprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Daten sämtlich nicht normalverteilt und bis auf die Daten des Fragebogens und der Untersuchung zur translaminaren Wirkung des Hopfenextraktes, auch nicht varianzhomogen sind. Daher war die Auswahl an statistischen Test eingeschränkt. Es fanden ein Welch-Test sowie ein Sidak-Test statt. Bei den Untersuchungen auf translaminare Wirkung des Hopfenextraktes musste nur der Welch-Test gerechnet werden, da lediglich zwei Varianten vorlagen. Eine statistische Signifikanz wurde mit  $p < 0,05$  festgelegt. Bei der Anwendung statistischer Tests wurde die Positivkontrolle

jeweils nicht berücksichtigt. Andernfalls hätte der Welch-Test stets Signifikanzen ergeben, da sich Positiv- und Negativkontrolle immer signifikant unterscheiden.

Da die Wiederholungen bei den meisten Untersuchungen einen starken Einfluss auf die Mittelwirksamkeiten hatten, wurde diese Wechselwirkung jeweils mit einem Test der Zwischensubjekteffekte überprüft. Zusätzlich wurden Profildiagramme der Mittelwirkungen in den einzelnen Wiederholungen erstellt.

Die Labordaten sind sämtlich univariat, demgegenüber konnten zwischen den metrischen Variablen des Fragebogens Korrelationen errechnet werden. Dazu wurde eine Korrelation nach Pearson gerechnet, welche Signifikanzen auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) kennzeichnet. Der Pearson-Test bot sich an, da die Daten nur teilweise in stetiger Form vorliegen.

Bei einigen Fragen der Umfrage ergaben sich nominale Daten. Die Erfassung der Befallshäufigkeit der Ganzpflanzenversuche hingegen führte zu ordinalen Daten. Während die nominalen Daten in einer Prozenhäufigkeitstabelle dargestellt werden, wird bei den ordinalen zusätzlich eine Summenhäufigkeitstabelle gegeben.

## 4. Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der vorliegenden Studie in Grafiken und Tabellen dargestellt werden. Falls vorhanden, wird die Signifikanz in ABC-Grafiken dargestellt. Vollständige Tabellen der statistischen Kennwerte, Korrelationen und Signifikanz finden sich im Anhang. Es wird eine Unterteilung in Umfrage, mikroskopische Untersuchungen sowie Versuche an Pflanzenmaterial vorgenommen.

### 4.1. Umfrage zum Einsatz von Kupfer im Weinbau

Um die Bedeutung des Kupfereinsatzes zu beleuchten, wurde der Arbeit eine internationale Umfrage vorangestellt.

Hierbei wurden einige strukturelle Daten erhoben. Dazu gehören die Stärke der in den jeweiligen Ländern aufgetretenen *Plasmopara viticola* Probleme, die jährliche Kupferpräparat-Einsatzhäufigkeit, die dabei verwendete Reinkupfermenge in Gramm sowie die Stärke eventuell auftretender Probleme durch den Kupfereinsatz (Methoden s. S. 52ff).

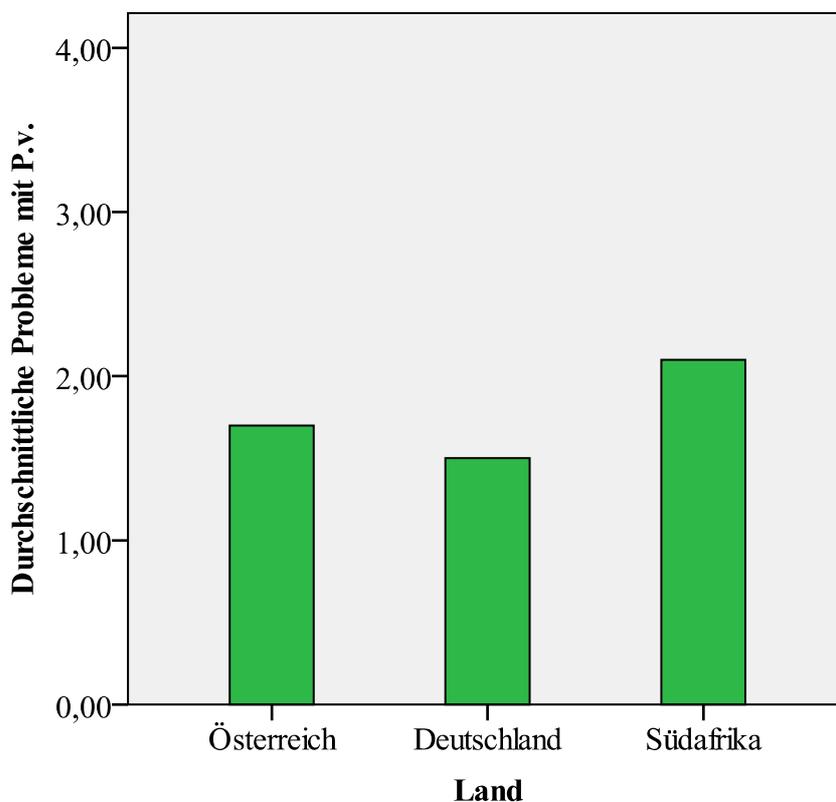


Abb. 7: Probleme mit *Plasmopara viticola*, kodiert von 0 (keine) bis 4 (sehr groß)

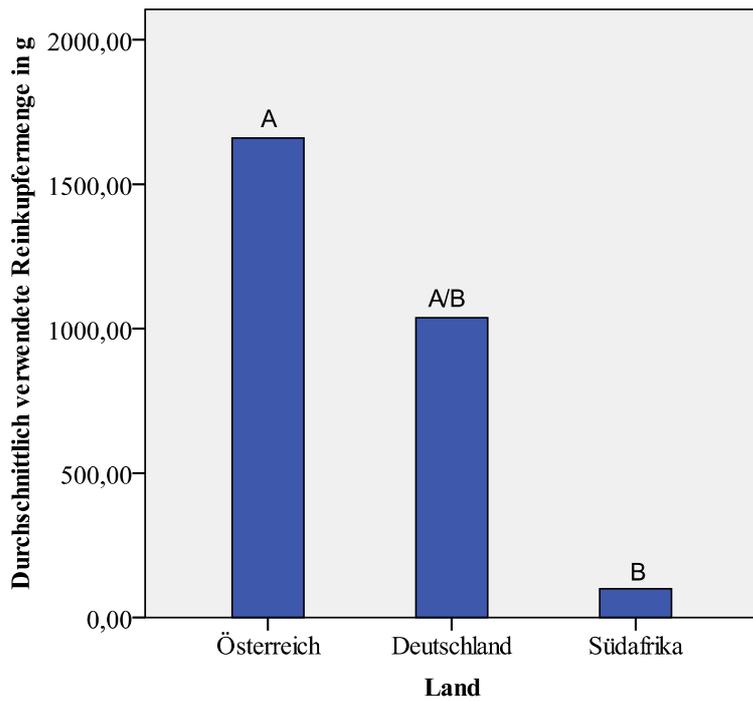


Abb. 8: Durchschnittlich verwendete Reinkupfermenge in g/ha

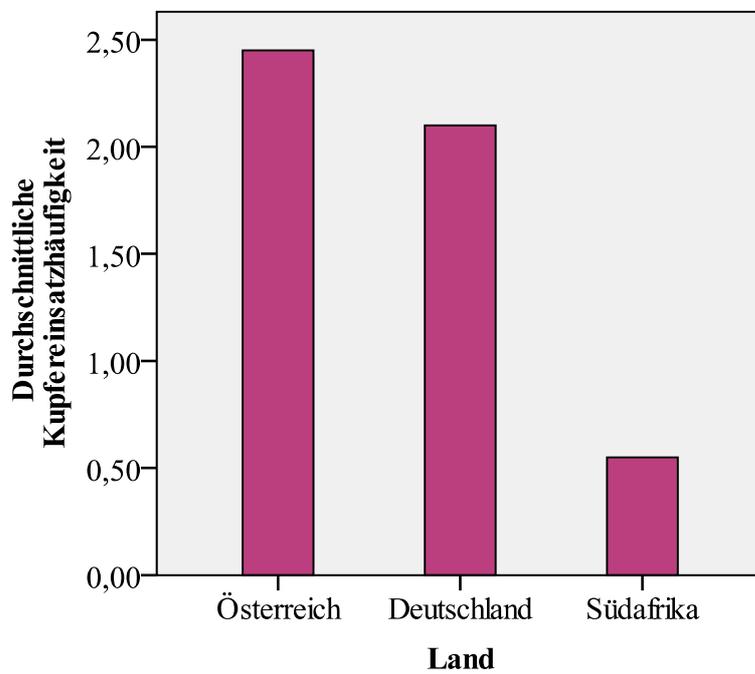


Abb. 9: Durchschnittliche Kupfereinsatzhäufigkeit pro Jahr

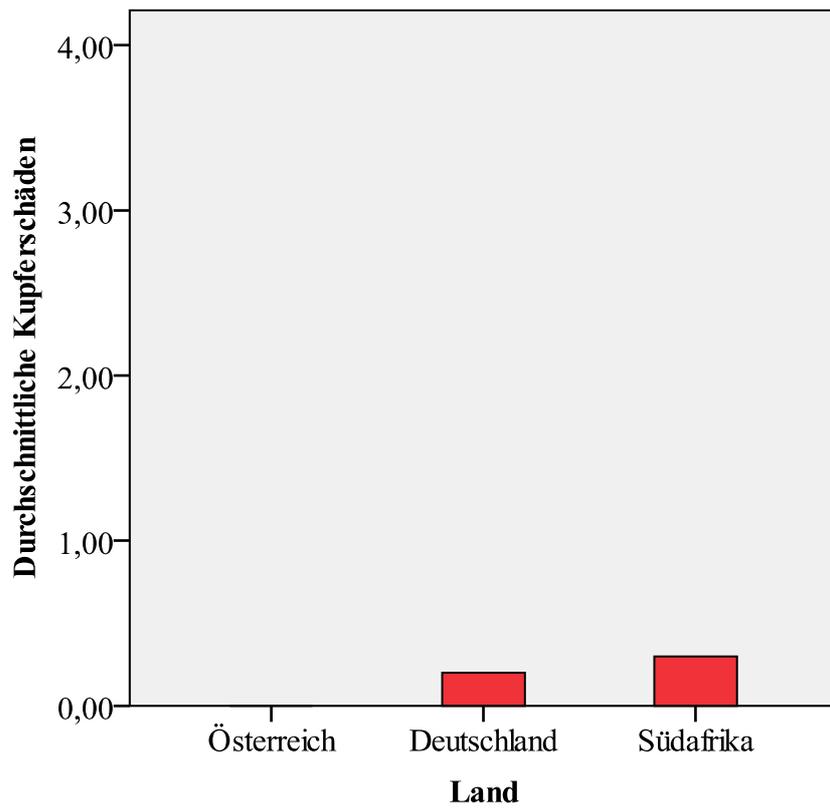


Abb. 10: Kupferschäden, kodiert von 0 (keine) bis 4 (sehr groß)

**Tabelle 3: Umfrageergebnisse zu Problemen mit *P. viticola*, Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit, Reinkupfermenge in g/ha und Kupferschäden, N= 30**

Variable	Land	Statistik	
P.v.Probleme	Österreich	Mittelwert	1,70
		Median	1,5
		Standardabweichung	1,05935
	Deutschland	Mittelwert	1,50
		Median	1,5
		Standardabweichung	0,84984
	Südafrika	Mittelwert	2,10
		Median	2
		Standardabweichung	1,44914
Kupferpräparateinsatz- häufigkeit	Österreich	Mittelwert	2,45
		Median	2
		Standardabweichung	1,89224
	Deutschland	Mittelwert	2,10
		Median	1
		Standardabweichung	2,54733
	Südafrika	Mittelwert	0,55
		Median	0
		Standardabweichung	1,73925
Reinkupfermenge in g/ha	Österreich	Mittelwert	1660,00
		Median	1400
		Standardabweichung	958,23913
	Deutschland	Mittelwert	1038,00
		Median	900
		Standardabweichung	1023,39088
	Südafrika	Mittelwert	100,00
		Median	0
		Standardabweichung	316,22777
Kupferschäden	Deutschland	Mittelwert	0,20
		Median	0
		Standardabweichung	0,42164
	Südafrika	Mittelwert	0,30
		Median	0
		Standardabweichung	0,94868
	Österreich	Mittelwert	0,00
		Median	0
		Standardabweichung	0,00000

Die Probleme mit *Plasmopara viticola* halten sich in allen Ländern die Waage, sie wurden durchschnittlich mit etwa „mittel stark“ (2) bewertet. Demgegenüber fällt die Kupferverwendung in Südafrika geringer aus. Die Kupferpräparat-Einsatzhäufigkeit ist geringfügig, die verwendete Reinkupfermenge signifikant niedriger als in Österreich

( $p = 0,001$ ). Auffällige Unstimmigkeiten zwischen den Angaben zu verwendeten Mitteln, Aufwandmengen oder Einsatzhäufigkeit treten nicht auf.

Unterschiede sind auch bei den durch den Kupfereinsatz verursachten Schäden zu sehen. Während in Österreich überhaupt keine Schäden genannt werden, treten in den anderen beiden Ländern durchaus Probleme auf. Allerdings muss gesagt werden, dass Schäden durch Kupfer auch in diesen Ländern durchschnittlich nur zwischen „nicht vorhanden“ (0) und „unbedeutend“ (1) liegen. Probleme wurden lediglich bei einem Zehntel der Befragten genannt. Das Maximum findet sich bei „groß“ (3), stellt aber einen Ausreißer nach oben dar. Betrachtet man dagegen den Median, so scheinen Kupferschäden überhaupt nicht aufzutreten. Bei einer Überprüfung möglicher Korrelationen zwischen den gemessenen Parametern wurde eine positive Korrelation zwischen Kupferpräparat-Einsatzhäufigkeit und Reinkupfermenge festgestellt (Korrelation nach Pearson: 0,475). Zudem konnte ein leichter, negativer Zusammenhang zwischen Kupferproblemen und Kupferverbrauch gefunden werden (Korrelation nach Pearson; Kupferpräparat-Einsatzhäufigkeit: -0,227, Reinkupfermenge in Gramm: -0,263). Diese Korrelation ist aber nicht signifikant. Die Probleme mit *Plasmopara viticola* haben einen leicht positiven Einfluss auf die Kupfer-Einsatzhäufigkeit (0,319), aber keinerlei Zusammenhang zur jährlich verwendeten Reinkupfermenge (0,001).

Vertiefend wurden einige weitere Daten zum Zeitpunkt des Kupfereinsatzes und den Ort der durch das Kupfer auftretenden Probleme erhoben. Dabei wurde sichtbar, dass Kupfer vor allen Dingen zur Abschluss-spritzung eingesetzt wird. In Österreich und Deutschland steigt die Kupferverwendung im Jahresverlauf an. In Südafrika konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden, Kupfer wird nur zu Jahresbeginn genutzt.

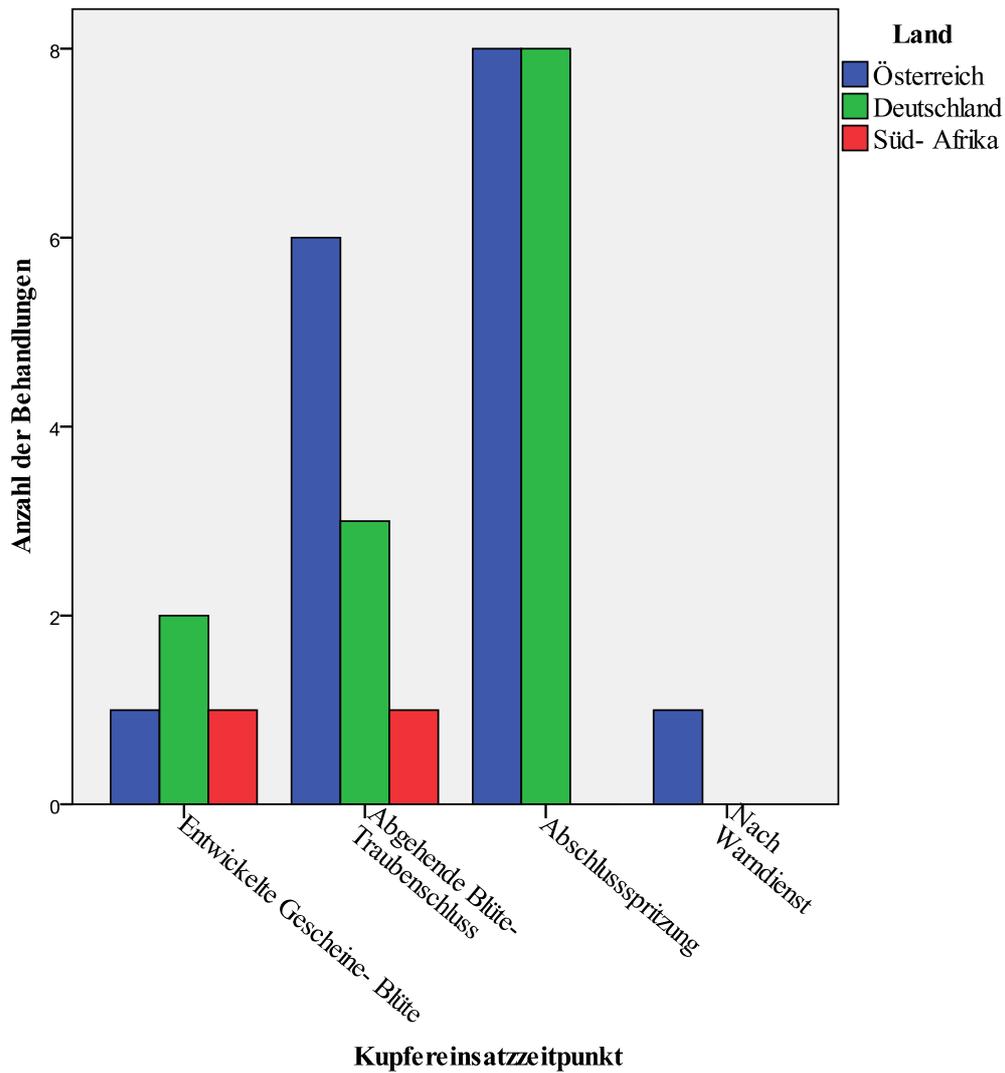


Abb. 11: Kupfereinsatzzeitpunkt

Tabelle 4: Zeitpunkt des Kupfereinsatzes, N= 30

		Kupfereinsatzzeitpunkt			
		Entwickelte Gescheine bis Blüte	Abgehende Blüte bis Traubenschluss	Abschluss-spritzung (Weichwerden der Beeren)	Nur nach Warndienst
Land	Österreich	6,25%	37,5%	50%	6,25%
	Deutschland	15,38%	23,08%	61,54%	0%
	Südafrika	50%	50%	0%	0%
Gesamt		12,90%	32,26%	51,61%	3,23%

Sowohl im Wein als auch im Boden sind Probleme bekannt, nicht aber in Gewässern. Die beiden deutschen Betriebe, welche angaben Kupferschäden zu kennen, hatte einer diese im Wein, einer im Boden festgestellt. In Südafrika gab ein Betrieb an schon übermäßige Kupferrückstände im Wein erlebt zu haben.

**Tabelle 5: Ort der Kupferprobleme bei den betroffenen Betrieben, N= 30**

		Ort der Kupferprobleme	
		Wein	Boden
Land	Deutschland	50%	50%
	Südafrika	100%	0%
Gesamt		66,67%	33,33%

#### **4.2. Mikroskopische Versuche zur Hopfenextraktwirksamkeit**

Um die direkte Wirkung des Hopfenextrakts auf *Plasmopara viticola*-Zoosporen zu testen, wurden drei verschiedene mikroskopische Versuche durchgeführt. Dabei wurde das Verhalten der Zoosporen beobachtet und nach einem festgelegten Schema bewertet (Schema s. S. 55). Da die Werte kodiert sind, sagt der Mittelwert nur bedingt etwas über die Wirksamkeit der Lösungen aus. Aus diesem Grund wird hier zusätzlich der Median angegeben. Nach fünf Minuten Einwirkzeit der Hopfenextraktlösung konnte das folgende Verhalten beobachtet werden:

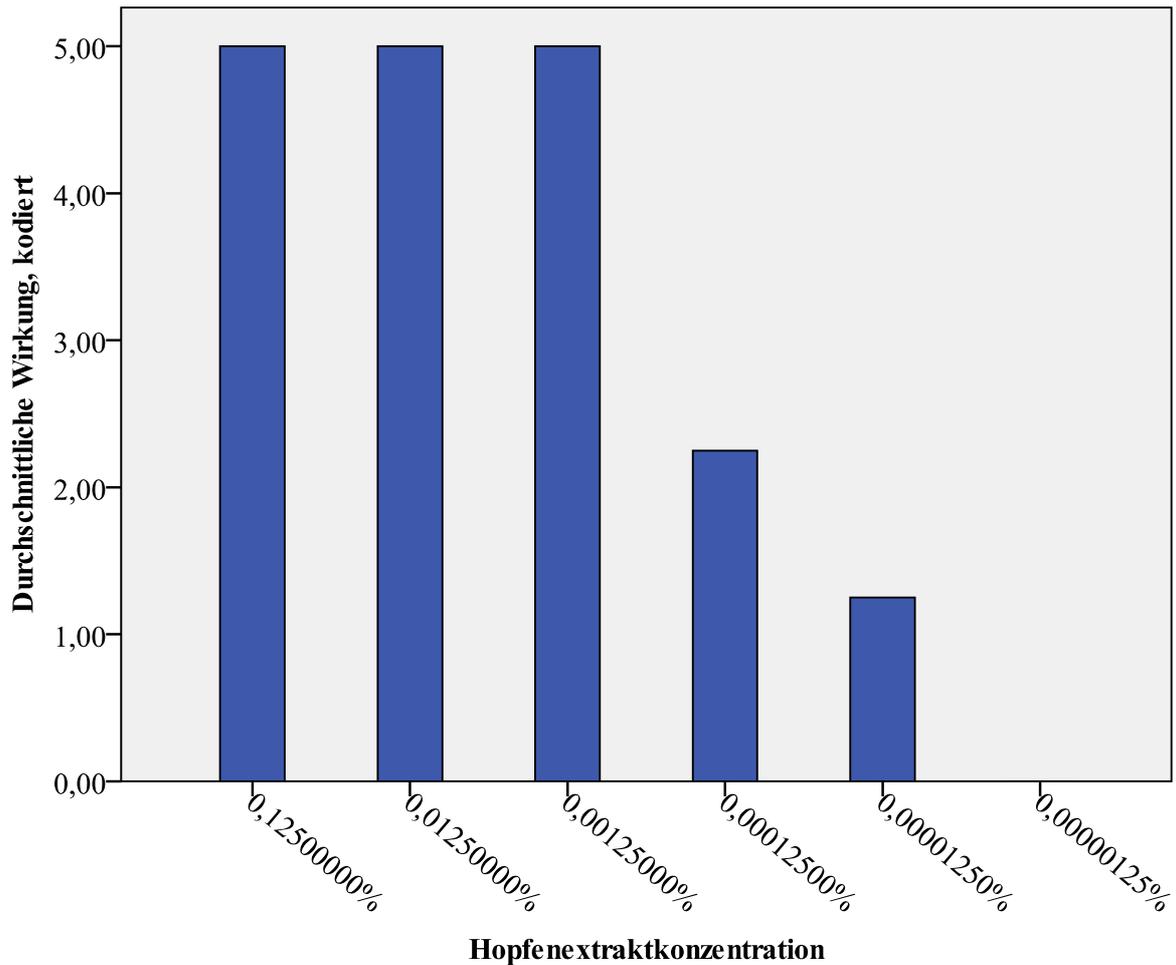


Abb. 12: Hopfenextraktwirkung nach fünf Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 6: Hopfenextraktwirkung nach fünf Minuten**

Konzentration	Median	Mittelwert	Standardabweichung
0,12500000%	5	5,00	0,00000
0,01250000%	5	5,00	0,00000
0,00125000%	5	5,00	0,00000
0,00012500%	2,5	2,25	0,95743
0,00001250%	1,5	1,25	0,95743
0,00000125%	0	0,00	0,00000

Man sieht deutlich, dass eine Hopfenextraktkonzentration von 0,00125% zuverlässig zum Platzen der Zoosporen führt (5). Wird die Konzentration hingegen auf 0,0000125% verdünnt, setzt die Wirkung ganz aus (0).

Im Gegensatz dazu zeigte sich nach zehn Minuten dieses Bild:

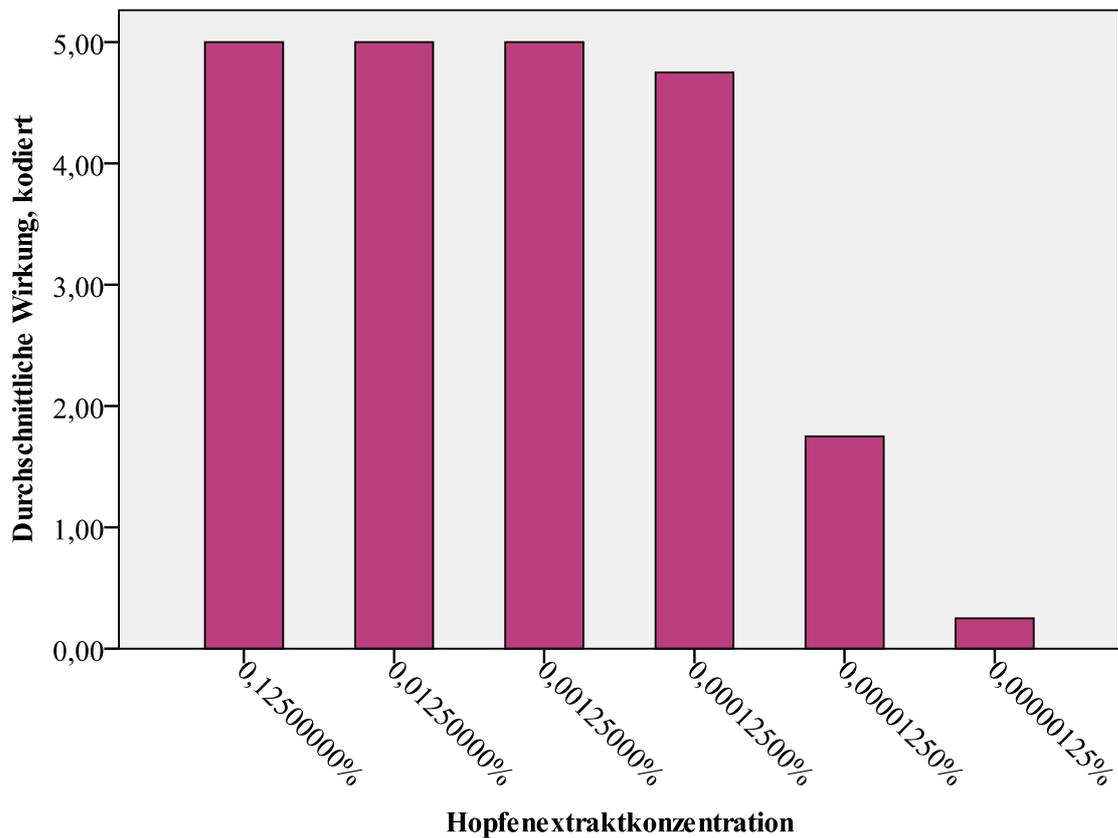


Abb. 13: Hopfenextraktwirkung nach zehn Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 7: Hopfenextraktwirkung nach zehn Minuten**

Konzentration	Median	Mittelwert	Standardabweichung
0,12500000%	5	5,00	0,00000
0,01250000%	5	5,00	0,00000
0,00125000%	5	5,00	0,00000
0,00012500%	5	4,75	0,50000
0,00001250%	1,5	1,75	0,95743
0,00000125%	0	0,25	0,50000

Bei diesem Versuch wird ersichtlich, dass eine längere Einwirkzeit die Wirkung des Hopfenextraktes deutlich steigern kann. Noch 0,000125% wirken hier zuverlässig (5). Dies entspricht einer Verdünnung um das Zehnfache der letzten nach fünf Minuten wirksamen Konzentration.

Vergleichend wurde eine solche Bewertung auch mit verschiedenen Kupferkonzentrationen durchgeführt. Dabei stellte sich nach zwei Minuten das folgende Verhalten ein:

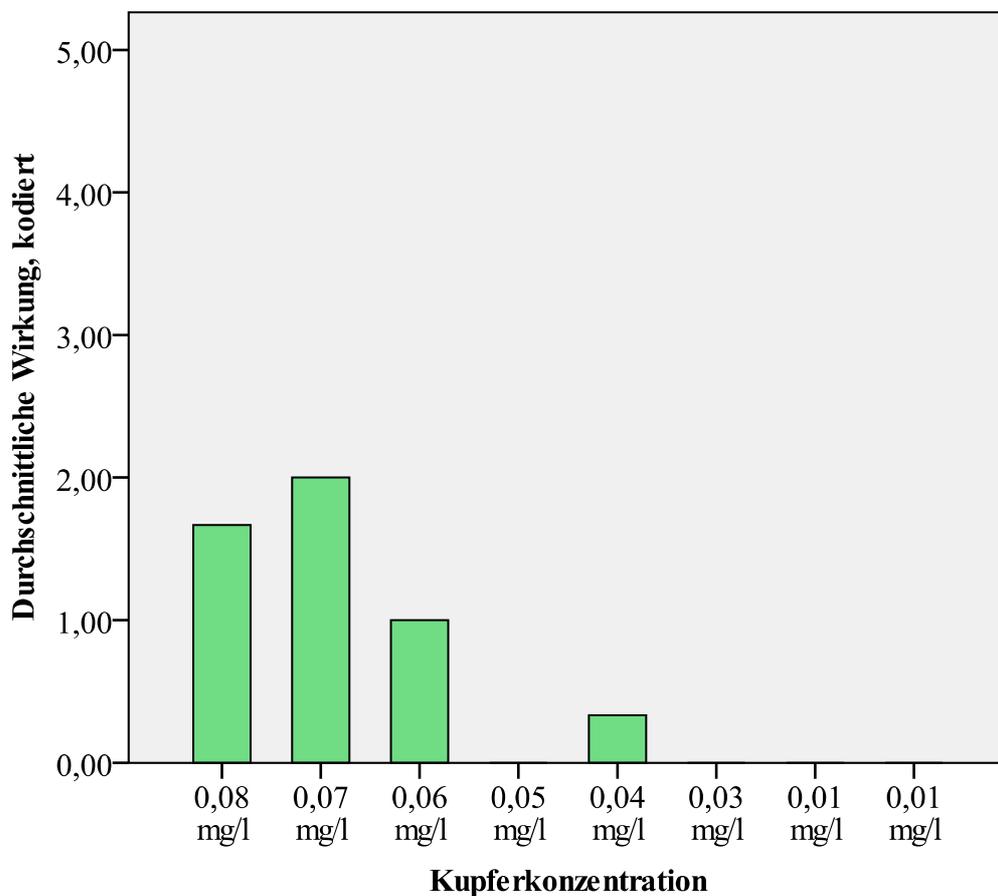


Abb. 14: Kupferwirkung nach zwei Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 8: Kupferwirkung nach zwei Minuten**

Konzentration	Median	Mittelwert	Standardabweichung
0,08 mg/l	2	1,67	0,51640
0,07 mg/l	2	2,00	0,63246
0,06 mg/l	1	1,00	0,89443
0,05 mg/l	0	0,00	0,00000
0,04 mg/l	0	0,33	0,51640
0,03 mg/l	0	0,00	0,00000
0,01 mg/l	0	0,00	0,00000
0,01 mg/l	0	0,00	0,00000

Die Wirkung des Kupfers ist nach zwei Minuten noch allgemein schwach. Selbst eine Konzentration von 0,08 mg Kupfer/l führt lediglich dazu, dass die Zoosporen beginnen um sich selbst zu kreisen (2). Vermutlich aufgrund der allgemein geringen Wirksamkeit schwanken die Werte zusätzlich stark, die größte Beeinträchtigung tritt bei der zweithöchsten Konzentration ein und auch in den niedrigen Konzentrationen gibt es Ausreißer. Einheitlicher wird das Bild bei Betrachtung des Medians anstatt des Mittelwertes.

Nach fünf Minuten zeigten die Zoosporen bereits eine stärkere Reaktion auf das Kupfer:

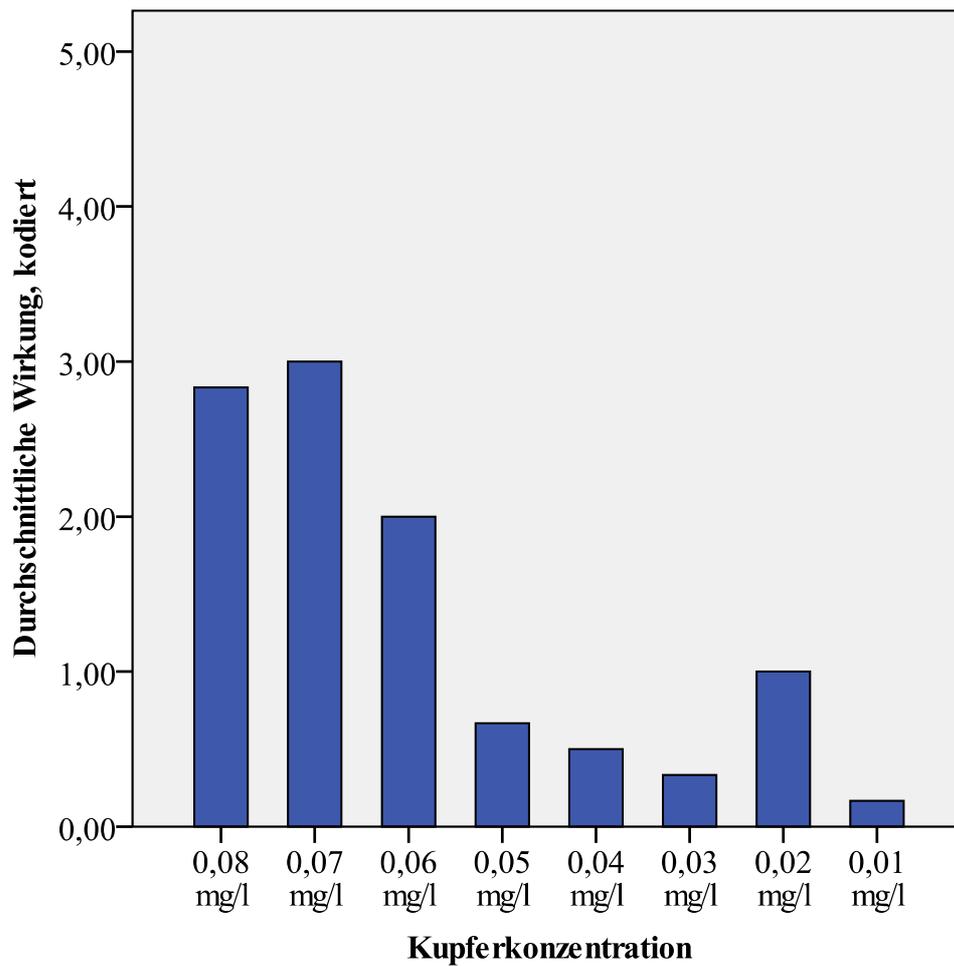


Abb. 15: Kupferwirkung nach fünf Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 9: Kupferwirkung nach fünf Minuten**

Konzentration	Median	Mittelwert	Standardabweichung
0,08 mg/l	3	2,83	0,40825
0,07 mg/l	3	3,00	1,09545
0,06 mg/l	2	2,00	0,89443
0,05 mg/l	0,5	0,67	0,81650
0,04 mg/l	0	0,50	0,83666
0,03 mg/l	0	0,33	0,51640
0,02 mg/l	1	1,00	0,63246
0,01 mg/l	0	0,17	0,40825

Die hohen Konzentrationen erreichen nun immerhin ein Enzystieren (3) der Zoosporen. Auch hier schwanken die Werte allerdings.

Bei einer Einwirkzeit von zehn Minuten verstärkte sich die Wirkung nochmals:

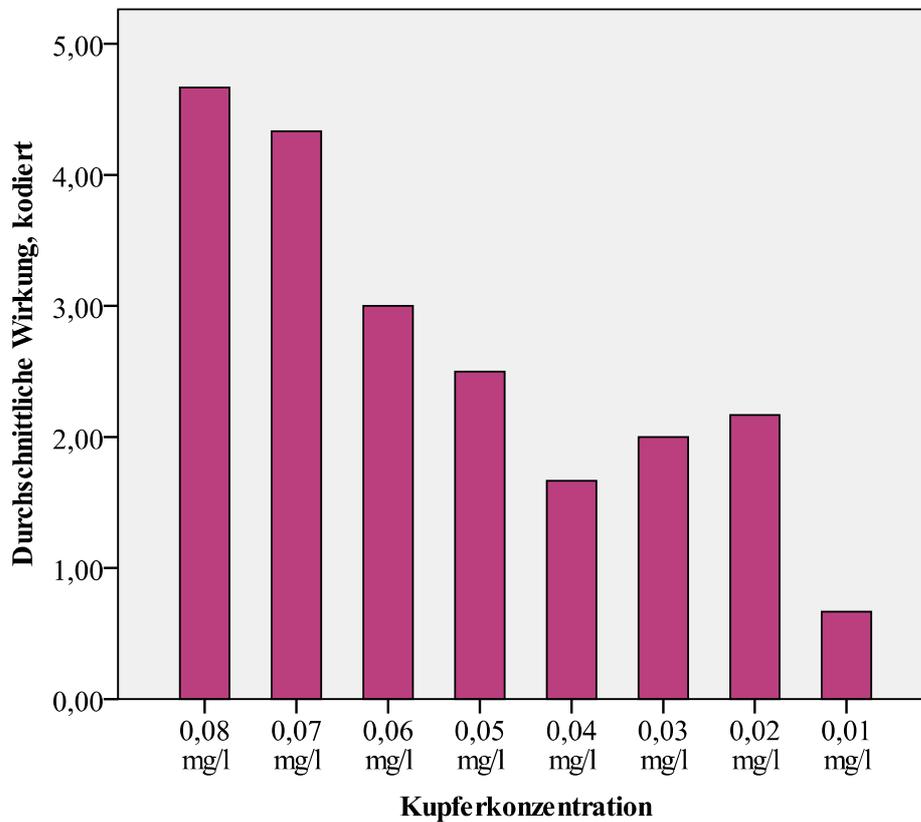


Abb. 16: Kupferwirkung nach zehn Minuten, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 10: Kupferwirkung nach zehn Minuten**

Konzentration	Median	Mittelwert	Standardabweichung
0,08 mg/l	5	4,67	0,51640
0,07 mg/l	4	4,33	0,51640
0,06 mg/l	3	3,00	0,89443
0,05 mg/l	2,5	2,50	0,54772
0,04 mg/l	2	1,67	1,03280
0,03 mg/l	2	2,00	0,63246
0,02 mg/l	2	2,17	0,40825
0,01 mg/l	0	0,67	1,63299

Die hohen Kupferkonzentrationen führen hier bereits zu einem Absterben der Zoosporen durch Platzen (5). Während die Mittelwerte noch immer etwas schwanken, zeigt der Median eine deutliche Wirkung. Dies kommt durch die zum Teil starken Ausreißer zustande.

Um eine etwas bessere Übersicht zu gewähren, sei hier noch einmal ein Gesamtdiagramm der Kupferwirkung im Vergleich zu Hopfenextrakt gegeben:

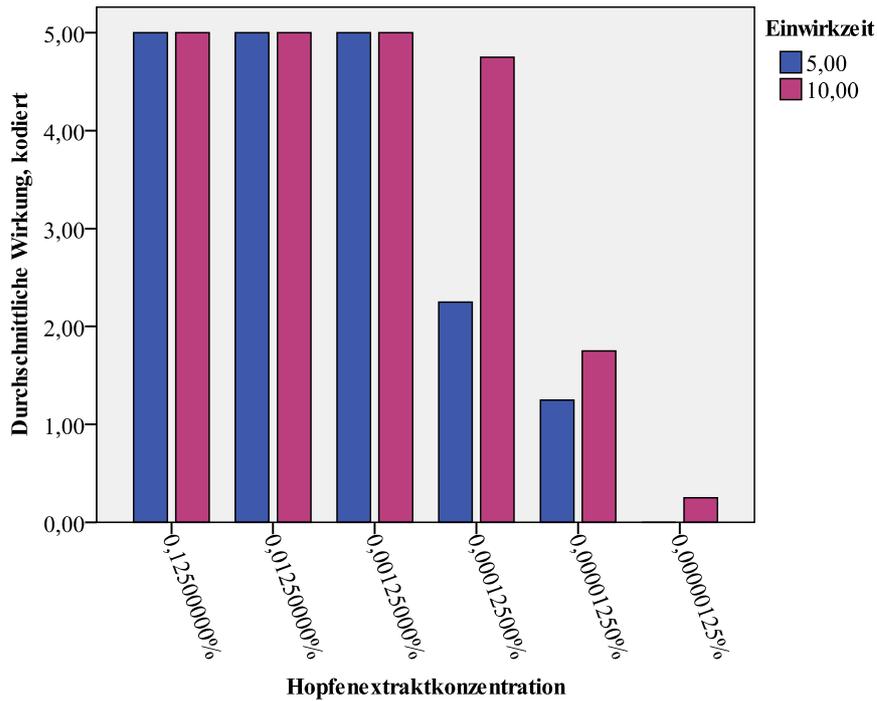


Abb. 17: Hopfenextraktwirkung, Übersicht, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

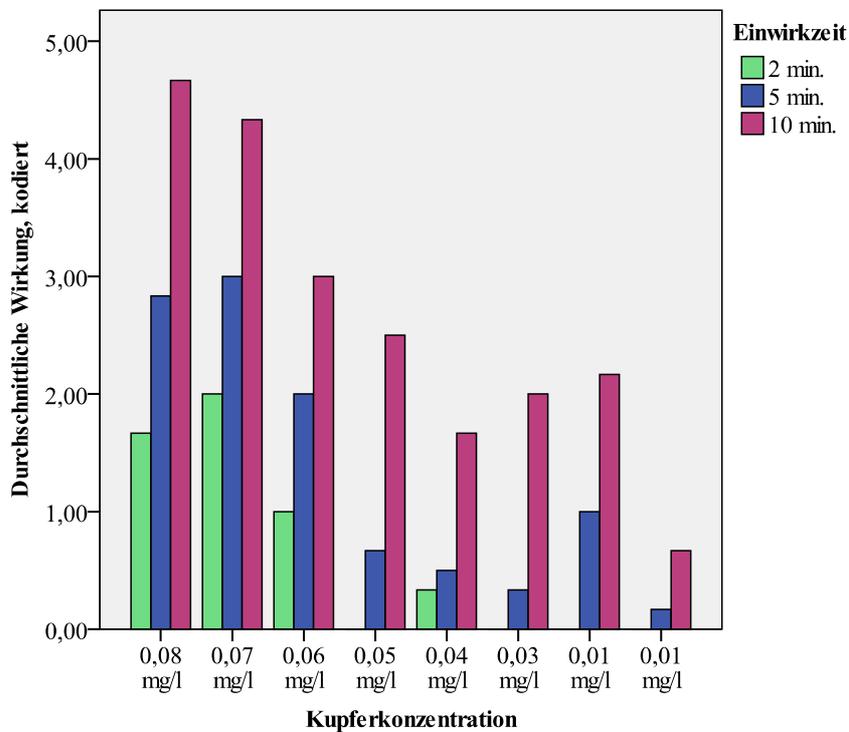


Abb. 18: Kupferwirkung, Übersicht, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

Demnach erreicht eine Hopfenextraktkonzentration von 0,000125% Ergebnisse, welche mit einer Kupferkonzentration von 0,08 mg/l vergleichbar sind (5). Hopfenextrakt kann also zuverlässig zur Abtötung von *Plasmopara viticola*-Zoosporen beitragen, wenn er entsprechend hoch dosiert wird.

Um etwas detailliertere Erkenntnisse über die Reaktion der Zoosporen auf Kupfer zu gewinnen, wurde der Versuch anschließend mit standardisierten Umgebungstemperaturen wiederholt. Bei einer Konzentration von 1 mg Kupfer/l zeigte sich nach zehn Minuten das folgende Bild:

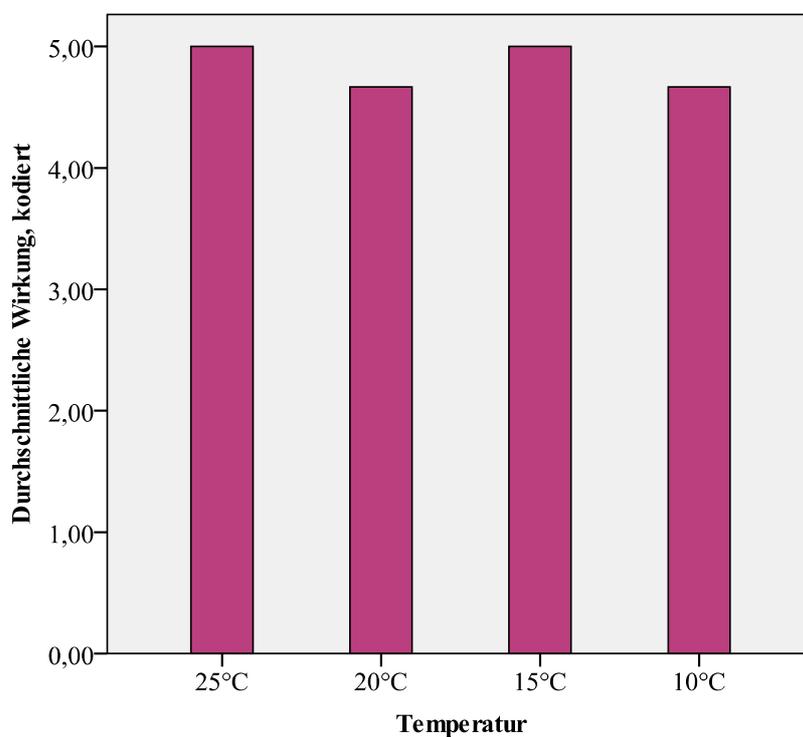


Abb. 19: Wirkung von 1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 11: Wirkung von 1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen**

Temperatur	Median	Mittelwert	Standardabweichung
25°C	5	5,00	0,00000
20°C	5	4,67	0,51640
15°C	5	5,00	0,00000
10°C	5	4,67	0,51640

Dabei zeigte sich deutlich, dass 1 mg Kupfer/l einer Konzentration entspricht, welche bei allen zur Infektionszeit im Weinberg wahrscheinlichen Temperaturen gute Ergebnisse erzielt. Die Zoosporen verenden bei allen Temperaturstufen durch Platzen (5). Geringfügige Schwankungen des Mittelwertes kommen durch seltene Ausreißer nach unten zustande und finden sich daher im Median nicht wieder.

Eine Konzentration von 0,1 mg bewirkt ein ausdifferenzierteres Ergebnis:

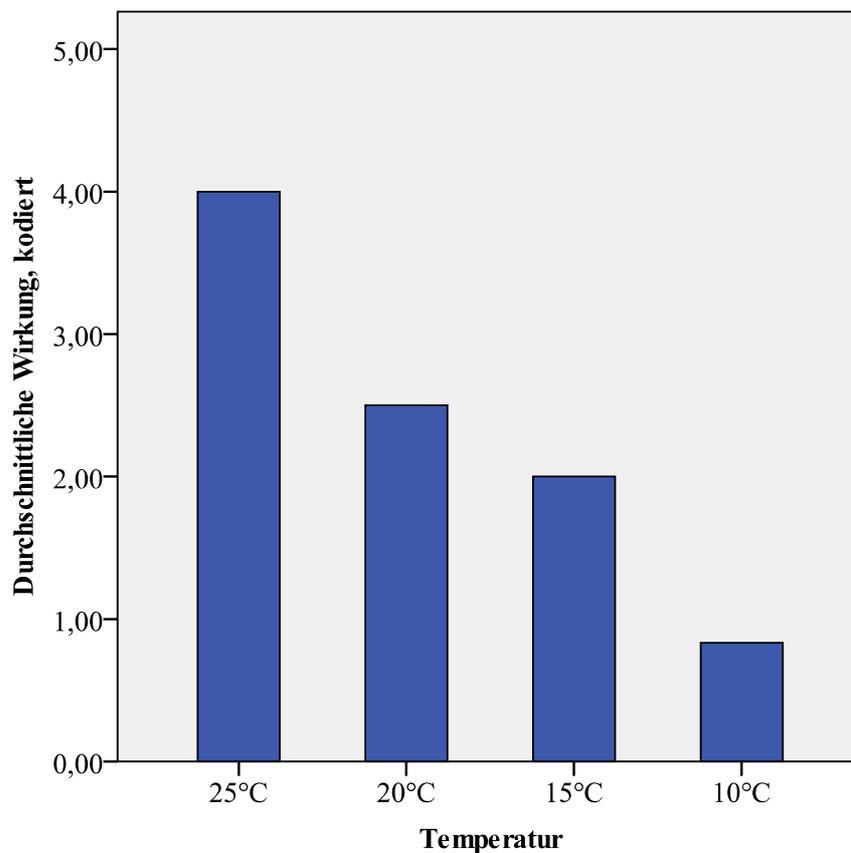


Abb. 20: Wirkung von 0,1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

**Tabelle 12: Wirkung von 0,1 mg Kupfer bei verschiedenen Temperaturen**

Temperatur	Median	Mittelwert	Standardabweichung
25°C	4	4,00	1,09545
20°C	2	2,50	0,83666
15°C	2	2,00	0,89443
10°C	1	0,83	0,75277

Deutlich ist hier die abnehmende Wirksamkeit des Kupfers mit sinkenden Temperaturen zu erkennen. Während die Zoosporen bei 25°C beinahe platzten (4), zeigten sie bei 10°C lediglich ein leicht verändertes Verhalten (1).

Im Überblick gesehen erhalten wir dieses Diagramm:

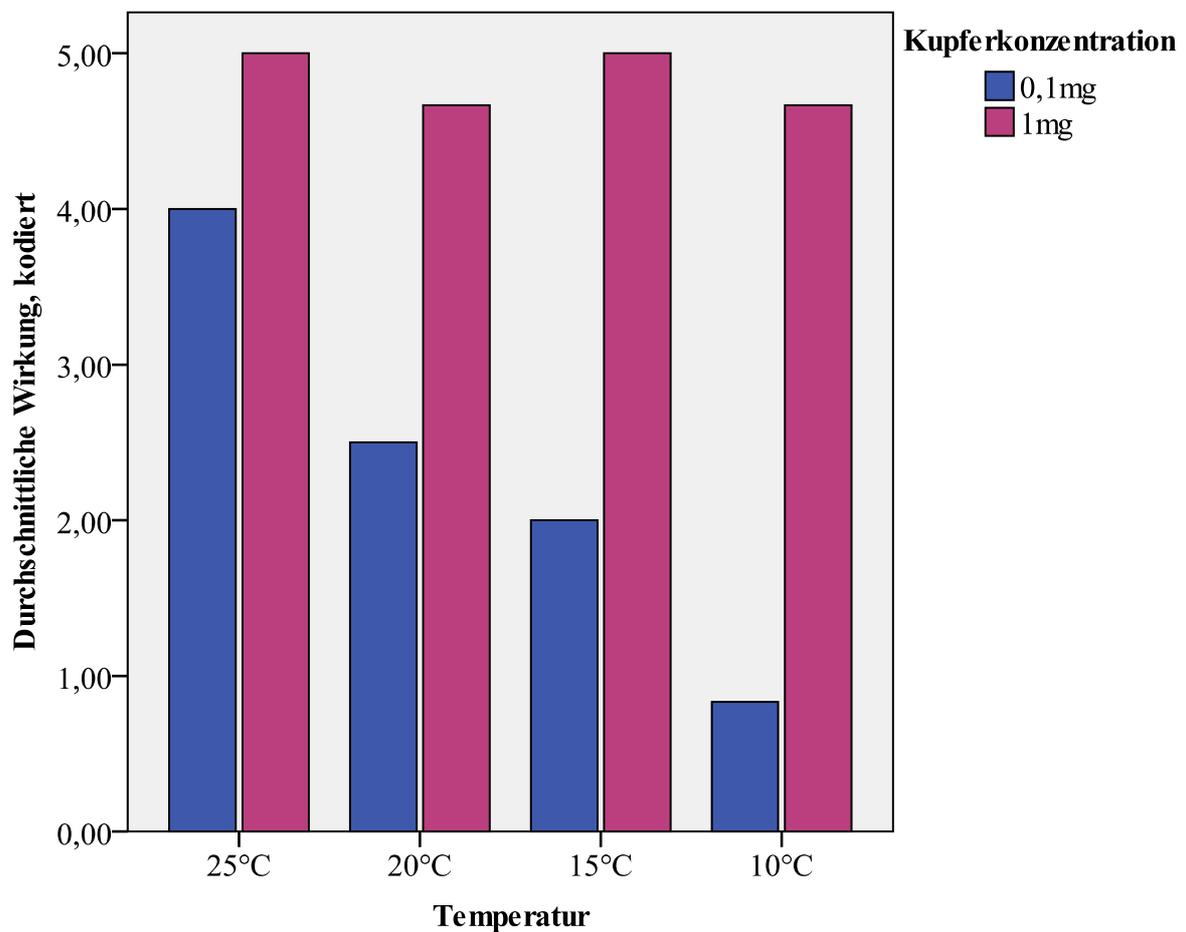


Abb. 21: Kupferwirkung bei verschiedenen Temperaturen im Überblick, Wirkung kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

### 4.3. Versuche an Pflanzenmaterial

#### 4.3.1. Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben

Um die Wechselwirkungen zwischen Hopfenextrakt und Rebe zu untersuchen, wurden Blattscheibenversuche durchgeführt. Dabei sollte auch beobachtet werden, ob die Blätter den Extrakt in größerem Maße aufnehmen und so wirkungslos machen. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

**Tabelle 13: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	19,5413
	Median	20,0000
	Standardabweichung	13,86344
Hopfenextrakt, 0.1%ig	Mittelwert	15,7593
	Median	20,0000
	Standardabweichung	12,81637
Hopfenextrakt, 0.2%ig	Mittelwert	15,4074
	Median	10,0000
	Standardabweichung	14,31164
Hopfenextrakt, 0.25%ig	Mittelwert	10,6574
	Median	5,0000
	Standardabweichung	11,49739
Hopfenextrakt, 0.3%ig	Mittelwert	7,9907
	Median	1,0000
	Standardabweichung	9,72375
Hopfenextrakt, 0.35%ig	Mittelwert	5,3426
	Median	0,0000
	Standardabweichung	8,88153

Die Ergebnisse streuen stark, wie an den großen Standardabweichungen ersichtlich wird. Um extreme Ausreißer zu relativieren, wurde daher der Median ergänzend angegeben. Die Wirkung des Hopfenextraktes setzt ab einer Konzentration von 0,25% ein. Die folgenden Ergebnisse sind signifikant von der Kontrolle verschieden ( $p=0,000$ ). Der Median allerdings zeigt bereits ab einer Konzentration von 0,2% deutliche Unterschiede.

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Wirkung des Hopfenextraktes von der jeweiligen Wiederholung abhängig ist. Dies lässt sich sehr gut anhand einer Grafik verdeutlichen.

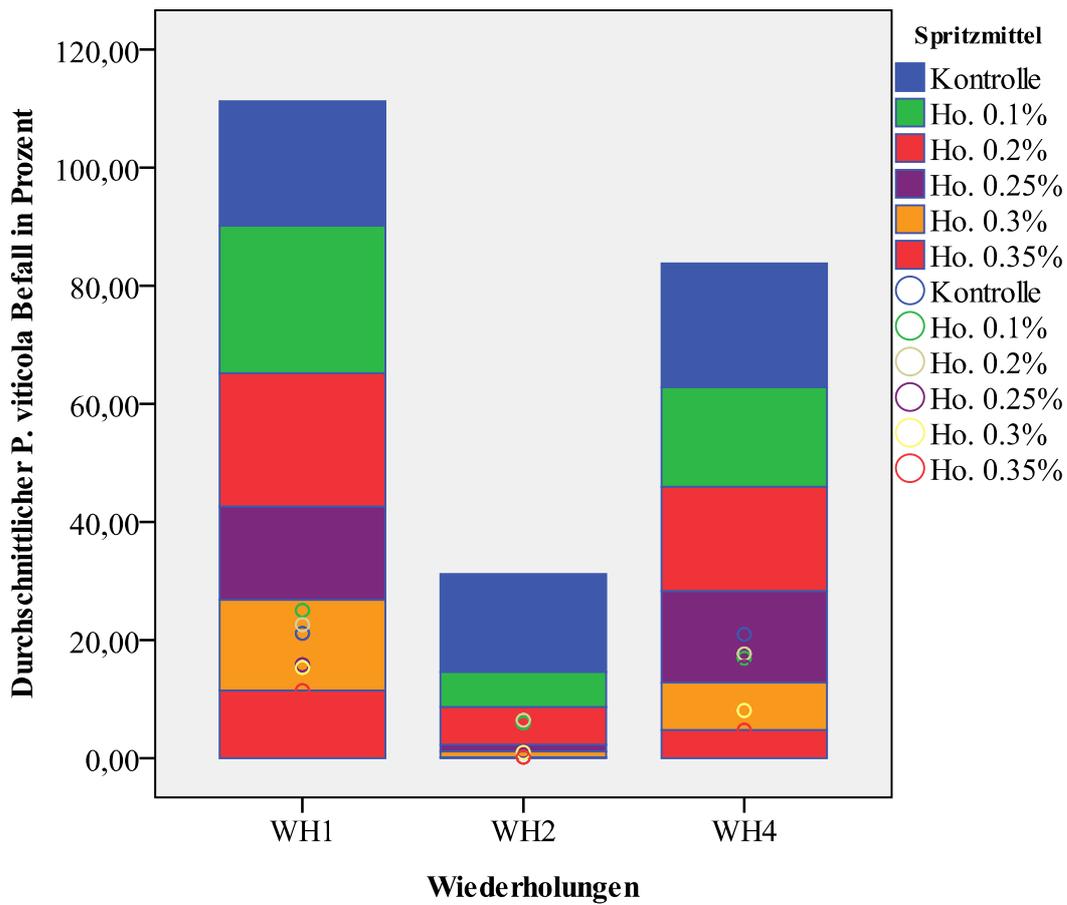


Abb. 22: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben in den einzelnen Wiederholungen

## Kupferwirkung auf Blattscheiben

Vergleichend wurden ähnliche Versuche mit Kupferlösungen durchgeführt. Die Wirksamkeit des Kupfers übertraf die des Hopfenextraktes deutlich.

**Tabelle 14: Kupferwirkung auf Blattscheiben**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	25,56
	Median	25
	Standardabweichung	17,15696
100mg Cu/l	Mittelwert	11,19
	Median	5
	Standardabweichung	13,72457
150mg Cu/l	Mittelwert	5,31
	Median	0
	Standardabweichung	10,18195
200mg Cu/l	Mittelwert	3,59
	Median	0
	Standardabweichung	10,30564
250mg Cu/l	Mittelwert	3,29
	Median	0
	Standardabweichung	9,43155
300mg Cu/l	Mittelwert	2,44
	Median	0
	Standardabweichung	7,99681
350mg Cu/l	Mittelwert	3,04
	Median	0
	Standardabweichung	11,07825
400mg Cu/l	Mittelwert	1,01
	Median	0
	Standardabweichung	4,58461
Folpan	Mittelwert	0,40
	Median	0
	Standardabweichung	2,53182

Obwohl sämtliche Kupfermittel signifikant wirksam sind ( $p= 0,000$ ), kommt erst eine Konzentration von 400 mg/l der Wirkung des Folpans in etwa gleich. Auch bei dieser Statistik zeigt sich allerdings an den Standardabweichungen noch eine recht hohe Schwankungsbreite der Ergebnisse. Betrachtet man nur den Median, bestehen keine Unterschiede zwischen den Kupferkonzentrationen über 100 mg/l und Folpan. Zwischen den hohen Konzentrationen sind die Unterschiede nur gering, lediglich Kontrolle und 100 mg Kupfer/l unterscheiden sich signifikant von den stärkeren Konzentrationen.

Auch bei diesem Versuch war die Mittelwirkung von der Wiederholung abhängig.

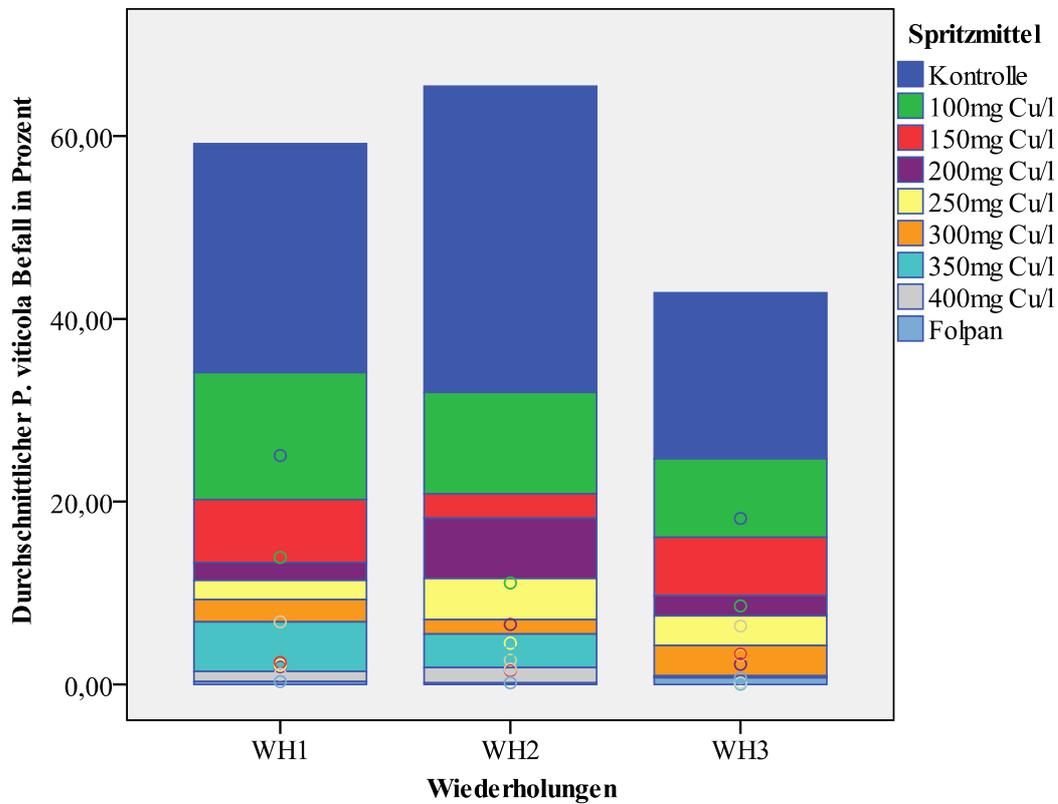


Abb. 23: Kupferwirkung auf Blattscheiben in den einzelnen Wiederholungen

Im Vergleich zwischen Hopfenextrakt und Kupfer ist die stärkere Wirksamkeit des Kupfers deutlich zu sehen:

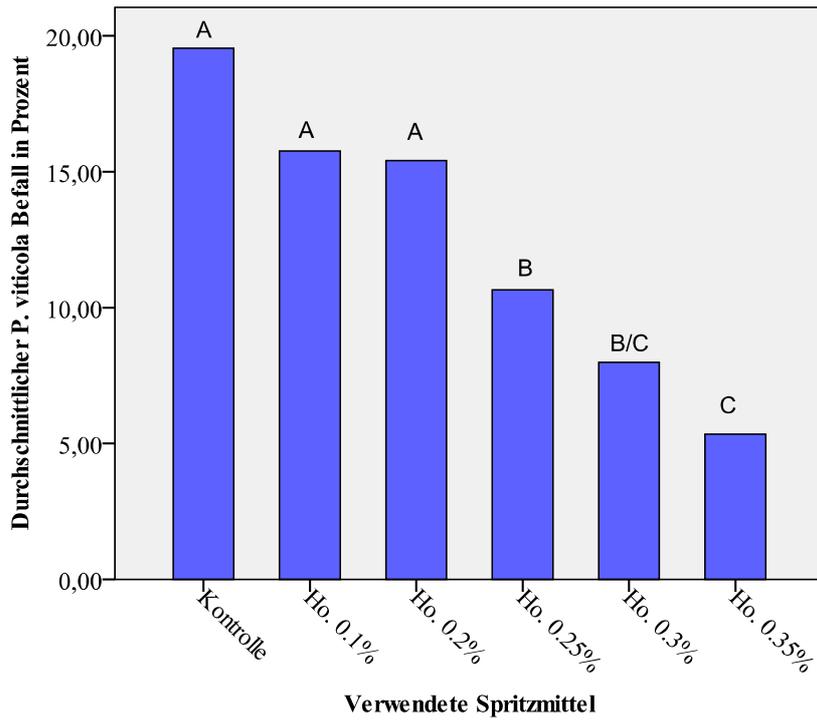


Abb. 24: Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben

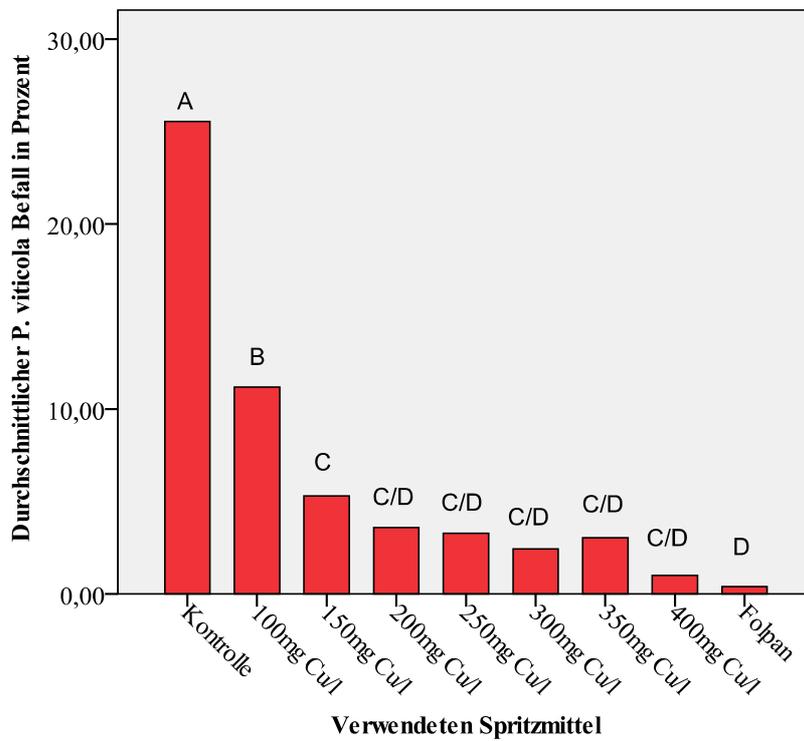


Abb. 25: Kupferwirkung auf Blattscheiben

Es wird ersichtlich, dass Hopfenextrakt zwar signifikant wirksam ist, an die Effizienz der Kupferlösung aber nicht heranreicht.

#### 4.3.2. Kurative Wirkung des Hopfenextrakts

An ganzen Blättern wurde versucht, eine mögliche kurative Wirkung des Hopfenextraktes nachzuweisen (Methode s. S. 58ff). Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

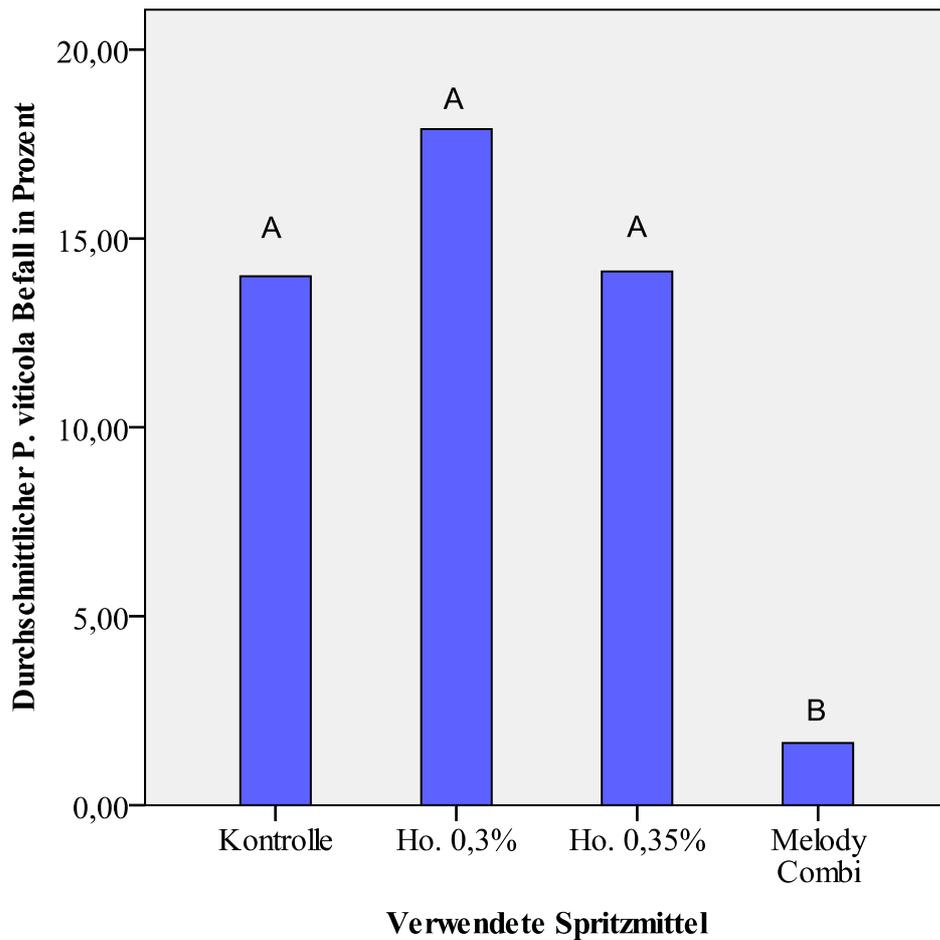


Abb. 26: Kurative Wirkung des Hopfenextrakts

**Tabelle 15: Kurative Wirkung des Hopfenextrakts**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	14,00
	Median	5
	Standardabweichung	17,53093
Hopfenextrakt, 0,3%ig	Mittelwert	17,89
	Median	10
	Standardabweichung	20,47264
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	14,13
	Median	5
	Standardabweichung	20,98359
Melody Combi	Mittelwert	1,65
	Median	0
	Standardabweichung	3,14848

Es wird deutlich, dass eine kurative Wirkung des Hopfenextraktes nicht vorliegt. Weder der 0,3%ige noch der 0,35%ige Hopfenextrakt unterscheiden sich signifikant von der Kontrolle.

Bei einer näheren Betrachtung der Wiederholungen ist zu sehen, dass die Wirkung der Mittel besonders in der dritten Wiederholung mangelhaft ist. Selbst das Kontrollmittel Melody Combi schneidet hier schlechter ab, während der Pilz auf den Kontrollblättern nur mangelhaft keimte. Möglicherweise hat das Versagen der Mittel hier andere Ursachen.

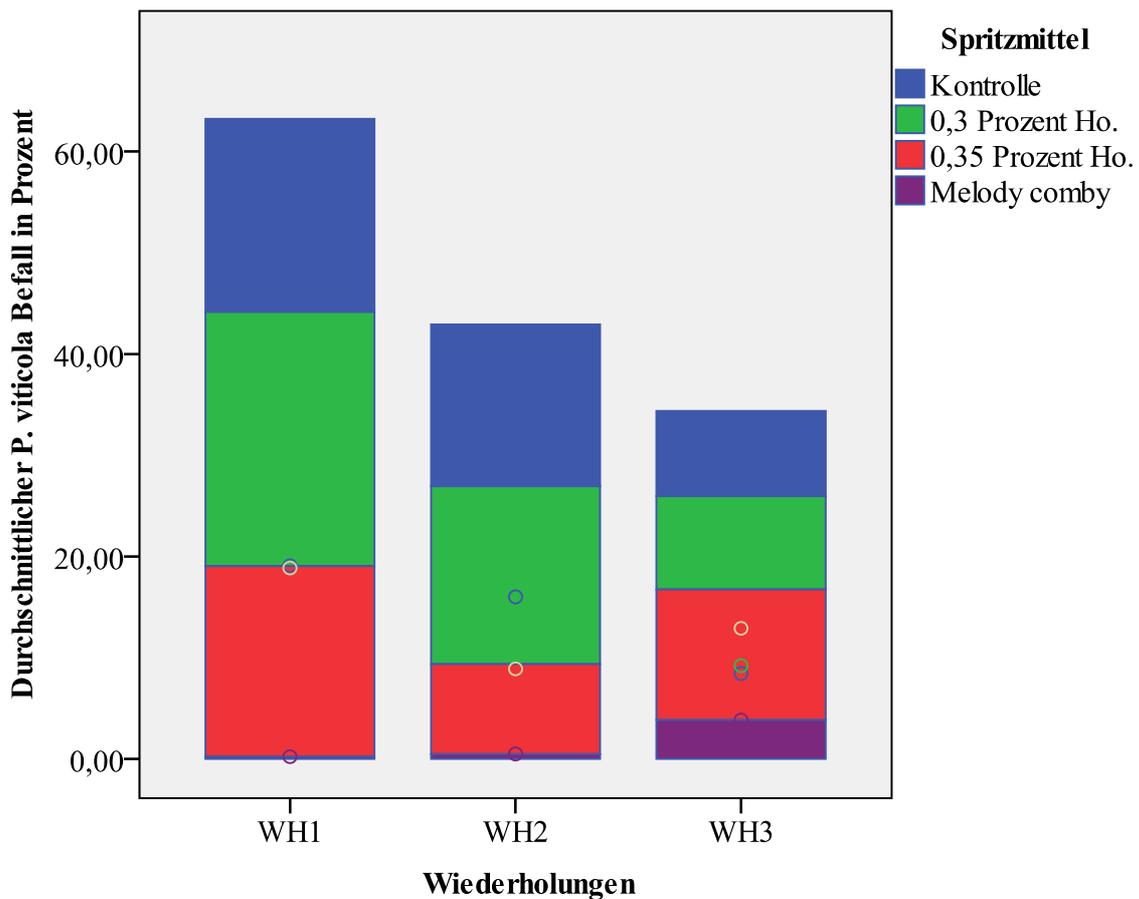


Abb. 27: Kurative Wirkung des Hopfenextraktes in den einzelnen Wiederholungen

#### 4.3.3. Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes

Um einen umfassenden Überblick über die Wechselwirkungen zwischen Rebe und Hopfenextrakt zu gewinnen, wurde auch eine mögliche translaminare Wirkung untersucht (Methode s. S. 58ff). Der Hopfenextrakt schnitt dabei schlechter ab als die Kontrolle, ein signifikanter Unterschied war aber nicht gegeben.

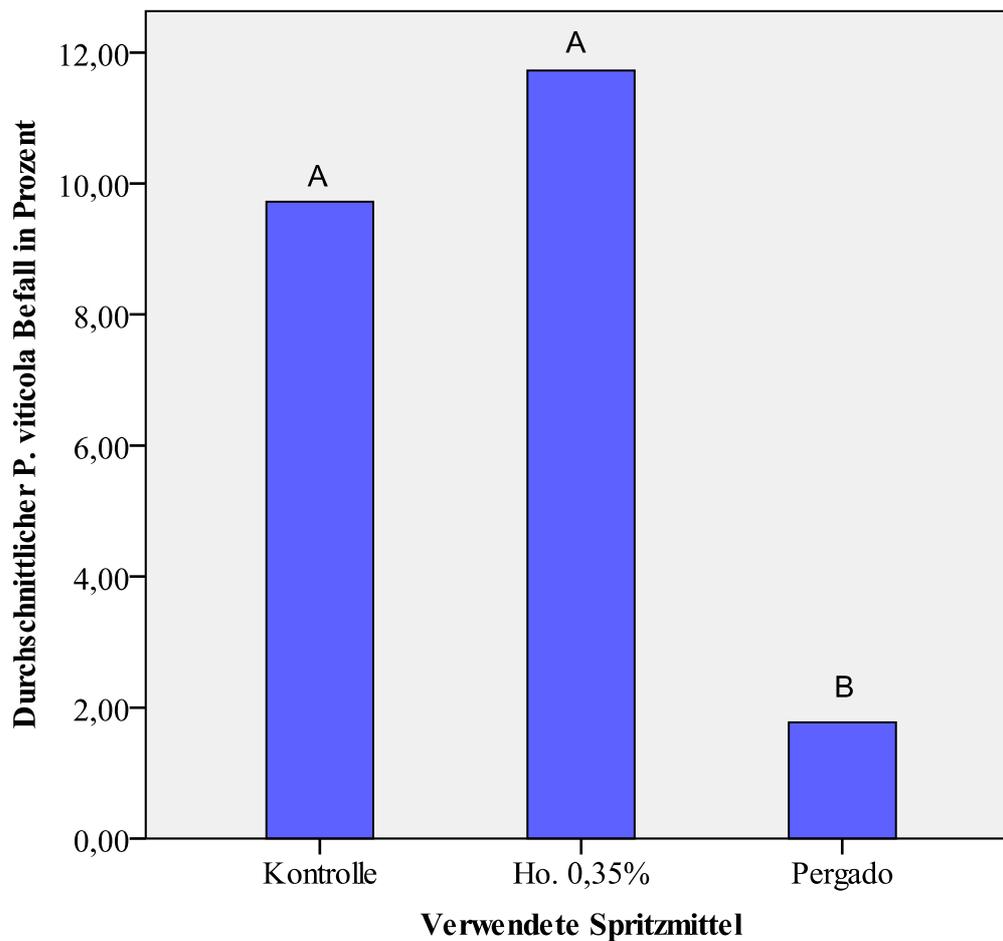


Abb. 28: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes

**Tabelle 16: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	9,72
	Median	1
	Standardabweichung	15,86654
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	11,73
	Median	5
	Standardabweichung	20,02195
Pergado	Mittelwert	1,77
	Median	0
	Standardabweichung	3,73697

Der Hopfenextrakt verhielt sich in den verschiedenen Wiederholungen sehr unterschiedlich. In der ersten Wiederholung schnitt er deutlich schlechter ab als die Kontrolle, während er den Befall in der dritten reduzieren konnte. Seine Wirkung unterlag also großen Schwankungen.

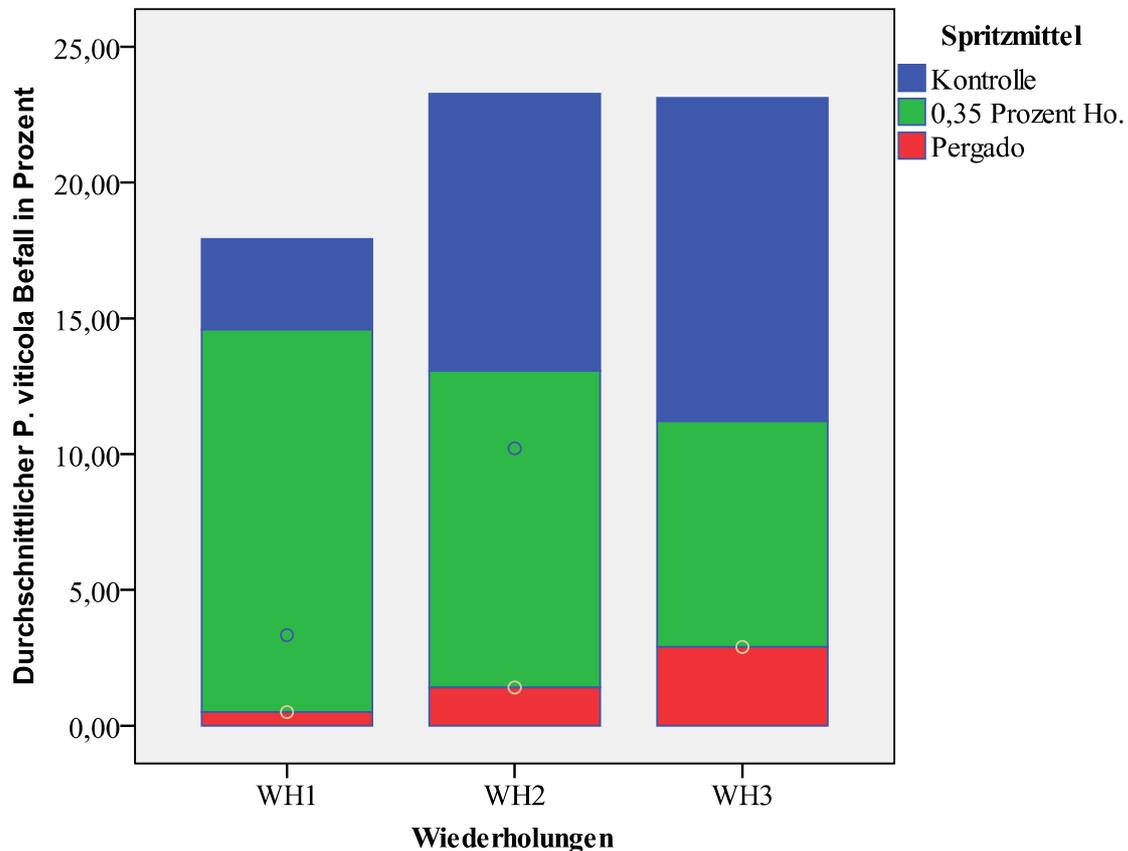


Abb. 29: Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes in den einzelnen Wiederholungen

#### 4.3.4. Untersuchung der Wirkung des Hopfenextraktes an Ganzpflanzen

##### 4.3.4.1. Bei einer Infektion 0 Tage nach der Behandlung

Um den Wirkungsmechanismus des Hopfenextraktes genauer zu untersuchen, wurden auch Versuche mit Ganzpflanzen durchgeführt. Dabei wurden Daten zur Befallsstärke, also Prozent befallener Blattfläche sowie Befallshäufigkeit, also Prozent befallener Blätter an der Gesamtblattzahl, erhoben. Hopfenextrakt schnitt bei der Befallsstärke sehr gut ab, in der Konzentration von 0,3% interessanterweise besser als bei 0,35%. Beide Hopfenextraktkonzentrationen wirken signifikant unterschiedlich zur Kontrolle ( $p=0,000$ ).

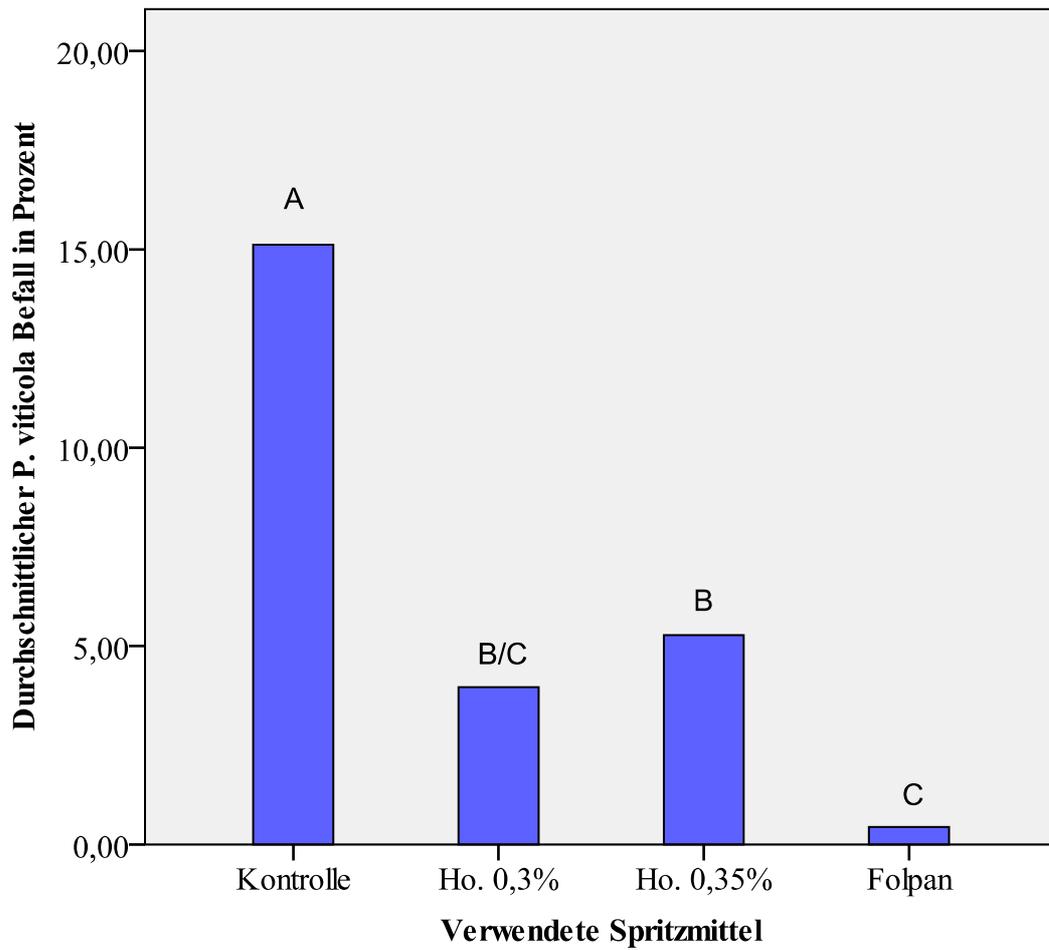


Abb. 30: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen  
Spritzmitteleinwirkzeit

Aufgrund der starken Ausreißer, wird die Tendenz auch bei diesen Ergebnissen besser am Median als dem Mittelwert sichtbar.

**Tabelle 17: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen****Spritzmitteleinwirkzeit**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	15,12
	Median	5
	Standardabweichung	21,36600
Hopfenextrakt, 0,3%ig	Mittelwert	4,00
	Median	0
	Standardabweichung	8,60424
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	5,28
	Median	1
	Standardabweichung	10,62693
Folpan	Mittelwert	0,44
	Median	0
	Standardabweichung	2,39690

Die Wiederholung hatte nur einen geringen Einfluss auf die Mittelwirkung. Allerdings fanden nur zwei Wiederholungen statt, so dass eine solche Wechselwirkung nicht prinzipiell ausgeschlossen werden kann. Interessanterweise setzt sich die deutliche Wirksamkeit des Hopfenextraktes nicht fort, wenn nur die Befallshäufigkeit betrachtet wird. Mit Hopfenextrakt behandelte Pflanzen hatten eben so viele befallene Blätter wie unbehandelte Pflanzen. Eine Extraktkonzentration von 0,3% schnitt auch bei diesen Ergebnissen besser ab als die höher konzentrierte Lösung.

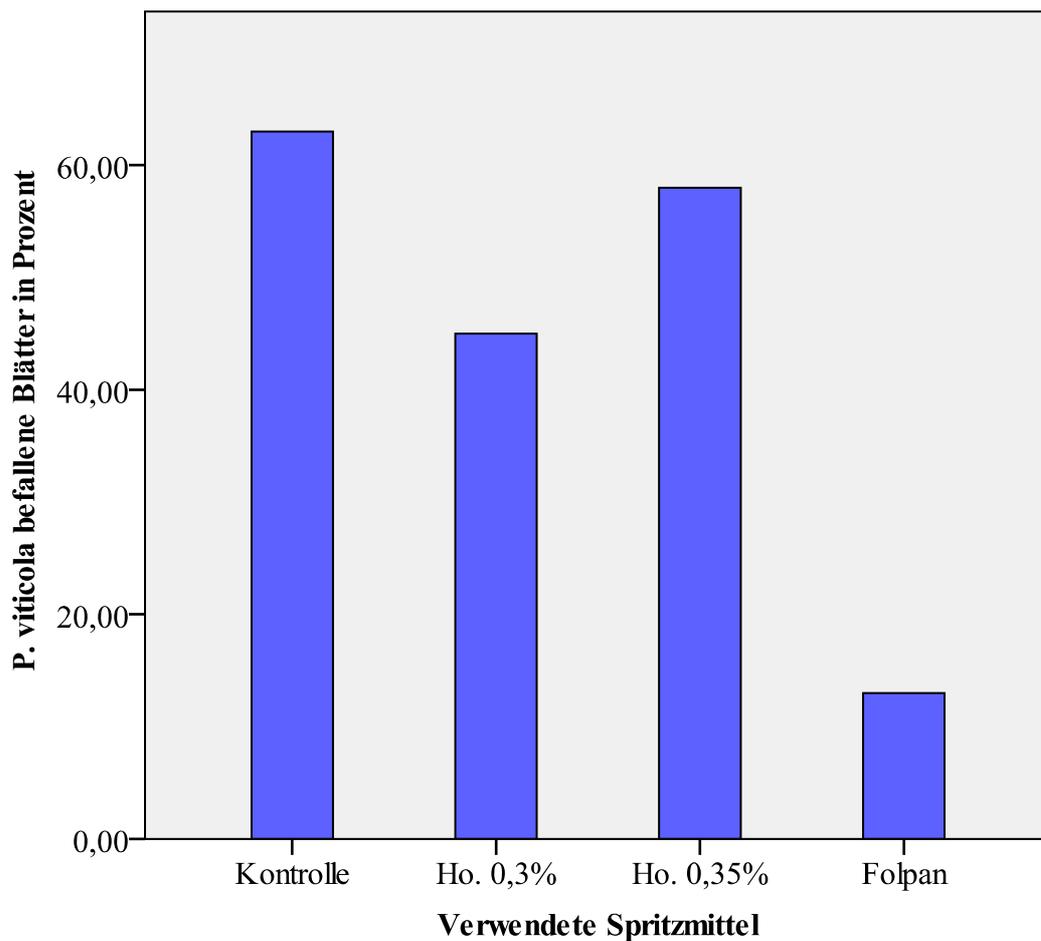


Abb. 31: Durchschnittliche Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen Spritzmitteleinwirkzeit

**Tabelle 18: Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen Spritzmitteleinwirkzeit**

Mittel				Prozent befallene
	Kein Befall	Befall	Blattzahl	Blätter
Kontrolle	28	48	76	63,16
Hopfenextrakt, 0,3%ig	51	41	92	45,05
Hopfenextrakt, 0,35%ig	38	52	90	57,78
Folpan	126	19	145	13,19
Gesamt	243	160	403	

#### **4.3.4.2. Bei einer Infektion einen Tag nach der Behandlung**

Mit den anschließenden Untersuchungen sollte gezeigt werden, ob sich die regulierende Wirkung des Hopfenextrakts auch halten kann, wenn zwischen Behandlung und Infektion ein Tag vergeht. Dies könnte Hinweise darauf erlauben, ob der Hopfenextrakt von den Blättern aufgenommen wird. Es wurden erneut Befallsstärke und -häufigkeit untersucht.

Bezüglich der Befallsstärke konnte eine geringe Wirksamkeit des Hopfenextraktes festgestellt werden. Allerdings ist die Extraktwirkung nicht mehr statistisch signifikant. Man sieht deutlich, wie sehr sich die Wirkung bereits nach einem Tag Einwirkzeit abgeschwächt hat.

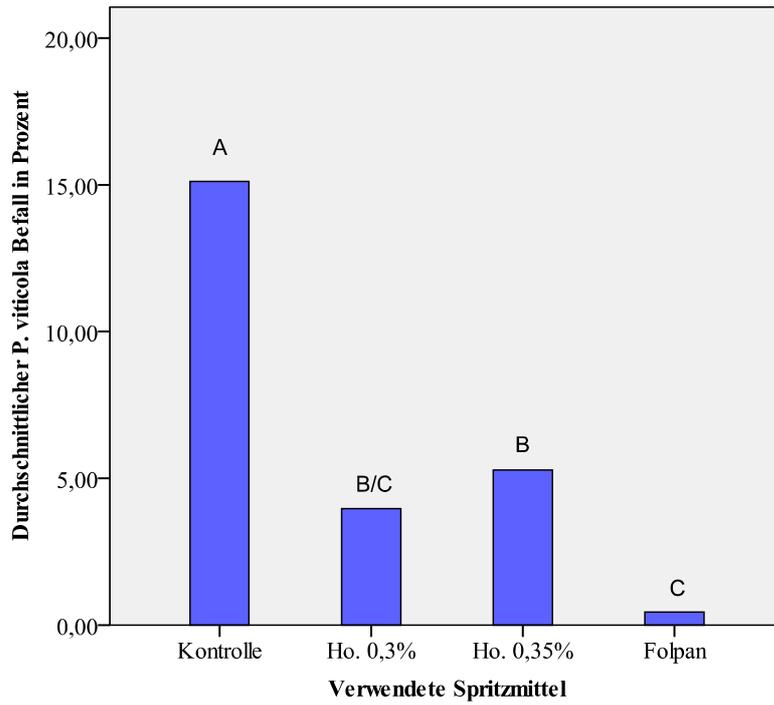


Abb. 32: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach null Tagen  
Spritzmitteleinwirkzeit

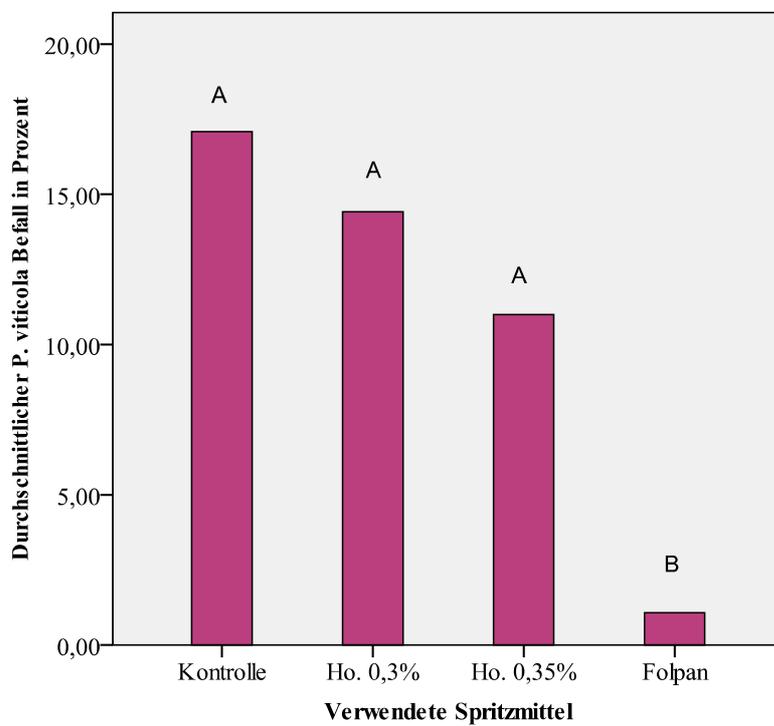


Abb. 33: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag  
Spritzmitteleinwirkzeit

**Tabelle 19: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag  
Spritzmitteleinwirkzeit**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	17,08
	Median	7,5
	Standardabweichung	19,19298
Hopfenextrakt, 0,3%ig	Mittelwert	14,42
	Median	5
	Standardabweichung	21,82307
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	11,00
	Median	5
	Standardabweichung	15,51091
Folpan	Mittelwert	1,07
	Median	0
	Standardabweichung	3,12206

Bei einer getrennten Betrachtung der Wiederholung wird sichtbar, dass die Konzentration von 0,35% Hopfenextrakt in der zweiten Wiederholung stärker befallen wurde als die Kontrolle. Lediglich in der ersten Wiederholung zeigte sie eine gute Wirksamkeit.

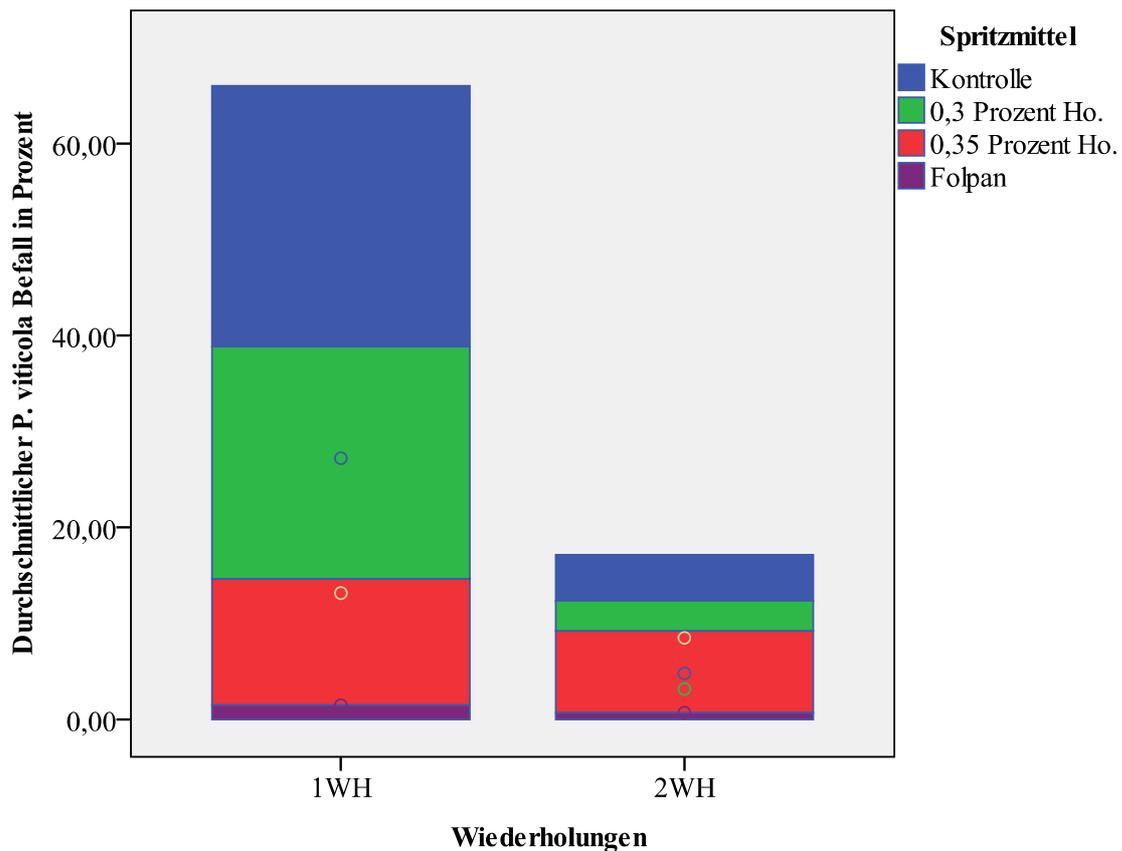


Abb. 34: Befallsstärke hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag  
 Spritzmitteleinwirkzeit in den verschiedenen Wiederholungen

Wie auch bei einer Infektion direkt nach der Behandlung, sind die Ergebnisse der Befallshäufigkeit weniger deutlich als die der Befallsstärke. In diesem Fall kann auch von keiner geringen Wirkung mehr gesprochen werden. Die Hopfenextraktbehandlung reduziert den Befall eindeutig nicht. Auffällig ist, dass die Wirkung des 0,35%igen Hopfenextraktes unter der des 0,3%igen liegt.

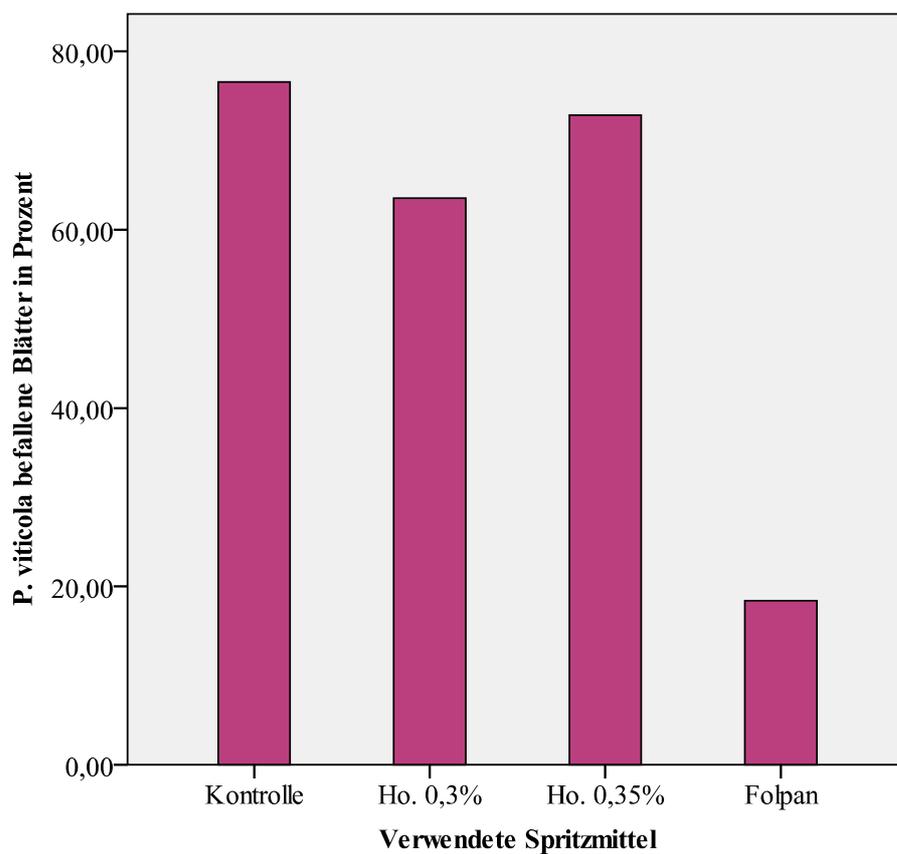


Abb. 35: Durchschnittliche Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag Spritzmitteleinwirkzeit

**Tabelle 20: Befallshäufigkeit hopfenextraktbehandelter Ganzpflanzen nach einem Tag Spritzmitteleinwirkzeit**

Mittel	Kein Befall	Befall	Blattzahl	Prozentanteil befallener Blätter
Kontrolle	15	49	64	76,56
Hopfenextrakt 0,3% ig	31	54	85	63,53
Hopfenextrakt 0,35% ig	19	50	69	72,86
Folpan	93	21	114	18,42
Gesamt	243	158	174	

#### 4.3.4. Systemische Wirkung des Hopfenextraktes

##### 4.3.4.1. Bei einer Infektion null Tage nach der Behandlung

Eine mögliche systemische Wirkung des Hopfenextraktes wurde ebenfalls untersucht (Methode s. S. 60). Dabei setzte sich bei der Bonitur der Befallsstärke der Trend fort, der schon bei den Ganzpflanzenversuchen auf direkte Wirksamkeit aufgetreten war. Während die 0,3%ige Konzentration des Hopfenextraktes gut abschnitt, traf dies auf die 0,35%ige Lösung nicht zu. So ist die Kontrolle zwar zu einer 0,3%igen Hopfenextraktlösung signifikant unterschiedlich ( $p= 0,006$ ), nicht aber zu einer 0,35%igen. Demgegenüber sind 0,3% und 0,35% signifikant verschieden.

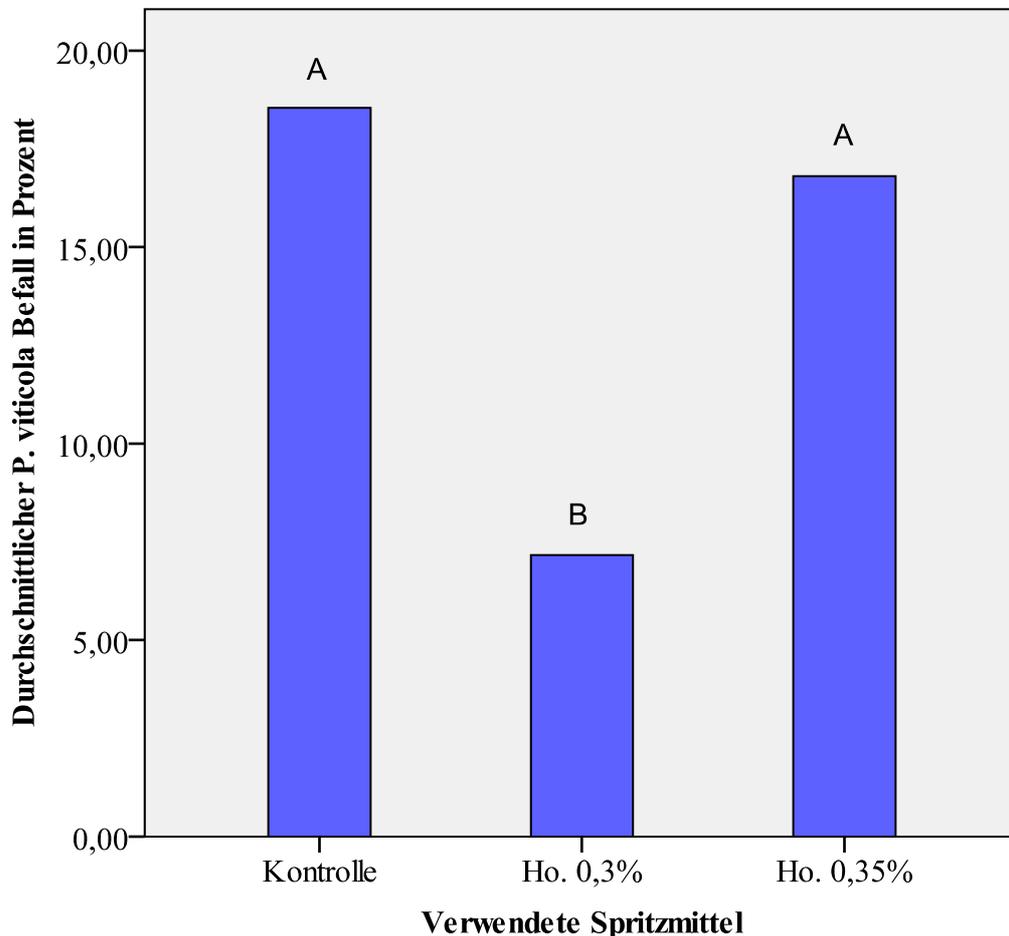


Abb. 36: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen  
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke

Auffällig sind die sehr niedrigen Ergebnisse des Median. Diese sind vermutlich auf die große Anzahl an komplett unbefallenen Blättern zurückzuführen, welche das Medianergebnis in diesem Fall verschieben. Daher ist der Mittelwert hier die zuverlässigere Maßzahl. Die hohen Standardabweichungen sind ebenfalls auf diese Ausreißer nach unten zurückzuführen.

**Tabelle 21: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen**

**Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	18,55
	Median	0
	Standardabweichung	27,15137
Hopfenextrakt, 0,3%ig	Mittelwert	7,16
	Median	1
	Standardabweichung	13,12688
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	16,81
	Median	0
	Standardabweichung	25,76016

Die Wiederholungen scheinen keinen Einfluss auf die Mittelwirksamkeit zu haben. Dieses Ergebnis kann bei nur zwei Wiederholungen allerdings nur als vorläufig gelten. Eine Reduktion der Befallshäufigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. Die Anzahl befallener Blätter an den mit Hopfenextrakt behandelten Pflanzen übertreffen die der Kontrolle sogar geringfügig.

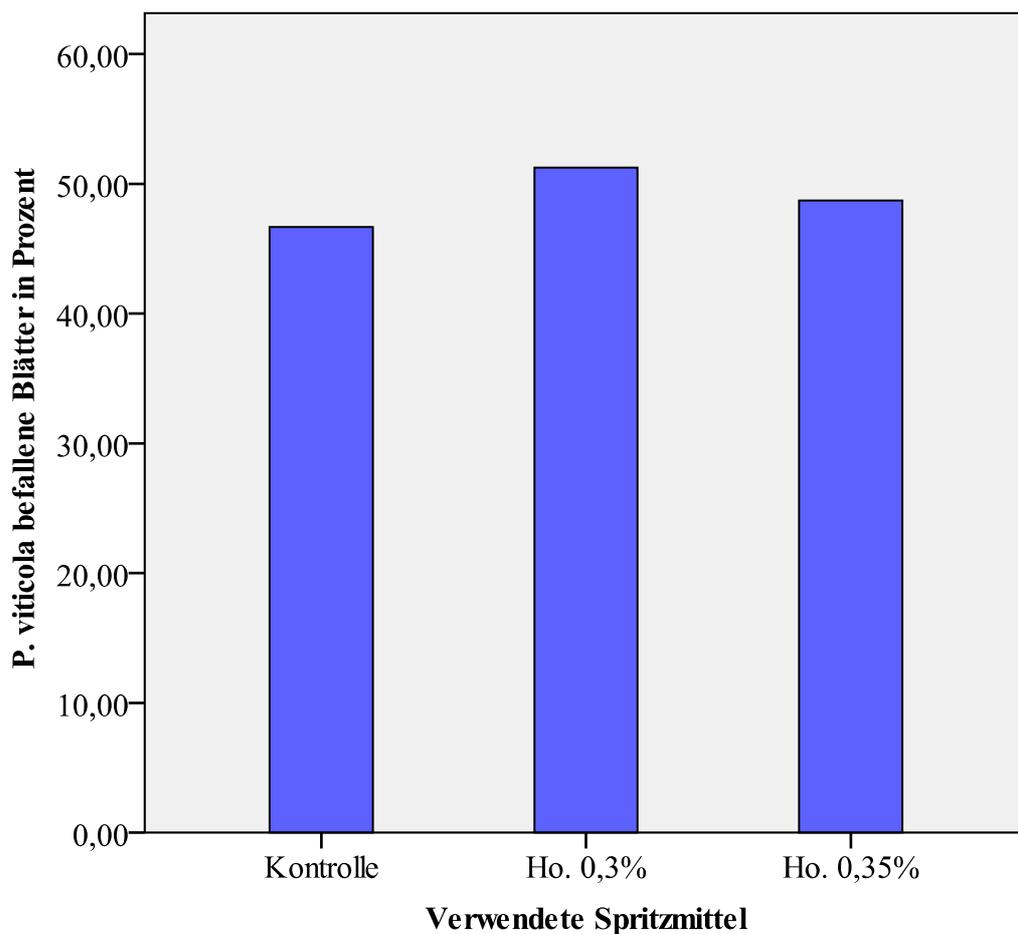


Abb. 37: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen  
Spritzmitteleinwirkzeit, durchschnittliche Befallshäufigkeit

**Tabelle 22: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach null Tagen  
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallshäufigkeit**

Spritzmittel	Kein Befall			Befall		Blattzahl	Prozent befallene Blätter
Kontrolle	68	83	151			46,677	
Hopfenextrakt, 0,3%ig	90	82	172			51,25	
Hopfenextrakt, 0,35%ig	78	90	168			48,72	
Gesamt	237	255	492				

#### 4.3.4.2. Bei einer Infektion einen Tag nach der Behandlung

Es sollte anschließend untersucht werden, wie sich eine eventuelle systemische Wirkung verhält, wenn zwischen der Behandlung und der Infektion ein Tag verstreicht. Dies kann eventuell Rückschlüsse auf die genauen Mechanismen der Mittelwirkung ermöglichen. Die Befallsstärke wurde durch den Hopfenextrakt gesenkt, allerdings nicht in einem signifikanten Maße. Auch hier sind die Unterschiede zwischen Kontrolle und 0,3%iger Hopfenextraktlösung größer ( $p= 0,133$ ), als zwischen Kontrolle und 0,35%iger Lösung ( $p= 0,381$ ).

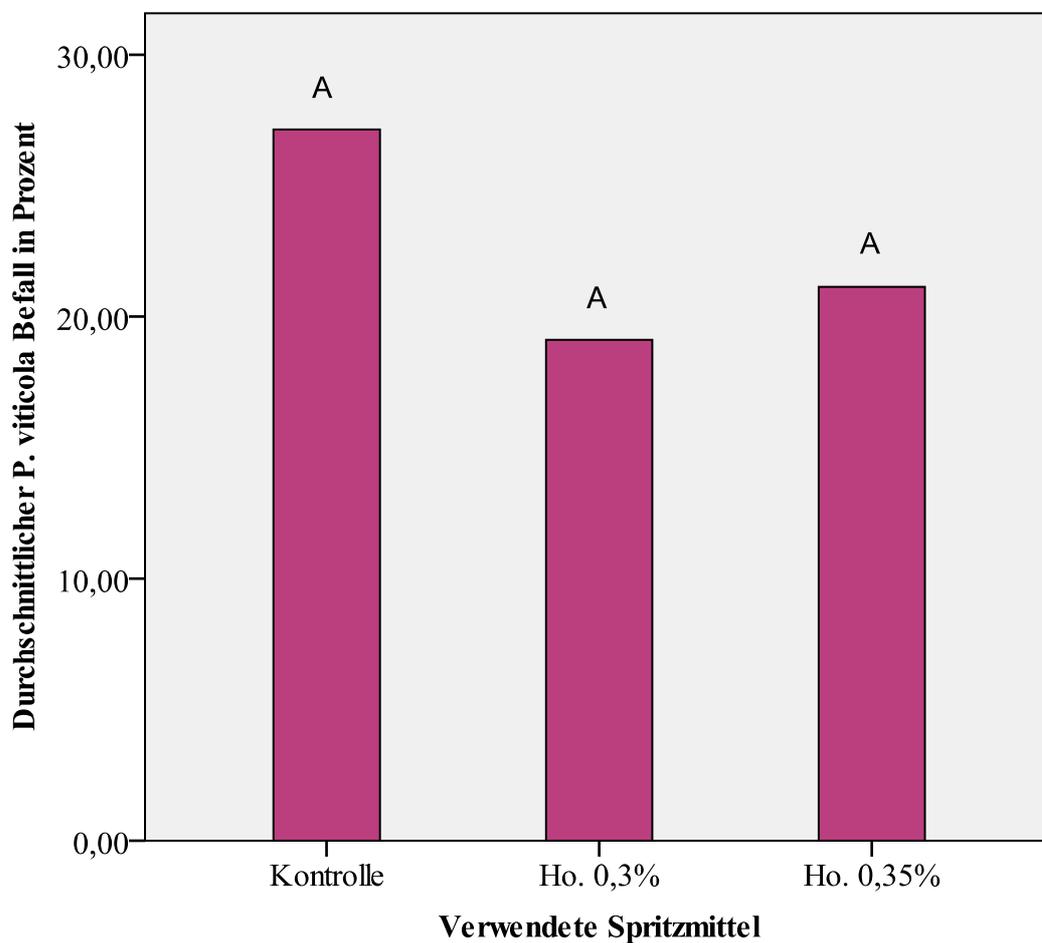


Abb. 38: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag  
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke

**Tabelle 23: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag**

**Spritzmitteleinwirkzeit, Befallsstärke**

Spritzmittel	Statistik	
Kontrolle	Mittelwert	27,14
	Median	15
	Standardabweichung	28,16017
Hopfenextrakt, 0,3%ig	Mittelwert	19,12
	Median	10
	Standardabweichung	23,10545
Hopfenextrakt, 0,35%ig	Mittelwert	21,14
	Median	10
	Standardabweichung	20,90534

Es sind bei näherer Betrachtung deutliche Einflüsse der Wiederholung auf die Mittelwirksamkeit sichtbar. Während die Wirksamkeit in der ersten Wiederholung noch sehr gering ist, steigert sie sich in der zweiten deutlich. Der höher konzentrierte Extrakt wirkt in der ersten Wiederholung sogar besser als der gering konzentrierte. Dieses Verhältnis dreht sich in der zweiten Wiederholung um.

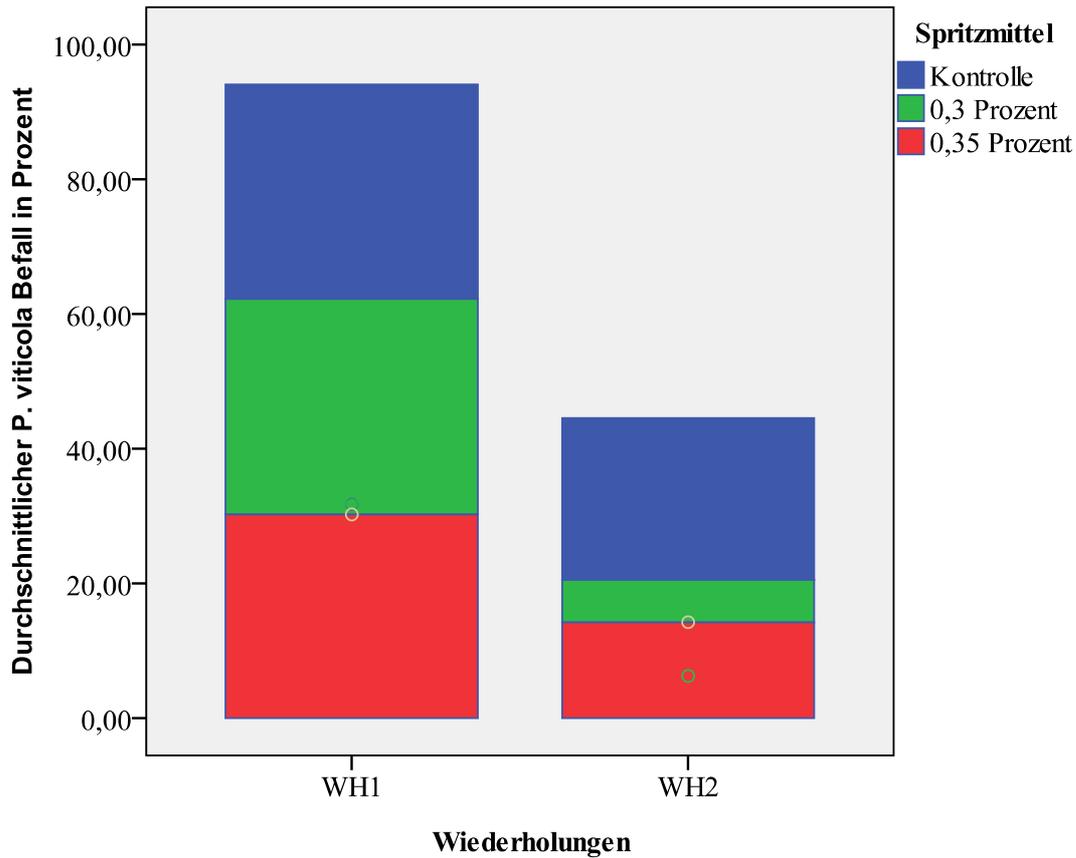


Abb. 39: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag  
Spritzeinwirkzeit in den verschiedenen Wiederholungen

Auch die Untersuchung der Befallshäufigkeit der Pflanzen konnte, wie schon bei den übrigen Ganzpflanzenversuchen, keine Wirkung des Hopfenextraktes belegen.

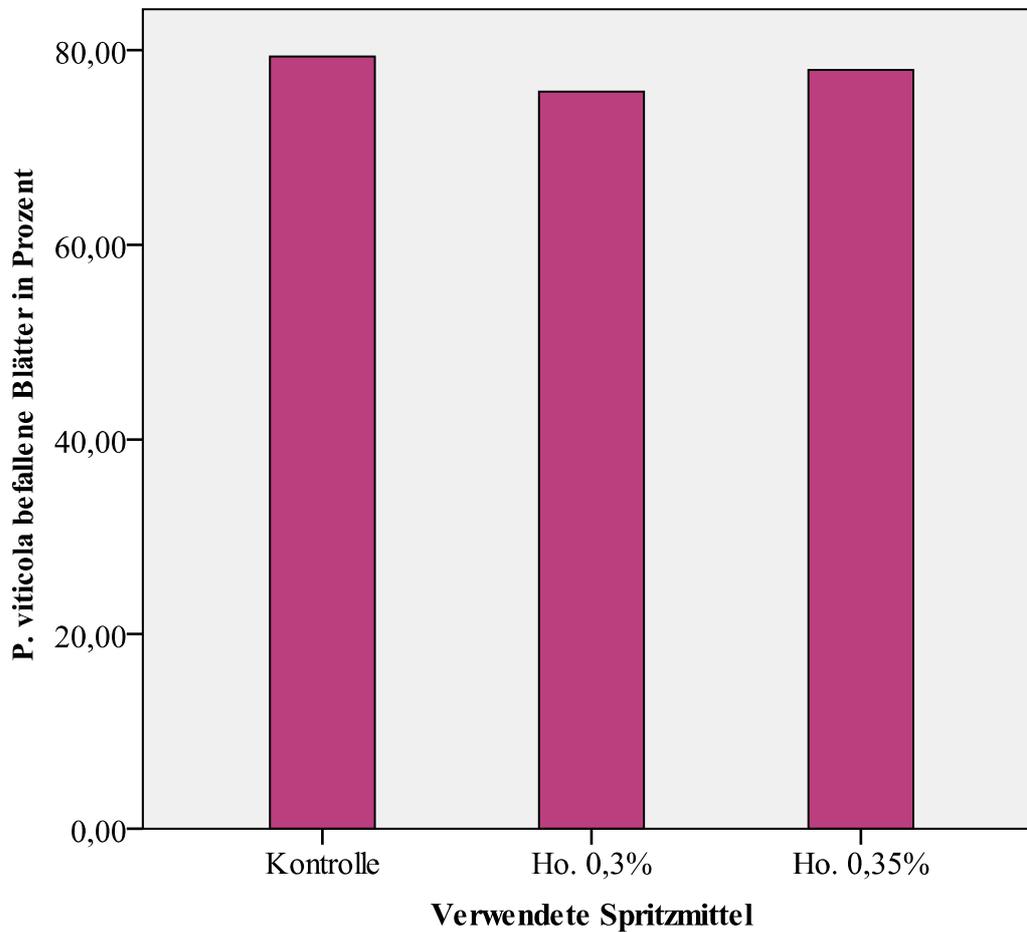


Abb. 40: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag  
Spritzmitteleinwirkzeit, durchschnittliche Befallshäufigkeit

**Tabelle 24: Systemische Wirkung des Hopfenextraktes nach einem Tag  
Spritzmitteleinwirkzeit, Befallshäufigkeit**

Spritzmittel				Prozent befallene Blätter
	Kein Befall	Befall	Blattzahl	
Kontrolle	13	50	63	79,36
Hopfenextrakt, 0,3%ig	16	50	67	75,76
Hopfenextrakt, 0,35%ig	13	46	59	77,97
Gesamt	43	146	189	

## 5. Diskussion

An dieser Stelle sollen die Ergebnisse beleuchtet und mit der Literatur und den durch sie geweckten Erwartungen verglichen werden. So können die eingangs gestellten Forschungsfragen in der anschließenden Schlussfolgerung beantwortet werden.

Die Ergebnisse der Umfrage weisen recht eindeutig darauf hin, dass der Kupfergebrauch in Südafrika geringer ist als in den beiden europäischen Ländern. Dies deckt sich mit den Angaben der Literatur, nach denen der ökologische Weinbau und damit der Gebrauch von Kupfermitteln in Europa weiter fortgeschritten ist als außerhalb (WILLER, 2000). 90% der südafrikanischen Winzer gaben an, überhaupt kein Kupfer in ihren Weingärten einzusetzen, demgegenüber verwenden es 90% der in Europa befragten Betriebsleiter. Der insgesamt relativ geringe Anteil der ökologisch bewirtschafteten Rebfläche legt allerdings die Vermutung nahe, dass der vermehrte Kupfereinsatz in Europa nicht allein auf den höheren Anteil der ökologischen Weinbaubetriebe zurückzuführen ist. Konventionelle europäische Winzer schätzen Kupferpräparate laut Literatur als Resistenzbrecher in der Spritzfolge (KÜHNE ET AL., 2009). Teilweise sind vermutlich auch Tradition, Angewohnheit oder andere Gründe ausschlaggebend. Einer der in Deutschland, Baden-Württemberg, befragten Winzer gab beispielsweise an, eine Abschluss-spritzung mit Kupfer aus vermarktungstechnischen Gründen durchzuführen. Dies werde von seiner Winzergenossenschaft verlangt, um einen Kupferzusatz bei der Weinbereitung überflüssig zu machen. So könne der Wein auf dem Etikett als zusatzfrei gekennzeichnet werden. Die Kunden schätzten ein so gekennzeichnetes Produkt als „natürlicher“ und damit gesünder.

Die Angaben zu der von den Winzern verwendeten Reinkupfermenge müssen teilweise kritisch gesehen werden. Meist lagen keine Werte vor, die Daten mussten über die verwendeten Mittel und deren Aufwandmengen errechnet werden. Auch waren die Angaben der Befragten nicht immer exakt, sondern fußten teilweise lediglich auf Schätzungen. Lag eine genaue Angabe zur verwendeten Reinkupfermenge vor, so bezog sich diese häufig lediglich auf das letzte Jahr. Dazu kam der Eindruck, dass einige der Winzer zu fürchten schienen, mit den Fragen solle ihre Gesetzestreue bezüglich der Einhaltung der vorgeschriebenen Kupferhöchstmenge überprüft werden. Dies führte zum Teil zu Antworten wie „nach Höchstmenge“ oder „keinesfalls mehr als zugelassen“. Aus diesen Gründen sollte

die verwendete Kupfermenge lediglich als Tendenz verstanden werden, welche anzeigt, dass in Österreich und Deutschland mehr Kupfer verwendet wird als in Südafrika.

Eine Verwendung des Kupfers als Abschluss-spritzung scheint in den beiden europäischen Ländern vorzuherrschen. Dieses Ergebnis könnte auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein: Einerseits führt die Verwendung des Kupfers kurz vor der Ernte zu höheren Kupfergehalten im Wein und beugt damit einem BÖxer vor. Die Kupferschönung wird so vorweggenommen (KÜHNE ET AL., 2009). Andererseits wirken viele der Rebschutzmittel auf Basis von Naturstoffen nur bei niederem oder mittlerem Befallsdruck, also zu Beginn der Vegetationsperiode. Hat sich die Infektion erst einmal aufgeschaukelt, versagen sie hingegen (LA TORRE ET AL., 2007; DAGOSTIN ET AL., 2008). Oft wird zu Jahresbeginn auch phosphorige Säure eingesetzt, welche auf Grund von persistenten Rückständen einen Einsatz kurz vor der Lese nicht zulässt (KAST UND SCHIEFER, ohne Jahrgang). Gerade ökologisch arbeitende Winzer greifen daher gegen Ende der Vegetationszeit vermutlich gerne auf Kupfer zurück. Im Gegensatz dazu wird Kupfer zu Vegetationsbeginn gespart, da es bei jungen Reben phytotoxische Eigenschaften entwickeln kann (HILDEBRANDT, 1957). Im konventionellen Weinbau spielt Kupfer als Resistenzbrecher eine Rolle und wird gerne zur Verbesserung der herbstlichen Holzreife eingesetzt. Der langandauernden Wirkung wegen sowie aufgrund verschiedener Nebenwirkungen gegen andere Pilzkrankheiten wird es auch gerne als Abschluss-spritzung gegen Spätbefall eingesetzt (NIEDER, 1992; HILDEBRANDT, 1957; HOFMANN, 2003). Die Verwendungsgewohnheiten der südafrikanischen Winzer können nicht als repräsentativ gelten, da lediglich ein Betriebsleiter angab, überhaupt Kupfer einzusetzen. Es bleibt lediglich festzuhalten, dass Kupfer in Südafrika so gut wie nicht verwendet wird.

Kupfer hat gerade im ökologischen Weinbau große Bedeutung (KULA, 2003). Daher wäre es bei einer Neuanlage der Umfrage sicher auch von Interesse, zu erfassen, wie viele und welche der befragten Betriebe ökologisch arbeiten. Vermutlich ließe sich dann ein Zusammenhang zwischen der Arbeitsweise und der Kupfereinsatzmenge herstellen.

Die Probleme mit *Plasmopara viticola* wurden in allen untersuchten Ländern wahrgenommen, allerdings in keinem als sehr gravierend eingestuft. Dies deutet darauf hin, dass der Pflanzenschutz gegen diesen Pilz bedeutsam ist, aber momentan gut funktioniert. Signifikante Unterschiede zwischen den Ländern traten nicht auf. Interessant wäre an dieser Stelle auch, Schätzungen über den natürlichen Befallsdruck zu vergleichen. Solche Daten sind

aber schwer zu beschaffen, da ein Verzicht auf Bekämpfung immer mit einem hohen Risiko für den Winzer verbunden ist. Möglicherweise könnten staatliche Stellen solche Daten zur Verfügung stellen. Eine solche Anfrage hätte den Rahmen dieser Arbeit allerdings gesprengt.

Eventuelle Schäden durch den Kupfergebrauch wurden so gut wie gar nicht genannt. Dies könnte allerdings auch auf ein geringes Bewusstsein dieses Problems bei den Landwirten zurückzuführen sein. Da Beeinträchtigungen der Rebe durch Kupfer so gut wie nicht vorkommen, sind Kupferanreicherungen im Boden für den Praktiker meist wenig relevant (DELAS, 1959, 1980). Bei der Befragung wurde fast immer hinzugefügt, dass Bodenuntersuchungen auf Kupfergehalte nicht durchgeführt würden. Gewässerproben fallen nicht in den Aufgabenbereich des Landwirts und werden nur in Trinkwassersammelgebieten vorgenommen. Kupferanreicherungen im Wein werden schon eher bemerkt und wurden auch in zwei Fällen genannt. Allerdings treten solche Schäden lediglich bei absolut extremer oder fehlerhafter Anwendung auf. Die Angaben der Winzer, Probleme durch den Kupfereinsatz seien nicht vorhanden, muss daher mit Vorsicht behandelt werden. Es wäre korrekter zu schlussfolgern, dass solche Probleme nicht in einem für den Landwirt relevanten Maße auftreten.

Die zwischen den Variablen festgestellte Korrelation zwischen Kupfereinsatzhäufigkeit und jährlich verwendeter Reinkupfermenge war zu erwarten. Eine Korrelation zwischen Problemen mit *Plasmopara viticola* und Kupferverwendung lag nicht vor. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass Kupfer nicht das einzige verwendete Pflanzenschutzmittel ist. Betriebe, welche kein Kupfer einsetzen, verwenden andere Mittel, so dass auch diese Winzer den Schadpilz gut unter Kontrolle haben. Interessant ist der negative Zusammenhang zwischen Kupferproblemen und –verwendung. Dies kann mit einer mündlichen Aussage der beiden Betriebe erklärt werden, welche angaben, Kupferprobleme im Wein zu kennen. Demnach wurde die Kupferverwendung nach Auftreten dieser Probleme eingestellt.

Eine Umfrage in drei Ländern kann natürlich nicht als repräsentativ für die gesamte Welt des Weinbaus gewertet werden. Besonders die Neue Welt ist mit lediglich einem Land sehr schwach vertreten und in Europa fehlen die wichtigsten Weinbaunationen Italien, Spanien und Frankreich (HOFMANN UND WILLER; 2010). Trotzdem kann sie einen ersten Überblick über die beiden Länder Österreich und Deutschland bieten, in denen diese Arbeit abgefasst wurde. Südafrika kann als Vergleich und Kontrast dienen. Die befragten Weingüter wurden

zufällig und über die Länder verteilt ausgewählt. Daher ermöglicht die Umfrage einen guten Überblick, obwohl lediglich je 10 Testpersonen in den einzelnen Ländern befragt wurden. Die Ergebnisse entsprechen darüber hinaus den Erwartungen, welche bei einer Beschäftigung mit der Branche allgemein entstehen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf den Laborergebnissen. Diese streuen sehr stark, ihre Varianzen sind meist nicht homogen, die Daten nicht normalverteilt. Dies ist für biologische Untersuchungen nicht untypisch. Biologische Vorgänge werden von derartig vielen Faktoren beeinflusst, dass eine Standardisierung sehr schwierig ist. Die großen Schwankungen auch zwischen den Wiederholungen mögen vor allem darauf zurückzuführen sein, dass die zur Infektion verwendeten Zoosporen sehr unterschiedlich fertil waren. Da bei *Plasmopara viticola* eine Zucht auf künstlichem Nährmedium nicht möglich ist (KORTEKAMP, 2001), wird der Hausstamm des Weinbauinstitutes auf Topfpflanzen vermehrt. Dabei sind Verunreinigungen nicht ganz auszuschließen. Zusätzlich können Sporangien auch ohne sexuelle Vermehrung verschiedene Genotypen erzeugen, da sie potentiell heterokaryotisch sind (KEIL, 2007). Im Laufe der Zeit können auch Mutationen hinzukommen. Dazu kommt, dass gerade bei den Ganzpflanzenversuchen Temperatur, Licht und Luftfeuchte im Gewächshaus nicht geregelt waren. Die Zoosporenkeimung ist aber von Temperatur und Luftfeuchte abhängig (LALANCETTE ET AL., 1988; KADISCH, 1986) und dürfte daher mit dem Wetter geschwankt haben. Die Anfälligkeit der Pflanzenteile ist zusätzlich vom Alter derselben abhängig (ELSTNER ET AL., 1996, CADLE-DAVIDSON, 2008). Dies kommt besonders bei den Ganzblatt- und -pflanzenversuchen zum Tragen, in welchen dieser Effekt nur begrenzt ausgeglichen werden konnte. Die schwankenden Werte können durch die hohe Stichprobenzahl recht gut aufgefangen werden. In einigen Fällen hätte aber eine höhere Zahl an Wiederholungen nützlich sein können, um die Resultate zu untermauern.

Die mikroskopischen Untersuchungen weisen eine direkte Wirksamkeit des Hopfenextraktes auf die Pilzsporen nach. Diese Wirkung nimmt bei längerer Einwirkzeit zu. Der Hopfenextrakt muss offensichtlich erst von den Zoosporen verarbeitet und möglicherweise aufgenommen werden, ehe er wirksam werden kann. Die Wirkung ist in den höheren Konzentrationen mit der des Kupfers vergleichbar. Bei allen drei Versuchen wurden die Zoosporen als tot betrachtet, sobald sie platzten. Aber auch schon weniger eindeutige Schädigungen belegen eine Wirkung der eingesetzten Mittel.

Bei einer Verlängerung der Einwirkzeit von fünf auf zehn Minuten, konnte die zehnfache Verdünnung der nach fünf Minuten als wirksam bestimmten Konzentration, ihre Wirkung von „irregulärem Schwimmen“ auf „Platzen der Zoosporen“ steigern (s. Abb.).

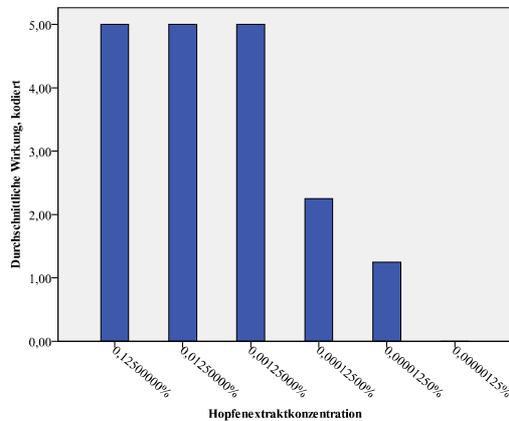


Abb. 13: Hopfenextraktwirkung nach fünf Minuten, kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

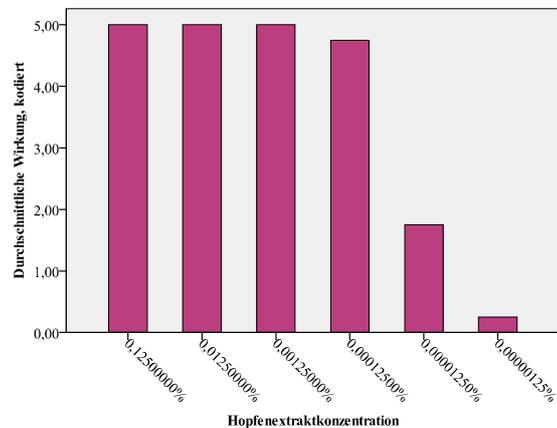


Abb. 14: Hopfenextraktwirkung nach zehn Minuten, kodiert von 0 (keine Wirkung) bis 5 (Spore platzt)

Dies lässt den Schluss zu, dass die benötigte Konzentration bei nochmaliger Verlängerung der Einwirkzeit weiter sinken könnte. Eine weitere Verlängerung war aber in unseren Versuchen nicht realistisch, da die Zoosporen nach einiger Zeit durch die Mikroskopbeleuchtung und Austrocknung an Fertilität verlieren. Die für das Platzen der Zoosporen festgestellten Mindestextraktmengen können daher nicht als allgemeingültiges Maß für die Hopfenextraktwirksamkeit betrachtet werden. Eher ist es wahrscheinlicher, dass diese stärker ist als festgestellt.

Während die Wirkung des Kupferextraktes nach zwei, fünf und zehn Minuten erfasst wurde, wurde die des Hopfenextraktes lediglich nach fünf und zehn Minuten gewertet. Der Entschluss zu dieser Einschränkung wurde gefasst, da die Kupferwirkung nach zwei Minuten noch sehr gering ausfiel und dasselbe für die Hopfenextraktwirkung erwartet wurde. Der sehr arbeitsaufwendige Versuch wurde so rationalisiert. Auch auf diese Weise ist deutlich zu sehen, dass die Hopfenextraktwirkung bei längerer Einwirkzeit zunimmt.

Interessant ist auch das Ergebnis des Wirkungstests mit standardisierten Temperaturen. Demnach nimmt die Wirkung des Kupfers mit steigender Temperatur zu. Da sich auch der Stoffwechsel der Zoosporen mit einer Temperatursteigerung beschleunigt (LALANCETTE ET AL., 1988; KADISCH, 1986), könnte dieses Ergebnis auf eine aktive Rolle der Zoosporen bei der Aufnahme oder Verarbeitung des Kupfers hindeuten. Das Kupfer diffundiert demnach vermutlich nicht einfach passiv in die Zoosporen hinein, sondern wird über Kanäle aktiv aufgenommen oder ausgetauscht. Eine solche Untersuchung könnte auch für Hopfenextrakt von Interesse sein. In diesem Fall wäre es aber sinnvoll, zuerst nachzuweisen, ob der Hopfenextrakt überhaupt aufgenommen wird oder die Zoosporen von außen schädigt. Dieses Szenario ist zwar eher unwahrscheinlich, sollte aber zuerst ausgeschlossen werden können. Möglich wäre auch, dass die Hopfenextraktinhaltsstoffe nur teilweise aufgenommen werden. Eine solche Untersuchung könnte daher auch Aufschlüsse über die Wirkungsweise des Hopfenextrakts ermöglichen.

Die Stichprobenmenge der mikroskopischen Versuche war mit sechs bzw. vier recht gering. Allerdings muss bedacht werden, dass in einer Stichprobe jeweils mehrere Zoosporen erfasst wurden. Das Verhalten dieser Zoosporen wurde gemeinsam betrachtet und anschließend das am häufigsten beobachtete Verhalten als Durchschnittswert für die gesamte Probe eingetragen. Daher kann diese Untersuchung zwar nicht mit den Methoden der schließenden Statistik ausgewertet werden, aber trotzdem als repräsentativ gelten.

Auch in Blattscheibenversuchen zeigte sich eine eindeutige Wirksamkeit des Hopfenextraktes, diese lag in diesem Fall aber deutlich unter der des Kupfers. Mit einem Befall von im besten Falle 5% reicht sie an die für die Praxis interessante Befallsreduktion heran. Mit der nahezu 100%igen Wirkung eines konventionellen oder Kupfermittels kann der Hopfenextrakt allerdings nicht mithalten. Die im Gegensatz zur direkten Wirkung auf die Pilzsporen deutlich geringere Wirksamkeit des Hopfenextraktes auf Blattscheiben, lässt sich möglicherweise damit erklären, dass der Extrakt vom Blattgewebe aufgenommen wird und daher nicht in genügendem Maße mit den Zoosporen in Berührung kommt. Ein

kurative Wirkung des Hopfenextraktes liegt nicht vor. Offensichtlich ist der Hopfenextrakt nicht in der Lage, auf die bereits in das Pflanzengewebe eingedrungenen Schadpilze einzuwirken. Er dringt demnach nicht, wie aufgrund der Blattscheibenversuche vermutet, einfach in das Blatt ein, sondern wird von diesem auch umgesetzt oder entgiftet. Dazu passt

auch, dass fast keine translaminare Wirkung vorliegt. Der Extrakt wird nach dem Eindringen in das Blatt ganz offensichtlich wirkungslos. Bei beiden Versuchen schwanken die Ergebnisse sehr stark zwischen den Wiederholungen. Dies könnte auf das unterschiedliche Blattalter zurückgehen. Während dieses bei den Blattscheibenversuchen durch gleichmäßige Verteilung der Blätter auf die Varianten ausgeglichen werden konnte, war diese Maßnahme bei Ganzblattversuchen nicht möglich. Möglicherweise wurde das Ergebnis dadurch beeinflusst. Trotzdem kann tendenziell davon ausgegangen werden, dass keine translaminare oder kurative Wirkung vorliegt.

Auch in Ganzpflanzenversuchen kommen die mit Hopfenextrakt behandelten Stichproben auf eine Befallsfläche zwischen 4 und 5%. Bei einer eintägigen Einwirkzeit vor der Infektion reduziert sich die Wirkung allerdings bereits drastisch. Dies unterstützt die oben aufgestellte These, nach welcher der Hopfenextrakt vom Blatt aufgenommen und verarbeitet wird. Ein Leistungsabfall in einem so kurzen Zeitfenster wäre in der Praxis von Nachteil, da selbst mit modernsten Prognosesystemen der Infektionszeitpunkt nie sicher vorausgesagt werden kann (BAUER, 2008; KAST, 2002; BLEYER ET AL., 2003).

Es fällt auf, dass die Befallsstärke mit der Hopfenextraktbehandlung zwar abnimmt, nicht aber die Befallshäufigkeit. Es entsteht der Eindruck, der Pilz habe zwar nicht an der Erstbesiedlung, wohl aber an der Weiterausbreitung gehindert werden können. Eine Erklärungsmöglichkeit wäre, dass die Benetzung der Blätter mit den Spritzmitteln nicht lückenlos gelang, und sich daher auf unbehandelten Blattflecken Pilzsporen ansiedeln konnten. Möglich wäre auch, dass der Spritzbelag an manchen Stellen bei der Infektion abgewaschen wurde und zu Boden tropfte, wodurch sich neue Spritzlücken bildeten. Eventuell weisen die Unterschiede zwischen Befallsstärke und -häufigkeit auch auf eine wie auch immer geartete Resistenzinduktion durch den Hopfenextrakt hin. Gerade bei Rebresistenzen gegen *Plasmopara viticola* kann die Resistenzreaktion erst mit der Haustorienbildung des Pilzes einsetzen (DÍEZ-NAVAJAS ET AL., 2008). Sein Eindringen in die Rebe wird daher nicht verhindert, wohl aber seine weitere Ausbreitung. Die wahrscheinlichste weil häufigste Möglichkeit der Resistenzreaktion wäre eine hypersensitive Reaktion (KORTEKAMP, 2001). Eine solche müsste sich durch feine braune Ringe um die Befallsstellen auszeichnen (PRELL, 1996, PERTOT ET AL., 2003 b). Solche Ringe und kleine braune Flecken wurden teilweise beobachtet, könnten aber auch auf die phytotoxischen Eigenschaften des Hopfenextraktes (LÖSCH, 2010) zurückgehen. Der Nachweis einer hypersensitiven Reaktion

müsste daher über Inhaltsstoffe, beispielsweise Viniferin, erfolgen (ALONSO-VILLAVARDE ET AL., 2011a).

Die Vermutung einer induzierten Resistenz widerspricht den Ergebnissen der Untersuchungen zur Translaminarität und Kurativität, nach denen die Wirkung des Hopfenextraktes mit dem Eindringen in das Blattgewebe aussetzt. Es wäre aber möglich, dass nur dann eine Resistenz induziert werden kann, wenn die ganze Pflanze in den Prozess mit einbezogen wird, Blätter oder Blattscheiben reichen vielleicht nicht aus. Dieser Fall würde bei einer Aktivierung von Resistenzgenen eintreten. In einem solchen Falle würde eine Resistenz für die gesamte Pflanze induziert (KORTEKAMP, 2001).

Für die Theorie der induzierten Resistenz spricht auch, dass bezüglich der Befallsstärke eine systemische Wirkung des Hopfenextraktes vorliegt. Diese ist mit einer Befallsreduktion um etwa die Hälfte teilweise sogar recht bedeutsam. Eine systemische Wirkung kann natürlich auch durch einen Transport des Pflanzenschutzmittels in der Pflanze ausgelöst werden. Dies ist allerdings in sofern unwahrscheinlich, dass keine translaminare Wirkung vorliegt. Nach einem Tag Einwirkzeit geht die systemische Wirkung zurück. Eine induzierte Resistenz müsste sich nach einer gewissen Zeit eigentlich verstärken (s. S. 18ff). Möglich wäre daher auch, dass sich bei den mit Hopfenextrakt behandelten Reben eine kurzfristige Stressreaktion der Pflanze auf den Extrakt einstellt, welche zur Aktivierung von Resistenzgenen führen kann (MILLI ET AL., 2012). Dadurch kann die allgemeine Resistenz in der gesamten Pflanze erhöht werden. Eine so kurzzeitige Resistenzerhöhung hätte in der praktischen Anwendung allerdings Nachteile, da teilweise ein ganzer Tag vergeht, ehe die Zoosporen die Stomata erreichen um einzudringen (KADISCH, 1986, BAUER, 2008).

Für eine Stressreaktion spricht auch der Wirkungsrückgang bei einer höheren Dosierung. In beinahe allen Ganzpflanzenversuchen tritt der Effekt auf, dass die Wirksamkeit der 0,3%igen Hopfenextraktlösung über der der 0,35%igen liegt. Unter Umständen kommt bei der höheren Konzentration bereits die phytotoxische Wirkung des Hopfenextraktes zum Tragen, welche die Pflanzen schwächt (LÖSCH, 2010). Während der Stress bei 0,3%igem Extrakt noch eine Gegenreaktion durch Erhöhung der allgemeinen Resistenz auslöste, relativierte sich dieser Effekt bei einer höheren Konzentration möglicherweise. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Belege aus der Literatur, welche Hopfenextrakt erfolgreich gegen *Alternaria solani* einsetzten (YANAR ET AL., 2011 b). Dabei stieg die Wirkung des Extraktes

bis zu einer Konzentration von 8%. Erst hier stellte sich eine für die Praxis relevante Wirkung ein. Möglicherweise müssen die getesteten Konzentrationen bei einem Einsatz im Freiland nochmals höher berechnet werden, da größere Verluste durch die Witterung auftreten. Zusätzlich vertragen verschiedene Pflanzenarten vermutlich unterschiedlich hohe Extraktkonzentrationen. Auch bei den Versuchen zur systemischen Hopfenextraktwirksamkeit wurde die Befallshäufigkeit nicht reduziert. Da die Pflanzen an diesen Stellen aber nicht behandelt wurden, greift die Theorie von Spritzlücken in diesem Fall nicht. Es liegt daher tatsächlich nahe, dass eine Resistenz vorliegt. Die Frage der Resistenzinduktion durch Hopfenextrakt wird im Weinbauinstitut Freiburg weiter untersucht.

Bei der Auswertung der Ganzpflanzenversuche stellte sich heraus, dass ein Teil der Pflanzenspitzen nicht infiziert worden war. Möglicherweise waren diese Blätter zum Infektionszeitpunkt noch zu jung, so dass der Pilz nicht Fuß fassen konnte (BAUER, 2008). Laub, welches zum Zeitpunkt der Infektion noch sehr klein, pelzig und zusammengerollt war, hatte sich bis zur Auswertung zu gesunden Blättern entfaltet. Das Phänomen zog sich gleichmäßig über alle Varianten hin. Zudem wäre es schwierig gewesen zu entscheiden, welche Blätter zu jung für die Infektion waren und bei welchen das Mittel gewirkt hatte. Daher wurden diese Pflanzen so erfasst wie sie sich darstellten. Dies führt zu einer großen Anzahl an Nullwerten und daher auch einer hohen Standardabweichung, bildet aber dafür die Ergebnisse so realistisch wie möglich ab. Weiter ist anzumerken, dass es wegen des hohen Zeitaufwandes für die Ganzpflanzenversuche und auch aus Material- und Platzmangel nicht möglich war, mehr als zwei Wiederholungen durchzuführen. Diese Versuche müssen daher als Vorversuche gelten. Bei einer näheren Prüfung der Hopfenextraktinhaltsstoffe wäre es sicher interessant, die Versuche zur systemischen Wirksamkeit nochmals in größerem Umfang zu wiederholen. Dann könnte auch gezielt nach Hinweisen auf induzierte Resistenz wie Phytoalexine (MALACARNE ET AL., 2009) oder Genaktivierungen (HE ET AL., 2012) gesucht werden.

Die Wirkung des Hopfenextraktes als Kontaktfungizid konnte eindeutig nachgewiesen werden, und auch eine resistenzinduzierende Wirkung durch Stress wird vermutet. Eine andere Frage ist, ob die nachgewiesenen Wirkungen auch praxistauglich sind. Da selbst bei Blattscheibenversuchen, bei welchen die Mittelbenetzung ja lückenlos sein sollte, noch immer ein Befall von um die 5% vorlag, muss eine Praxistauglichkeit in der vorliegenden Form

verneint werden. Allerdings könnte Hopfenextrakt durchaus dazu dienen, Kupfer zu reduzieren, indem er in Kombination damit angewandt wird.

Da Kupfer bisher nicht durch abbaubare natürliche Substanzen ersetzbar ist, könnte so an einer Kupferreduzierung weitergearbeitet werden. Die in der Literatur geforderte Kupferreduzierung auf eine jährlich durch die Reben aufgenommene Menge (KÜHNE ET AL., 2003) erscheint allerdings sehr optimistisch. Die jährlich tatsächlich vom Feld abgefahrene und mit dem Wein verkaufte Kupfermenge bewegt sich im Grammbereich (GÄRTEL, 1985). Bei einer Verwendung des Klärschlammes in der Landwirtschaft käme selbst diese Menge letztendlich wieder auf die Flächen zurück (MADEROVA ET AL., 2011). Es kann daher nur langfristiges Ziel sein, Kupfer komplett aus der Nutzung zu nehmen. Viele Praktiker mögen an dieser Stelle einwenden, unter neutralen Bodenbedingungen und bei einem ausgeglichenen Humusanteil des Bodens, sei Kupfer unschädlich und würde fast sofort stabil im Boden gebunden (KOPITTKA ET AL., 2011; WANG ET AL., 2011 a, DELAS, 1959, 1980). Trotzdem sollte nicht vergessen werden, dass auch der größte Bodenpuffer eines Tages erschöpft ist. Selbst bei sparsamster Nutzung des Kupfers lässt sich dieser Tag nicht vermeiden, sondern nur nach hinten verschieben. Um die Entwicklung vollständig abbaubarer, auch im ökologischen Landbau verwendbaren Alternativen wird man daher nicht herumkommen. Diese Tendenz wird durch das steigende Umweltbewusstsein in der Bevölkerung zusätzlich befördert (UMWELTBUNDESAMT, 2006).

Eine Kombination von Hopfenextrakt und Kupfer führt allerdings zu einem Problem. Kupfer bildet sehr schnell und besonders mit organischen Liganden Komplexe (SCHWISTER, 2005).



Abb. 41: Kupfer-Hopfenextraktkomplexe 1

Abb. 42: Kupfer-Hopfenextraktkomplexe 2

Daher ist eine Mischung der beiden Substanzen im Spritztank oder bereits als Fungizid so nicht möglich. Selbst eine Behandlung des Weingartens mit beiden Mitteln hintereinander birgt Schwierigkeiten, da sich auch aus den Rückständen in den Schläuchen und Düsen Komplexe bilden würden. Daher müsste der Spritztank entweder mit Alkohol oder anderen starken Lösungsmitteln gereinigt, oder aber zwei gesonderte Spritzgeräte verwendet werden. Dies würde zu einem unvermeidbaren Aufwand führen. Abgesehen davon ist das mehrmalige Befahren des Weinbergs für das Bodengefüge schädlich (AHL ET AL, 2007). Es ist auch wahrscheinlich, dass sich die beiden Substanzen selbst bei getrennter Ausbringung auf dem Rebblatt sogleich wieder komplexieren würden.

Eine Möglichkeit, die Mischbarkeit herzustellen, wäre eine Verpackung des Hopfenextraktes in den kürzlich im Weinbauinstitut Freiburg entwickelten Mikrokapseln (KASSEMEIER, 2012), so dass in den Spritzgeräten keine Berührung zwischen Hopfen und Kupfer mehr stattfände. Diese würde sich aber vermutlich beim Austreten des Kupfers aus den Kapseln auf dem Blatt trotzdem einstellen. Eventuell wäre es auch möglich, die wirksamen Bestandteile des Hopfenextrakts zu isolieren und zu konzentrieren. Dadurch könnte die Wirksamkeit des reinen Extrakts erhöht und, je nach Bestandteil, vielleicht sogar eine Komplexierung vermieden werden. Zudem wäre damit ausgeschlossen, dass die Inhaltsstoffe des Extraktes schwanken (MITTER, 2012). Es wäre daher interessant festzustellen, welche Bestandteile des Hopfenextraktes die fungizide Wirkung auslösen. Sowohl die enthaltenen Säuren, als auch die

Bitterstoffe und Gerbstoffe könnten an der Stressreaktion von Zoosporen und Pflanzen beteiligt sein. Dabei stellt sich die Frage, ob der jeweilige Hopfenextrakt Gerbstoffe enthält, welche bei der Gewinnung nicht mit gelöst werden. Sie werden aber teilweise später zugesetzt (BORDE, 1989).

Die in Hopfenextrakt am gewichtigsten vertretene Substanz ist Humulon (MITTER, 2012). Diesem Stoff konnte eine mehrfache medizinische Wirksamkeit nachgewiesen werden (SCHRAMM, 1997). Da es sich um ein Harz handelt, kann auch eine antimikrobielle Wirkung erwartet werden (KASRA KERMANSHAHI ET AL., 2009). Mengenmäßig weniger bedeutend sind dagegen die ätherischen Öle. Aufgrund ihrer oft aggressiven Eigenschaften kommen diese aber durchaus für die Wirkung des Hopfenextraktes in Betracht. Einige der enthaltenen Öle wurden auch schon als Insektizide oder Insektenlockstoffe eingesetzt (DETTNER UND PETERS, 2003; BOLLI ET AL., 1992). Ebenfalls in Frage kämen die im Hopfenextrakt enthaltenen Säuren. Insbesondere für Phosphorsäure liegen ja seit längerer Zeit Belege über die Wirksamkeit gegen *Plasmopara viticola* vor (WICKS ET AL., 1991). Allerdings sind nur sehr geringe Mengen dieser Säure im Hopfenextrakt enthalten (BEHRENS, 1896). Die mengenmäßig bedeutsamere Zitronensäure (BEHRENS, 1896) wirkt antimikrobiell (SENNHENN-KIRCHNER, ET AL., 2004) und kommt daher ebenfalls als wirksame Substanz in Frage. Möglich wäre auch, dass die im Hopfenextrakt enthaltenen Polyphenole, insbesondere die Flavonoide (BORDE, 1989), eine Resistenzreaktion auslösen. Ähnliche Verbindungen werden auch bei der natürlichen Resistenzreaktion der Rebe gebildet, um Schadpilze einzudämmen (KORTEKAMP, 2001).

Da Hopfenextrakt laut Literatur (s. S. 45ff) bereits gegen einige Schadpilze und auch Insekten erfolgreich eingesetzt werden konnte, kann von einer spezifischen Wirkung gegen *Plasmopara viticola* nicht ausgegangen werden. Viel wahrscheinlicher ist, dass eine allgemeine Giftigkeit vorliegt. Dies legen auch Literaturangaben nahe, denen zufolge Hopfenextrakt auch auf Menschen eine schädliche oder zumindest reizende Wirkung haben kann (EIFLER, 1940; ŚPIEWAK ET AL., 2001; GÓRA ET AL., 2004). Bei der Verwendung des Hopfenextraktes ist daher eine gewisse Vorsicht geboten. Eine Schädwirkung für Bienen konnte zwar bis zu einer Konzentration von 100 µg/ Biene ausgeschlossen werden (FLESAR ET AL., 2010), diese Menge wäre bei einer 0,3%igen Konzentration aber eventuell erreichbar. Andererseits werden Pflanzenschutzbehandlungen eher vor Regenperioden durchgeführt, in welchen Bienen ohnehin weniger intensiv fliegen (HÄSELI UND MATASCI, 2006; MOHR,

2005). Trotzdem wäre es sicher sinnvoll, den Effekt des Hopfenextraktes auf Nützlinge noch genauer zu untersuchen. Auch Pflanzen könnten durch den Extrakt beeinflusst werden. Zwar kommt die Phytotoxizität bei Reben erst bei hohen Konzentrationen zum Tragen (LÖSCH, 2010), dies könnte aber bei Wildpflanzen anders sein. Bevor Hopfenextrakt als Pflanzenschutzmittel empfohlen werden könnte, müsste also dessen Umwelt- und Verbraucherverträglichkeit noch einmal kritisch beleuchtet werden.

Sehr erfreulich ist die Tatsache, dass Hopfenextrakt eine Wirksamkeit gegen bekreuzten Traubenwickler nachgewiesen werden konnte (GÖKÇE ET AL., 2006). In Kombination mit der, wenn auch verbesserungswürdigen, Wirksamkeit gegen *Plasmopara viticola*, könnte er damit ein sehr interessantes Rebschutzmittel abgeben. Da bereits verschiedene Fungizidwirkungen vorliegen (s. S. 45 ff), ist es auch möglich, dass sich der Extrakt zusätzlich gegen Oidium oder andere Pilzkrankheiten und Schädlinge der Rebe einsetzen lässt. Trotz aller beschriebenen Probleme ist daher festzuhalten, dass Hopfenextrakt als Rebschutzmittel sehr interessant ist und weiter erforscht werden sollte.

Das ehrgeizige Ziel, eine Ersetzbarkeit des Kupfers durch Hopfenextrakt nachzuweisen, konnte mit dieser Arbeit nicht erreicht werden. Wie auch bei den bisher untersuchten Mitteln (LA TORRE ET AL., 2007; DAGOSTIN ET AL., 2008) schwankt die Wirkung des Hopfenextraktes. Eine Verminderung der Wirkung bei hohem Befallsdruck war aber nicht feststellbar. Worauf genau diese Schwankungen zurückzuführen sind, blieb im Verlauf dieser Untersuchung unklar. Ebenfalls wie bei bisher untersuchten alternativen Mitteln (LA TORRE ET AL., 2007; DAGOSTIN ET AL., 2008) war die Wirkung zu gering, um praxistauglich zu sein. Bei der Literaturstudie entstand allerdings der Eindruck, es hätten zwar zahlreiche Mittelscreenings stattgefunden, eine weitere Beschäftigung mit isolierten Inhaltsstoffen oder neuen Formulierungen habe sich aber in vielen Fällen nicht angeschlossen (s. S. 36ff). Möglicherweise waren die Effekte doch geringer als angegeben, oder aber es standen keine Geldmittel mehr zur Verfügung - über die Gründe kann hier nur spekuliert werden. Eine solche Untersuchung der bisher als vielversprechend bezeichneten Mittel, ihrer Inhaltsstoffe und Kombinationen könnte aber eine Lösung für das Problem des Kupferersatzes sein. Die Autorin sieht an dieser Stelle Handlungsbedarf.

## 6. Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit ergab, dass in Österreich und Deutschland sehr viel Kupfer Verwendung findet. Eingesetzt wird es vor allem zur Abschluss-spritzung. In Südafrika hingegen spielt der Kupfereinsatz keine Rolle. Der in Europa höhere Kupfergebrauch könnte auf den hiesigen höheren Anteil der ökologischen Landwirtschaft, sowie die traditionelle Verwendung des Kupfers als Resistenzbrecher zurückzuführen sein. Viele Betriebe schätzen das bei der Abschluss-spritzung ausgebrachte Kupfer auch als einen Ersatz der Kupferschönung im Wein. Durch den Kupfereinsatz entstandene Schäden hingegen spielen für den Praktiker scheinbar keine Rolle. Trotzdem legt eine Beschäftigung mit der Literatur nahe, dass solche Schäden in einem für die Umwelt relevanten Maß auftreten. Daher kann nur der vollständige Ersatz des Kupfers langfristiges Ziel sein.

Es konnte eine Kontaktwirkung des Hopfenextraktes auf die Zoosporen von *Plasmopara viticola* nachgewiesen werden. Diese steigert sich mit einer längeren Einwirkzeit. Dies lässt darauf schließen, dass der Extrakt von den Zoosporen aufgenommen und verarbeitet werden muss, ehe er wirksam werden kann. Für die Kontaktwirksamkeit des Kupfers konnte zusätzlich ein Anstieg mit steigender Temperatur nachgewiesen werden. Es wird daher vermutet, dass die Zoosporen eine aktive Rolle bei der Aufnahme des Kupfers spielen. 1 mg Kupfer/l wurde als eine Konzentration ermittelt, welche bei allen Temperaturen zuverlässig zum Absterben der Zoosporen führt.

Bei Versuchen auf Pflanzenteilen oder Pflanzen, reichte die Wirksamkeit des Hopfenextraktes nicht an die der Kontrollmittel heran. Möglicherweise wird der Hopfenextrakt vom Blattgewebe aufgenommen und kommt so nicht mehr ausreichend mit den Zoosporen in Berührung. Die kontaktfungizide präventive Wirkung war trotzdem deutlich signifikant. Bei einer Infektion einen Tag nach der Behandlung, nahm die Wirkung des Hopfenextrakts stark ab. Sie war in diesem Falle nicht mehr signifikant. Eine kurative oder translaminare Wirkung konnte nicht nachgewiesen werden. Offensichtlich wurde der Extrakt mit dem Eindringen in das Blatt wirkungslos und konnte daher bereits eingedrungenes Pilzgewebe nicht schädigen.

Interessant ist, dass der Hopfenextrakt an Topfpflanzen zwar die Befallsstärke, nicht aber die Befallshäufigkeit senken konnte. Zudem lag eine signifikante systemische Wirksamkeit vor. Dies ließ die Induktion einer Resistenz durch den Hopfenextrakt vermuten. Die systemische

Wirksamkeit ließ bei einem Tag Mitteleinwirkzeit nach, was eher für eine stressbedingte als für eine spezifische Resistenz spricht. Daher wurde vermutet, dass Hopfenextrakt durch seine Phytotoxizität eine Stressreaktion auslösen und damit eine allgemeine Resistenz induzieren kann. Diese Theorie wurde dadurch unterstützt, dass der Extrakt bei einer 0,3%igen Konzentration besser wirkte als bei einer 0,35%igen, eventuell kommt die Phytotoxizität in höherer Konzentration bereits negativ zum Tragen. Das Fehlen einer translaminaeren oder kurativen Wirkung führte zu dem Schluss, für eine Resistenz sei die Anwesenheit einer ganzen Pflanze notwendig. Dies lässt eine Aktivierung von Resistenzgenen vermuten.

Die Wirkungen des Hopfenextraktes gegen *Plasmopara viticola* sind zwar signifikant, aber in dieser Form noch nicht praxistauglich. Dies hat mehrere Gründe: Einmal ist die Wirkung noch nicht mit der traditioneller Pflanzenschutzmittel zu vergleichen. Ein Restbefall von 5% ist bei einer Epidemie, welche sich aus kleinen Befallsstellen aufschaukelt, nicht tragbar. Zudem schwanken die Wirkungen des Hopfenextraktes teilweise stark. Damit steht er in guter Tradition zu den meisten der laut Literatur bisher untersuchten Mineralien, Pflanzenextrakten und Pflanzenstärkungsmitteln. Ein weiterer Grund für die beschränkte Praxistauglichkeit ist der schnelle Leistungsabfall nach nur einem Tag Einwirkzeit. In der Praxis sind Prognosen, welche die *Plasmopara viticola*-Infektion auf einen Tag genau sicher voraussagen, nur schwer zu bekommen. Auch eine Kombination von Kupfer und Hopfenextrakt birgt Schwierigkeiten, da Kupfer sehr schnell bereit ist, Komplexe zu bilden. Die beiden Mittel würden sich daher gegenseitig wirkungslos machen. Eine mögliche Lösung könnte sein, die wirksamen Inhaltsstoffe des Hopfenextraktes zu bestimmen und zu konzentrieren. So könnte die Wirksamkeit gesteigert und eventuell einer Komplexierung durch das Kupfer vorgebeugt werden. Als mögliche aktive Ingredienzien wurden Humulon, ätherische Öle, Poliphenole, Phosphorsäure oder Zitronensäure vermutet.

Ein weiteres Problem könnte die Breitenwirksamkeit des Hopfenextraktes sein. Diese könnte sich auf Bienen, Nützlinge, seltene Wildpflanzen oder auch den Anwender negativ auswirken. Die Umweltverträglichkeit des Hopfenextraktes sollte daher noch einmal überprüft werden. Gerade diese Breitenwirksamkeit macht Hopfenextrakt aber auch zu einer solch interessanten Alternative im Rebschutz. Eine Wirkung gegen Traubenwickler ist nachgewiesen, weitere fungizide und insektizide Wirkungen werden vermutet.

Die Forschungsfragen der Arbeit konnten mit Hilfe der Ergebnissen beantwortet werden. Kupfer ist noch immer ein wichtiges Fungizid gegen *Plasmopara viticola* in Österreich und Deutschland. Seine Schädlichkeit ist erwiesen und es sollte schnellstmöglich durch andere umweltunschädliche Alternativen ersetzt werden. Hopfenextrakt eignet sich grundsätzlich für die Bekämpfung von *Plasmopara viticola* im Weinbau, stellt aber auf Grund verschiedener Probleme noch keinen praxistauglichen Ersatzstoff für Kupfer dar. Auf Grund verschiedener vielversprechender Eigenschaften, sollte Hopfenextrakt aber trotz aller genannten Schwierigkeiten unbedingt weiter untersucht werden.

## 7. Abstract

Since the pathogen *Plasmopara viticola* came from the US to Europe in 1878, it is one of the most serious pathogens of European grapevine. The first effective fungicide against it was copper hence it was in excessive use for a long time. For the reason that copper is very immobile in the soil, it started to accumulate and cause serious environmental problems. Unfortunately, copper is still an essential fungicide in the ambitious sector of organic winery. Because of this, many projects has been started to find new fungicides compatible with the concept of organic farming. Nevertheless, the effects of the detected agents are too small or untrustworthy, to fully replace copper.

In tradition of these efforts, the present study tries to answer the question, if hop- extract (*Humulus lupulus*) could be an effective fungicide against *Plasmopara viticola*. In the experiments, hop- extract on different extract concentrations was used on Zoospores of *Plasmopara viticola* and the reaction of these Zoospores was observed under the microscope. Afterwards, *Plasmopara viticola*- infected grape-leaf disks, young leafs and plants were treated with hop- extract. Additional to the laboratory work, a small survey was made. It was checked whether copper is really still such an important fungicide as it says in literature. For this purpose, winegrowers in Austria, Germany and South- Africa were polled.

It could be showed that the use of copper is still important in Austria and Germany, but not in South Africa. The winegrowers of the two European countries use copper especially as the last treatment of the year. The hop- extract showed a good effect on Zoospores of *Plasmopara viticola* under the microscope. On leaf disks the effects were smaller; it seems the extract is absorbed by the leaf- tissue. A missing curative or translaminar effect of hop- extract affirms this theory. On potted plants, the *Plasmopara viticola* infection could also be lowered and a systemic effect could be proved. It is remarkable that in all treatments with potted plants the disease incidence, in contrast to the disease severity, was nearly not decreased by hop- extract. This leads to the assumption that hop- extract has a resistance- inducing effect through its phytotoxic effects. The ineffectiveness of hop- extract on leaves indicates that the resistance might be caused by activating resistance genes only in whole plants.

Following the laboratory results, hop- extract is not effective and trustworthy enough to be a replacement of copper in organic winegrowing. It could be used as an addition, but there

would still be one more problem to solve: copper is complexing the hop- extract. It cannot be mixed without cementing the spraying- tools. One solution could be to isolate and concentrate the effective components of hop- extract. Perhaps this could increase its affectivity or make it compatible with copper. Also the exact mode of functioning in terms of the induction of resistance need a continuative ascertainment, at best includes an analysis of resistant genes. However, hop- extract is a really interesting agent as an organic wine- fungicide and should be further ascertained.

## 8. Zusammenfassung

Seit der Schadpilz *Plasmopara viticola* 1878 aus den USA nach Europa eingeschleppt wurde, zählt er zu den schädlichsten Pathogenen der europäischen Reben. Als erstes dagegen wirksames Fungizid wurde Kupfer entdeckt, weshalb dieses lange exzessiv genutzt wurde. Da Kupfer im Boden stark festgelegt wird, akkumulierte es sich und wurde zu einem ernsthaften Umweltproblem. Im aufstrebenden Sektor des ökologischen Weinbaus ist Kupfer noch immer unverzichtbar. Daher wurden viele Projekte durchgeführt, um neue, mit dem ökologischen Weinbau kompatible Fungizide zu finden. Bisher sind diese Bemühungen aber noch nicht von Erfolg gekrönt.

In Tradition dieser Bemühungen versucht die vorliegende Arbeit die Frage zu beantworten, ob Hopfenextrakt (*Humulus lupulus*) ein effektives Fungizid gegen *Plasmopara viticola* darstellen könnte. Dafür wurden Zoosporen von *Plasmopara viticola* verschiedenen Hopfenextraktkonzentrationen ausgesetzt und unter dem Mikroskop beobachtet. Anschließend wurden *Plasmopara viticola*-infizierte Blattscheiben, Blätter und Topfpflanzen mit Hopfenextrakt behandelt. Zusätzlich zu den Laboruntersuchungen wurde eine kleine Umfrage durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob Kupfer im Weinbau noch immer die Bedeutung zukommt, welche ihm in der Literatur zugeschrieben wird. Dafür wurden Weinbauern in Österreich, Deutschland und Süd- Afrika befragt.

Mittels der Umfrage konnte gezeigt werden, dass der Kupfergebrauch in Österreich und Deutschland bedeutend ist, nicht aber in Süd-Afrika. Die Winzer der beiden europäischen Länder verwenden Kupfer besonders zur Abschlussspritzung. Im Labor konnte eine hochsignifikante Wirkung des Hopfenextraktes bei direkter Anwendung auf Zoosporen von *Plasmopara viticola* belegt werden. Auf Blattscheiben waren die Effekte geringer, der Extrakt

scheint vom Blattgewebe aufgenommen zu werden. Eine fehlende kurative oder translaminare Wirkung bestätigt diese Theorie. An Topfpflanzen konnte der Befall ebenfalls gesenkt werden. Zusätzlich war es möglich, eine systemische Wirkung zu belegen. Interessanterweise wurde die Befallshäufigkeit im Gegensatz zur Befallsstärke nicht gesenkt. Dies legt den Schluss nahe, dass Hopfenextrakt durch seine phytotoxischen Effekte eine resistenzinduzierende Wirkung hat. Die fehlende Wirkung auf Blättern deutet darauf hin, dass die Resistenz durch Resistenzgene ausgelöst wird, was lediglich in ganzen Pflanzen möglich wäre.

Aufgrund der Ergebnisse muss gesagt werden, dass Hopfenextrakt nicht wirkungsvoll und zuverlässig genug ist, um als Kupferersatz zu dienen. Er könnte aber als Kupferergänzung die benötigte Kupfermenge weiter senken. Zuvor müsste aber noch ein Problem gelöst werden: Kupfer wird durch Hopfenextrakt komplexiert, so dass eine Mischung der beiden Wirkstoffe die Spritzgeräte verkleben würde. Eine Lösungsmöglichkeit wäre die Isolierung der wirksamen Bestandteile des Hopfenextraktes. Dies könnte seine Effektivität steigern oder eine Mischung mit Kupfer ermöglichen. Auch die Vorgänge der Resistenzinduktion sollten noch genauer geprüft werden, idealerweise unter Einbeziehung einer Resistenzgenanalyse. Trotz der beschriebenen Probleme ist Hopfenextrakt eine vielversprechende Substanz für den Weinbau und sollte weiter untersucht werden.

## 9. Literaturverzeichnis

### Textquellen

AGRICOS, G., N.; 2005: Plant Pathologie, 5. Auflage. Verlag Elsevier Academic Press, Burlington, USA.

AHL, CHR.; BECKER, K., W.; JÖRGENSEN, R., G.; WILDHAGEN, H.; 2007: Aspekte und Grundlagen der Bodenkunde, 33. Auflage. Eigenverlag, Göttingen und Witzenhausen.

ALONSO-VILLAVERDE, V.; VOINESCO, F.; VIRET, O.; SPRING, J.-L.; GINDRO, K.; 2011 a: The effectiveness of stilbenes in resistant Vitaceae: Ultrastructural and biochemical events during *Plasmopara viticola* infection process. In: Plant Physiology and Biochemistry, Volume 49, Issue 3, March 2011, Pages 265-274.

ALONSO-VILLAVERDE, V.; VIRET, O.; GINDRO, K.; 2011 b: Downy mildew: Is resistance linked to inoculum concentration?. In: Vitis – Journal of Grapevine Research, Volume 50, Issue 3, 2011, Pages 127-129.

AL-REASI, H.A.; SCOTT SMITH, D.; WOOD, C.,M.; 2011: Evaluating the ameliorative effect of natural dissolved organic matter (DOM) quality on copper toxicity to *Daphnia magna*: improving the BLM. In: Ecotoxicology, 2011, Pages 1-14, Article in press.

ALSOP, D.; WOOD, C.,M.; 2011: Metal uptake and acute toxicity in zebrafish: Common mechanisms across multiple metals. In: Aquatic Toxicology, Volume 105, Issue 3-4, October 2011, Pages 385-393.

ANDREAZZA, R.; PIENIZ, S.; OKEKE, B.C.; CAMARGO, F.A.O, 2010: Evaluation of copper resistant bacteria from vineyard soils and mining waste for copper biosorption. In: Brazilien journal of Microbiology 2011, 42, S. 66- 74, ISSN 1517-8382.

ARENT, HEINZ; 1960: Vegetationsversuche zur Wirkung von Blei, Germanium, Kupfer und Zink in Müll- und Müllklärschlammkomposten. Dissertation der

Rheinischen Friedrich Willhelm Universität, Bonn.

ASHIDA, JOJI; HIGASHI, NOBORU; KIKUCHI, TADATOSHI, 1962: An Electronmicroscopic Study on Copper Precipitation by Copper-resistant Yeast Cells. Botanical department Kyoto University, Kyoto, Japan.

AUBERT, H. UND PINTA, M.; 1977: Trace elements in soils. Developments in soil science 7. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam- New York- Oxford.

Aziz, A.; POINSSOT, B.; DAIRE, X.; ADRIAN, M.; BÉZIER, A.; LAMBERT, B.; JOUBERT, J.-M.; PUGIN, A.; 2003: Laminarin Elicits Defense Responses in Grapevine and Induces Protection Against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. The American Phytopathological Society, St. Paul, USA.

Aziz, A.; TROTEL-AZIZ, P.; DHUICQ, L.; JEANDET, P.; COUDERCHET, M.; VERNET, G.; 2006: Chitosan oligomers and copper sulfate induce grapevine defense reactions and resistance to gray mold and downy mildew. Université de Reims, Frankreich.

BASLER, P.; 2002: Pilzwiderstandsfähige Rebsorten als Mittel zur Verminderung der Kupfer- Anwendung. Wädenswil, Schweiz.

BÄBLER, M. (Hrsg.); JÄGER, E., J.; WERNER, K.; 1999: Rothmaler- Exkursionsflora von Deutschland- Gefäßpflanzen: Grundband. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg- Berlin.

BAUER, K.; 2008: Weinbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien.

BEHRENS, J.; 1896: Studien über die Konservierung und Zusammensetzung des Hopfenextrakts. Verlag Paul Parey, Berlin.

BELADI, M.; KASHANI, A.; HABIBI, D.; PAKNEJAD, F.; GOLSHAN, M.; 2011: Uptake and effects of lead and copper on three plant species in contaminated soils: Role of phytochelatin. In: African Journal of Agricultural Research, Volume 6, Issue 15, Pages 3483-3492.

BELLIN, D.; PERESSOTTI, E.; MERDINOGLU, D.; WIEDEMANN-MERDINOGLU, S.; ADAM-BLONDON, A.-F.; CIPRIANI, G.; MORGANTE, M.; TESTOLIN, R.; DI GASPERO,

G.; 2009: Resistance to *Plasmopara viticola* in grapevine 'Bianca' is controlled by a major dominant gene causing localised necrosis at the infection site. In: Theoretical and Applied Genetics, Volume 120, Issue 1, Pages 163-176.

BLAESSER, M.; 1978: Untersuchungen zur Epidemiologie und Bekämpfung des falschen Mehltaus der Weinrebe, verursacht durch *Plasmopara viticola* (Berk.&Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni. Dissertation der Universität Bonn.

BLASI, P.; BLANC, S.; WIEDEMANN-MERDINOGLU, S.; PRADO, E.; RÜHL, E.,H.; MESTRE, P.; MERDINOGLU, D.; 2011: Construction of a reference linkage map of *Vitis amurensis* and genetic mapping of Rpv8, a locus conferring resistance to grapevine downy mildew. In: Theoretical and Applied Genetics, Volume 123, Issue 1, Pages 43-53.

BLEYER, G.; HUBER, B.; STEINMETZ, V.; KASSEMAYER, H.-H.; 2003: Growth-models, a tool to define spray intervals against downy mildew (*Plasmopara viticola*). In: Proceedings of the Meeting Compte Rendu de la Réunion, IOBC / WPRS Working Group "Integrated Protection and Production in Viticulture". Volos, Griechenland.

BLEYER, G.; 2008: Die Peornospora- Prognose wird immer wieder verbessert. In: Der badische Winzer. [https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1223273\\_11/WBI\\_Die%20Peronospora-Prognose%20wird%20wieder%20verbessert.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1223273_11/WBI_Die%20Peronospora-Prognose%20wird%20wieder%20verbessert.pdf), letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

BOLLI, S.; BOGDANOV, A.; IMDORF, P., FLURI, 1992: Zur Wirkungsweise von Ameisensäure bei *Varroa jacobsoni* Oud und der Honigbiene (*Apis mellifera* L). <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/revistaselectronicas/apidologie/24-1/06.pdf>, letzte Einsicht: 12. 4. 2012.

BORDE, K.; CHEVOIKA, C.; PETERMANN, J.; SCHMIDT, U.; 1989: Hopfenextrakt. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

BORTOLOTTI, P.P; NANNINI, R.; SCANNAVINI, M.; ANTONIACCI, L.; BUGIANI, R., 2008: Efficacy Evaluation of Some Copper Formulations for the Control of Grapevine Downy Mildew with Low Dose Applications. 16. IFOAM Organic

World Congress, Modena, Italien.

BOSO, S. UND KASSEMAYER, H.,H.; 2008: Different susceptibility of European grapevine cultivars for downy mildew. In: *Vitis - Journal of Grapevine Research*, Volume 47, Issue 1, Pages 39-49.

BOSO, S.; ALONSO-VILLAVARDE, V.; SANTIAGO, J., L.; GAGO, P.; DÜRRENBERGER, M.; DÜGGELIN, M.; KASSEMAYER, H.-H.; MARTINEZ, M., C.; 2010: Macro- and microscopic leaf characteristics of six grapevine genotypes (*Vitis* spp.) with different susceptibilities to grapevine downy mildew. In: *Vitis - Journal of Grapevine Research*, Volume 49, Issue 1, Pages 43-50.

BOSO, S.; ALONSO-VILLAVARDE, V.; GAGO, P.; SANTIAGO, J., L.; MARTÍNEZ, M., C.; 2011: Susceptibility of 44 grapevine (*Vitis vinifera* L.) varieties to downy mildew in the field. In: *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Volume 17, Issue 3, Pages 394-400.

BRIX, K., V.; DEFOREST, D., K.; ADAMS, W., J.; 2011: The sensitivity of aquatic insects to divalent metals: A comparative analysis of laboratory and field data. In: *Science of the Total Environment*, Volume 409, Issue 20, Pages 4187-4197.

BRUN, L.A.; LE CORFF, J.; MAILLET, J. 2002: Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. Montpellier, Frankreich.

BUCHAUER, M., J.; 1973: Contamination of soil and vegetation near a zinc smelter by zinc, cadmium, copper and lead. In: *Environ. Sci. Technol.* 7, pages 131- 135.  
Zitiert nach: WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität Bonn.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT; ohne Jahrgang: Pflanzenstärkungsmittel.

[http://www.bvl.bund.de/DE/04\\_Pflanzenschutzmittel/01\\_Aufgaben/04\\_Pflanzenstaerkungsmittel/psm\\_Pflanzenstaerkungsmittel\\_node.html#doc1486990bodyText3](http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/04_Pflanzenstaerkungsmittel/psm_Pflanzenstaerkungsmittel_node.html#doc1486990bodyText3),

letzte Einsicht: 18. 4. 2012.

BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (BBodSchV); 12.07.1999.  
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf>, letzte  
Einsicht: 19. 4. 2012.

CACHADA, A.; PEREIRA, M., E.; FERREIRA DA SILVA, E.; DUARTE, A., C.; 2012:  
Sources of potentially toxic elements and organic pollutants in an urban area  
subjected to an industrial impact. In: Environmental Monitoring and Assessment,  
Volume 184, Issue 1, Pages 15-32.

CADLE-DAVIDSON, L.; 2008: Variation within and between *Vitis* spp. for foliar  
resistance to the downy mildew pathogen *Plasmopara viticola*. In: Plant Disease,  
Volume 92, Issue 11, Pages 1577-1584.

CAIN, D.; CROTEAU, M.-N.; LUOMA, S.; 2011: Bioaccumulation dynamics and  
exposure routes of Cd and Cu among species of aquatic mayflies. In: Environmental  
Toxicology and Chemistry, Volume 30, Issue 11, Pages 2532-2541.

CALISI, A.; LIONETTO, M., G.; SANCHEZ-HERNANDEZ, J., C.; SCHETTINO, T.; 2011:  
Effect of heavy metal exposure on blood haemoglobin concentration and  
methemoglobin percentage in *Lumbricus terrestris*. In: Ecotoxicology, Volume 20,  
Issue 4, June 2011, Pages 847-854.

CASAGRANDE, K.; FALGINELLA, L.; CASTELLARIN, S., D.; TESTOLIN, R.; DI  
GASPERO, G.; 2011: Defence responses in Rpv3-dependent resistance to grapevine  
downy mildew. In: *Planta*, Volume 234, Issue 6, Pages 1097-1109.

CHEN, W.-Y.; LIN, C.-J.; JU, Y.-R.; TSAI, J.-W.; LIAO, C.-M.; 2011: Assessing the  
effects of pulsed waterborne copper toxicity on life-stage tilapia populations. In:  
*Science of the Total Environment*, Article in press.

COHEN, YIGAL, R.; 2002:  $\beta$ -Aminobutyric Acid-Induced Resistance Against Plant  
Pathogens. Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israel.

DAGOSTIN, S.; FORMOLO, T.; PERTOT, I.; 2008: Replacement of copper in organic  
viticulture: efficacy evaluation of new natural fungicides against downy mildew.

Michele all'Adige, Italy.

DAGOSTIN, S.; SCHÄRER, H.-J.; PERTOT, I.; TAMM, L.; 2011: Are there alternatives to copper for controlling grapevine downy mildew in organic viticulture? In: Crop Protection, Volume 30, pages 776-788.

DEGLÈNE-BENBRAHIM, L.; WIEDEMANN-MERDINOGLU, S.; MERDINOGLU, D.; WALTER, B.; 2010: Evaluation of downy mildew resistance in grapevine by leaf disc bioassay with in vitro- and greenhouse-grown plants. In: American Journal of Enology and Viticulture, Volume 61, Issue 4, Pages 521-528.

DELAS, J.; DELMAS, J.; RIVES, M.; BANDEL, C.; 1959: Toxité du cuivre dans les sols viticoles du sud-ouest atlantique. In: Wein Wiss., Ausgabe 16, Seite 30. Zitiert nach: WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität Bonn.

DELAS, J.; 1980: Copper toxicity in viticultural soils. In: L'Hermite, P., Dehandsutter, J., (ed.). Copper in animal wastes and sewage sludge. Proc. EEC 128orkshop Inst. Nat. Recherche Agronomique, Bordeaux. Seiten 136- 143. Zitiert nach: WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität Bonn.

DENZER, H., 1991: Resistenz von Rebsorten gegen *Plasmopara viticola*. Dissertation der Justus- Liebig Universität, Gießen.

DERCKX, W. UND CREASY, L., L.; 1989: The significance of stilbene phytoalexins in the *Plasmopara viticola*-grapevine interaction. Cornell University, Ithaca, USA

DETTNER, K. UND PETERS, W. (Hrsg.); 2003: Lehrbuch der Entomologie, Teil 1, 2. Auflage. Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg.

DÍEZ-NAVAJAS, A., M.; WIEDEMANN-MERDINOGLU, S.; GREIF, C.; MERDINOGLU, D.; 2008: Nonhost versus host resistance to the grapevine downy mildew, *Plasmopara*

viticola, studied at the tissue level. In: *Phytopathology*, Volume 98, Issue 7, Pages 776-780.

DRUART, C.; SCHEIFLER, R.; MILLET, M.; DE VAUFLEURY, A.; 2012: Landsnail eggs bioassays: A new tool to assess embryotoxicity of contaminants in the solid, liquid or gaseous phase of soil. In: *Applied Soil Ecology*, Volume 53, Issue 1, Pages 56-64 .

EIFLER, O.; 1940: Das Schrifttum über die physiologischen Wirkungen des Hopfenextrakts. Verlag Gesellschaft für die Geschichte und Bibliographie des Brauwesens e. V., Berlin.

ELSTNER, E., T.; OBWALD, W., SCHNEIDER, I.; 1996: *Phytopathologie- Allgemeine und biochemische Grundlagen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

EU (Hrsg.); 2010: *Landwirtschaft und ländl. Entwicklung. Die aktuelle Situation des Weinsektors in der Europäischen Union*.

[http://ec.europa.eu/agriculture/markets/wine/facts/production2010\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/markets/wine/facts/production2010_fr.pdf)., letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

FAN, J.; HE, Z.; MA, L., Q.; NOGUEIRA, T., A., R.; WANG, Y.; LIANG, Z.; STOFFELLA, P., J.; 2012: Calcium water treatment residue reduces copper phytotoxicity in contaminated sandy soils. In: *Journal of Hazardous Materials*, Volume 199-200, Pages 375-382 .

FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; ARIAS-ESTÉVEZ, M.; DÍAZ-RAVIÑA, M.; BÅÅTH, E.; 2011: Bacterial pollution induced community tolerance (PICT) to Cu and interactions with pH in long-term polluted vineyard soils. In: *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 43, Issue 11, Pages 2324-2331.

FISCHER, B.; 2005: *Genetische Kartierung und QTL-Analyse agronomischer Eigenschaften der Weinrebe unter besonderer Berücksichtigung der Pilzresistenz*. Dissertation der Johannes Gutenberg – Universität, Mainz.

FLESAR, J.; HAVLIK, J.; KLOUCEK, P.; RADA, V.; TITERA, D.; BEDNAR, M.;

STROPNICKY, M.; KOKOSKA, L.; 2010: In vitro growth-inhibitory effect of plant-derived extracts and compounds against *Paenibacillus* larvae and their acute oral toxicity to adult honey bees. In: *Veterinary Microbiology*, Volume 145, Issue 1-2, Pages 129-133.

GÄRTEL, W.; 1985: Belastung der Weinbergböden durch Kupfer. *Ber. Landw. Sonderh.* 198, Pflanzenschutzmittel und Boden. Verlag Parey, Hamburg- Berlin, Seite 123- 133. Zitiert nach: WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität, Bonn.

GEHMANN, K.; 1987: Untersuchungen zur Epidemiologie des falschen Mehltaus der Weinrebe, *Plasmopara viticola* (Berk.&Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni. Dissertation der Universität Bonn.

GESSLER, C.; RUMBOU, A.; GOBBIN, D.; LOSKILL, B.; PERTOT, I.; RAYNAL, M.; JERMINI, M.; 2003: A change in our conception of the life cycle of *Plasmopara viticola*: Oosporic infections versus asexual reproduction in epidemics. In: *Proceedings of the Meeting Comptes Rendus de la Réunion, IOBC / WPRS Working Group "Integrated Protection and Production in Viticulture"*. Volos, Griechenland.

GOBBIN, D.; JERMINI, M.; LOSKILL B.; PERTOT, I.; RAYNAL, M.; UND GESSLER, C.; 2005: Importance of secondary inoculum of *Plasmopara viticola* to epidemics of grapevine downy mildew. In: *Plant Pathology*, Volume 54, Pages 522–534.

GÖKÇE, A.; STELINSKI, L., L.; WHALON, M., E.; 2005: Behavioral and electrophysiological responses of leafroller moths to selected plant extracts. In: *Environmental Entomology*, Volume 34, Issue 6, Pages 1426-1432.

GÖKÇE, A.; STELINSKI, L., L.; ISAACS, R.; WHALON, M., E.; 2006: Behavioural and electrophysiological responses of grape berry moth (*Lep.*, Tortricidae) to selected plant extracts. In: *Journal of Applied Entomology*, Volume 130, Issue 9-10, Pages 509-514.

GÖKÇE, A.; WHALON, M., E.; ÇAM, H.; YANAR, Y.; DEMİRTAŞ, I.; GOREN, N.; 2007: Contact and residual toxicities of 30 plant extracts to Colorado potato beetle larvae. In: Archives of Phytopathology and Plant Protection, Volume 40, Issue 6, Pages 441-450.

GÖKÇE, A.; ISAACS, R.; WHALON, M., E.; 2011: Ovicidal, larvicidal and anti-ovipositional activities of *Bifora radians* and other plant extracts on the grape berry moth *Paralobesia viteana* (Clemens). In: Journal of Pest Science, Volume 84, Issue 4, Pages 487-493.

GÖKÇE, A.; ISAACS, R.; WHALON, M., E.; 2012: Dose-response relationships for the antifeedant effects of *Humulus lupulus* extracts against larvae and adults of the Colorado potato beetle. In: Pest Management Science, Volume 55, Issue 12, Pages 476-481.

GÓRA, A.; SKÓRSKA, C.; PRAZMO, Z.; KRYSIŃSKA-TRACZYK, E.; SITKOWSKA, J.; DUTKIEWICZ, J.; 2004: Exposure to bioaerosols: Allergic reactions and respiratory function in Polish hop growers. In: American Journal of Industrial Medicine, Volume 46, Issue 4, Pages 371-374.

GUO, G.; YUAN, T.; WANG, W.; LI, D.; WANG, J.; 2011: Effect of aging on bioavailability of copper on the fluvo aquic soil. In: International Journal of Environmental Science and Technology, Volume 8, Issue 4, Pages 715-722.

HARM, A.; 2005: Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln gegen den Falschen Mehltau der Rebe (*Plasmopara viticola* (de Bary) Berl. & de Toni.). Diplomarbeit der Universität für Bodenkultur, Wien.

HÄSELI, A. (Hrsg.); TAMM, L.; AMSLER, T.; LÉVITE, D.; SCHÄRER, H.- J.; 2006: Rückblick und Erkenntnisse aus der Pflanzenschutzsaison 2005 und Resultate aus der Mittelprüfung. In: FIBL Fachtagung Biorebbau 2006, Olten.

HÄSELI, A. (Hrsg.) UND MATASCI, C.; 2006: Neue Erkenntnisse zur Biologie von *Plasmopara viticola*: Auswirkung auf die Bekämpfungsstrategie. In: FIBL Fachtagung Biorebbau 2006, Olten.

HE, M.; XU, Y., CAO, J.; ZHU, Z., JIAO, Y.; WANG, Y., GUAN, X.; YANG, Y., XU, W.; FU, Z.; 2012: Subcellular localization and functional analyses of a PR10 protein gene from *Vitis pseudoreticulata* in response to *Plasmopara Viticola* infection. In: *Protoplasma*, Pages 1-12. Article in press.

HEIBERTSHAUSEN, D.; BAUS-REICHEL, O.; HOFMANN, U.; KOGEL, K.-H.; BERKELMANN-LOEHNERTZ, B.; 2007: Using Copper in Organic Viticulture: Doing it best with less?. 3. QLIF Congress, Hohenheim, Deutschland.

HILL, G.; 1990: Das Peronospora- Risikoprognosemodell Oppenheim (PRO) im Praxistest. In: *Der deutsche Weinbau* 45, Seite 514- 517. Zitiert nach: REDL; RUCKENBAUER; TRAXLER; 1995: *Weinbau heute*, 3. neu bearbeitete Auflage. Leopold Stocker Verlag, Graz.

HILLEBRAND, W.; LORENZ, D.; LOUIS, F.; 1998: *Rebschutz- Taschenbuch*, 11. Auflage. Fachverlag Fraund, Mainz.

HOANG, T., C.; PRYOR, R., L.; RAND, G., M.; FRAKES, R., A.; 2011: Bioaccumulation and toxicity of copper in outdoor freshwater microcosms. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 74, Issue 4, Pages 1011-1020.

HOFMANN, U.; 2003 a: Kupfer und Weinbau, Kupferreduzierung und Kupferersatz im Ökologischen Weinbau - Ergebnisse aus dem BÖW – Ringversuch. In: KÜHNE, S. UND FRIEDRICH, B., BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG (Hrsg.): *Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel*. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

HOFMANN, U.; 2003 b: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02OE516- Praxisüberprüfung und Optimierung von Peronospora- und Oidiumbekämpfungsmaßnahmen im ökologischen Weinbau- Alternativen zum Einsatz von Kupfer und Schwefel. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Geisenheim.

HOFMANN, U.; HEIBERTSHAUSEN, D.; BAUS-REICHEL, O.; BERKELMANN-LOEHNERTZ, B.; 2008: Optimisation of downy mildew (*Plasmopara viticola*) control in organic viticulture with low copper doses and new formulations, results of four

years of on farm research. 16<sup>th</sup> IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.

HOFMANN, U. UND WILLER, H.; 2010: Biowein in Europa: Trends und Entwicklungen am Weinmarkt. Vortrag at: BioFach 2010, Germany, Nuremberg, 17. – 20.02.2010. <http://orgprints.org/18207/>, letzte Änderung: 23 Feb 2011 13:38, letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

HOLMSTRUP, M.; HORNUM, H., D.; 2012: Earthworm colonisation of abandoned arable soil polluted by copper. In: *Pedobiologia*, Volume 55, Issue 1, Pages 63-65.

HORNBURG, V.; 1991: Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Cadmium, Zink, Mangan, Blei und Kupfer in Böden. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität, Bonn.

JACKSON, R., S.; 2000: Wine Science. Principles, Practice, Perception, 2. Auflage. Verlag Academic Press, London, San Diego.

JÄGER, E., J.; 2011: Rothmaler- Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen Grundband, 20. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

JERMINI, M.; BLAISE, P.; GESSLER, C.; 2003: Response of the grapevine growth and yield quantity to the application of a minimal fungicide strategy for the control of the downy mildew (*Plasmopara viticola*). In: Proceedings of the Meeting Comptes Rendu de la Réunion, IOBC / WPRS Working Group “Integrated Protection and Production in Viticulture”. Volos, Griechenland.

JEYAKUMAR, P.; LOGANATHAN, P.; SIVAKUMARAN, S.; ANDERSON, C., W., N.; MCLAREN, R., G; 2010: Bioavailability of copper and zinc to poplar and microorganisms in a biosolids-amended soil. In: *Australian Journal of Soil Research*, Volume 48, Issue 5, Pages 459-469.

KADISCH, E.; 1986: Der Winzer 1. Weinbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

KASRA KERMANSHAHI, R.; NASR ESFAHANI, B.; ESMI SERKANI, J.; ASGHARI, GHR.; POUR BABAIE, A., A.; 2009: The study of antibacterial effect of *Humulus lupulus* on some of gram positive & gram negative bacteria. In: *Journal of Medicinal Plants*,

Volume 8, Issue 30, Pages 92-97+164.

KASSEMEIER, H.- H.; 2012 mündliche Mitteilung. Weinbauinstitut Freiburg.

KAST, W., K.; 1991: Stufenweise Risiko- Analyse- SRA. In: Rebe & Wein 44, Seite 220- 223. Zitiert nach: REDL; RUCKENBAUER; TRAXLER; 1995: Weinbau heute, 3. Auflage. Leopold Stocker Verlag, Graz.

KAST, W., K.; 2002: Adcon Funkmessnetze – praktischer Einsatz und Anwendungssoftware, Weinsberg. [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1039875\\_11\\_pcontent/index.html?druckansicht=j a.](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1039875_11_pcontent/index.html?druckansicht=j a.), letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

KAST, W., K.; 2003: Untersuchungen zur Wirksamkeit von Pflanzenextrakten gegen den Erreger des Falschen Mehltaus der Weinrebe (*Plasmopara viticola*). In: KÜHNE, S.; FRIEDRICH, B.; BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG (Hrsg.): Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

KAST, W., K., UND SCHIEFER, H.-C.; MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN WÜRTEMBERG (Hrsg.); ohne Jahrgang: Phosphorige Säure -Wirkstoff gegen Peronospora auch in Blattdüngern. [https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1167355\\_11/index1215611686464.html](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1167355_11/index1215611686464.html).. letzte Einsicht: 18. 4. 2012.

KAUER, R.; BERKELMANN-LÖHNERTZ, B.; UHL, J.; SCHMIDT, M.; WOLFF, M.; 2003: Ökologischer Weinbau in Deutschland - Feldversuche und praktische Erfahrungen zur Kupferreduzierung. In: KÜHNE, S.; FRIEDRICH, B.; BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG (Hrsg.): Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

KEIL, S., B.; 2007: Epidemiologische Aspekte der Falschen Mehltauinfektion durch *Plasmopara viticola* an *Vitis*. Dissertation der Universität Hohenheim, Stuttgart.

KIAUNE, L.; SINGHASEMANON, N.; 2011: Pesticidal copper (I) oxide: Environmental fate and aquatic toxicity. In: Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 213, Pages 1-26.

KLAWITTER, K.; 2011: Sind in Zukunft weniger Pflanzenstärkungsmittel verfügbar? Die neue EU- Pflanzenschutzmittelverordnung wird auch Auswirkungen auf die Liste von Stärkungsmitteln haben. In: TASPO, Ausgabe 15., Seite 3-4

KOPITKE, P., M.; BLAMEY, F., P., C.; MCKENNA, B., A.; WANG, P.; MENZIES, N., W.; 2011: Toxicity of metals to roots of cowpea in relation to their binding strength. In: Environmental Toxicology and Chemistry, Volume 30, Issue 8, Pages 1827-1833.

KORTEKAMP, A.; 2001: Charakterisierung der Plasmopara-Resistenz bei Weinreben (*Vitis* sp.). Dissertation der Universität Karlsruhe.

KORTEKAMP, A. UND ZYPRIAN, E.; 1999: Leaf hairs as a basic protective barrier against downy mildew of grape. In: Journal of Phytopathology, Volume 147, Issue 7-8, Pages 453-459.

KRYLOVA, E., G.; 2011: The effect that nickel, copper, and zinc salts have on seed germination and initial ontogenesis of water parsnip (*Sium latifolium* L.) and wood club-rush (*Scirpus silvaticus* L.). In: Inland Water Biology, Volume 4, Issue 4, Pages 468-474.

KUBISCH, U.; ULLRICH, N.; MÜLLER, A; 2003: Therapy of sleep disorders with a valerian-hop extract combination. In: Zeitschrift für Phytotherapie, Volume 24, Issue 2, Pages 63-69.

KÜHNE, S.; STRASSEMAYER, J.; ROßBERG, D.; 2009: Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmitteln in Deutschland. In: Journal für Kulturpflanzen, Ausgabe 61, Buch 4, Seite 126–130. Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

KULA, H.; 2003: Kupfer und Umwelt- Auswirkungen von Kupfer auf Gewässerorganismen. In: KÜHNE, S.; FRIEDRICH, B.; BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG (Hrsg.): Alternativen zur

Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

KULA, C. UND GUSKE, S.; 2003: Auswirkungen von Kupfer auf Bodenorganismen bei langjähriger Anwendung. In: KÜHNE, S.; FRIEDRICH, B.; BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, BRAUNSCHWEIG (Hrsg.): Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel. Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

LALANCETTE, N.; MADDEN, L., V.; ELLIS, M., A.; 1988: A Quantitative Model for Describing the Sporulation of *Plasmopara viticola* on Grape Leaves. Ohio State University, Wooster, USA.

LARBI, M.; GOBAT, J.-M.; FUCHS, J., G.; 2006: Inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* and the grapevine downy mildew *Plasmopara viticola* by extracts of green waste compost. Schweiz.

LA TORRE, A.; SPERA, G.; TALOCCI, S.; CARGNELLO, G.; 2007: Evaluation of the effectiveness of natural alternative copper products and low rate copper formulations against grape downy mildew in organic viticulture. Rome, Italy.

LATSCHA, H., P.; KAZMAIER, U.; KLEIN, H., A.; 2004: Chemie für Biologen, 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

LEJON, D., P., H.; MARTINS, J., M., F.; LÉVÊQUE, J.; SPADINI, L.; PASCAULT, N.; LANDRY, D.; MILLOUX, M.-J.; NOWAK, V.; CHAUSSOD, R.; RANJARD, L.; 2008: Copper dynamics and impact on microbial communities in soils of variable organic status. In: Environmental Science and Technology, Volume 42, Issue 8, Pages 2819-2825.

LEROUX, P. UND CLERJEAU, M.; 1985: Resistance of *Botrytis cinerea* Pers. and *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt.) Berl. and de Toni to fungicides in French vineyards. In: CROP PROTECTION, Volume 4, Issue 2, Pages 137-160.

LÖSCH, FEDOR; 2010: Pflanzenschutzmitteltests des Weinbauinstitutes Freiburg. Unveröffentlicht.

MADEROVA, L.; WATSON, M.; PATON, G., I.; 2011: Bioavailability and toxicity of

copper in soils: Integrating chemical approaches with responses of microbial biosensors. In: *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 43, Issue 6, Pages 1162-1168.

MAIER, J.; 1989: Unwanted substances in hops. In: *BRAUWELT*, Volume 129, Issue 18, Pages 764-767.

MAIER, I.; 2005: *Praxisbuch Bioweinbau. Erfolgreich. Zukunftsorientiert. Qualitätssicher.* Landesverlag Denkmayr, Linz.

MALACARNE, G.; ZULINI, L.; VRHOVSEK, U.; CESTARO, A.; STEFANINI, M.; MOSER, C.; MATTIVI, F.; VELASCO, R.; DELLEDONNE, M.; 2009: Metabolic and transcriptional changes in resistant and susceptible genotypes of a grapevine population segregating for the resistance to *plasmopara viticola*. In: *Acta Horticulturae*, Volume 827, Pages 635-640.

MALACARNE, G.; VRHOVSEK, U.; ZULINI, L.; CESTARO, A.; STEFANINI, M.; MATTIVI, F.; DELLEDONNE, M.; VELASCO, R.; MOSER, C.; 2011: Resistance to *Plasmopara viticola* in a grapevine segregating population is associated with stilbenoid accumulation and with specific host transcriptional responses. In: *BMC Plant Biology*, Volume 11, Article number 114.

MALISZEWSKA, W.; DEC, S.; WIERZBICKA, H.; WOZNIAKOWSKA, A.; 1985: The influence of various heavy metal compounds on the development and activity of soil micro-organisms. In: *Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological*, Volume 37, Issue 3, Pages 195-215.

MATASCI, C., L.; GOBBIN, D.; SCHÄRER, H.-J. ; TAMM, L.; GESSLER, C.; 2007: Selection for fungicide resistance throughout a growing season in populations of *Plasmopara viticola*. Published online: 21 September 2007.

MEIER, S.; BORIE, F.; CURAQUEO, G.; BOLAN, N.; CORNEJO, P.; 2011: Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on metallophyte and agricultural plants growing at increasing copper levels. In: *Applied Soil Ecology*, Article in press.

MENEZES-OLIVEIRA, V., B.; SCOTT-FORDSMAND, J., J.; ROCCO, A.; SOARES, A., M.,

V., M.; AMORIM, M., J., B.; 2011: Interaction between density and Cu toxicity for *Enchytraeus crypticus* and *Eisenia fetida* reflecting field scenarios. In: Science of the Total Environment, Volume 409, Issue 18, Pages 3370-3374.

MILLARDET, P., M., A.; 1885: Traitment du mildion par le mélange de sulfate de cuivre et de chaux, J. Agr. Prat. 2, Seite 707-710. Zitiert nach: WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität, Bonn.

MILLI, A.; CECCONI, D.; BORTESI, L.; PERSI, A.; RINALDUCCI, S.; ZAMBONI, A.; ZOCCATELLI, G.; LOVATO, A.; ZOLLA, L.; POLVERARI, A.; 2012: Proteomic analysis of the compatible interaction between *Vitis vinifera* and *Plasmopara viticola*. In: Journal of Proteomics, Volume 75, Issue 4, Pages 1284-1302.

MITTER, W.; 2012: Anwendung vorisomerisierter Hopfenextraktprodukte. Vorlesung\_Wst-Iso-Produckte-Jan.\_2012-3.ppt, Technische Universität München-Weihenstephan.

MOHNS, S., GESCHÄFTSSTELLE BUNDESPROGRAMM ÖKOLOGISCHER LANDBAU, BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (Hrsg.); 2000: Behandlungsstrategien beim Befall mit echtem und falschem Mehltau an Arznei- und Gewürzpflanzen im ökologischen Anbau am Beispiel von Blütendrogen (*Calendula officinalis*), Blattdrogen (*Mentha rotundifolia*), Krautdrogen (*Epilobium parviflorum*) und Körnerdrogen (*Pimpinella anisum*). Bad Neuenahr- Ahrweiler.

MOHR, H., D.; 2005: Farbatlas Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge an der Weinrebe. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

MOHR, H., D.; BAUS, O.; BÄCKER, G.; BERKELMANN-LÖHNERTZ, B.; 2008: Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Blattbeläge und ihrer Wirkung gegen den Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*) – Teil 3: Einfluss der Applikationstechnik. In: Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Ausgabe 60, Buch 8, Seite 173–180.

NIEDER, G.; 1992: Peronospora- Warndienst in Niederösterreich. Erfahrungen und

Beobachtungen 1989- 1991. Pflanzenschutz, Wien. Zitiert nach: REDL; RUCKENBAUER; TRAXLER; 1995: Weinbau heute, 3. Auflage. Leopold Stocker Verlag, Graz.

PERTOT, I.; GOBBIN, D., GESSLER, C.; 2003 a: Occurrence of *Plasmopara viticola* primary and secondary infections in the early stage of the season in Northern Italy (Trentino). In: Proceedings of the Meeting Compte Rendu de la Réunion, IOBC / WPRS Working Group “Integrated Protection and Production in Viticulture”. Volos, Griechenland.

PERTOT, I.; VECCHIONE, A.; MUSETTI, R.; GRANDO, M., S.; ZULINI, L.; 2003 b: Expression of hypersensitive reaction to *Plasmopara viticola* infection on a grapevine segregating population. In: Proceedings of the Meeting Compte Rendu de la Réunion, IOBC / WPRS Working Group “Integrated Protection and Production in Viticulture”. Volos, Griechenland.

PIETRZAK, U.; UREN, N., C.; 2011: Remedial options for copper-contaminated vineyard soils. In: Soil Research, Volume 49, Issue 1, Pages 44-55.

POLO, DE, A.; SCRIMSHAW, M.,D.; 2012: Challenges for the development of a biotic ligand model predicting copper toxicity in estuaries and seas. In: Environmental Toxicology and Chemistry, Volume 31, Issue 2, Pages 230-238.

PRELL, H., H.; 1996: Interaktionen von Pflanzen und phytopatogenen Pilzen. Gustaf Fischer Verlag, Jena.

REDL; RUCKENBAUER, TRAXLER; 1995: Weinbau heute, 3. Auflage. Leopold Stocker Verlag, Graz.

REUTHER, G.; 1961: Genetisch-biochemische Untersuchungen an Rebenartbastarden. In: TAG Theoretical and Applied Genetics, Band 31, Heft 7, S. 319-328.

RICHTER, C., 2005: Agrikulturchemie und Pflanzenernährung. Verlag Margraf Publishers, Weikersheim.

ROSEN, G.; LEATHER, J.; KAN, J.; ARIAS-THODE, Y., M.; 2011: Ecotoxicological

response of marine organisms to inorganic and organic sediment amendments in laboratory exposures. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 74, Issue 7, Pages 1921-1930.

ROTH, 05.08.2010: Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, für: GERANIOL. [http://www.carlroth.com/media/\\_de-de/sdpdf/5264.PDF](http://www.carlroth.com/media/_de-de/sdpdf/5264.PDF), letzte Einsicht: 18. 4. 2012

RUMBOLZ, J.; WIRTZ, S.; KASSEMEYER, H. –H.; GUGGENHEIM, R.; SCHÄFER, E. BÜCHE, C.; 2002: Sporulation of *plasmopara viticola*: Differentiation and Light Regulation. In: *Plant Biology*, Volume 4, Issue 2, Pages 413- 422.

SCHINNERL, E.; 2000: Organic Viticulture in Austria. In: WILLER, H. UND MEIER, U. (Hrsg.); 2000: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Organic Viticulture, 25 and 26 August 2000, Convention Center Basel.

SCHMÜCKING, J.; 2012: Grüne Welle am Bioweinmarkt. In: ÖKOLOGISCHER WEINBAU | SCHWERPUNKT, [http://www.genuss.cc/wp-content/uploads/2011/12/CLIP\\_%C3%96kologie-und-Landbau-1.pdf](http://www.genuss.cc/wp-content/uploads/2011/12/CLIP_%C3%96kologie-und-Landbau-1.pdf), letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

SCHÖNBERG, G., 1987: Mineralstoffhaushalt. In: FRIEDRICH, G.; NEUMANN, D.; VOGEL, M. (Hrsg.): *Physiologie der Obstgehölze*. Springer- Verlag, Berlin.

SCHRAMM, M.; 1997: Heilen mit Hopfenextrakt- Gesundheit aus einer alten Kulturpflanze. Ehrenwirth Verlag GmbH, München.

SCHRÖTER, W.; 2001: Anorganische Chemie. In: LAUTSCHLÄGER, K.- H.; SCHRÖTER, W.; BIBRACH, H.; TESCHNER, J.: *Taschenbuch der Chemie*, 18. Auflage. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt.

SCHWISTER, K.; 2005: Nebengruppenelmente. IN: SCHWISTER, K. (Hrsg.): *Taschenbuch der Chemie*, 3. Auflage. Fachbuchverlag Leipzig.

SENNHENN-KIRCHNER, S.; SCHLIESING, J.; JACOBS, H.G.; MERGERYAN, H.; 2004: Antimikrobielle Wirkung verschiedener chemischer Agenzien auf rauen Titanoberflächen. [http://www.zahnheilkunde.de/beitragpdf/pdf\\_2114.pdf](http://www.zahnheilkunde.de/beitragpdf/pdf_2114.pdf), letzte

Einsicht: 12. 4. 2012.

SEYBOLD, S.; 2011: Die Flora Deutschlands und der angrenzenden Länder. Ein Buch zum Bestimmen aller wildwachsenden und häufig kultivierten Gefäßpflanzen, 95. Auflage. Quelle und Meyer Verlag, Wiebelsheim

SHARMA, V., J.; SATYANARAYAN, S.; 2011: Effect of selected heavy metals on the histopathology of different tissues of earthworm *Eudrillus eugeniae*. In: Environmental Monitoring and Assessment, Volume 180, Issue 1-4, Pages 257-267.

SIMPSON, S., L.; BATLEY, G., E.; HAMILTON, I., L.; SPADARO, D., A.; 2011: Guidelines for copper in sediments with varying properties. In: Chemosphere, Volume 85, Issue 9, Pages 1487-1495.

SNOEK, H.; 1986: Das Buch vom biologischen Weinbau. Rebbau und Weinbereitung mit naturgemäßen Methoden, 2. Auflage. Paul Pietsch Verlag, Stuttgart.

ŚPIEWAK, R.; GÓRA, A.; DUTKIEWICZ, J.; 2001: Work-related skin symptoms and type I allergy among eastern-Polish farmers growing hops and other crops. In: Annals of Agricultural and Environmental Medicine, Volume 8, Issue 1, Pages 51-56.

STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.); 2011 a: Weingartenflächen 2009 nach Weinbauregionen.

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/wein/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/wein/index.html), letzte Änderung: 28.03.2011, letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

STATISTIK AUSTRIA (Hrsg.); 22. Juli 2011 b: Bodennutzung, Anbau auf dem Ackerland 2010 (Fläche in Hektar).

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/land\\_und\\_forstwirtschaft/agrarstruktur\\_flaechen\\_ertraege/bodennutzung/020291.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/020291.html), letzte Einsicht: 17. 3. 2012.

TAMM, L.; 2010: Kupferfreie Krankheitsregulierung im Apfel- und Rebbau.

Projektnummer: 501452. <http://orgprints.org/6304/>, letzte Änderung: 29. Sep. 2010

21:07, letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

THUERIG, B.; SLAUGHTER, A.; MAROUF, E.; HELD, M.; MAUCH-MANI, B.; TAMM, L.; 2011: Site-specific field resistance of grapevine to *Plasmopara viticola* correlates to altered gene expression and was not modulated by the application of organic amendments. In: *European Journal of Plant Pathology*, Volume 129, Issue 2, Pages 255-265.

TLILI, A.; MARÉCHAL, M.; BÉRARD, A.; VOLAT, B.; MONTUELLE, B.; 2011: Enhanced co-tolerance and co-sensitivity from long-term metal exposures of heterotrophic and autotrophic components of fluvial biofilms. In: *Science of the Total Environment*, Volume 409, Issue 20, Pages 4335-4343.

UMWELTBUNDESAMT; 2003. Nach: Bgld: Klärschlamm- und Müllkompostverordnung LGBl. Nr. 82/1991 idF. LGBl. Nr. 4/2001, K: Klärschlamm- und Kompostverordnung LGBl. Nr. 74/2000, NÖ: KSVO: Klärschlammverordnung LGBl. Nr. 6160/2-3 3. Novelle 51/01; StF. 80/94, MKVO: Müllkompostverordnung LGBl. Nr. 6160/1-1 1. Novelle 79/94; StF. 13/89, OÖ: Klärschlamm-, Müll- und Klärschlammkompostverordnung LGBl. Nr. 21/1993, Stmk: Klärschlammverordnung LGBl. Nr. 89/1987; 2. Novelle LGBl. Nr. 51/2000, Sbg: Klärschlamm-Bodenschutzverordnung LGBl. Nr. 85/2002, Vbg: Klärschlammverordnung LGBl. Nr. 75/1997 idF. LGBl. Nr. 27/2002, ÖWWV: Regelblatt 17: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen. Empfehlungen für Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen. 1984, ÖNORM L 1075: Richtwerte (mg/kg TS) für anorganische Elemente in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden.  
[http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/boden/\\_bersicht\\_Richtwerte.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/boden/_bersicht_Richtwerte.pdf), letzte Einsicht, 19. 4. 2012.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg); 2006: Umweltbewußtsein in Deutschland 2006.  
<http://www.umweltbewusstsein.de/deutsch/2006/index.html>, letzte Einsicht: 4. 5. 2012.

UNGER, S.; BÜCHE, C.; BOSO, S.; KASSEMAYER, H.-H.; 2007: The Course of Colonization of Two Different *Vitis* Genotypes by *Plasmopara viticola* Indicates

Compatible and Incompatible Host–Pathogen Interactions. Staatliches Weinbauinstitut, Freiburg im Breisgau, Deutschland.

VAN BEELEN, P.; DOELMAN, P.; 1997: Significance and application of microbial toxicity tests in assessing ecotoxicological risks of contaminants in soil and sediment. In: *Chemosphere*, Volume 34, Issue 3, Pages 455-499.

VARDY, D., W.; TOMPSETT, A., R.; SIGURDSON, J., L.; DOERING, J., A.; ZHANG, X.; GIESY, J., P.; HECKER, M.; 2011: Effects of subchronic exposure of early life stages of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to copper, cadmium, and zinc. In: *Environmental Toxicology and Chemistry*, Volume 30, Issue 11, Pages 2497-2505.

VATERLAUS, T.; 2000: Biowein: Chancen der Vermarktung. In: WILLER, H. UND MEIER, U. (Hrsg.); 2000: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Organic Viticulture, 25 and 26 August 2000, Convention Center Basel.

VERORDNUNG (EWG) NR. 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/consleg/1991/R/01991R2092-20070101-de.pdf>, letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

VERORDNUNG (EG) NR. 1918/2002 der Kommission vom 25. Oktober 2002 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1788/2001, mit Durchführungsbestimmungen zu den Vorschriften für die Kontrollbescheinigung für Einfuhren aus Drittländern gemäß Artikel 11 der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 des Rates über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/consleg/1991/R/01991R2092-20070101-de.pdf>, letzte Einsicht: 15. 2. 2012.

WANG, X.; BAO, L.; HUANG, L.; HUA, L.; 2011 a: The effect of pH on acute copper toxicity to barely (*Hordeum vulgare*). In: 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2011 – Proceedings 2011, Article number 5966292, Pages 7946-7948.

WANG, C.-H.; LEE, Y.-I.; CHEN, B.-C.; JUANG, K.-W.; 2011 b: Effects of excess copper on plant growth and copper concentration of grapevine cuttings. In: Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science, Volume 49, Issue 3, Pages 141-151.

WANG, P.; DE SCHAMPHELAERE, K., A., C.; KOPITTKER, P., M.; ZHOU, D.-M.; PEIJNENBURG, W., J., G., M.; LOCK, K.; 2012: Development of an electrostatic model predicting copper toxicity to plants. In: Journal of Experimental Botany, Volume 63, Issue 2, Pages 659-668.

WICKS, T., J.; MAGAREY, P., A.; WACHTEL, M., F.; FRENHAM, A., B.; 1991: Effect of Postinfection Application of Phosphorous (Phosphonic) Acid on the Incidence and Sporulation of *Plasmopara viticola* on Grapevine. South Australien Department of Agriculture, GPO, Adelaide, Australia.

WILBOIS, K.-P.; KAUER, R.; FADER, B.; KIENZLE, J.; HAUG, P.; FRITZSCHE-MARTIN, A.; DRESCHER, N.; REINERS, E.; RÖHRIG, P.; 2009: Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des Ökologischen Landbaus. In: Journal für Kulturpflanzen, Ausgabe 61, Buch 4, Seite 140–152. Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart.

WILLER, H.; 2000: Organic Viticulture World-Wide. In: WILLER, H. UND MEIER, U. (Hrsg.); 2000: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Organic Viticulture, 25 and 26 August 2000, Convention Center Basel.

WILLER, H. UND ZANOLI, R., 2000: Organic Viticulture in Europe. In: WILLER, H. UND MEIER, U. (Hrsg.); 2000: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Organic Viticulture, 25 and 26 August 2000, Convention Center Basel.

WISKAMP, V.; 1996: Anorganische Chemie, ein praxisbezogenes Lehrbuch. Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt a. M.

WITTASSEK, R.; 1987: Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation der Rheinischen Friedrich Willhelm Universität, Bonn.

WOHLFART, R.; WURM, G.; HANSEL, R.; SCHMIDT, H.; 1983: Detection of sedative-hypnotic hop constituents, V: Degradation of humulones and lupulones to 2-methyl-3-buten-2-ol, a hop constituent possessing sedative-hypnotic activity. In: Archiv der Pharmazie, Volume 316, Issue 2, Pages 132-137.

YANAR, D.; KADIOĞLU, I.; GÖKÇE, A.; 2011 a: Acaricidal effects of different plant parts extracts on two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). In: African Journal of Biotechnology, Volume 10, Issue 55, Pages 11745-11750.

YANAR, Y.; GÖKÇE, A.; KADIOĞLU, I.; ÇAM, H.; WHALON, M.; 2011, b: In vitro antifungal evaluation of various plant extracts against early blight disease (*Alternaria solani*) of potato. In: African Journal of Biotechnology, Volume 10, Issue 42, Pages 8291-8295.

YANAR, Y.; KADIOĞLU, I.; GÖKÇE, A.; DEMIRTAŞ, B.; GÖREN, N.; ÇAM, H.; WHALON, M.; 2011, c: In vitro antifungal activities of 26 plant extracts on mycelial growth of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. In: African Journal of Biotechnology, Volume 10, Issue 14, Pages 2625-2629.

## **Bildquellen**

Abb. 1: Ölflecken: <http://blog.weinbau24.de/wp-content/uploads/Oelflecken.jpg>

Abb. 2: Infektionszyklus: [http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung\\_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg](http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~db50/Forschung_Vitis/Lebenszyklus-Dateien/Zyklus.jpg)

## 10. Anhang

### Umfrage

#### Fragebogen in Englisch und Afrikaans

1) How would you rate your problems with plasmopora viticola (downy mildew)? 1) <i>Hoe gradeer u dee broleme met plasmopora viticola (donserige Meeldou)?</i>	Very serious <i>Baie swaar</i>	Serious <i>Swaar</i>	Middel <i>Middel</i>	Unimportant <i>Onbelangrik</i>	Now problems <i>Geen probleme</i>
2) Do you use copper- compounds against downy mildew? 2) <i>Gebruik u koper- middel teen donserige Meeldou?</i>	Yes / <i>Ja</i>		No/ <i>Nee</i>		
2a) If yes, how many times do you use copper- compounds in a average year? 2a) <i>Wanneer ja, hoegereeld gebruik u koper in 'n gemiddelde jaar?</i>					
2b) In which stage of growth do you use copper normally? 2b) <i>In watter groeistadium gebruik u koper normaalweg?</i>	Developed buds til flowering <i>Druive tros tot bloeisel</i>	End of flowering till beginn of ripening <i>Eend van die bloom totdat tros ontwikkel is</i>	Beginning of ripening <i>Begin van die rypheid</i>	Only following the climate condicions <i>Nee as die klimaat ongunstig is</i>	
2 c) Which preparation do you use (brand name)? 2c) <i>Watter middel gebruik u (handelsnaam)?</i>					
2 d) How many litres do you spray per hectar? 2d) <i>Hoeveel liter gebruik u vir een hektaar?</i>					
3) Do you have any problems because of using copper- compounds (for example high copper- concentrations in the soil)? 3) <i>Het u sommige probleme omdat u gebruik maak van koper (by vb. hoog koper werte en die grond)?</i>	Yes/ <i>Ja</i>		No/ <i>Nee</i>		
3a) If yes, how would you rate this problems? 3a) <i>As ja, Wie graat u us'n broleme?</i>	Very serious <i>Baie swaar</i>	Serious <i>Swaar</i>	Middel <i>Middel</i>	Unimportant <i>Onbelangric</i>	Now problems <i>Geen probleme</i>
3b) Which problems do you have to deal with? 3b) <i>Met watter probleme het u hier te doen?</i>	Soil/ <i>Grond</i>		Water/ <i>Water</i>		Wine/ <i>Wyn</i>

## Deskriptive Statistik<sup>a</sup>

Land				Statistik	Standardfehler	
P.v.Probleme	Österreich	Mittelwert		1,7000	0,33500	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,9422		
			Obergrenze	2,4578		
		5% getrimmtes Mittel		1,7222		
		Median		1,5000		
		Varianz		1,122		
		Standardabweichung		1,05935		
		Minimum		0,00		
		Maximum		3,00		
		Spannweite		3,00		
		Interquartilbereich		2,00		
		Schiefe		0,042		0,687
		Kurtosis		-1,238		1,334
	Deutschland	Mittelwert		1,5000	0,26874	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,8921		
			Obergrenze	2,1079		
		5% getrimmtes Mittel		1,5000		
		Median		1,5000		
		Varianz		0,722		
		Standardabweichung		0,84984		
		Minimum		0,00		
		Maximum		3,00		
		Spannweite		3,00		
		Interquartilbereich		1,00		
		Schiefe		0,000		0,687
		Kurtosis		0,107		1,334
	Südafrika	Mittelwert		2,1000	0,45826	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,0633		
			Obergrenze	3,1367		
		5% getrimmtes Mittel		2,1111		
		Median		2,0000		
		Varianz		2,100		
		Standardabweichung		1,44914		
		Minimum		0,00		
		Maximum		4,00		
		Spannweite		4,00		
		Interquartilbereich		2,50		
		Schiefe		-0,214		0,687
		Kurtosis		-0,987		1,334
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Österreich	Mittelwert		2,4500	0,59838	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,0964		
			Obergrenze	3,8036		
5% getrimmtes Mittel		2,2778				

		Median		2,0000	
		Varianz		3,581	
		Standardabweichung		1,89224	
		Minimum		1,00	
		Maximum		7,00	
		Spannweite		6,00	
		Interquartilbereich		2,25	
		Schiefe		1,757	0,687
		Kurtosis		3,359	1,334
Deutschland		Mittelwert		2,1000	0,80554
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,2778	
			Obergrenze	3,9222	
		5% getrimmtes Mittel		1,9167	
		Median		1,0000	
		Varianz		6,489	
		Standardabweichung		2,54733	
		Minimum		0,00	
		Maximum		7,50	
		Spannweite		7,50	
		Interquartilbereich		2,25	
		Schiefe		1,619	0,687
		Kurtosis		1,500	1,334
Südafrika		Mittelwert		0,5500	0,55000
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-0,6942	
			Obergrenze	1,7942	
		5% getrimmtes Mittel		0,3056	
		Median		0,0000	
		Varianz		3,025	
		Standardabweichung		1,73925	
		Minimum		0,00	
		Maximum		5,50	
		Spannweite		5,50	
		Interquartilbereich		0,00	
		Schiefe		3,162	0,687
		Kurtosis		10,000	1,334
Reinkupfermenge in g	Österreich	Mittelwert		1660,0000	303,02182
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	974,5170	
			Obergrenze	2345,4830	
		5% getrimmtes Mittel		1616,6667	
		Median		1400,0000	
		Varianz		918222,222	
		Standardabweichung		958,23913	
		Minimum		600,00	
		Maximum		3500,00	
		Spannweite		2900,00	
		Interquartilbereich		1475,00	
		Schiefe		0,999	0,687
		Kurtosis		0,089	1,334
	Deutschland	Mittelwert		1038,0000	323,62461
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	305,9103	

		Obergrenze	1770,0897	
		5% getrimmtes Mittel	986,6667	
		Median	900,0000	
		Varianz	1047328,889	
		Standardabweichung	1023,39088	
		Minimum	0,00	
		Maximum	3000,00	
		Spannweite	3000,00	
		Interquartilbereich	1375,00	
		Schiefe	0,986	0,687
		Kurtosis	0,105	1,334
Südafrika		Mittelwert	100,0000	100,00000
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
		Untergrenze	-126,2157	
		Obergrenze	326,2157	
		5% getrimmtes Mittel	55,5556	
		Median	0,0000	
		Varianz	100000,000	
		Standardabweichung	316,22777	
		Minimum	0,00	
		Maximum	1000,00	
		Spannweite	1000,00	
		Interquartilbereich	0,00	
		Schiefe	3,162	0,687
		Kurtosis	10,000	1,334
Kupfer- probleme	Deutschland	Mittelwert	0,2000	0,13333
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
		Untergrenze	-0,1016	
		Obergrenze	0,5016	
		5% getrimmtes Mittel	0,1667	
		Median	0,0000	
		Varianz	0,178	
		Standardabweichung	0,42164	
		Minimum	0,00	
		Maximum	1,00	
		Spannweite	1,00	
		Interquartilbereich	0,25	
		Schiefe	1,779	0,687
		Kurtosis	1,406	1,334
	Südafrika	Mittelwert	0,3000	0,30000
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		
		Untergrenze	-0,3786	
		Obergrenze	0,9786	
		5% getrimmtes Mittel	0,1667	
		Median	0,0000	
		Varianz	0,900	
		Standardabweichung	0,94868	
		Minimum	0,00	
		Maximum	3,00	
		Spannweite	3,00	
		Interquartilbereich	0,00	
		Schiefe	3,162	0,687
		Kurtosis	10,000	1,334

a. Kupferprobleme ist bei Land = Österreich konstant und wurde weggelassen.

### Tests auf Normalverteilung<sup>b</sup>

Land	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert	
P.v.Probleme	Österreich	0,246	10	0,089	0,874	10	0,111
	Deutschland	0,222	10	0,178	0,906	10	0,258
	Südafrika	0,172	10	0,200	0,917	10	0,330
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Österreich	0,222	10	0,178	0,789	10	0,011
	Deutschland	0,316	10	0,006	0,735	10	0,002
	Südafrika	0,524	10	0,000	0,366	10	0,000
Reinkupfermenge in g	Österreich	0,266	10	0,043	0,889	10	0,164
	Deutschland	0,237	10	0,117	0,874	10	0,112
	Südafrika	0,524	10	0,000	0,366	10	0,000
Kupferprobleme	Deutschland	0,482	10	0,000	0,509	10	0,000
	Südafrika	0,524	10	0,000	0,366	10	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

\*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

b. Kupferprobleme ist bei Land = Österreich konstant und wurde weggelassen.

### Test der Homogenität der Varianzen

	Levene-Statistik	Fg 1	Fg 2	P- Wert
P.v.Probleme	1,197	2	27	0,318
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	0,932	2	27	0,406
Reinkupfermenge in g	4,639	2	27	0,019
Kupferprobleme	3,456	2	27	0,046

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte<sup>b</sup>

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert	
P.v.Probleme	Welch-Test	0,620	2	17,292	0,549
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Welch-Test	2,907	2	17,627	0,081
Reinkupfermenge in g	Welch-Test	13,995	2	14,086	0,000
Kupferprobleme	Welch-Test	.	.	.	.

a. Asymptotisch F-verteilt

b. Die robusten Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte können für Kupferprobleme nicht durchgeführt werden, da in mindestens einer Gruppe eine Varianz von 0 auftritt.

## Mehrfachvergleiche

Sidak

Abhängige Variable	(I) Land	(J) Land	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
P.v.Probleme	Österreich	Deutschland	0,20000	0,51280	0,973	-1,1051	1,5051
		Südafrika	-0,40000	0,51280	0,826	-1,7051	0,9051
	Deutschland	Österreich	-0,20000	0,51280	0,973	-1,5051	1,1051
		Südafrika	-0,60000	0,51280	0,582	-1,9051	0,7051
	Südafrika	Österreich	0,40000	0,51280	0,826	-0,9051	1,7051
		Deutschland	0,60000	0,51280	0,582	-0,7051	1,9051
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Österreich	Deutschland	0,35000	0,93432	0,976	-2,0279	2,7279
		Südafrika	1,90000	0,93432	0,148	-0,4779	4,2779
	Deutschland	Österreich	-0,35000	0,93432	0,976	-2,7279	2,0279
		Südafrika	1,55000	0,93432	0,292	-0,8279	3,9279
	Südafrika	Österreich	-1,90000	0,93432	0,148	-4,2779	0,4779
		Deutschland	-1,55000	0,93432	0,292	-3,9279	0,8279
Reinkupfermenge in g	Österreich	Deutschland	622,00000	371,08410	0,284	-322,4328	1566,4328
		Südafrika	1560,00000	371,08410	0,001	615,5672	2504,4328
	Deutschland	Österreich	-622,00000	371,08410	0,284	-1566,4328	322,4328
		Südafrika	938,00000	371,08410	0,052	-6,4328	1882,4328
	Südafrika	Österreich	-1560,00000	371,08410	0,001	-2504,4328	-615,5672
		Deutschland	-938,00000	371,08410	0,052	-1882,4328	6,4328
Kupferprobleme	Österreich	Deutschland	-0,20000	0,26805	0,844	-0,8822	0,4822
		Südafrika	-0,30000	0,26805	0,616	-0,9822	0,3822
	Deutschland	Österreich	0,20000	0,26805	0,844	-0,4822	0,8822
		Südafrika	-0,10000	0,26805	0,976	-0,7822	0,5822
	Südafrika	Österreich	0,30000	0,26805	0,616	-0,3822	0,9822
		Deutschland	0,10000	0,26805	0,976	-0,5822	0,7822

\*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

## Korrelationen

		P.v.Probleme	Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Reinkupfermenge in g	Kupferprobleme
P.v.Probleme	Korrelation nach Pearson	1	0,319	0,001	-0,043
	Signifikanz (2-seitig)		0,086	0,996	0,822
	N	30	30	30	30
Kupferpräparat-einsatzhäufigkeit	Korrelation nach Pearson	0,319	1	0,475	-0,227
	Signifikanz (2-seitig)	0,086		0,008	0,228
	N	30	30	30	30
Reinkupfermenge in g	Korrelation nach Pearson	0,001	0,475	1	-0,263
	Signifikanz (2-seitig)	0,996	0,008		0,160
	N	30	30	30	30
Kupferprobleme	Korrelation nach Pearson	-0,043	-0,227	-0,263	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,822	0,228	0,160	
	N	30	30	30	30

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

### Land \* Kupfereinsatzzeitpunkt Kreuztabelle

Anzahl

		Kupfereinsatzzeitpunkt				Gesamt
		Entwickelte Gescheine bis Blüte	Abgehende Blüte bis Traubenschluss	Abschluss-spritzung (Weichwerden der Beeren)	Nur nach Warndienst	
Land	Österreich	1	6	8	1	16
	Deutschland	2	3	8	0	13
	Süd- Afrika	1	1	0	0	2
Gesamt		4	10	16	1	31

### Land \* Ort der Kupferproblem Kreuztabelle

Anzahl

		Ort der Kupferproblem		Gesamt
		Wein	Boden	
Land	Deutschland	1	1	2
	Süd- Afrika	1	0	1
Gesamt		2	1	3

## Hopfenextraktwirkung unter dem Mikroskop

### Nach fünf Minuten

#### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten kodiert

	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standard-fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
Ho. 0,12500000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,01250000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,00125000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,00012500%	4	2,2500	0,95743	0,47871	0,7265	3,7735	1,00	3,00
Ho. 0,00001250%	4	1,2500	0,95743	0,47871	-0,2735	2,7735	0,00	2,00
Ho. 0,00000125%	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
Gesamt	18	2,4444	2,09263	0,49324	1,4038	3,4851	0,00	5,00

#### ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	68,944	5	13,789	30,085	0,000
Innerhalb der Gruppen	5,500	12	0,458		
Gesamt	74,444	17			

## Nach zehn Minuten

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten kodiert

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
Ho. 0,12500000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,01250000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,00125000%	2	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
Ho. 0,00012500%	4	4,7500	0,50000	0,25000	3,9544	5,5456	4,00	5,00
Ho. 0,00001250%	4	1,7500	0,95743	0,47871	0,2265	3,2735	1,00	3,00
Ho. 0,00000125%	4	0,2500	0,50000	0,25000	-0,5456	1,0456	0,00	1,00
Gesamt	18	3,1667	2,12132	0,50000	2,1118	4,2216	0,00	5,00

### ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	72,250	5	14,450	40,800	0,000
Innerhalb der Gruppen	4,250	12	0,354		
Gesamt	76,500	17			

# Kupferwirkung unter dem Mikroskop

## Nach zwei Minuten

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten Kodiert

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
0,08 mg Cu/l	6	1,6667	0,51640	0,21082	1,1247	2,2086	1,00	2,00
0,07 mg Cu/l	6	2,0000	0,63246	0,25820	1,3363	2,6637	1,00	3,00
0,06 mg Cu/l	6	1,0000	0,89443	0,36515	0,0614	1,9386	0,00	2,00
0,05 mg Cu/l	6	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
0,04 mg Cu/l	6	0,3333	0,51640	0,21082	-0,2086	0,8753	0,00	1,00
0,03 mg Cu/l	6	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
0,01 mg Cu/l	6	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
0,01 mg Cu/l	6	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
Gesamt	48	0,6250	0,89025	0,12850	0,3665	0,8835	0,00	3,00

### ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten Kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	28,583	7	4,083	18,846	0,000
Innerhalb der Gruppen	8,667	40	0,217		
Gesamt	37,250	47			

## Nach fünf Minuten

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten kodiert

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
1,00	6	2,8333	0,40825	0,16667	2,4049	3,2618	2,00	3,00
0,07 mg Cu/l	6	3,0000	1,09545	0,44721	1,8504	4,1496	2,00	5,00
0,06 mg Cu/l	6	2,0000	0,89443	0,36515	1,0614	2,9386	1,00	3,00
0,05 mg Cu/l	6	0,6667	0,81650	0,33333	-0,1902	1,5235	0,00	2,00
0,04 mg Cu/l	6	0,5000	0,83666	0,34157	-0,3780	1,3780	0,00	2,00
0,03 mg Cu/l	6	0,3333	0,51640	0,21082	-0,2086	0,8753	0,00	1,00
0,02 mg/l	6	1,0000	0,63246	0,25820	0,3363	1,6637	0,00	2,00
0,01 mg Cu/l	6	0,1667	0,40825	0,16667	-0,2618	0,5951	0,00	1,00
Gesamt	48	1,3125	1,27423	0,18392	0,9425	1,6825	0,00	5,00

### ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	54,479	7	7,783	14,258	0,000
Innerhalb der Gruppen	21,833	40	0,546		
Gesamt	76,313	47			

## Nach zehn Minuten

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten kodiert

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standard- fehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
0,08 mg Cu/l	6	4,6667	0,51640	0,21082	4,1247	5,2086	4,00	5,00
0,07 mg Cu/l	6	4,3333	0,51640	0,21082	3,7914	4,8753	4,00	5,00
0,06 mg Cu/l	6	3,0000	0,89443	0,36515	2,0614	3,9386	2,00	4,00
0,05 mg Cu/l	6	2,5000	0,54772	0,22361	1,9252	3,0748	2,00	3,00
0,04 mg Cu/l	6	1,6667	1,03280	0,42164	0,5828	2,7505	0,00	3,00
0,03 mg Cu/l	6	2,0000	0,63246	0,25820	1,3363	2,6637	1,00	3,00
0,02 mg Cu/l	6	2,1667	0,40825	0,16667	1,7382	2,5951	2,00	3,00
0,01 mg Cu/l	6	0,6667	1,63299	0,66667	-1,0471	2,3804	0,00	4,00
Gesamt	48	2,6250	1,49645	0,21599	2,1905	3,0595	0,00	5,00

## ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	75,583	7	10,798	14,559	0,000
Innerhalb der Gruppen	29,667	40	0,742		
Gesamt	105,250	47			

## Kupferwirkung unter dem Mikroskop bei verschiedenen Temperaturen

**0,1 mg Kupfer**

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten Kodiert

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
25 °C	6	4,0000	1,09545	0,44721	2,8504	5,1496	2,00	5,00
20 °C	6	2,5000	0,83666	0,34157	1,6220	3,3780	2,00	4,00
15 °C	6	2,0000	0,89443	0,36515	1,0614	2,9386	1,00	3,00
10 °C	6	0,8333	0,75277	0,30732	0,0433	1,6233	0,00	2,00
Gesamt	24	2,3333	1,43456	0,29283	1,7276	2,9391	0,00	5,00

## ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten Kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	31,000	3	10,333	12,653	0,000
Innerhalb der Gruppen	16,333	20	0,817		
Gesamt	47,333	23			

**1mg Kupfer/l**

### ONEWAY deskriptive Statistiken

Wirkung, Verhalten Kodiert

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
25 °C	6	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
20 °C	6	4,6667	0,51640	0,21082	4,1247	5,2086	4,00	5,00
15 °C	6	5,0000	0,00000	0,00000	5,0000	5,0000	5,00	5,00
10 °C	6	4,6667	0,51640	0,21082	4,1247	5,2086	4,00	5,00
Gesamt	24	4,8333	0,38069	0,07771	4,6726	4,9941	4,00	5,00

## ONEWAY ANOVA

Wirkung, Verhalten Kodiert

	Quadratsumme	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Zwischen den Gruppen	,667	3	0,222	1,667	0,206
Innerhalb der Gruppen	2,667	20	0,133		
Gesamt	3,333	23			

## Hopfenextraktwirkung auf Blattscheiben

Spritzmittel			Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert		23,2986	1,27430	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	20,7797		
		Obergrenze	25,8175		
	5% getrimmtes Mittel		22,6466		
	Median		25,0000		
	Varianz		233,833		
	Standardabweichung		15,29161		
	Minimum		0,00		
	Maximum		70,00		
	Spannweite		70,00		
	Interquartilbereich		20,00		
	Schiefe		0,366		0,202
	Kurtosis		0,361		0,401
Ho. 0.1%	Mittelwert		21,0629	1,28838	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	18,5161		
		Obergrenze	23,6098		
	5% getrimmtes Mittel		20,3924		
	Median		25,0000		
	Varianz		237,369		
	Standardabweichung		15,40679		
	Minimum		0,00		
	Maximum		60,00		
	Spannweite		60,00		
	Interquartilbereich		25,00		
	Schiefe		0,345		0,203
	Kurtosis		-0,344		0,403
Ho. 0.2%	Mittelwert		18,8125	1,27006	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	16,3020		
		Obergrenze	21,3230		
	5% getrimmtes Mittel		17,8935		
	Median		20,0000		
	Varianz		232,279		
	Standardabweichung		15,24071		
	Minimum		0,00		

	Maximum		60,00	
	Spannweite		60,00	
	Interquartilbereich		25,00	
	Schiefe		0,510	0,202
	Kurtosis		-0,255	0,401
Ho. 0.25%	Mittelwert		17,8239	1,48156
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	14,8950	
		Obergrenze	20,7529	
	5% getrimmtes Mittel		16,4006	
	Median		20,0000	
	Varianz		311,692	
	Standardabweichung		17,65481	
	Minimum		0,00	
	Maximum		70,00	
	Spannweite		70,00	
	Interquartilbereich		24,00	
	Schiefe		0,894	0,203
	Kurtosis		0,261	0,404
Ho. 0.3%	Mittelwert		13,7778	1,33007
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	11,1486	
		Obergrenze	16,4069	
	5% getrimmtes Mittel		12,2222	
	Median		10,0000	
	Varianz		254,747	
	Standardabweichung		15,96081	
	Minimum		0,00	
	Maximum		80,00	
	Spannweite		80,00	
	Interquartilbereich		25,00	
	Schiefe		1,261	0,202
	Kurtosis		1,567	0,401
Ho. 0.35%	Mittelwert		14,7014	1,67031
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	11,3997	
		Obergrenze	18,0031	
	5% getrimmtes Mittel		12,6312	
	Median		4,0000	
	Varianz		401,749	
	Standardabweichung		20,04369	
	Minimum		0,00	
	Maximum		70,00	
	Spannweite		70,00	
	Interquartilbereich		25,00	
	Schiefe		1,277	0,202
	Kurtosis		0,538	0,401
Folpan	Mittelwert		18,1429	3,88752
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	10,2425	
		Obergrenze	26,0433	
	5% getrimmtes Mittel		16,8254	
	Median		5,0000	
	Varianz		528,950	

Standardabweichung	22,99890	
Minimum	0,00	
Maximum	60,00	
Spannweite	60,00	
Interquartilbereich	50,00	
Schiefe	0,931	0,398
Kurtosis	-0,894	0,778

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,157	144	0,000	0,926	144	0,000
	Ho. 0.1%	0,130	143	0,000	0,924	143	0,000
	Ho. 0.2%	0,156	144	0,000	0,912	144	0,000
	Ho. 0.25%	0,175	142	0,000	0,872	142	0,000
	Ho. 0.3%	0,205	144	0,000	0,819	144	0,000
	Ho. 0.35%	0,283	144	0,000	0,751	144	0,000
	Folpan	0,295	35	0,000	0,736	35	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
12,252	24	871	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	7,181	5	398,432	0,000

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0.1%	2,2357	1,46273	0,942	-2,2105	6,6818
	Ho. 0.2%	4,4861	1,46018	0,045	0,0477	8,9245
	Ho. 0.25%	5,4747	1,46532	0,004	1,0207	9,9287
	Ho. 0.3%	9,5208	1,46018	0,000	5,0824	13,9592
	Ho. 0.35%	8,5972	1,46018	0,000	4,1588	13,0356
	Folpan	5,1558	2,33499	0,443	-1,9417	12,2532
Ho. 0.1%	Kontrolle	-2,2357	1,46273	0,942	-6,6818	2,2105
	Ho. 0.2%	2,2504	1,46273	0,938	-2,1957	6,6966
	Ho. 0.25%	3,2390	1,46786	0,444	-1,2227	7,7007
	Ho. 0.3%	7,2852	1,46273	0,000	2,8390	11,7313
	Ho. 0.35%	6,3615	1,46273	0,000	1,9154	10,8077
	Folpan	2,9201	2,33659	0,993	-4,1823	10,0224
Ho. 0.2%	Kontrolle	-4,4861	1,46018	0,045	-8,9245	-0,0477
	Ho. 0.1%	-2,2504	1,46273	0,938	-6,6966	2,1957
	Ho. 0.25%	0,9886	1,46532	1,000	-3,4655	5,4426
	Ho. 0.3%	5,0347	1,46018	0,012	0,5963	9,4731
	Ho. 0.35%	4,1111	1,46018	0,100	-0,3273	8,5495
	Folpan	0,6696	2,33499	1,000	-6,4279	7,7671
Ho. 0.25%	Kontrolle	-5,4747	1,46532	0,004	-9,9287	-1,0207
	Ho. 0.1%	-3,2390	1,46786	0,444	-7,7007	1,2227
	Ho. 0.2%	-0,9886	1,46532	1,000	-5,4426	3,4655
	Ho. 0.3%	4,0462	1,46532	0,116	-0,4078	8,5002
	Ho. 0.35%	3,1226	1,46532	0,510	-1,3315	7,5766
	Folpan	-3,189	2,33820	1,000	-7,4262	6,7883
Ho. 0.3%	Kontrolle	-9,5208	1,46018	0,000	-13,9592	-5,0824
	Ho. 0.1%	-7,2852	1,46273	0,000	-11,7313	-2,8390
	Ho. 0.2%	-5,0347	1,46018	0,012	-9,4731	-0,5963
	Ho. 0.25%	-4,0462	1,46532	0,116	-8,5002	0,4078
	Ho. 0.35%	-0,9236	1,46018	1,000	-5,3620	3,5148
	Folpan	-4,3651	2,33499	0,739	-11,4626	2,7324
Ho. 0.35%	Kontrolle	-8,5972	1,46018	0,000	-13,0356	-4,1588
	Ho. 0.1%	-6,3615	1,46273	0,000	-10,8077	-1,9154
	Ho. 0.2%	-4,1111	1,46018	0,100	-8,5495	0,3273
	Ho. 0.25%	-3,1226	1,46532	0,510	-7,5766	1,3315
	Ho. 0.3%	0,9236	1,46018	1,000	-3,5148	5,3620
	Folpan	-3,4415	2,33499	0,959	-10,5390	3,6560
Folpan	Kontrolle	-5,1558	2,33499	0,443	-12,2532	1,9417
	Ho. 0.1%	-2,9201	2,33659	0,993	-10,0224	4,1823
	Ho. 0.2%	-0,6696	2,33499	1,000	-7,7671	6,4279
	Ho. 0.25%	0,3189	2,33820	1,000	-6,7883	7,4262
	Ho. 0.3%	4,3651	2,33499	0,739	-2,7324	11,4626
	Ho. 0.35%	3,4415	2,33499	0,959	-3,6560	10,5390

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 153,514

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	132028,732 <sup>a</sup>	24	5501,197	35,835	0,000
Konstanter Term	279366,676	1	279366,676	1819,813	0,000
Spritzmittel	9724,382	6	1620,730	10,558	0,000
WH	108529,642	3	36176,547	235,656	0,000
Spritzmittel * WH	14002,985	15	933,532	6,081	0,000
Fehler	133710,678	871	153,514		
Gesamt	563835,000	896			
Korrigierte Gesamtvariation	265739,410	895			

a. R-Quadrat = ,497 (korrigiertes R-Quadrat = ,483)

### Kupferwirkung auf Blattscheiben

## Deskriptive Statistik

Spritzmittel			Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert		25,5556	1,65093	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	22,2828		
		Obergrenze	28,8283		
	5% getrimmtes Mittel		24,5885		
	Median		25,0000		
	Varianz		294,361		
	Standardabweichung		17,15696		
	Minimum		0,00		
	Maximum		80,00		
	Spannweite		80,00		
	Interquartilbereich		10,00		
	Schiefe		0,616		0,233
	Kurtosis		0,932		0,461
100mg Cu/l	Mittelwert		11,1944	1,32065	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	8,5764		
		Obergrenze	13,8125		
	5% getrimmtes Mittel		9,7016		
	Median		5,0000		
	Varianz		188,364		
	Standardabweichung		13,72457		
	Minimum		0,00		
	Maximum		70,00		
	Spannweite		70,00		
	Interquartilbereich		20,00		
	Schiefe		1,451		0,233
	Kurtosis		2,575		0,461
150mg Cu/l	Mittelwert		5,3056	0,97976	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,3633		
		Obergrenze	7,2478		
	5% getrimmtes Mittel		3,8374		
	Median		,0000		
	Varianz		103,672		
	Standardabweichung		10,18195		
	Minimum		0,00		
	Maximum		50,00		
	Spannweite		50,00		
	Interquartilbereich		5,00		
	Schiefe		2,259		0,233
	Kurtosis		4,938		0,461
200mg Cu/l	Mittelwert		3,5926	0,99166	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,6267		
		Obergrenze	5,5584		
	5% getrimmtes Mittel		1,6975		
	Median		0,0000		
	Varianz		106,206		
	Standardabweichung		10,30564		
	Minimum		0,00		
	Maximum		70,00		
	Spannweite		70,00		

	Interquartilbereich		1,00	
	Schiefe		4,481	0,233
	Kurtosis		22,494	0,461
250mg Cu/l	Mittelwert		3,2870	0,90755
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,4879	
		Obergrenze	5,0862	
	5% getrimmtes Mittel		1,7181	
	Median		,0000	
	Varianz		88,954	
	Standardabweichung		9,43155	
	Minimum		0,00	
	Maximum		80,00	
	Spannweite		80,00	
	Interquartilbereich		1,00	
	Schiefe		5,722	0,233
	Kurtosis		41,687	0,461
300mg Cu/l	Mittelwert		2,4352	0,76949
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	,9098	
		Obergrenze	3,9606	
	5% getrimmtes Mittel		0,8745	
	Median		0,0000	
	Varianz		63,949	
	Standardabweichung		7,99681	
	Minimum		0,00	
	Maximum		50,00	
	Spannweite		50,00	
	Interquartilbereich		0,00	
	Schiefe		3,851	0,233
	Kurtosis		15,574	0,461
350mg Cu/l	Mittelwert		3,0370	1,06600
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,9238	
		Obergrenze	5,1503	
	5% getrimmtes Mittel		0,8745	
	Median		0,0000	
	Varianz		122,728	
	Standardabweichung		11,07825	
	Minimum		0,00	
	Maximum		70,00	
	Spannweite		70,00	
	Interquartilbereich		0,00	
	Schiefe		4,829	0,233
	Kurtosis		24,203	0,461
400mg Cu/l	Mittelwert		1,0093	0,44115
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,1347	
		Obergrenze	1,8838	

	5% getrimmtes Mittel		0,1749	
	Median		0,0000	
	Varianz		21,019	
	Standardabweichung		4,58461	
	Minimum		0,00	
	Maximum		40,00	
	Spannweite		40,00	
	Interquartilbereich		0,00	
	Schiefe		6,753	0,233
	Kurtosis		51,991	0,461
Folpan	Mittelwert		0,3981	0,24362
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	-0,0848	
		Obergrenze	0,8811	
	5% getrimmtes Mittel		0,0165	
	Median		0,0000	
	Varianz		6,410	
	Standardabweichung		2,53182	
	Minimum		0,00	
	Maximum		25,00	
	Spannweite		25,00	
	Interquartilbereich		0,00	
	Schiefe		8,905	0,233
	Kurtosis		85,366	0,461

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,176	108	0,000	0,924	108	0,000
	100mg Cu/l	0,234	108	0,000	0,794	108	0,000
	150mg Cu/l	0,358	108	0,000	0,597	108	0,000
	200mg Cu/l	0,368	108	0,000	0,393	108	0,000
	250mg Cu/l	0,364	108	0,000	0,380	108	0,000
	300mg Cu/l	0,460	108	0,000	0,345	108	0,000
	350mg Cu/l	0,441	108	0,000	0,302	108	0,000
	400mg Cu/l	0,439	108	0,000	0,231	108	0,000
	Folpan	0,498	108	0,000	0,146	108	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

## Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
12,604	26	945	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

## Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	35,295	7	360,103	0,000

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	100mg Cu/l	14,3611	1,40112	0,000	9,8786	18,8436
	150mg Cu/l	20,2500	1,40112	0,000	15,7675	24,7325
	200mg Cu/l	21,9630	1,40112	0,000	17,4804	26,4455
	250mg Cu/l	22,2685	1,40112	0,000	17,7860	26,7510
	300mg Cu/l	23,1204	1,40112	0,000	18,6378	27,6029
	350mg Cu/l	22,5185	1,40112	0,000	18,0360	27,0010
	400mg Cu/l	24,5463	1,40112	0,000	20,0638	29,0288
	Folpan	25,1574	1,40112	0,000	20,6749	29,6399
100mg Cu/l	Kontrolle	-14,3611	1,40112	,000	-18,8436	-9,8786
	150mg Cu/l	5,8889	1,40112	,001	1,4064	10,3714
	200mg Cu/l	7,6019	1,40112	,000	3,1193	12,0844
	250mg Cu/l	7,9074	1,40112	,000	3,4249	12,3899
	300mg Cu/l	8,7593	1,40112	,000	4,2767	13,2418
	350mg Cu/l	8,1574	1,40112	,000	3,6749	12,6399
	400mg Cu/l	10,1852	1,40112	,000	5,7027	14,6677
	Folpan	10,7963	1,40112	,000	6,3138	15,2788
150mg Cu/l	Kontrolle	-20,2500	1,40112	0,000	-24,7325	-15,7675
	100mg Cu/l	-5,8889	1,40112	0,001	-10,3714	-1,4064
	200mg Cu/l	1,7130	1,40112	1,000	-2,7696	6,1955
	250mg Cu/l	2,0185	1,40112	0,997	-2,4640	6,5010
	300mg Cu/l	2,8704	1,40112	0,777	-1,6122	7,3529
	350mg Cu/l	2,2685	1,40112	0,982	-2,2140	6,7510
	400mg Cu/l	4,2963	1,40112	0,077	-0,1862	8,7788
	Folpan	4,9074	1,40112	0,017	0,4249	9,3899
200mg Cu/l	Kontrolle	-21,9630	1,40112	0,000	-26,4455	-17,4804
	100mg Cu/l	-7,6019	1,40112	0,000	-12,0844	-3,1193
	150mg Cu/l	-1,7130	1,40112	1,000	-6,1955	2,7696
	250mg Cu/l	0,3056	1,40112	1,000	-4,1770	4,7881

	300mg Cu/l	1,1574	1,40112	1,000	-3,3251	5,6399
	350mg Cu/l	0,5556	1,40112	1,000	-3,9270	5,0381
	400mg Cu/l	2,5833	1,40112	0,913	-1,8992	7,0659
	Folpan	3,1944	1,40112	0,565	-1,2881	7,6770
250mg Cu/l	Kontrolle	-22,2685	1,40112	0,000	-26,7510	-17,7860
	100mg Cu/l	-7,9074	1,40112	0,000	-12,3899	-3,4249
	150mg Cu/l	-2,0185	1,40112	0,997	-6,5010	2,4640
	200mg Cu/l	-0,3056	1,40112	1,000	-4,7881	4,1770
	300mg Cu/l	0,8519	1,40112	1,000	-3,6307	5,3344
	350mg Cu/l	0,2500	1,40112	1,000	-4,2325	4,7325
	400mg Cu/l	2,2778	1,40112	0,981	-2,2047	6,7603
	Folpan	2,8889	1,40112	0,766	-1,5936	7,3714
300mg Cu/l	Kontrolle	-23,1204	1,40112	0,000	-27,6029	-18,6378
	100mg Cu/l	-8,7593	1,40112	0,000	-13,2418	-4,2767
	150mg Cu/l	-2,8704	1,40112	0,777	-7,3529	1,6122
	200mg Cu/l	-1,1574	1,40112	1,000	-5,6399	3,3251
	250mg Cu/l	-0,8519	1,40112	1,000	-5,3344	3,6307
	350mg Cu/l	-0,6019	1,40112	1,000	-5,0844	3,8807
	400mg Cu/l	1,4259	1,40112	1,000	-3,0566	5,9084
	Folpan	2,0370	1,40112	0,997	-2,4455	6,5196
350mg Cu/l	Kontrolle	-22,5185	1,40112	0,000	-27,0010	-18,0360
	100mg Cu/l	-8,1574	1,40112	0,000	-12,6399	-3,6749
	150mg Cu/l	-2,2685	1,40112	0,982	-6,7510	2,2140
	200mg Cu/l	-0,5556	1,40112	1,000	-5,0381	3,9270
	250mg Cu/l	-0,2500	1,40112	1,000	-4,7325	4,2325
	300mg Cu/l	0,6019	1,40112	1,000	-3,8807	5,0844
	400mg Cu/l	2,0278	1,40112	0,997	-2,4547	6,5103
	Folpan	2,6389	1,40112	0,892	-1,8436	7,1214
400mg Cu/l	Kontrolle	-24,5463	1,40112	0,000	-29,0288	-20,0638
	100mg Cu/l	-10,1852	1,40112	0,000	-14,6677	-5,7027
	150mg Cu/l	-4,2963	1,40112	0,077	-8,7788	0,1862
	200mg Cu/l	-2,5833	1,40112	0,913	-7,0659	1,8992
	250mg Cu/l	-2,2778	1,40112	0,981	-6,7603	2,2047
	300mg Cu/l	-1,4259	1,40112	1,000	-5,9084	3,0566
	350mg Cu/l	-2,0278	1,40112	0,997	-6,5103	2,4547
	Folpan	0,6111	1,40112	1,000	-3,8714	5,0936
Folpan	Kontrolle	-25,1574	1,40112	0,000	-29,6399	-20,6749
	100mg Cu/l	-10,7963	1,40112	0,000	-15,2788	-6,3138
	150mg Cu/l	-4,9074	1,40112	0,017	-9,3899	-0,4249
	200mg Cu/l	-3,1944	1,40112	0,565	-7,6770	1,2881
	250mg Cu/l	-2,8889	1,40112	0,766	-7,3714	1,5936
	300mg Cu/l	-2,0370	1,40112	0,997	-6,5196	2,4455
	350mg Cu/l	-2,6389	1,40112	0,892	-7,1214	1,8436
	400mg Cu/l	-0,6111	1,40112	1,000	-5,0936	3,8714

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 106,010

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	60405,311 <sup>a</sup>	26	2323,281	21,916	0,000
Konstanter Term	37383,523	1	37383,523	352,642	0,000
Spritzmittel	54048,533	8	6756,067	63,731	0,000
WH	1086,311	2	543,155	5,124	0,006
Spritzmittel * WH	5270,467	16	329,404	3,107	0,000
Fehler	100179,167	945	106,010		
Gesamt	197968,000	972			
Korrigierte Gesamtvariation	160584,477	971			

a. R-Quadrat = ,376 (korrigiertes R-Quadrat = ,359)

# Kurative Wirkung des Hopfenextraktes

## Deskriptive Statistik

Spritzmittel			Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert		14,0000	2,50442	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	8,9645		
		Obergrenze	19,0355		
	5% getrimmtes Mittel		11,9955		
	Median		5,0000		
	Varianz		307,333		
	Standardabweichung		17,53093		
	Minimum		0,00		
	Maximum		70,00		
	Spannweite		70,00		
	Interquartilbereich		19,00		
	Schiefe		1,673		0,340
	Kurtosis		2,334		0,668
	Ho. 0,3%	Mittelwert			17,8923
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	12,8194		
		Obergrenze	22,9652		
5% getrimmtes Mittel			16,5897		
Median			10,0000		
Varianz			419,129		
Standardabweichung			20,47264		
Minimum			0,00		
Maximum			60,00		
Spannweite			60,00		
Interquartilbereich			39,00		
Schiefe			0,921	0,297	
Kurtosis			-0,800	0,586	
Ho. 0,35%		Mittelwert		14,1290	2,66492
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	8,8002		
		Obergrenze	19,4579		
	5% getrimmtes Mittel		11,2724		
	Median		5,0000		
	Varianz		440,311		
	Standardabweichung		20,98359		
	Minimum		0,00		
	Maximum		80,00		
	Spannweite		80,00		
	Interquartilbereich		20,00		
	Schiefe		1,985	0,304	
	Kurtosis		3,457	0,599	
	Melody Combi	Mittelwert		1,6471	

95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,7615	
	Obergrenze	2,5326	
5% getrimmtes Mittel		1,2745	
Median		0,0000	
Varianz		9,913	
Standardabweichung		3,14848	
Minimum		0,00	
Maximum		10,00	
Spannweite		10,00	
Interquartilbereich		1,00	
Schiefe		1,972	0,333
Kurtosis		2,596	0,656

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,243	49	0,000	0,774	49	0,000
	Ho. 0,3%	0,296	65	0,000	0,775	65	0,000
	Ho. 0,35%	0,288	62	0,000	0,696	62	0,000
	Melody Combi	0,385	51	0,000	0,569	51	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
12,966	11	215	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	0,747	2	113,893	0,476

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0,3%	-3,8923	3,26032	0,798	-12,5500	4,7654
	Ho. 0,35%	-0,1290	3,29405	1,000	-8,8763	8,6183
	Melody Combi	12,3529	3,44730	0,003	3,1987	21,5072
Ho. 0,3%	Kontrolle	3,8923	3,26032	0,798	-4,7654	12,5500
	Ho. 0,35%	3,7633	3,05923	0,775	-4,3605	11,8870
	Melody Combi	16,2452	3,22367	0,000	7,6848	24,8056
Ho. 0,35%	Kontrolle	0,1290	3,29405	1,000	-8,6183	8,8763
	Ho. 0,3%	-3,7633	3,05923	0,775	-11,8870	4,3605
	Melody Combi	12,4820	3,25777	0,001	3,8310	21,1329
Melody Combi	Kontrolle	-12,3529	3,44730	0,003	-21,5072	-3,1987
	Ho. 0,3%	-16,2452	3,22367	0,000	-24,8056	-7,6848
	Ho. 0,35%	-12,4820	3,25777	0,001	-21,1329	-3,8310

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 296,979

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

## Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	13248,728 <sup>a</sup>	11	1204,430	4,056	0,000
Konstanter Term	30261,179	1	30261,179	101,897	0,000
Spritzmittel	7808,263	3	2602,754	8,764	0,000
WH	2074,994	2	1037,497	3,494	0,032
Spritzmittel * WH	2490,298	6	415,050	1,398	0,217
Fehler	63850,444	215	296,979		
Gesamt	111859,000	227			
Korrigierte Gesamtvariation	77099,172	226			

a. R-Quadrat = ,172 (korrigiertes R-Quadrat = ,129)

# Translaminare Wirkung des Hopfenextraktes

## Deskriptive Statistik

Spritzmittel			Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert		9,7241	2,08338	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	5,5522		
		Obergrenze	13,8960		
	5% getrimmtes Mittel		7,8352		
	Median		1,0000		
	Varianz		251,747		
	Standardabweichung		15,86654		
	Minimum		0,00		
	Maximum		60,00		
	Spannweite		60,00		
	Interquartilbereich		12,50		
	Schiefe		1,768		0,314
	Kurtosis		2,142		0,618
Ho. 0,35%	Mittelwert		11,7273	2,46453	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	6,8053		
		Obergrenze	16,6493		
	5% getrimmtes Mittel		9,0236		
	Median		5,0000		
	Varianz		400,878		
	Standardabweichung		20,02195		
	Minimum		0,00		
	Maximum		80,00		
	Spannweite		80,00		
	Interquartilbereich		10,00		
	Schiefe		2,172		0,295
	Kurtosis		3,876		0,582
Pergado	Mittelwert		1,7719	0,49497	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,7804		
		Obergrenze	2,7635		
	5% getrimmtes Mittel		1,2183		
	Median		0,0000		
	Varianz		13,965		
	Standardabweichung		3,73697		
	Minimum		0,00		
	Maximum		20,00		
	Spannweite		20,00		
	Interquartilbereich		1,00		
	Schiefe		2,939		0,316
	Kurtosis		10,055		0,623

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,312	58	0,000	0,670	58	0,000
	Ho. 0,35%	0,337	66	0,000	0,626	66	0,000
	Pergado	0,389	57	0,000	0,540	57	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
6,219	8	172	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	0,385	1	120,766	0,536

a. Asymptotisch F-verteilt

### Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0,35%	-2,0031	2,75681	0,850	-8,6504	4,6441
	Pergado	7,9522	2,85680	0,018	1,0639	14,8406
Ho. 0,35%	Kontrolle	2,0031	2,75681	0,850	-4,6441	8,6504
	Pergado	9,9553	2,76965	0,001	3,2771	16,6336
Pergado	Kontrolle	-7,9522	2,85680	0,018	-14,8406	-1,0639
	Ho. 0,35%	-9,9553	2,76965	0,001	-16,6336	-3,2771

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 234,619

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	4134,020 <sup>a</sup>	8	516,752	2,203	0,029
Konstanter Term	7870,677	1	7870,677	33,547	0,000
Spritzmittel	2652,962	2	1326,481	5,654	0,004
WH	87,943	2	43,972	0,187	0,829
Spritzmittel * WH	827,083	4	206,771	0,881	0,476
Fehler	40354,533	172	234,619		
Gesamt	55929,000	181			
Korrigierte Gesamtvariation	44488,552	180			

a. R-Quadrat = ,093 (korrigiertes R-Quadrat = ,051)

# Hopfenextraktwirkung auf Ganzpflanzen

## Nach 0 Tagen Einwirkzeit

### Deskriptive Statistik

Mittel		Statistik	Standardfehler
Kontrolle	Mittelwert	15,1184	2,45085
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	10,2361	
	Untergrenze	20,0008	
	Obergrenze	12,7047	
	5% getrimmtes Mittel	12,7047	
	Median	5,0000	
	Varianz	456,506	
	Standardabweichung	21,36600	
	Minimum	0,00	
	Maximum	90,00	
	Spannweite	90,00	
	Interquartilbereich	27,50	
	Schiefe	1,572	
Kurtosis	1,905	0,545	
Ho. 0,3%	Mittelwert	3,9663	0,91205
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	2,1538	
	Untergrenze	5,7788	
	Obergrenze	2,5468	
	5% getrimmtes Mittel	2,5468	
	Median	,0000	
	Varianz	74,033	
	Standardabweichung	8,60424	
	Minimum	0,00	
	Maximum	50,00	
	Spannweite	50,00	
	Interquartilbereich	5,00	
	Schiefe	3,293	
Kurtosis	12,405	0,506	
Ho. 0,35%	Mittelwert	5,2809	1,12645
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	3,0423	
	Untergrenze	7,5195	
	Obergrenze	3,6049	
	5% getrimmtes Mittel	3,6049	
	Median	1,0000	
	Varianz	112,932	
	Standardabweichung	10,62693	
	Minimum	0,00	
	Maximum	70,00	
	Spannweite	70,00	
Interquartilbereich	5,00		

	Schiefe		3,543	0,255
	Kurtosis		16,242	0,506
Folpan	Mittelwert		0,4444	0,19974
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	0,0496	
		Obergrenze	0,8393	
	5% getrimmtes Mittel		0,0910	
	Median		0,0000	
	Varianz		5,745	
	Standardabweichung		2,39690	
	Minimum		0,00	
	Maximum		25,00	
	Spannweite		25,00	
	Interquartilbereich		0,00	
	Schiefe		8,525	0,202
	Kurtosis		80,957	0,401

### Tests auf Normalverteilung

Mittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,266	76	0,000	0,740	76	0,000
	Ho. 0,3%	0,331	89	0,000	0,524	89	0,000
	Ho. 0,35%	0,310	89	0,000	0,549	89	0,000
	Folpan	0,442	144	0,000	0,177	144	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
32,768	7	390	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Mittel + WH + Mittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	9,053	2	146,870	0,000

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0,3%	11,1521	1,77883	0,000	6,4481	15,8562
	Ho. 0,35%	9,8375	1,77883	0,000	5,1335	14,5416
	Folpan	14,6740	1,61480	0,000	10,4037	18,9442
Ho. 0,3%	Kontrolle	-11,1521	1,77883	0,000	-15,8562	-6,4481
	Ho. 0,35%	-1,3146	1,70732	0,970	-5,8295	3,2003
	Folpan	3,5218	1,53566	0,127	-0,5392	7,5829
Ho. 0,35%	Kontrolle	-9,8375	1,77883	0,000	-14,5416	-5,1335
	Ho. 0,3%	1,3146	1,70732	0,970	-3,2003	5,8295
	Folpan	4,8365	1,53566	0,011	0,7754	8,8975
Folpan	Kontrolle	-14,6740	1,61480	0,000	-18,9442	-10,4037
	Ho. 0,3%	-3,5218	1,53566	0,127	-7,5829	0,5392
	Ho. 0,35%	-4,8365	1,53566	0,011	-8,8975	-0,7754

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 129,715

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

## Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	FG	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	11789,956 <sup>a</sup>	7	1684,279	12,984	0,000
Konstanter Term	14122,725	1	14122,725	108,875	0,000
Mittel	11476,365	3	3825,455	29,491	0,000
WH	50,400	1	50,400	0,389	0,533
Mittel * WH	903,651	3	301,217	2,322	0,075
Fehler	50588,727	390	129,715		
Gesamt	72794,000	398			
Korrigierte Gesamtvariation	62378,683	397			

a. R-Quadrat = ,189 (korrigiertes R-Quadrat = ,174)

## Nach einem Tag Einwirkzeit

### Deskriptive Statistik

Spritzmittel			Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert		17,0806	2,43751	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	12,2065		
		Obergrenze	21,9547		
	5% getrimmtes Mittel		15,4839		
	Median		7,5000		
	Varianz		368,370		
	Standardabweichung		19,19298		
	Minimum		0,00		
	Maximum		70,00		
	Spannweite		70,00		
	Interquartilbereich		29,00		
	Schiefe		0,959		0,304
	Kurtosis		-0,108		0,599
	Ho. 0,3%	Mittelwert			14,4186
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	9,7397		
		Obergrenze	19,0975		
5% getrimmtes Mittel			11,9121		
Median			5,0000		
Varianz			476,246		
Standardabweichung			21,82307		
Minimum			0,00		
Maximum			90,00		
Spannweite			90,00		
Interquartilbereich			20,00		
Schiefe			1,655	0,260	
Kurtosis			1,835	0,514	
Ho. 0,35%		Mittelwert		11,0000	1,86729
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	7,2739		
		Obergrenze	14,7261		
	5% getrimmtes Mittel		8,9614		
	Median		5,0000		
	Varianz		240,588		
	Standardabweichung		15,51091		
	Minimum		0,00		
	Maximum		80,00		
	Spannweite		80,00		
	Interquartilbereich		15,00		
	Schiefe		2,175	0,289	
	Kurtosis		5,590	0,570	
	Folpan	Mittelwert		1,0702	
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	0,4909		

Mittelwerts	Obergrenze	1,6495	
5% getrimmtes Mittel		0,4873	
Median		0,0000	
Varianz		9,747	
Standardabweichung		3,12206	
Minimum		0,00	
Maximum		20,00	
Spannweite		20,00	
Interquartilbereich		0,00	
Schiefe		3,761	0,226
Kurtosis		15,927	0,449

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,235	62	0,000	0,834	62	0,000
	Ho. 0,3%	0,278	86	0,000	0,705	86	0,000
	Ho. 0,35%	0,245	69	0,000	0,724	69	0,000
	Folpan	0,450	114	0,000	0,397	114	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
19,962	5	211	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	2,039	2	138,015	0,134

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0,3%	2,6620	2,32402	0,826	-3,4902	8,8143
	Ho. 0,35%	6,0806	2,44100	0,077	-,3813	12,5426
	Folpan	16,0105	2,20121	0,000	10,1833	21,8377
Ho. 0,3%	Kontrolle	-2,6620	2,32402	0,826	-8,8143	3,4902
	Ho. 0,35%	3,4186	2,25447	0,568	-2,5496	9,3868
	Folpan	13,3484	1,99235	0,000	8,0741	18,6227
Ho. 0,35%	Kontrolle	-6,0806	2,44100	0,077	-12,5426	0,3813
	Ho. 0,3%	-3,4186	2,25447	0,568	-9,3868	2,5496
	Folpan	9,9298	2,12766	0,000	4,2974	15,5623
Folpan	Kontrolle	-16,0105	2,20121	0,000	-21,8377	-10,1833
	Ho. 0,3%	-13,3484	1,99235	0,000	-18,6227	-8,0741
	Ho. 0,35%	-9,9298	2,12766	0,000	-15,5623	-4,2974

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 194,584

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

## Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable:Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	31458,411 <sup>a</sup>	7	4494,059	23,096	0,000
Konstanter Term	33715,646	1	33715,646	173,271	0,000
Spritzmittel	12240,710	3	4080,237	20,969	0,000
WH	11639,767	1	11639,767	59,819	0,000
Spritzmittel * WH	7813,405	3	2604,468	13,385	0,000
Fehler	62850,532	323	194,584		
Gesamt	124860,000	331			
Korrigierte Gesamtvariation	94308,943	330			

a. R-Quadrat = ,334 (korrigiertes R-Quadrat = ,319)

# Systemische Wirkung des Hopfenextraktes

## Nach 0 Tagen Einwirkzeit

### Deskriptive Statistik

Spritzmittel		Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert	18,5467	3,13517	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		12,2997
		Obergrenze		24,7936
	5% getrimmtes Mittel	15,8667		
	Median	0,0000		
	Varianz	737,197		
	Standardabweichung	27,15137		
	Minimum	0,00		
	Maximum	90,00		
	Spannweite	90,00		
	Interquartilbereich	30,00		
	Schiefe	1,274		0,277
	Kurtosis	0,267		0,548
	Ho . 0,3%	Mittelwert		7,1625
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	4,2413	
		Obergrenze	10,0837	
5% getrimmtes Mittel		5,0417		
Median		1,0000		
Varianz		172,315		
Standardabweichung		13,12688		
Minimum		0,00		
Maximum		60,00		
Spannweite		60,00		
Interquartilbereich		10,00		
Schiefe		2,585	0,269	
Kurtosis		6,883	0,532	
Ho. 0,35%		Mittelwert	16,8077	2,91676
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	10,9997	
		Obergrenze	22,6157	
	5% getrimmtes Mittel	14,0883		
	Median	0,0000		
	Varianz	663,586		
	Standardabweichung	25,76016		
	Minimum	0,00		
	Maximum	90,00		
	Spannweite	90,00		

Interquartilbereich	32,50	
Schiefe	1,344	0,272
Kurtosis	0,524	0,538

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,288	75	0,000	0,718	75	0,000
	Ho . 0,3%	0,293	80	0,000	0,605	80	0,000
	Ho. 0,35%	0,331	78	0,000	0,697	78	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
34,933	5	227	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + Wiederholung + Spritzmittel \* Wiederholung

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	8,177	2	133,350	0,000

a. Asymptotisch F-verteilt

### Multiple Comparisons

Befall  
Sidak

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho . 0,3%	11,3842	2,73160	0,000	4,8133	17,9550
	Ho. 0,35%	1,7390	2,74849	0,895	-4,8725	8,3504
Ho. 0,3%	Kontrolle	-11,3842	2,73160	0,000	-17,9550	-4,8133
	Ho. 0,35%	-9,6452	2,70435	0,001	-16,1505	-3,1399
Ho.0,35%	Kontrolle	-1,7390	2,74849	0,895	-8,3504	4,8725
	Ho . 0,3%	9,6452	2,70435	0,001	3,1399	16,1505

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 288,837

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

## Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	59600,223 <sup>a</sup>	5	11920,045	41,269	0,000
Konstanter Term	63964,411	1	63964,411	221,455	0,000
Spritzmittel	9913,033	2	4956,516	17,160	0,000
Wiederholung	47854,931	1	47854,931	165,681	0,000
Spritzmittel * Wiederholung	7095,146	2	3547,573	12,282	0,000
Fehler	65566,052	227	288,837		
Gesamt	171199,000	233			
Korrigierte Gesamtvariation	125166,275	232			

a. R-Quadrat = ,476 (korrigiertes R-Quadrat = ,465)

## Nach einem Tag Einwirkzeit

### Deskriptive Statistik

Spritzmittel		Statistik	Standardfehler	
Kontrolle	Mittelwert	27,1429	3,54785	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		20,0508
		Obergrenze		34,2349
	5% getrimmtes Mittel	25,7143		
	Median	15,0000		
	Varianz	792,995		
	Standardabweichung	28,16017		
	Minimum	0,00		
	Maximum	80,00		
	Spannweite	80,00		
	Interquartilbereich	49,00		
	Schiefe	0,775		0,302
	Kurtosis	-0,895		0,595
Ho. 0,3%	Mittelwert	19,1212	2,84408	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		13,4412
		Obergrenze		24,8012
	5% getrimmtes Mittel	16,8519		
	Median	10,0000		
	Varianz	533,862		
	Standardabweichung	23,10545		
	Minimum	0,00		
	Maximum	80,00		
	Spannweite	80,00		
	Interquartilbereich	28,00		
	Schiefe	1,264		,295
	Kurtosis	0,579		0,582
Ho. 0,35%	Mittelwert	21,1379	2,74501	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		15,6412

Mittelwerts	Obergrenze	26,6347	
5% getrimmtes Mittel		19,9617	
Median		10,0000	
Varianz		437,033	
Standardabweichung		20,90534	
Minimum		0,00	
Maximum		70,00	
Spannweite		70,00	
Interquartilbereich		36,00	
Schiefe		0,804	0,314
Kurtosis		-0,678	0,618

### Tests auf Normalverteilung

Spritzmittel		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistik	Fg	P- Wert	Statistik	Fg	P- Wert
Befall	Kontrolle	0,205	63	0,000	0,828	63	0,000
	Ho. 0,3%	0,244	66	0,000	0,796	66	0,000
	Ho. 0,35%	0,255	58	0,000	0,852	58	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

### Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen<sup>a</sup>

Abhängige Variable: Befall

F	Fg 1	Fg 2	P- Wert
16,208	5	181	0,000

Prüft die Nullhypothese, daß die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über Gruppen hinweg gleich ist.

a. Design: Konstanter Term + Spritzmittel + WH + Spritzmittel \* WH

### Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

Befall

	Statistik <sup>a</sup>	Fg Zähler	Fg Nenner	P- Wert
Welch-Test	1,598	2	121,444	0,207

a. Asymptotisch F-verteilt

## Multiple Comparisons

(I)Spritzmittel	(J)Spritzmittel	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	P- Wert	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Kontrolle	Ho. 0,3%	8,0216	3,99961	0,133	-1,6176	17,6608
	Ho. 0,35 %	6,0049	4,13213	0,381	-3,9536	15,9635
Ho. 0,3%	Kontrolle	-8,0216	3,99961	0,133	-17,6608	1,6176
	Ho. 0,35%	-2,0167	4,08686	0,946	-11,8662	7,8328
Ho. 0,35%	Kontrolle	-6,0049	4,13213	0,381	-15,9635	3,9536
	Ho. 0,3%	2,0167	4,08686	0,946	-7,8328	11,8662

## Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Befall

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Fg	Mittel der Quadrate	F	P- Wert
Korrigiertes Modell	17668,877 <sup>a</sup>	5	3533,775	6,853	0,000
Konstanter Term	97425,871	1	97425,871	188,949	0,000
Spritzmittel	2501,454	2	1250,727	2,426	0,091
WH	12414,558	1	12414,558	24,077	0,000
Spritzmittel * WH	2540,088	2	1270,044	2,463	0,088
Fehler	93327,390	181	515,621		
Gesamt	205238,000	187			
Korrigierte Gesamtvariation	110996,267	186			

a. R-Quadrat = ,159 (korrigiertes R-Quadrat = ,136)

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, ganz oder in Teilen noch nicht als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die benutzten Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht.