

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Institut für Phytopathologie und Angewandte Zoologie

und

FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM

Institut für Biologie - Fachgebiet Phytomedizin

Befallsreduzierung von *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni im ökologischen Weinbau auf der Basis von Maßnahmen zur Kupferminimierung und Verfahren der Induzierten Resistenz

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) am
Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von

Diplom-Agrarbiologin Dagmar Sybille Heibertshausen
aus Schorndorf

Diese Arbeit wurde überwiegend vom Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) durch das Projekt „Optimierung des ökologischen Rebschutzes unter besonderer Berücksichtigung der Rebenperonospora“ (Projekt-Nr. 514-43.10/03OE572) finanziert.

Gutachter: Prof. Dr. K.-H. Kogel
Prof. Dr. W. Friedt

Dekanin: Prof. Dr. I.-U. Leonhäuser

Tag der Disputation: 02.07.2009

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	11
1.1 Ökonomische Bedeutung des Weinbaus, insbesondere des ökologischen Weinbaus in Deutschland	13
1.2 Der Falsche Mehltau der Weinrebe <i>Plasmopara viticola</i>	15
1.3 Einsatz von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln	21
1.4 Induzierte Resistenz und die Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln.....	26
1.5 Ziel der Arbeit	32
2 MATERIAL UND METHODEN	34
2.1 Chemikalien, Nährmedien, Geräte und Software	34
2.2 Pathogene	35
2.2.1 Der Erreger des Falschen Mehltaus der Weinrebe - <i>Plasmopara viticola</i>	35
2.2.2 Der Erreger des Grauschimmels der Weinrebe - <i>Botrytis cinerea</i>	36
2.3 Pflanzenanzucht <i>Vitis vinifera</i>	36
2.4 Überprüfung der Wirksamkeit von Pflanzenstärkungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln gegenüber <i>Plasmopara viticola</i> unter Gewächshausbedingungen	36
2.4.1 Wirksamkeitsversuche mit Topfreben	36
2.4.2 Erfassung der UV-Beständigkeit von Pflanzenstärkungsmitteln.....	38
2.4.3 Studien zur Regenstabilität von Pflanzenstärkungsmitteln	39
2.5 Versuchsweinberge, Witterungsdaten und Epidemiologie von <i>Plasmopara viticola</i>	40
2.6 Untersuchungen zu Nebenwirkungen der Testprodukte	45
2.6.1 <i>Botrytis cinerea</i> (<i>in vitro</i>)	45
2.6.2 Erfassung von <i>Botrytis cinerea</i> im Freiland	46
2.6.3 Raubmilbenpopulationen (<i>Typhlodromus pyri</i>)	46
2.6.4 Gärung, Gärverlauf, Inhaltsstoffe und Geschmack.....	47
2.6.4.1 Analyse der Versuchsmoste und Versuchsweine.....	47
2.6.4.2 Mikrovinifikation der Versuchsmoste.....	47
2.6.4.3 Sensorische Beurteilung der Versuchsweine	48
2.7 Untersuchungen zur Beeinflussung der Sporangienkeimung <i>in vitro</i> durch Pflanzenstärkungsmittel mittels Fluoreszenzmikroskopie	48
2.8 Untersuchungen zur Gen-Expression.....	49
2.8.1 RNA Extraktion und photometrische Bestimmung des RNA-Gehaltes.....	50
2.8.2 Überprüfung der RNA-Qualität unter denaturierenden Bedingungen.....	52
2.8.3 cDNA-Synthese.....	52
2.8.4 qPCR.....	52
2.9 Statistische Auswertung.....	53

3 ERGEBNISSE	55
3.1 Wirksamkeit von Pflanzenstärkungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln gegenüber <i>Plasmopara viticola</i>	55
3.1.1 Wirkung der Testprodukte an Topfreben	55
3.1.1.1 Kupferersatz-Strategien	55
3.1.1.2 Kupferminimierungs-Strategien.....	62
3.1.2 Effekte von Formulierungshilfsstoffen auf die UV-Beständigkeit und Regenstabilität von Pflanzenstärkungsmitteln unter Gewächshausbedingungen.....	64
3.1.3 Wirksamkeit von Testprodukten in Freilandversuchen	67
.3.2 Nebenwirkung der Testprodukte	77
3.2.1 <i>Botrytis cinerea</i> (<i>in vitro</i> und Freiland)	77
3.2.2 Nebenwirkung der Testprodukte auf Nützlingspopulationen (<i>Typhlodromus pyri</i>)	80
3.2.3 Effekte der Testprodukte auf die Gärung und den Geschmack.....	84
3.2.3.1 Inhaltsstoffe der Moste und Weine.....	84
3.2.3.2 Gärverlauf.....	85
3.2.3.3 Effekt der Testprodukte auf die sensorische Qualität der Weine.....	87
3.3 Einfluss von Pflanzenstärkungsmitteln auf die Sporangienkeimung <i>in vitro</i>.....	89
3.4 Gen-Expressions-Studien zum Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln und Kupfer.....	91
4 DISKUSSION	97
4.1 Regulierung von <i>Plasmopara viticola</i> mit Pflanzenstärkungsmitteln.....	97
4.2 Wirkung von kupferhaltigen Testprodukten gegenüber <i>Plasmopara viticola</i>	107
4.3 Einfluss der Testprodukte auf <i>Botrytis cinerea</i>, <i>Typhlodromus pyri</i> und die Weinbereitung	110
4.4 Einfluss der Testprodukte auf die Keimung von <i>Plasmopara viticola</i> (Fluoreszenzmikroskopie)	114
4.5 Verfahren der Induzierten Resistenz und deren Anwendung im ökologischen Weinbau ...	116
5 ZUSAMMENFASSUNG	121
6 SUMMARY	122
7 LITERATURVERZEICHNIS	123
8 ANHANG.....	136

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Symptome verursacht durch <i>Plasmopara viticola</i> an <i>Vitis vinifera</i>	15
Abb. 2: Asexuelle Vermehrungsorgane von <i>P. viticola</i> auf Blattscheiben.....	18
Abb. 3: Entwicklungszyklen von <i>P. viticola</i> (KASSEMEYER 2003)	19
Abb. 4: Geräte und Apparaturen zur Überprüfung der UV-Beständigkeit und Regenstabilität der Testsubstanzen	40
Abb. 5: Lage der Versuchsweinberge am Standort Geisenheim	42
Abb. 6: Übersicht über die in den Jahren 2005 bis 2008 geprüften Versuchsvarianten in den Versuchsweinbergen „Mäuerchen“ und „Kellersgrube“	42
Abb. 7: Untersuchungen zur Wirkungsverbesserung gegenüber <i>P. viticola</i> durch Erhöhung der UV-Beständigkeit und Regenfestigkeit.....	65
Abb. 8: Berostungen auf der Beerenhaut und Verbrennung verursacht durch das Versuchsmittel SPU-02540-F (Spiess-Urania Chemicals GmbH).....	70
Abb. 9: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ im Jahr 2006	71
Abb. 10: Phytotoxische Schäden verursacht durch das Versuchsmittel ROCKSIL	72
Abb. 11: Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“ im Jahr 2007.....	72
Abb. 12: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ im Jahr 2007	73
Abb. 13: Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“ im Jahr 2008.....	74
Abb. 14: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ im Jahr 2008	75
Abb. 15: Phytotoxische Schäden an <i>V. vinifera</i> verursacht durch die Testprodukte im Jahr 2008.....	76
Abb. 16: Myzeldurchmesser von <i>B. cinerea</i> auf OMA-Medium.....	77
Abb. 17: <i>In vitro</i> Wirksamkeit von zwei Prüfmitteln gegenüber <i>B. cinerea</i>	78
Abb. 18: Befall von <i>B. cinerea</i> im Jahr 2005	79
Abb. 19: Befall von <i>B. cinerea</i> im Jahr 2006	79
Abb. 20: Befall von <i>B. cinerea</i> im Jahr 2007	80
Abb. 21: Raubmilbenbesatz im Jahr 2005.....	82
Abb. 22: Raubmilbenbesatz im Jahr 2006.....	82
Abb. 23: Raubmilbenbesatz im Jahr 2007.....	83
Abb. 24: Raubmilbenbesatz im Jahr 2008.....	83
Abb. 25: Gärverlauf der Moste in den Jahren 2005 bis 2007.....	86
Abb. 26: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2005	88
Abb. 27: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2006	88
Abb. 28: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2007	89
Abb. 29: Anteil der gekeimten und nicht gekeimten Zoosporen von <i>P. viticola</i>	90
Abb. 30: Expression von PR-2 und PR-5 an Topfreben cv. Müller-Thurgau in Abhängigkeit von der Behandlung sowie der Inokulation mit <i>P. viticola</i>	93-96

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Behandlungsindizes für Wein (2003) und im Vergleich zu Hopfen (2001) und Kartoffel und Winterweizen (NEPTUN 2000) (ROSSBERG 2007).	11
Tab. 2: Übersicht über die Mischbarkeit von Pflanzenstärkungsmitteln	32
Tab. 3: Übersicht der unter Gewächshausbedingungen verwendeten Prüfmittel.	38
Tab. 4: Kenndaten der beiden Versuchsanlagen in Geisenheim (Weinanbaugebiet Rheingau)	41
Tab. 5: Übersicht der eingesetzten Prüfmittel für die Testung der Wirkung gegenüber <i>B. cinerea</i>	46
Tab. 6: Übersicht über die in der Gen-Expressionsstudie geprüften Testprodukte	50
Tab. 7: Extraktionspuffer zur RNA-Isolierung	51
Tab. 8: Mastermix des iQ SYBR Green Supermixes.....	53
Tab. 9: Für die qPCR eingesetzten Primerpaare.....	53
Tab. 10: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005(Kupferersatz).....	57
Tab. 11: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2007 (Kupferersatz).....	57
Tab. 12: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben in den Jahren 2005 und 2006 (Kupferersatz)....	58
Tab. 13: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2006 (Kupferersatz).....	59
Tab. 14: Versuchsserien im Gewächshaus mit Topfreben-1 (Kupferersatz).....	60
Tab. 15: Versuchsserien im Gewächshaus mit Topfreben-2 (Kupferersatz).....	60
Tab. 16: Versuchsserien im Gewächshaus mit Topfreben-3 (Kupferersatz).....	61
Tab. 17: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005 (Kupferminimierung)-1.....	62
Tab. 18: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005 (Kupferminimierung)-2.....	63
Tab. 19: Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“ im Jahr 2005	67
Tab. 20: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ im Jahr 2005.....	68
Tab. 21: Angabe zu den Pflanzenschutzapplikationen und der Mikrovinifikation der Moste.....	67
Tab. 22: Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an Blättern der Topfreben (Gen-Expression).	93

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (lat.: anno)
A. dest	destilliertes Wasser (Milli Pore)
Abb.	Abbildung
ASM	Acibenzolar-S-methyl
BABA	Beta-Aminobuttersäure
BBA	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BH	Befallshäufigkeit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BÖL	Bundesprogramm Ökologischer Landbau
bp	Basenpaare
BS	Befallsstärke
bspw.	beispielsweise
BTH	Benzo-thiadiazoles
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
cm	Zentimeter
CTAB	Cetyltrimethylammoniumbromid
Cu	Kupfer
cv.	Sorte (cultivar)
dai	days after inoculation
dat	days after treatment
dbt	days before treatment
DCINA	2,6-dichloroisonicotonic acid
DEPC	Diethylpyrocarbonate
DLG	Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft
DNA	Desoxyribonucleic acid (dt.: Deoxyribonukleinsäure)
DNase	Desoxyribonuklease
dNTPs	Desoxyribonukleosidtriphosphate
DWD	Deutscher Wetterdienst
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure bzw. Ethylendiamintetraacetat
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
ES	Entwicklungsstadium
ET	Ethylen
EU	Europäische Union
FA	Forschungsanstalt Geisenheim
FH	Formulierungshilfsstoff
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
g	Gramm
GAPDH	Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase

h	Stunde
ha	Hektar
HCl	Salzsäure
hL	Hektoliter
hpl	hours past Inoculation
HR	Hypersensitive Reaktion
IR	Induzierte Resistenz
JA	Jasmonat
JKI	Julius Kühn-Institut (ehemals BBA)
kg	Kilogramm
KW	Kalenderwoche
L	Liter
LAR	local acquired resistance (dt.: lokal erworbene Resistenz)
LiCl	Lithiumchlorid
m	Meter
M	Molare Masse
mg	Milligramm
min	Minute
Mio.	Millionen
mol	Stoffmenge (SI-Basiseinheit)
MOPS	4-Morpholino-Propansulfonsäure
MW	Mittelwert
NaCl	Natriumchlorid
NaOH	Natriumhydroxid
nb/ni	nicht behandelt/nicht inokuliert
OD	Optische Dichte
<i>P. viticola</i>	<i>Plasmopara viticola</i>
PAL	Phenylalanin Ammonium Lyase
PAMP	pathogen associated molecular pattern
PCR	Polymerasekettenreaktion
pH	Potentia Hydrogenii
PIWI	Pilzwiderstandsfähige, interspezifische Rebsorte
PR	pathogenesis-related
PSM	Pflanzenschutzmittel
PStM	Pflanzenstärkungsmittel
PVP K 30	Polyvinylpyrrolidon
r. F.	relative Luftfeuchte
REPCO	Replacement of Copper Fungicides in Organic Production of Grapevine and Apple in Europe

RNA	ribonucleic acid (dt.: Ribonukleinsäure)
RNase	Ribonuklease
rpm	rounds per minute (dt.: Umdrehungen pro Minute)
RT	Raumtemperatur
s	Sekunde
SA	Salicylsäure
SAR	systemic acquired resistance (dt.: systemisch erworbene Resistenz)
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
sp.	species
SPU	Spiess Urania Chemicals GmbH
STABW	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
TAE	Tris-Acetat-EDTA
Taq	Taq-Polymerase (kurz <i>Taq</i>); DNA-Polymerase des Bakteriums <i>Thermus aquaticus</i>
T _m	Schmelztemperatur
Tris	Tris (hydroxymethyl)-aminomethan
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolett
V	Volt
<i>V. vinifera</i>	<i>Vitis vinifera</i>
v/v	volume/volume (dt. Volumen pro Volumen)
var.	varietas
VDP	Verein Deutscher Prädikatsweingüter
Vol	Volumen
w/v	weight/volume (dt. Gewicht pro Volumen)
z.B.	zum Beispiel
zit.	zitiert
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
%	Prozent
°C	Grad Celsius
°Oe	Grad Oechsle
µg	Mikrogramm

1 Einleitung

Auf deutscher wie auf europäischer Ebene bestehen Bestrebungen, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren (Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz, ANONYM 2005). In den vergangenen Jahren wurden im Rahmen des NEPTUN Programms (Netzwerk zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in unterschiedlichen, landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands) Studien zur Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (Behandlungsindizes¹) in verschiedenen Kulturen durchgeführt. Im Vergleich zu zwei Ackerbaukulturen (Winterweizen, Kartoffeln) und zum Hopfenanbau wurde im Rahmen dieser Studie deutlich, dass für die Kultivierung von Kelter- und Tafeltrauben intensive Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig sind (Tab. 1; ROSSBERG 2007).

Tab. 1: Behandlungsindizes für Weinreben (2003) im Vergleich zu Hopfen (2001), Kartoffeln und Winterweizen (NEPTUN 2000, ROSSBERG 2007).

Kulturpflanze	Anzahl Betriebe	Alle Maßnahmen	Fungizide	Herbizide	Insektizide	Wachstumsregler
Weinreben	232	13,1	12,4	0,1	0,6	-
Hopfen	56	12,8	8,2	0,6	4,0	-
Kartoffeln	130	8,6	6,1	1,6	0,9	0,0
Winterweizen	790	3,8	1,4	1,4	0,4	0,6

Im ökologischen Weinbau müssen aufgrund weniger wirkungsstarker Produkte im Vergleich zum integrierten Rebschutz kürzere Applikationsintervalle eingehalten werden. Auch hier ist also eine Reduzierung der Anwendungen wünschenswert. Dies gilt besonders für den Einsatz kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel. Seit mehreren Jahren wird eine drastische Reduzierung des Kupfereintrags von Seiten der Regierung gefordert (BODE 2003, KÜHNE 2008). Derzeit liegt in Europa die maximal zulässige Menge für den ökologischen Weinbau bei 6 kg Cu/ha pro Jahr bzw. bei 30 kg Cu/ha in fünf Jahren (Verordnung EWG Nr. 2092/91 Anhang II B, seit 01.01.2009 Verordnung (EG) Nr. 834/2007). Die deutschen Verbände für ökologischen Weinbau haben den Grenzwert auf 3 kg Cu/ha pro Jahr bzw. 15 kg Cu/ha

¹ Die Anzahl der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel, bezogen auf die zugelassene Aufwandmenge und die Anbaufläche der Kultur, wird als Behandlungsindex bezeichnet.

in fünf Jahren gesenkt. Allerdings können diese Werte unter deutschen Anbaubedingungen in vielen Weinbaugebieten nur in Kombination mit so genannten Alternativen, den Pflanzenstärkungsmitteln, erreicht werden. Pflanzenstärkungsmittel werden hauptsächlich in weniger anfälligen Entwicklungsstadien der Weinrebe und bei geringem Befallsdruck angewendet. Bei riskanten Zeitpunkten, in denen die Weinrebe hoch anfällig ist (abgehende Blüte bis „Erbsengröße“ / BBCH² 68 – 75), müssen Pflanzenstärkungsmittel mit kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln kombiniert werden, um den Ertrag und die Qualität sicherzustellen. Daher besteht Forschungsbedarf im Bereich Kupferersatz, um den Einsatz von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln weiter zu reduzieren, oder in naher Zukunft sogar ganz zu ersetzen, wie vom BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) gefordert.

Nach aktuellen Schätzungen wird mit einer Verdoppelung der ökologisch bewirtschafteten Flächen in den nächsten Jahren auf 5000 ha in Deutschland gerechnet, um die steigende Nachfrage der Konsumenten nach ökologisch produzierten Lebensmitteln zu decken (KAUER 2008). Vor diesem Hintergrund müssen ertrags- und qualitätssichernde Pflanzenschutzmaßnahmen zur Verfügung stehen. Ferner wird für das Antiresistenzmanagement im integrierten Rebschutz verstärkt nach neuen Wirkungsprinzipien gesucht, da der Einsatz von Wirkortspezifischen (site-specific) Wirkstoffen teilweise zur Ausbildung von resistenten Pathogenpopulationen geführt hat. Daher werden heute bei neuen Pflanzenschutzmitteln zusätzlich multi-site Wirkstoffe wie Mancozeb und Folpet beigemischt, um die Ausbildung von Resistenzen zu unterbinden (GISI und SIEROTZKI 2008). In Zukunft wäre der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln anstelle von Kupferbeimischungen denkbar.

Durch den von BERNSTEIN et al. (2007) prognostizierten Temperaturanstieg und die höhere Variabilität der Niederschlagsereignisse sowie die vorhergesagte Zunahme von Starkregen im Sommer wird der Pflanzenschutz im Weinbau zukünftig an Bedeutung zunehmen – dies gilt gleichermaßen für den integrierten und den ökologischen Rebschutz. Die Bereitstellung kupferarmer oder sogar kupferfreier Substanzen für den ökologischen Weinbau ist nötiger denn je. Aus diesem Grund wird den Pflanzenstärkungsmitteln, die ein wichtiges Standbein im ökologischen Pflanzen-

² Die Entwicklungsstadien (BBCH-Code) nach LORENZ et al. (1994) aus MEIER (2001) finden sich in Anhang-Tab. 1.

schutz darstellen, in Zukunft eine größere Bedeutung zukommen. Diese Produkte können nur dann termingerecht und epidemiologisch sinnvoll ausgebracht werden, wenn neben der Wirkungsweise das Eindämpfungspotential genau bekannt ist.

1.1 Ökonomische Bedeutung des Weinbaus, insbesondere des ökologischen Weinbaus in Deutschland

Bereits 3.500 v. Chr. fand in Ägypten Weinbau statt, dies belegen kulturgeschichtliche Funde, auf denen Weinreben und die Weinbereitung zu sehen sind (KLEWE 1981). Die Kultur der Weinbereitung wurde durch die Römer an die Mosel, den Rhein und nach Südwestdeutschland gebracht. Mit der Kolonialisierung wurde *Vitis vinifera* auf die Südhalbkugel (Australien, Neuseeland) gebracht, wo sie ursprünglich nicht vorkam. So findet heute weltweit Weinbau statt, um Kelter- oder Tafeltrauben anzubauen (VOGT und GÖTZ 1987). Die Weinrebe *V. vinifera* wird nun seit über 2000 Jahren in Deutschland kultiviert. Im Jahr 2008 wurden auf über 100.000 ha rund 140 *V. vinifera*-Sorten angepflanzt. Deutschland liegt momentan flächenmäßig an der 15. Stelle der Weinanbauländer der Welt. Die beiden Weißweinsorten Riesling mit 21,3 % der gesamten Anbaufläche und Müller-Thurgau (Synonym: Rivaner) mit rund 13,5 % der gesamten Anbaufläche haben die größte Marktbedeutung für den deutschen Weinbau. Beim Rotwein kommt den beiden Sorten Spätburgunder (11,6 % der Anbaufläche) und Dornfelder (8,0 % der Anbaufläche) die größte Bedeutung zu. Die pilzwiderstandsfähige, interspezifische Sorte (PIWI) Regent wird auf 2,1 % der Fläche kultiviert. Insgesamt werden zu 63 % Weißwein und zu 37 % Rotwein in den 13 Weinanbauregionen Deutschlands erzeugt. Der Pro-Kopf-Verbrauch an Wein und Sekt lag im Weinwirtschaftsjahr 2007 bei 24,3 L. Im Jahr 2007 wurden 10,5 Millionen hL Wein in Deutschland erzeugt – weltweit waren es 266,7 Millionen hL Wein. Der Flächenertrag in Deutschland liegt bei 99,6 hL/ha (Durchschnitt der Jahre 1998 bis 2007). Beim Export der Weine im Jahr 2007 konnten im Schnitt 200 €/hL erzielt werden (ANONYM 2008 b).

Die neuen PIWI-Züchtungen hatten ihren Anfang in den 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts in der Schweiz. Die heute im deutschen Weinanbau beliebte Rebsorte Regent mit einer mittleren Toleranz gegenüber *P. viticola* und einer guten Toleranz gegen *Erysiphe necator* gehört zu den interspezifischen Rebsorten der ersten Versuchsgeneration (BASLER und PFENNINGER 2000). Andere Rebsorten wie

Johanniter und Solaris finden allmählich Akzeptanz bei den Winzern und Verbrauchern. Bei einem traditionellen und gewohnheitsbehafteten Produkt wie dem Wein benötigt es eine längere Zeit, um neue Sorten mit neuen Geschmacksnoten in den Markt einzuführen (BASLER 2002). Allerdings sind neue und widerstandsfähigere Rebsorten eine unabdingbare Basis für ein ökologisches Pflanzenschutzkonzept (BASLER 2002).

Auf lediglich 2,5 % der deutschen Weinbaufläche betreiben rund 450 Winzer ökologischen Weinbau. In der EU wird auf 82.000 ha ökologischer Weinbau betrieben (HOFMANN 2007). Das entspricht ca. 2 % der EU-Anbaufläche. Aktuell ist in Deutschland eine deutliche Zunahme ökologisch bewirtschafteter Weinberge sowie eine steigende Anzahl umstellungswilliger Winzer zu verzeichnen. Hierzu zählen auch einige führende Weinbaubetriebe, die Mitglied im Verein Deutscher Prädikatsweingüter (VDP) sind. Diese Entwicklung ist angesichts der steigenden Nachfrage nach ökologisch erzeugten Lebens- und Genussmitteln (u. a. Wein) positiv zu bewerten (KAUER 2008). Im Rahmen einer Befragung gaben Verbraucher, die regelmäßig Bio-Lebensmittel konsumieren, an, dass für sie der Vermeidung von Pflanzenschutzmittelrückständen mit 66 % die größte Bedeutung bei der Wahl von ökologisch erzeugten Lebensmitteln zukommt. Bei der Umsatzentwicklung von Waren mit „Bio“-Logo lagen Wein und Sekt im Lebensmitteleinzelhandel im ersten Halbjahr des Jahres 2008 bei ca. 140 % (ANONYM 2008 a). Mit Blick auf die Klimaveränderungen steht die Energieeffizienz an erster Stelle der Strategien zur Vermeidung des Klimawandels. In einer Vergleichsstudie im Vereinigten Königreich (UK) wurde festgestellt, dass ökologische Landwirtschaft ca. 25 % weniger Energie verbraucht als die integrierte Landwirtschaft. Sie sei gekennzeichnet durch eine ökologische, energieeffizientere Bewirtschaftungsform, da keine anorganischen Düngemittel eingesetzt würden (AZEEZ und HEWLETT 2008). Die ökologische Landwirtschaft sei durch ein nachhaltiges Bodenmanagement, eine Biodiversität an Kulturen (Sorten) und Landschaftsformen geprägt. Ein weiteres Merkmal sei eine Mischung an indigenem, an die lokalen Gegebenheiten angepasstem Know-how und einem Einsatz an innovativer Technik. Dadurch zeichne sich dieses Agrarökosystem durch eine größere Anpassungsfähigkeit an mögliche klimatische Veränderungen aus (NIGGLI et al. 2008).

1.2 Der Falsche Mehltau der Weinrebe *Plasmopara viticola*

Der Erreger des Falschen Mehltaus der Weinrebe *Plasmopara viticola* (Berk. & Curt. ex de Bary) Berl. & de Toni, der 1878 aus Nordamerika nach Europa eingeschleppt wurde, stellt weltweit eine der bedeutendsten Rebkrankheiten dar (MÜLLER und SLEUMER 1934, AGRIOS 2005). Für den Rheingau wurde der erste Befall im September 1884 in Geisenheim dokumentiert (CLAUS 1979). Die Krankheit wird umgangssprachlich auch Rebenperonospora oder Blattfallkrankheit genannt.

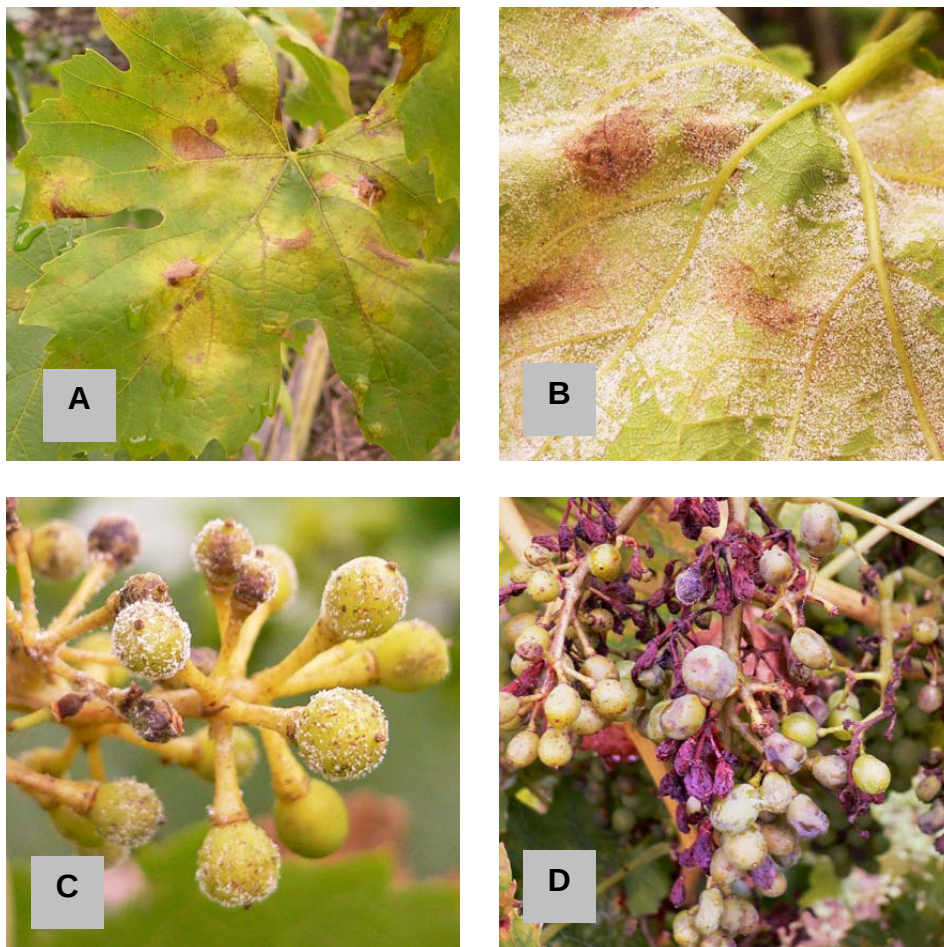


Abb. 1: Symptome verursacht durch *P. viticola* an *V. vinifera*. A: Ölflecken auf der Blattoberseite, B: Sporangienrasen auf der Blattunterseite, C: Sporangien an jungen Beeren und D: ältere, mit *P. viticola* befallene Beeren.

Wirtschaftliche Bedeutung des Falschen Mehltaus für den Weinbau

Der Falsche Mehltau *P. viticola* kann alle grünen Reborgane befallen und führt somit zu erheblichen physiologischen Einbußen, da bei erhöhtem Blattbefall ein Verlust an Assimilationsfläche zu verzeichnen ist. Bei günstigen Bedingungen für *P. viticola*,

d.h. bei optimaler Witterung, anfälligen Sorten, abiotischen und biotischen Umwelteinflüssen sowie ohne Pflanzenschutzmaßnahmen können Totalausfälle des Ertrages beobachtet werden (Abb. 2). Dies führte in Europa gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu einem drastischen Rückgang der Anbaufläche (VOGT und GÖTZ 1987). In den vergangenen Jahrhunderten kam es in den Jahren 1888, 1906, 1907, 1910, 1912, 1913 und 1917 zu großen Schäden durch *P. viticola*, trotz Kenntnis der Bekämpfung mit kupferhaltigen Produkten. Erst mit den Erkenntnissen zur Epidemiologie von MÜLLER und SLEUMER (1934) konnten der Einsatz der vorhandenen Produkte besser terminiert und die Schäden begrenzt werden (CLAUS 1979). Weitere physiologische Folgeschäden des Befalls können die Beeinträchtigung der Holzreife und damit einhergehend eine Verminderung der Frostfestigkeit der Rebruten sein (MOHR 2005). Überdies kann die Weinqualität beeinträchtigt werden, da Most aus befallenen Trauben erhöhte Weinsäure- und Citratgehalte aufweist sowie ein geringeres Mostgewicht hat (EICHHORN und LORENZ 1980 zit. nach DITTRICH und GROSSMANN 2005). Wenn die befallenen Beeren schnell eintrocknen, die so genannten Lederbeeren, dann wirken sich die Veränderungen nicht aus (DITTRICH und GROSSMANN 2005). Im Jahr 1996 wurden zur Bekämpfung der Erreger von Falschen Mehltau-Krankheiten weltweit rund 17 % (1,2 Milliarde SFr) der eingesetzten Fungizide verwandt. Den größten Anteil daran hatte der Einsatz im Weinbau mit 54 % zur Bekämpfung von *P. viticola* (GISI 2002). Nach Studien des BMU sind beim Wirkstoffverbrauch der Pflanzenschutzmittel seit 1997 wenige Veränderungen sichtbar. Der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffverbrauch lag 1997 bei 3,687 t/Jahr und im Jahr 2003 bei 3,385 t/Jahr (ANONYM 2008 c).

Mykologische Charakterisierung von *P. viticola*

P. viticola ist ein heterothallischer, diploider Oomycet, der aufgrund der nahen Verwandtschaft zu den heterokont begeißelten Braunalgen in das Reich der Chromista (Syn. Straminopila) gezählt wird (GAMS et al. 1998, WONG et al. 2001). Namensgebend für Straminopila war die Form der Zoosporenanhängsel. Die Vertreter der Familie der Peronosporaceae sind obligat biotrophe Organismen, die bevorzugt höhere Pflanzen besiedeln.

Der Falsche Mehltau der Weinrebe wird wie folgt in die Systematik eingegliedert (GAMS et al. 1998, DICK 2002):

Reich	Chromista (Synonym: Straminopila)
Phylum	Pseudofungi
Klasse	Oomycetes
Ordnung	Peronosporales
Familie	Peronosporaceae
Genus	Peronospora
Art	<i>Plasmopara viticola</i>

Das Krankheitsbild wird als Falscher Mehltau (engl. downy mildew) bezeichnet, die Namensgebung ist an die Echten Mehltäupilze angelehnt, die ähnlich weiße Pilzbeläge verursachen. Da die Bekämpfung aber nicht mit Schwefel - wie beim Echten Mehltau - erfolgen konnte, wurde die Krankheit Falscher Mehltau genannt (HEITEFUSS 2000, AGRIOS 2005). Ein Charakteristikum dieser Pilzgruppe sind bäumchenartige Sporangienträger, die aus der Atemhöhle der Wirtspflanze herausragen (Abb. 3a). Die Sporangien haben eine ovale, zitronenförmige Gestalt und werden vor allem durch den Wind verbreitet (GAMS et al. 1998).

Entwicklungszyklus von *P. viticola*

Bei hoher Luftfeuchte (> 95 % r. F.) und Temperaturen über 12 °C entlassen die Sporangien nach einer Keimungsphase mehrere biflagellat begeißelte Zoosporen. Zur Differenzierung der Sporangien muss Dunkelheit vorliegen, da Licht diesen Prozess unterbindet (BROOK 1979, RUMBOLZ et al. 2002). Diese können sich mit den Geißeln im Wasserfilm auf der Blattunterseite zielgerichtet zu den Stomata bewegen (MÜLLER und SLEUMER 1934). An den Spaltöffnungen werfen die Zoosporen die Geißeln ab und encystieren sich. Anschließend wird ein Keimschlauch (Penetrationshyphe) gebildet, der in die Atemhöhle der Stomata hineinreicht. Danach bildet sich ein substomatäres Vesikel (Abb. 3). Das entstehende Myzel besiedelt das Blattgewebe und wächst hauptsächlich interzellulär im Schwammparenchym. Dort bilden sich Haustorien, mit denen der Pilz die Nährstoffaufnahme aus dem Wirtsgewebe sicherstellt (KIEFER et al. 2002). Bis zum Austreten der Sporangiphore aus den Stomata vergehen bei optimalen Bedingungen (24 °C) nur vier Tage. Dies kann zu einer raschen - teilweise "explosionsartigen" - Ausbreitung des Oomyceten über den

Sekundärzyklus (asexuelle Verbreitung - grüner Zyklus, Abb. 9) führen. Während der Vegetationsperiode können mehrere Zyklen durchlaufen werden, daher spricht man auch von einer polyzyklischen Krankheit (MÜLLER und SLEUMER 1934).

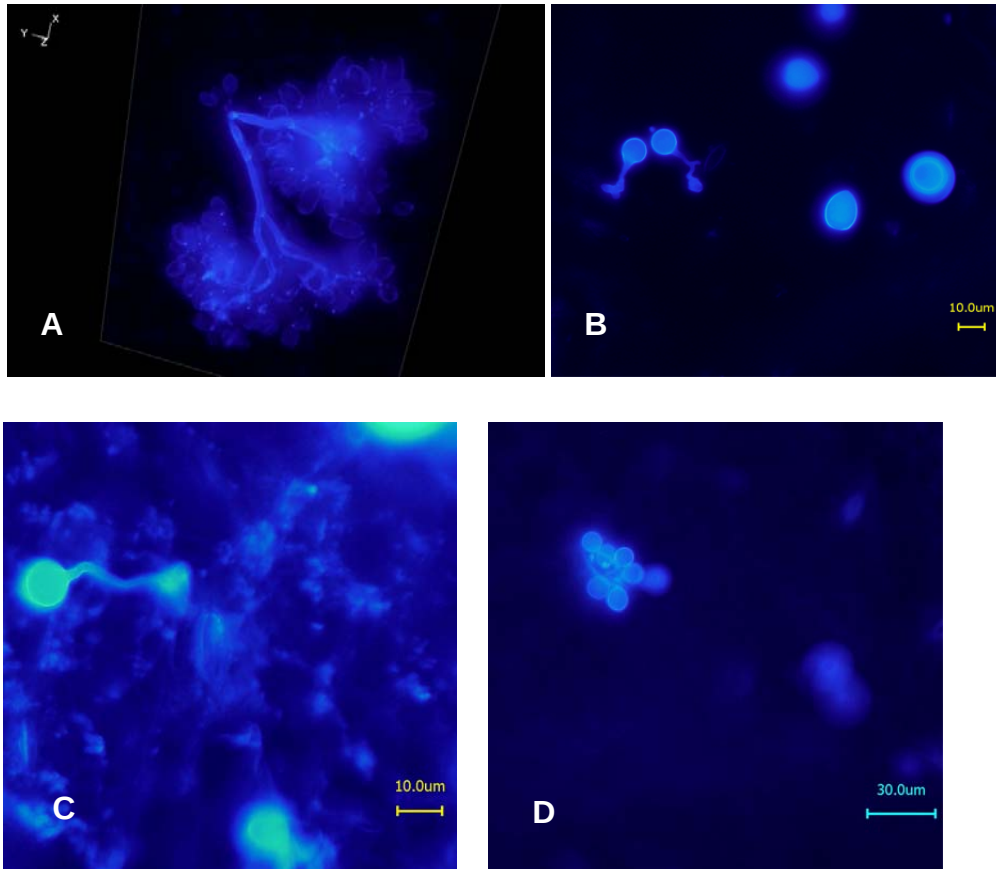


Abb. 2: Asexuelle Vermehrungsorgane von *P. viticola* auf Blattscheiben cv. Müller-Thurgau. A: Sporangienträger mit Sporangien, B: Penetrationsvorgang, C: Penetrationshyphne und substomatäres Vesikel, D: geöffnete Spaltöffnung mit Zoosporen und Penetrationshyphen.

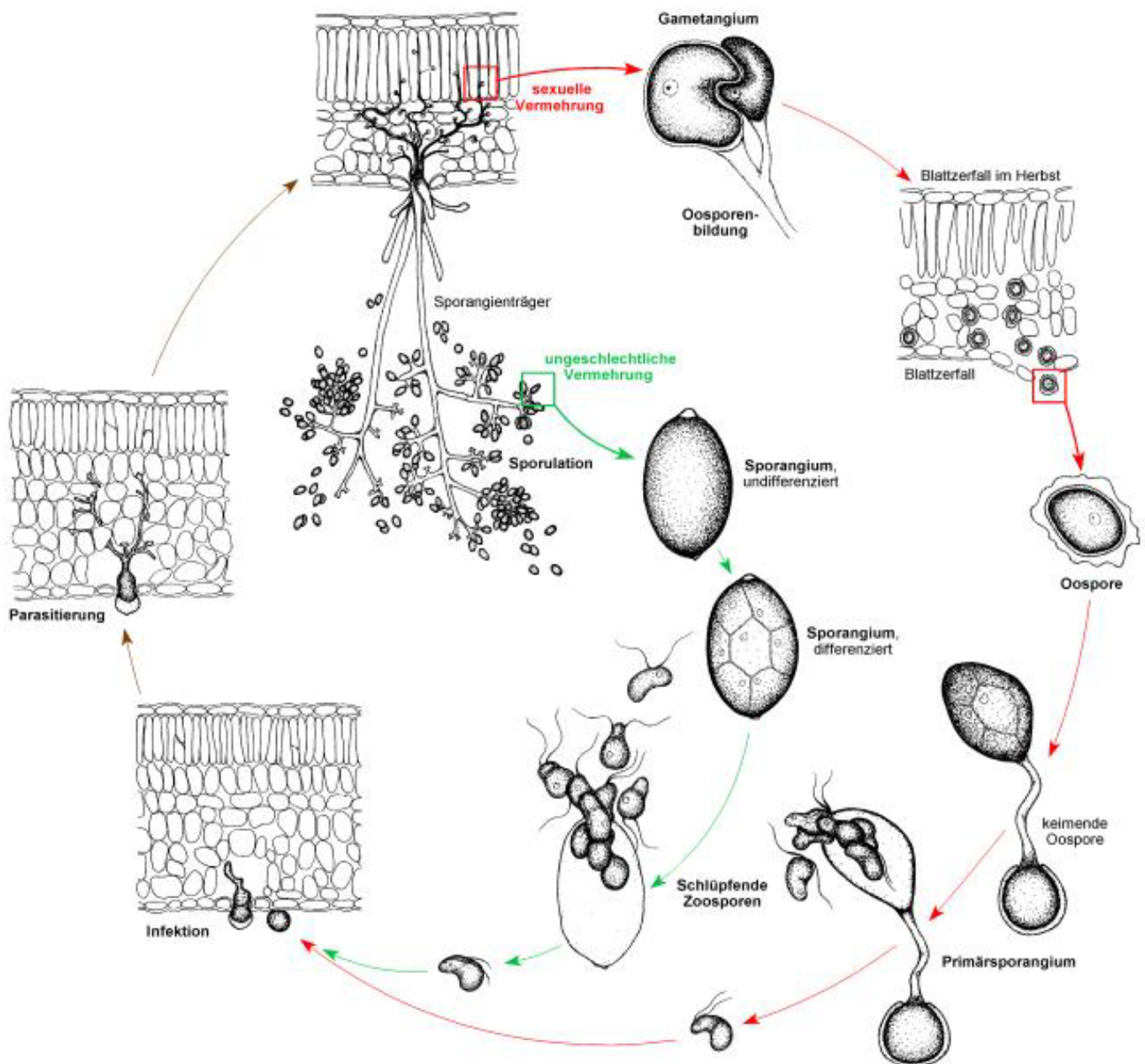


Abb. 3: Entwicklungszyklen von *P. viticola* (KASSEMEYER 2003)

Der Primärzyklus (sexuelle Vermehrung – roter Zyklus, Abb. 1), der in den vergangenen Jahren näher untersucht wurde (LOSKILL 2003, GOBBIN et al. 2005, LOSKILL et al. 2005), beginnt mit dem Auskeimen der Oosporen (Überdauerungsstadium). Diese werden ab August im befallenen Blattgewebe gebildet (LOSKILL 2003). Durch ihre doppelte Zellwand sind die Oosporen besonders gegen abiotische Umwelteinflüsse widerstandsfähig. Wenn im Wirtsgewebe zwei unterschiedliche Paarungstypen des heterothallischen Myzels von *P. viticola* aufeinander treffen, entstehen Oogonien und Antheridien (WONG et al. 2001, SCHERER und GISI 2006).

Nach der sexuellen Rekombination kommt es zur Bildung der Oosporen (AGRIOS 2005). Die Oosporen gelangen durch den Blattfall auf den Erdboden und werden durch die Zersetzung des Blattgewebes freigesetzt. In der obersten Bodenschicht überwintern diese. Nach einem Reifeprozess können sie im Frühjahr bei ausreichender Bodenfeuchte und Temperaturen von $\geq 8\text{ °C}$ keimen. Zunächst wird das Primärsporangium gebildet, welches die gleiche Form und Funktion wie die Sporangiphore des Sekundärzyklus (Sekundärsporangium) hat. Die Bedingungen für eine erfolgreiche Infektion, die stets an tropfbar flüssiges Wasser gebunden ist, machen das enge Verwandtschaftsverhältnis zur Familie der Algen deutlich. Als typisches Krankheitssymptom des Falschen Mehltaus der Weinrebe zeigt sich zum einen der so genannte Ölfleck auf der Blattoberseite (Abb. 2a). Ölflecken kommen durch die Besiedlung des Schwammparenchyms und dem damit verbundenen Nährstoffentzug aus den Wirtszellen mittels Haustorien zustande (AGRIOS 2005, KEIL 2007). Zum anderen ist der als „Ausbruch“ bezeichnete weiße Pilzrasen auf der Blattunterseite (ausgetretene Sporangiphore aus Stomataöffnungen) typisch.

Neue Erkenntnisse zur Biologie von *P. viticola*

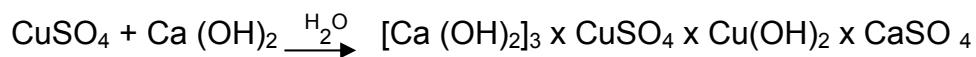
Wie bei anderen Pathogenen sind immer noch viele Einzelheiten zur Biologie des Erregers ungeklärt. So werden die Untersuchungen erschwert, da *P. viticola* als obligat biotropher Organismus nur auf lebenden Reorganen wächst und nicht auf künstlichen Nährmedien kultiviert werden kann. Darüber hinaus findet ein Großteil der Entwicklung des Endoparasiten im Blattinneren statt. Nur ein relativ kurzer Abschnitt der Pathogenese ereignet sich an der Blattunterseite.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass *P. viticola* in der Lage ist, Zwischenzellwände auszubilden, was für einen Oomyceten mit bekanntermaßen coenocytischem Myzel untypisch ist. So konnten am Übergang von der encystierten Zoospore zum Keimschlauch sowie an der Basis und an den Enden der Sporangienträger Septierungen nachgewiesen werden (KIEFER et al. 2002, KORTEKAMP 2005). Die Septen bestehen aus Glukanen des Kallose-Typs, was mittels enzymatischer Techniken untersucht wurde (KORTEKAMP 2005). Im Vergleich zu den „Echten“ Pilzen unterscheiden sich die Oomyceten hinsichtlich der Zellwandbestandteile: Sie besitzen β -1,3- und β -1,6-Glukane, Cellulose (β -1,4-Glukan) und nach neuesten Studien einen geringen Anteil an Chitin (AGRIOS 2005, KORTEKAMP 2008). Die zur Sterolbiosynthese fehlenden Enzyme (Squalene Epoxidase und 14α -Demethylase)

sind ein weiteres wichtiges Charakteristikum der Oomyceten (AGRIOS 2005, KORTEKAMP 2008, ATTARD 2008).

1.3 Einsatz von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln

Seit Ende des 19. Jahrhunderts stellt der Falsche Mehltau der Weinrebe eine der bedeutendsten Rebkrankheiten dar. Im Jahr 1882 entdeckte der französische Botaniker Millardet zufällig die Wirkung von Kupferverbindungen gegenüber *P. viticola*. Einige Jahre später entwickelte er die „Bordeaux Brühe“ (Kupferkalkbrühe), die sich wie folgt zusammensetzt:



Diese Verbindung war somit das erste Fungizid in der Geschichte der Phytomedizin (HEITEFUSS 2000). Wie sich später herausstellen sollte, hatte die Anwendung kupferhaltiger Lösungen einen entscheidenden Anteil an der Sicherung der Welternährung, da Vertreter der Gattungen *Phytophthora sp.*, *Peronospora sp.* sowie die Heidemoorkrankheit (Kupfermangel bei Getreide) erfolgreich mit Kupfer bekämpft werden konnten (HORSFALL 1939 nach CLAUS 1979). Ergänzend sei erwähnt, dass *P. viticola* in diesen Jahren noch unter dem Synonym *Peronospora viticola* bekannt war.

Wirkungsweise von Kupfer

In Versuchen konnte gezeigt werden, dass Kupfer das giftigste Schwermetall und zugleich ein elementares Spurenelement ist (CLAUS 1979). Kupfer wirkt bei Bakterien, Pilzen und Algen bereits in geringen Mengen toxisch, was beim tierischen Organismus nicht der Fall ist. Die schädigende Wirkung der Kupfer-Ionen auf lebende Zellen wurde nach NÄGLIE (1893) als „oligodynamische Wirkung“ bezeichnet (MÜLLER 1928, CLAUS 1979). Die Wirkungsweise von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln beruht auf den in Lösung gehenden Kupfer-Ionen. Zum Lösen der Ionen sind CO₂ sowie organische Säuren verantwortlich. Letztendlich spielen also der pH-Wert der Blattoberfläche sowie die Verfügbarkeit von Wasser eine entscheidende Rolle. Die Kupfer-Ionen dringen in die Vermehrungseinheiten des Falschen Mehltaus ein und blockieren wichtige Enzyme, indem sie andere Metalle aus den Verbindungen durch Chelatbildung verdrängen und die der SH-Gruppen blockieren (HEITEFUSS 1987). Hierbei spielen die Zellwandzusammensetzung der Oomyceten und der

hydrophile Charakter der Kupfer-Salze eine bedeutende Rolle. Kupferhaltige Produkte müssen aufgrund ihrer direkten Wirkung protektiv angewendet und in optimaler Belagsqualität auf die Zielfläche appliziert werden. Zum einen hätte in den pflanzlichen Zellwänden gebundenes Kupfer keine Wirkung auf die Entwicklung der Oomyceten im Pflanzeninneren. Zum anderen zeigen auf der Blattoberseite aufgenommene Kupfer-Ionen keine Wirkung auf der Blattunterseite (RABABUS 1927, zit. nach KOTTE 1928). Im Falle des Apfelschorfs (*Venturia inaequalis*) beruht die Wirkung von Kupferapplikationen auf einer Störung der mitochondrialen Atmung in den Apfelschorf-Konidien (MONTAG et al. 2006). Eine optimale Belagsqualität ist das entscheidende Kriterium für eine gute Wirkung. In Untersuchungen von MOHR et al. (2008) konnte ein Kupferrichtwert ermittelt werden, der bei $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ EDTA-löslichem Kupfer liegt. Aufgrund der unspezifischen Wirkungsweise haben sich bisher keine resistenten Stämme in den Pathogenpopulationen gebildet.

Physiologische Auswirkungen von Kupferapplikationen auf die Weinrebe

Mit der Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln können neben der Abwehr von Pathogenen auch physiologische Wirkungen erzielt werden. Die Reife und die Festigkeit des Rebholzes können verbessert werden, so dass der Austrieb im darauf folgenden Jahr beschleunigt werden kann (WINKLER 1980, BRENDL 1984). Aus Sicht der Pflanzenphysiologie spielt Kupfer eine elementare Rolle im Rahmen der Photosynthese (Chlorophyll enthält Kupfer) und der Nitratreduktion. Dort ist Kupfer bei der Reduktion von Nitrit zum Hydroxylamin beteiligt. Betrachtet man die Vinifikation, kommt Kupfer eine wichtige Rolle beim Auf- und Umbau der Aminosäuren sowie der phenolhaltigen Verbindungen (Gärung) und bei der Entwicklung der Hefen (Enzymstoffwechsel) zu (CLAUS 1979). Hingegen sind die Gefahren nicht außer Acht zu lassen. Besonders bei kühl-feuchter Witterung kommt es an der Weinrebe leicht zu so genannten Kupfer-Schock-Reaktionen. Diese zeigen sich durch Hemmungen des Wuchses. Darüber hinaus können weitere phytotoxische Schäden (Verbrennungen an jungen Trieben und Blättern) auftreten (CLAUS 1979). Die häufig bei neuen kupferhaltigen Produkten beobachteten Verbrennungen sind durch die Aufnahme der Kupfer-Ionen ins Blattinnere bedingt, was durch nasse Perioden verstärkt werden kann. Im Falle der älteren kupferhaltigen Pflanzenschutzmittel musste besonders während der Blüte auf die richtige Anwendung geachtet werden, da es leicht zum „Verrieseln“ der Inluoreszenz kommen konnte (CLAUS

1979). Andere kupferhaltige Verbindungen der ersten Generation, wie z.B. Kupfervitriol, verursachten sogar eine Hemmung der Pollenkeimung sowie des Keimschlauchwachstums (GÄRTEL 1961).

Kupferverbindungen und -formulierungen

Aufgrund der beschriebenen Pflanzenunverträglichkeit und des umständlichen Herstellungsprozesses der Bordeaux Brühe wurde nach anderen Verbindungen mit besseren Eigenschaften gesucht. Bereits 1911 kam in Italien eine neue Kupferoxychlorid-Formulierung auf den Markt (CLAUS 1979). Weitere 20 Jahre später wurden in Deutschland verschiedenste Kupferverbindungen wie Kupferoxydul, Kupferhydroxid und Kupferoxychlorid verwendet (BOURQUIN 1978, WOHLFARTH 1995). Mit der Markteinführung der ersten organisch-synthetischen Fungizide ging die Bedeutung von Kupfer im integrierten Rebschutz immer mehr zurück. Kupfer wurde und wird derzeit im integrierten Rebschutz fast ausschließlich in Form einer so genannten Abschlussspritzung eingesetzt. Dabei wurden 1 bis 5 kg/ha Reinkupfer ausgebracht (SCHOLL und ENKELMANN 1984, WOHLFARTH 1995). Im ökologischen Weinbau ist die Bedeutung von Kupfer allerdings ungebrochen. Seit einigen Jahren sind in Deutschland nur noch drei kupferhaltige Verbindungen von Bedeutung: Kupferhydroxid, Kupferoxychlorid und Kupferoktanoat. Die zulässige Höchstmenge für den ökologischen Weinbau liegt in Deutschland derzeit bei 3 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr (Verbandsrichtlinien).

Kupferminimierung

Mit der Gründung des Bundesverbands ökologischer Weinbau im Jahre 1985 wurden in Deutschland die Richtlinien der ökologischen Bewirtschaftung auf privatwirtschaftlicher Basis festgehalten und damit auch die maximal zulässigen Reinkupfergehalte auf 3 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr (Durchschnitt von fünf Jahren) festgelegt. In der alten EU-Verordnung (Nr. 2092/91) wurde am 01.01.2006 die Jahreshöchstmenge auf 6 kg/(ha x a) beschränkt. Dieser Grenzwert gilt auch weiterhin in der neuen, seit 01.01.2009 gültigen Verordnung (EG) Nr. 834/2007. Bereits 1940 wurde die Forschung im Bereich „Kupferminimierung“ von WILHELM begonnen. Er arbeitete mit einer Mischung aus Kupfer- und Aluminium-Ionen. Allerdings musste er feststellen, dass die Wirkung allein auf die Kupfer-Ionen zurückzuführen war (WILHELM 1940). In den Nachkriegsjahren lag der Schwerpunkt der damaligen

Forschungsarbeiten darin, Kupfer einzusparen sowie die Verteilung der Kupfer-Ionen zu verbessern, um eine bessere fungizide Wirkung zu erreichen und die Rebverträglichkeit zu erhöhen (CLAUS 1979). Das seit 2002 eingeführte Produkt „Cueva Wein-Pilzschutz“ (Wirkstoff: Kupferoktanoat, Kupfer-Fettsäureverbindung; 1,8 % Cu) der Firma Neudorff ist das neueste Kupferprodukt auf dem deutschen Markt, das allerdings laut MOHR et al. (2007) aufgrund der inhomogenen Verteilung der oktaederförmigen Kristalle auf der Blattoberfläche eine ungenügende Wirkung hatte. Das Produkt Funguran[®] wies dagegen eine gleichmäßigere Verteilung der stäbchenförmigen Kupferkristalle innerhalb des Tropfens auf (MOHR et al. 2007). Seit 2003 wurde in Forschungsprojekten auf europäischer Ebene (REPCO³-Projekt) und auf nationaler Ebene (BÖL-Verbundprojekt 514-43.10/03OE572) in Kooperation mit der Pflanzenschutzmittelindustrie verstärkt daran gearbeitet, eine neue Generation kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel zur Marktreife zu bringen. Diese Verbindungen zeichnen sich durch einen verringerten Kupferanteil im Vergleich zu den momentan auf dem Markt vorhandenen Produkten aus. Im Rahmen dieser Untersuchungen, die in das oben genannte BÖL-Verbundprojekt integriert waren, wurden weitere neue Formulierungen geprüft. Das Ziel dieser Kupferminimierungsverfahren ist es, geringere Kupfermengen möglichst homogen auf der Blattunterseite zu verteilen. Die technischen Grundlagen fein verteilter Kupferbeläge und die sich daraus ergebenden Vorteile für die Pflanzenschutzpraxis (Oberflächenvergrößerung, größeren Angriffsfläche für Luftkohlendioxid, durch die die Kupfer-Ionen aus der Formulierung gelöst werden) wurden bereits 1927 von KOTTE (1928) erarbeitet.

Ökotoxikologische Folgen durch Kupferapplikationen

Die Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzprodukte im Weinbau hat in den vergangenen Jahren zu enormen Kupfer-Einträgen in das Ökosystem Weinberg geführt. Bei der Bilanzierung von Kupfer in Böden weinbaulich genutzter Standorte muss beachtet werden, dass der Kupfergehalt der wichtigsten weinbergsbodenbildenden Gesteine bereits zwischen 20 und 100 ppm liegt (CLAUS 1979). Ein weiterer anthropogen verursachter Eintrag sollte daher so gering wie möglich gehalten werden. CLAUS (1979) berichtet von einem Eintrag von 20 bis 40 kg/ha Reinkupfer bei der ausschließlichen Anwendung von Kupfer (-oxychloriden) Mitte des 19. Jahr-

³ REPCO = Replacement of Copper Fungicides in Organic Production of Grapevine and Apple in Europe

hunderts. In einigen Weinbergsböden wurden aufgrund der Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel in über 70 Jahren 370 bis 800 mg Cu/kg Erde angereichert (CLAUS 1979; SCHOLL und ENKELMANN 1984; GÄRTEL 1985; MOHR et al. 2005). Durch die Anwendung neuer Formulierungen und die Beschränkungen ist die Anreicherung deutlich zurückgegangen, sei aber dennoch nachzuweisen (MOHR et al. 2007). SCHALLER et al. (1989) konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, dass sich der Gesamtkupfergehalt in der obersten Bodenschicht (0 bis 5 cm) bei einer durchgehenden Anwendung des Pflanzenschutzmittels Wacker® 83v (Kupfergehalt ca. 40 %) signifikant von 83 auf 88 mg Cu/kg Boden erhöhte. Dessen ungeachtet konnte keine negative Beeinträchtigung der β -Glukosidase-Aktivität, jedoch einen Effekt auf die Dehydrogenase-Aktivität festgestellt werden. Die Ursache für die hohen Kupfer-Gehalte in Weinbergsböden ist darauf zurückzuführen, dass sich Kupfer-Ionen hauptsächlich an die organische Substanz des Bodens anlagern und weder verlagert, noch abgebaut werden. Die Pflanze kann Kupfer über Wurzeln und Blätter aufnehmen und reichert das Schwermetall hauptsächlich in den Wachstumszonen (Triebspitzen, Fruchtansätze inkl. Früchte, Wurzeln) an (MAQUENNE und DEMOUSSY 1920 zit. nach CLAUS 1979). So konnten Werte von 2-20 ppm Kupfer in Pflanzen nachgewiesen werden (FINK 1969, zit. nach CLAUS 1979). Der Bedarf der Weinrebe am Spurennährstoff Kupfer beträgt 61-115 g Cu/ha (VOGT und GÖTZ 1987).

Momentan wird auf EU-Ebene diskutiert, ob der Wirkstoff an sich - das Kupfer-Ion - oder einzelne, auf dem Markt befindliche Kupferverbindungen in den Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG aufgenommen werden sollen. Das Umweltbundesamt (UBA) sieht die weitere Anwendung von Kupferpräparaten besonders kritisch, da die Auswirkungen auf den Naturhaushalt vor allem auf Vögel, Kleinsäuger, Regenwürmer sowie aquatische Organismen nicht vertreten werden kann (KÜHNE 2008).

1.4 Induzierte Resistenz und die Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln

Die Pflanze verfügt neben den präinfektionellen, präformierten Abwehrsubstanzen (Saponine, Stilbene, Phenolderivate, usw.) über verschiedene Abwehrmechanismen gegenüber Krankheitserregern und abiotischem Stress, die erst bei Befall (Stress) der Pflanze aktiviert werden, der Induzierten Resistenz (IR). An diesen Mechanismen sind Stoffwechselreaktionen beteiligt, deren Produkte die Pathogene direkt schädigen können (Phytoalexine, pathogenesis-related (PR)-Gene) oder die Ausbreitung der Pathogene im Pflanzengewebe verhindern (Hypersensitive Reaktion (HR), Papillen). Diese Reaktionen spielen auch eine bedeutende Rolle bei R-Gen vermittelten Resistenzen (Gen-für-Gen-Modell, FLOR 1956, STRANGE 2003). Diese spezifische und schnell ablaufende Resistenzreaktion kommt nur durch die Paarung des Avirulenzgens des Pathogens (dominant) und des Resistenzgens der Pflanze (dominant) zustande. Alle anderen Genpaarungen führen zu einer anfälligen Wirt-Parasit-Interaktion (ELSTNER 1996). Für eine erfolgreiche Abwehr müssen diese Reaktionen rechtzeitig aktiviert werden und in einem ausreichenden Maß ablaufen, um die Ausbreitung des Pathogens zu verhindern (KUC 1995, KUC 2001, METRAUX 2001, CONRATH und KAUSS 2004). Eine Erstinfektion durch apathogene Mikroorganismen kann zu der so genannten erworbenen Resistenz der gesamten Pflanze gegenüber einem nachfolgenden Befall durch eine Zweitinfektion (challenge infection) mit einem (Blatt-) Pathogen führen. Man unterscheidet zwei Formen der erworbenen Resistenz. Zum einen spricht man von systemic acquired resistance (SAR) im Falle einer durch Nekrosen (HR) hervorgerufenen Resistenz, zum anderen von induced systemic resistance (ISR), die durch apathogene Mikroorganismen (Wurzeln besiedelnde Bakterien) verursacht wird (CHESTER 1933, ROSS 1961, RYALS et al. 1996, METRAUX 2001, CONRATH und KAUSS 2004). Für die erfolgreiche SAR müssen durch die Erstinfektion Zellen abgestorben sein (Nekrosen). Die SAR kann außerdem durch Chemikalien, wie z. B. Aminobuttersäure (BABA), benzo (1, 2, 3) thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester (BTH, BION®), 2,6-dichloroisonicotonic acid (DCINA), Salicylsäure (SA) und Phosphate ausgelöst werden. Die Substanzen BTH und DCINA sind Funktionsanaloga der SA (KESSMANN et al. 1994, GORLACH et al. 1996, KUC 2001, OSTENDORP et al. 2001, KOGEL und LANGEN 2005). An diesen Stoffwechselreaktionen sind verschiedene Hormone beteiligt. In der SAR spielt das Hormon SA bei Zweitinfektion von (biotrophen)

Pathogenen eine Rolle, wohingegen in den Stoffwechselreaktionen der ISR die Hormone Jasmonat und Ethylen bei challenge Inokulation von (nekrotrophen) Pathogenen vorkommen (PIETERSE und VAN LOON 1999, KOHEL und LANGEN 2005). Im Falle der SAR kommt es bei der Zweitinfektion zur Verbesserung der lokal induzierten Abwehrmechanismen (local acquired resistance LAR), die durch ausgeschiedene Substanzen des Pathogens, so genannte pathogen associated molecular pattern (PAMP), hervorgerufen werden, da diese die Reaktionskaskade aktivieren (CONRATH und KAUSS 2004). Dabei werden die Ca^{2+} -Konzentration, sowie der pH-Wert erhöht und die Phosphorylierung von Proteinen bewirkt. Dies führt zur Neusynthese von Proteinen, die entweder direkt (z. B. Chitinasen) oder als Enzyme in weiteren Abwehrreaktionen, wie dem Phenolstoffwechsel zur Produktion von Phytoalexinen, wirken. Andere Enzyme, wie Kallose-Synthase oder Oxidasen, müssen nur aktiviert werden und können daher schneller reagieren. Daneben kann es zu lokal begrenzten Wandverstärkungen durch Kalloseeinlagerungen kommen (Papillenbildung). Diese Papillen werden unmittelbar an der Infektionsstelle gebildet. Papillen weisen neben den polymeren Phenolen, Kallose (β -1,3-Glukan), Hydroxyprolin enthaltende Glykoproteine und Kieselsäure auf. Alternativ zur Papillenbildung kann die HR ablaufen, die die Infektion u. a. durch Bildung von Sauerstoffradikalen lokal begrenzt und zum Absterben der attackierten Zellen führt (CONRATH und KAUSS 2004). Durch Infektion (Pathogene oder nützliche Mikroorganismen (beneficial microbes) oder Behandlung mit Substanzen (DCINA, BTH, SA und BABA) kann die Pflanze in einen Zustand versetzt werden, der sie schneller und intensiver auf Pathogenbefall oder abiotischen Stress (mit einer Abwehrreaktion) reagieren lässt. Dieses Phänomen der Hab-Acht-Stellung der Pflanze gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren wurde als „Priming“ bezeichnet (CONRATH et al. 2002, KAT et al. 2002, CONRATH et al. 2006, GOELLNER und CONRATH 2008). Bei der Rebsorte Chasselas konnte durch BABA-Behandlung eine erhöhte Resistenz gegenüber *P. viticola* beobachtet werden (SLAUGHTER et al. 2008). REPKA et al. (2004) fanden heraus, dass Methyljasmonat an Blättern von *Vitis vinifera* L. cv. Limberger eine verstärkte Expression von einigen PR-Genen (PR-1, PR-2, PR-8) hervorrufen kann.

PR-Proteine

Durch die SAR werden in Pflanzen u. a. verschiedene Gene aktiviert, die die so genannten PR-Proteine (pathogenesis-related Proteins) kodieren (CONRATH und KAUSS 2004, CONRATH et al. 2002, VAN LOON 1997, STICHER et al. 1997). Unter PR-Proteinen versteht man Proteine, die nach Pathogenbefall (Bakterien, Viren oder Pilze) induziert werden (ELSTNER und OßWALD 1996). In nicht infizierten Pflanzen liegen sie nicht oder nur in geringen Konzentrationen vor. Die PR-Gene wurden nach ihrer Struktur und Funktion in einzelne Gruppen unterteilt. Nach dem momentanen Wissensstand gibt es 17 PR-Gen-Familien (VAN LOON und VAN STRIEN 1999, STRANGE 2003, VAN LOON et al. 2006). Sie kommen als saure PR-Proteine im Interzellularraum und in der basischen Form in den Vakuolen der Pflanzen vor. Bei der SAR oder der IR kommen in den einzelnen bisher untersuchten Pflanzenarten unterschiedliche PR-Proteine vermehrt vor. Bei *Vitis* sp. wurden bisher Vertreter der PR-Protein-Familien PR-1, PR-2, PR-3, PR-4, PR-5 und PR-10 nachgewiesen (ROBERT et al. 2001, JAYASANKAR et al. 2003, MONTEIRO et al. 2003, WIELGOSS und KORTEKAMP 2006, KORTEKAMP 2006).

Dem **Gen PR-2**, das für eine β -1,3-Glukanase kodiert, kommen bei der Abwehr der Pflanze verschiedene Rollen zu. Zum einen kann die Glukanase durch die Hydrolyse der β -1,3/1,6-Glukane in den Zellwänden der Pilze das Wachstum direkt beeinflussen. Zum anderen können kleine Glukan-Zellwandfragmente der Pilze, die bei der Hydrolyse entstanden sind, als PAMP wirken und somit die pflanzliche Abwehr anregen (LEUBNER-METZGER und MEINS 1999, WANG et al. 2005). Die Aktivierung von PR-2 wurde bspw. bei Kartoffeln (*Solanum tuberosum*) durch *Phytophthora infestans* beobachtet (WANG et al. 2005). BÉCOT et al. (2000) konnten in ihren Versuchen zeigen, dass bei der Interaktion *Brassica oleracea* var. *botrytis* - *Peronospora parasitica* dem PR-2-Gen die größte Bedeutung zukommt. In Studien an der Modell-Pflanze *Arabidopsis thaliana* konnte der Zusammenhang der beiden Gene PR-2 und PR-5 mit der Salicylsäure sowie die Expression durch den Oomyceten *Peronospora parasitica* näher dokumentiert werden (NAWRATH und METRAUX 1999). PAJOT und SILUÉ (2001) beobachteten in Untersuchungen an Brassica- und Asteracea-Arten den Effekt auf die PR-Gen-2 Expression. Bei Kopfsalat (*Lactuca sativa*) und Blumenkohl (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) zeigte sich nach Inokulation mit den Pathogenen *Bremia lactucae* sowie *Peronospora parasitica* und Behandlung mit BABA eine PR-2 Aktivierung jedoch keine Expression der Gene PR-1, PR-5 und PR-9

(PAJOT et al. 2001). An Blumenkohl konnte durch Inokulation und durch Behandlung mit BTH - in diesem Fall ein Acibenzolar-S-methyl, die Expression von PR-2 und PR-5 (nur durch BTH) sowie die Aktivierung der β -1,3-Glukanase hervorgerufen werden (ZIADI et al. 2001). Bei Tabak und Bohnen konnte durch SA und Ethylen-Begasung eine verstärkte β -1,3-Glukanase Expression nachgewiesen werden (ELSTNER 1996). Zu der Familie der **PR-5** Proteine gehört neben den thaumatinähnlichen Proteinen, die bis zu 65 % Homologie zu dem Protein von *Thaumatococcus daniellii* (Katamfe, sweet prayer) aufweisen, auch die Osmotin-Proteine. PR-5 wird bei Tabak und Tomate sowohl nach abiotischem als auch nach biotischem Stress gebildet. Darüber hinaus hemmt es irreversibel das Wachstum von Oomyceten (ELSTNER 1996). Das PR-5-Gen wurde von MONTEIRO et al. (2003) erstmals in Weinrebenblättern nachgewiesen. Zuvor lagen nur Daten über eine Expression in der Beerenhaut vor. In transgenen Orangenpflanzen (*Citrus sinensis* L. Obs. cv. pineapple), die ein chimäres Genkonstrukt aus dem *Cauliflower mosaic virus* 35S Promoter und der codierenden Region des PR-5 Gens aus Tomate tragen, konnte eine Wirksamkeit des PR-5-Gens aus Tomate *in vivo* gegen *Phytophthora citrophthora* in *Citrus sinensis* nachgewiesen werden (FAGOAGA et al. 2001). An Blumenkohl (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) konnte eine Aktivierung der Gene PR-1 und PR-5 nach Inokulation mit *Peronospora parasitica* gezeigt werden (ZIADI et al. 2001). Bei Versuchen, mit avirulenten Pathogenen an Blumenkohl IR zu erzeugen, um *Peronospora parasitica* einzudämmen, wurde ebenfalls die Akkumulation von PR-2 und PR-5 beobachtet (MONOT et al. 2002). Das Protein VVTL-1 (*V. vinifera* thaumatin-like protein 1), das zu der Gruppe der PR-5 Gene gehört, wurde verstärkt in Anthraknose-resistenten Weinreben der Sorte Chardonnay gefunden (JAYASANKAR et al. 2003). Darüber hinaus kommt den PR-5 Genen auch eine bedeutende Rolle bei der Antwort auf abiotische Faktoren (z. B. Salzstress) zu. Die Behandlung von *Vitis*-Zellkulturen mit Abscisinsäure, Ethylen oder NaCl bewirkte die erhöhte Expression eines PR-5 Genes (LOULAKAKIS 1997). In Untersuchungen in Weinbauregionen des südöstlichen Anatoliens konnte in einigen Kultivaren die Expression des Osmotin-Gens nach NaCl-Behandlung beobachtet werden (AGAOGU et al. 2004).

Pflanzenstärkungsmittel

Die Tatsache, dass gewisse Substanzen IR hervorrufen können, macht man sich beim Einsatz der so genannten **Pflanzenstärkungsmittel** im ökologischen Weinbau zu Nutze. Im deutschen Pflanzenschutzgesetz von 1986 gibt es die Kategorie „Pflanzenstärkungsmittel“. Mit dieser Sonderregelung wollte man den Substanzen, die traditionell im ökologischen Landbau angewendet werden, einen rechtlichen Rahmen geben. Zu dieser Kategorie zählen „Stoffe“, die die im Folgenden aufgeführten Bedingungen erfüllen.

Pflanzenstärkungsmittel sind:

- ausschließlich dazu bestimmt, die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegen Schadorganismen zu erhöhen,
- dazu bestimmt, Pflanzen vor nicht parasitären Beeinträchtigungen zu schützen,
- für die Anwendung an abgeschnittenen Zierpflanzen außer Anbaumaterial bestimmt.

(§ 2 Abs. 2 Nr. 10 Pflanzenschutzgesetz [PflSchG] vom 14. Mai 1998).

Die Aufnahme in die „Liste für Pflanzenstärkungsmittel“ des BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) ist die Voraussetzung dafür, dass Pflanzenstärkungsmittel in den Verkehr gebracht werden dürfen. Bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung der Pflanzenstärkungsmittel dürfen von diesen Substanzen keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier, das Grundwasser und den Naturhaushalt ausgehen. Im Rahmen der Antragstellung zur Aufnahme in die Liste ist kein Wirkungsnachweis der Produkte erforderlich (KÜHNE et al. 2006). Der Antragsteller muss somit keinen Nachweis über die Wirksamkeit gegenüber Schaderregern, eine Prüfung auf Gär- und Geschmacksbeeinflussung oder über eine Beeinträchtigung von Nützlingspopulationen erbringen, wie dies beim Zulassungsverfahren für ein neues Pflanzenschutzmittel der Fall ist.

Pflanzenstärkungsmittel werden nach ihrer Zusammensetzung (Inhaltsstoffe) in folgende Gruppen eingeteilt (KÜHNE et al. 2006):

„Stärkungsmittel auf anorganischer Basis“

- Gesteinsmehle
- Natrium- und Kaliumhydrogenkarbonat

„Stärkungsmittel auf organischer Basis“

- Algenextrakte
- Huminsäuren
- Pflanzenextrakte, -aufbereitungen und –öle
- Tierische Produkte
- Wachse

„Homöopathika“

- Homöopathische (potenzierte) Form aller Stärkungsmittel auf anorganischer und organischer Basis

„Präparationen auf mikrobieller Basis“

- Pilze: *Trichoderma* spp., *Pythium oligandrum*, *Aureobasidium pullulans*
- Bakterien: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* spp.

Aufgrund der Stärkung der Widerstandskraft der Pflanze müssen Pflanzenstärkungsmittel vorbeugend (protektiv) angewendet werden (KÜHNE et al. 2006). Bei der Empfehlung von Kupferersatz-Strategien ist die Mischbarkeit mit anderen Produkten, die im ökologischen Weinbau zugelassen sind, zu beachten. Bei der Anwendung von Kupferhydroxid muss im ökologischen Weinbau ebenfalls die Kompatibilität der Produkte berücksichtigt werden. Dies ist besonders bei prognosegestützten Empfehlungen zu berücksichtigen (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht über die Mischbarkeit von Pflanzenstärkungsmitteln mit anderen Pflanzenstärkungsmitteln sowie mit Kupferhydroxid (KAUER und FADER 2007, HOFMANN 2008).

Produkt	mischbar mit	nicht mischbar mit
Myco-Sin® VIN	Netzschwefel (Thiovit, Sufran, Asulfa, Stulln), Kräutereextrakte (Wasserauszüge), Kanne® Brottrunk, Pflanzenseife, <i>Bacillus thuringiensis</i>	Frutogard®, Kupferhaltige Pflanzenschutzmitteln, Natriumhydrogenkarbonat, Netzschwefel (Kumulus), OIKOMB, Wasserglas, <i>Trichoderma</i> - Präparate, Siapton, Bio Aminosol, AminoVital
Frutogard® (Alginure Bioschutz)	Kupferhydroxid, Netzschwefel, Wasserglas, Kanne® Brottrunk, <i>Bacillus thuringiensis</i>	Myco-Sin® VIN, Kupferoxychlorid, <i>Trichoderma</i> - Präparate
Kupferhydroxid	Wasserglas, Oikomb, HF-Pilzvorsorge, Pflanzen-, Algen-, Kompostextrakte, Schwefel, <i>Bacillus thuringiensis</i> , Natriumhydrogenkarbonate	Myco-Sin® VIN, <i>Trichoderma</i> -Präparate

1.5 Ziel der Arbeit

Bisher stehen keine wirkungsvollen Alternativen zu den kupferhaltigen Produkten für den ökologischen Landbau zur Verfügung. Besonders vor dem Hintergrund der seit Ende 2007 ausgelaufenen Zulassung von Funguran (Kupferoxychlorid) ist die Situation im ökologischen Weinbau sehr angespannt. Mit den momentan zugelassenen Produkten, deren Zulassung auf eine geringe Anzahl an Anwendungen beschränkt ist, können keine 3 kg Reinkupfer pro Hektar ausgebracht werden. Die Reinkupfermenge von 3 kg ist trotz der Anwendung von Pflanzenstärkungsmitteln für einen Bekämpfungserfolg von *P. viticola* notwendig.

Ziel dieser Arbeit war es daher, Pflanzenstärkungsmittel (allein oder in Kombination mit reduzierten Kupfermengen) auf ihre Wirkung gegenüber *P. viticola* unter Gewächshausbedingungen und in Versuchsweinbergen in Exaktversuchen zu prüfen. Darüber hinaus wurde eine mögliche Wirkung gegenüber *Botrytis cinerea* berücksichtigt und getestet inwieweit die Anwendung der geprüften Produkte bei einer mehrmaligen Applikation einen Einfluss auf die Nützlingspopulationen *Typhlodromus pyri* hat. Bei wirksamen Ersatzmitteln sollten darüber hinaus erste Hinweise auf den Mechanismus der Wirkung erarbeitet werden. Die Stärkung der

pflanzlichen Abwehr, die im Pflanzenschutzgesetz (§ 2 Abs. 2 Nr. 10) vom 14. Mai 1998 für die Pflanzenstärkungsmittel gefordert wird, sollte mit der Untersuchung der PR-Gen-Expression für drei ausgewählte Testsubstanzen näher „analysiert“ werden. Außerdem sollte untersucht werden, ob Pflanzen, in denen nach Applikation der Testsubstanz keine PR-Gen-Expression nachweisbar ist, sensitiver gegenüber einem Befall reagieren, als nicht behandelte Pflanzen. Letzteres Phänomen ist aus vielen Wirt-Parasit-Untersuchungen bekannt und dient dazu, die Kosten für eine Abwehrreaktion (cost of resistance) gegenüber Pathogenen zu minimieren.

2 Material und Methoden

2.1 Chemikalien, Nährmedien, Geräte und Software

Für die Untersuchungen im Gewächshaus, Labor und in den Versuchsweinbergen sowie für die molekularbiologischen Versuche wurden folgende Chemikalien und Geräte eingesetzt.

Geräte /Software

AlphaImager® EC (Geldokumentation und -analyse)
 biofuge pico
 BioPhotometer
 Fluoreszenz-Mikroskop BZ-800-K
 Handsprühergerät
 iQ5 Real-Time PCR Detection System
 Labofuge 400 R (Kühl-Zentrifuge)
 mini Spin plus
 Tunnelspritzen
 Photometer (Spekol 1200)
 Plattformwaage PCE-TS 60
 Power Pac 3000 (Elektrophoresezellen und Netzgerät)
 Regensimulator: Duschbrause (Model „Sanufo“)
 Sigma Plot 10.0
 STATISTICA 7.1
 T3000 Thermal Cycler
 Thoma-Zählkammer
 Trio Thermoblock
 UV-Simulator SOL 500

Chemikalien

Agarose NEEO Ultra – Qualität
 Bacto-Agar
 Blankophor® PSG flüssig
 Chinopant
 Chloroform/Isoamylalkohol 24:1
 CTAB (Cetyltrimethylammoniumbromid)
 DEPC
 DEPC treated water
 DNaseI
 EDTA
 Einheitserde Typ P
 Essigsäure
 Ethanol
 Ethidiumbromid

Hersteller

Alpha Innotech Corporation, San Leandro (Kanada)
 Heraeus Instruments, Deutschland
 Eppendorf AG, Hamburg
 Keyence Corporation, Osaka (Japan)
 Haushaltswarengeschäft
 Bio-Rad Laboratories GmbH, München
 Heraeus Instruments, Deutschland
 Eppendorf AG, Hamburg
 Schachtner, Ludwigsburg
 Carl Zeiss; Deutschland
 PCE Deutschland GmbH & Co. KG, Meschede
 Bio-Rad Laboratories GmbH, München
 Fa. Arma, Bezug über Salzburger GmbH, Geisenheim
 Systat Software, Inc.
 StatSoft INC., ©1984-2005
 Biometra biomedizinische Analytik GmbH, Göttingen
 VWR International GmbH, Darmstadt
 Biometra biomedizinische Analytik GmbH, Göttingen
 Dr. Hönle AG, Gräfelfing

Hersteller

Roth, Karlsruhe
 DIFCO LABORATORIES GMBH, Augsburg
 Bayer AG, Leverkusen
 Stähler, Stade
 AppliChem, Darmstadt
 AppliChem, Darmstadt
 Roth, Karlsruhe
 Applied Biosystems/Ambion; Austin (USA)
 Fermentas, St. Leon-Rot
 AppliChem, Darmstadt
 Einheitserde Werkverband, Sinntal-Jossa
 AppliChem, Darmstadt
 AppliChem, Darmstadt
 AppliChem, Darmstadt

Faltenfilter (520 A ½, Ø 240 mm)	Schleicher & Schuell GmbH, Dassel
Flory®3 flüssig	Euflor GmbH, München
Formaldehyd 37%	Roth, Karlsruhe; AppliChem, Darmstadt
Glutaraldehyd	Merck KGaA, Darmstadt
Hafterschmelzflocken	Peter Kölln KGaA, Elmshorn
HCl	AppliChem, Darmstadt
iQ SYBR Green Supermix	Bio-Rad Laboratories GmbH, München
iScript cDNA Synthesis Kit	Bio-Rad Laboratories GmbH, München
Isopropanol	AppliChem, Darmstadt
Kartoffel-Dextrose Agar (PDA)	VWR International GmbH, Darmstadt
Lalvin EC-1118	LALLEMAND Inc., Ontario (Kanada)
LiCl	AppliChem, Darmstadt
Loading Dye 2x for RNA electrophorese	Fermentas, St. Leon-Rot
MOPS (4-Morpholino-Propansulfonsäure)	Applied Biosystems/Ambion; Austin (USA)
Na Acetat	AppliChem, Darmstadt
NaCalit® ^{PORE-TEC}	Fa. Erbslöh, Geisenheim
NaCl	Fluka, Buchs
NaOH	AppliChem, Darmstadt
NucleoSpin® RNA II Kit	MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG, Düren
O'Range Ruler™ 50bp DNA Ladder	Fermentas, St. Leon-Rot
Perligran® G	Knauf Perlite GmbH, Dortmund
Petrischalen ohne Nocken 9cm	VWR International GmbH, Darmstadt
Primer	Eurofins MWG Operon, Ebersberg
PVP K 30	Roth, Karlsruhe
Reaktionsgefäße, Biopur Safe-Lock,	Eppendorf, Hamburg
Ribonuclease Inhibitor	Fermentas, St. Leon-Rot
RNase	Fermentas, St. Leon-Rot
RNaseZap	Applied Biosystems/Ambion; Austin (USA)
Rundtöpfe	Fa. Herrmann Meyer, Deutschland
SDS	Applied Biosystems/Ambion; Austin (USA)
Spermidin	AppliChem, Darmstadt
β-Mercaptoethanol	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, München
Stickstoff	Linde AG, München
Tris	AppliChem, Darmstadt

2.2 Pathogene

2.2.1 Der Erreger des Falschen Mehltaus der Weinrebe - *Plasmopara viticola*

Die Versuche wurden mit einem Isolat von *Plasmopara viticola* aus der Mycothek des Fachgebietes Phytomedizin der FA Geisenheim durchgeführt. Der obligat biotrophe Pilz wurde an Topfreben im Gewächshaus (*in vivo*) vermehrt. Die gebildeten Sporangien wurden bei –20 °C auf abgetrennten Rebblättern gelagert. Zur Inokulation der Topfreben wurden die Sporangien mit kaltem Wasser vorsichtig abgespült. Mit Hilfe einer Thoma-Zählkammer wurde eine Sporangien-dichte von 10⁵ bis 10⁶ Sporangien pro Milliliter eingestellt.

2.2.2 Der Erreger des Grauschimmels der Weinrebe - *Botrytis cinerea*

Die *in vitro*-Versuche wurden mit einem Isolat von *Botrytis cinerea* aus der Mycothek des Fachgebietes Phytomedizin der FA Geisenheim durchgeführt. Der Pilz wurde auf PDA-Medium kultiviert und bei 24 °C inkubiert.

2.3 Pflanzenanzucht *Vitis vinifera*

Im Frühjahr (2005 bis 2008) wurden einjährige Rebruten von *Vitis vinifera* cv. 'Riesling' und 'Müller-Thurgau' in den Versuchsweinbergen der FA Geisenheim geschnitten und als so genannte Zwei-Augen-Stecklinge in einer 0,5 % Chinosol-Lösung für 24 Stunden desinfiziert. Die Lagerung erfolgte in Plastiktüten bei vier Grad Celsius. Zur Vorbereitung der Anzucht der Topfpflanzen wurden die Stecklinge zunächst bei Raumtemperatur gewässert und anschließend an beiden Enden um ca. einen Zentimeter gekürzt. Das untere Nodium wurde geblendet. Der Ein-Augen-Steckling wurde schräg in ein Substratgemisch aus 50 % Perlit und 50 % Einheitserde P gesteckt. Das Nodium wurde zum Schutz vor Austrocknung nur wenige Millimeter über der Oberfläche des Substratgemisches belassen. Fand die Pflanzenanzucht während der Vegetationsperiode März bis Oktober statt, wurden die Pflanzen nach acht bis zehn Wochen in Einheitserde ED 73 umgetopft. Im Falle der Kultivierung der Testpflanzen in der Vegetationsruhe (November bis Februar) waren zehn bis zwölf Wochen bis zum Umtopfen erforderlich. Die Düngung erfolgte einmal wöchentlich beim Gießen der jungen Reben mit 1 g/LFlory 3 Mega (18 g N; 12 g P; 18 g K; 2 g Mg).

2.4 Überprüfung der Wirksamkeit von Pflanzenstärkungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln gegenüber *Plasmopara viticola* unter Gewächshausbedingungen

2.4.1 Wirksamkeitsversuche mit Topfreben

Die Topfreben im Entwicklungsstadium⁴ BBCH 16 - 19 wurden mittels Airbrushpistole mit den zu testenden Agenzien behandelt. Bei der Applikation wurde auf einen gleichmäßigen Bedeckungsgrad der Blätter mit den Prüfsubstanzen geachtet. Nach

⁴ Die Entwicklungsstadien (BBCH-Code) nach LORENZ et al. (1994) aus MEIER (2001) finden sich in Anhang-Tab. 1.

Applikation der Substanzen (24 h) wurde eine Sporangiensuspension (10^5 bis 10^6 Sporangien/ml) auf die Blattunterseite der Topfreben gesprüht. Für die Inokulation wurde ein handelsübliches Haushalts-Handsprühgerät eingesetzt. Direkt im Anschluss wurden die Topfreben mit einer dunklen Plastiktüte überstülpt, die zuvor innen mit Leitungswasser befeuchtet wurde, um ein ideales Mikroklima (hohe relative Feuchte) für die Infektion der Topfreben zu schaffen. Danach wurden sie in einer Gewächshauskabine bei einem Tag-Nacht-Rhythmus von 16:8 und bei einer Temperatur von 20 °C kultiviert. Nach Ablauf der Inkubationszeit von sechs Tagen wurden die Topfreben in eine „Feuchte Kammer“ überführt, um bei stark erhöhter Luftfeuchte die Sporulation von *P. viticola* zu induzieren. Der Anteil der Fläche der Blattunterseite, der einen Sporangienrasen zeigte, wurde in 5 %-Stufen bewertet (Befallsstärke). Pro Versuchsvariante wurden vier Topfreben verwendet. Von jeder Topfrebe wurden sechs Blattunterseiten ausgewertet.

Die Wirkungsgrade (Relationswerte) wurden mit folgender Formel berechnet:

$$WG = \frac{\text{Befall in der unbehandelten Kontrolle} - \text{Befall in der Versuchsvariante}}{\text{Befall in der unbehandelten Kontrolle}} \times 100$$

Unter Berücksichtigung der Richtlinien der EU-Verordnung 2092/91 kamen im Rahmen der Untersuchungen verschiedene Substanzen zum Einsatz. Im Einzelnen waren unter den Agenzien anorganische und organische Substanzen, Pflanzenschutzmittel (kupferhaltige Substanzen, Vergleichsmittel) sowie neue Kupferformulierungen und Formulierungshilfsstoffe. Eine Übersicht über die eingesetzten Prüfmittel gibt Tab. 3.

Tab. 3: Übersicht der unter Gewächshausbedingungen verwendeten Prüfmittel. Angabe in Anlehnung an die Pflanzenstärkungsmittel-Datenbank des JKI (<http://pflanzenstaerkungsmittel.bba.de/db.php>) und der Sicherheitsdatenblätter der Hersteller; Ak= Anwendungskonzentration

anorganische Substanzen			
Bezeichnung	Inhaltsstoff	Ak	Listungsinhaber
Mycosin VIN	Gesteinsmehl	0,50%	Dr. Schaette AG / Biofa Agrar GmbH
Rocksil	Gesteinsmehl	1,50%	LIA Ulmasud Ltd./ AIC Schweiz
organische Substanzen			
Bezeichnung	Inhaltsstoffe	Ak	Listungsinhaber
Alginure Bioschutz = Frutogard	Braunalgenextrakt (<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Laminaria</i> -Arten), pflanzliche Aminosäuren, Spurenelemente, Alginate, Fucoidin, Laminarin, Mannitol, Fette, Proteine, K, P und geringe Mengen N	0,75%	TILCO BIOCHEMIE GmbH
Algin Biovital	Algenextrakte, PK-Düngersalz	0,75%	TILCO BIOCHEMIE GmbH
Kendal	Luzernenextrakte: 8 % (enthalten Oligosaccharide, Glutathion)	1,00%	Gerlach Natürl. Düngemittel
Timorex	K (K ₂ O ₄) 15,5 % flüssig		
Waschnuss; Nüsse	Teebaumöl	1,00%	Biomor/Israel
Waschnuss flüssig	Waschnuss-Extrakt	1,00%	Fair-Natur
Waschnuss Pulver	Waschnuss-Extrakt	1,00%	PureNature
		0,50%	Fair-Natur
Pflanzenschutzmittel			
Bezeichnung	Wirkstoffe	Ak	Zulassungsinhaber
Cuprozin flüssig	Kupferhydroxid	0,10%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
Folpan 80 WDG	Folpet	0,10%	Maketschim Agan
kupferhaltige Testprodukte			
Bezeichnung	Wirkstoffe	Ak	Hersteller
Kupferprotein	Proteinkomplex und Kupferoxychlorid (9 g Cu/L)	1,00%	Biofa Agrar GmbH
Kendal TE	Kendal inklusive Kupferoxychlorid (23 % w/w)	1,00%	Gerlach Natürl. Düngemittel
SPU-01010-F	Kupferoxychlorid; 63 g Cu/L; Nanoformulierung; flüssig-Formulierung	0,24%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-01340-F	Kupferlävulinat; 50 g Cu/L; flüssig-Formulierung	0,30%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-01710-F	"nano" Kupfer-Verbindung; 32,5 g Cu/L; flüssig-Formulierung	0,46%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-2100-F	Kupferhydroxid; 500 g Cu/L; Pulver	0,03%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-2270-F	Kupferhydroxid; 400 g Cu/L; SC-Formulierung	0,04%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-2540-F	Kupferhydroxid; Ölformulierung; 400 g Cu/L; flüssig-Formulierung	0,60%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-02620-F	Kupferhydroxid; 50 g Cu/L; SC-Formulierung	0,30%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-02690-F	Kupferhydroxid; 200 g Cu/L; flüssig-Formulierung	0,10%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
SPU-2980-F	Kupferhydroxid; 125g Cu/L; SC-Formulierung	0,12%	Spiess-Urania Chemicals GmbH
Formulierungshilfsstoffe			
Bezeichnung	Inhaltsstoffe	Ak	Listungsinhaber
Nu-Film-P	Pinolene-Polymere	0,10%	Intrachem-Bio
Trifolio S-forte	pflanzliche Öle, nichtionische Tenside	0,10%	Trifolio-M
Netz- + Haftmittel proagro	Netz- und Haftmittel	0,05%	proagro GmbH

2.4.2 Erfassung der UV-Beständigkeit von Pflanzenstärkungsmitteln

Besonders bei Kupferersatzagencien auf pflanzlicher Basis wurde ein großer Wirkungsverlust unter Freilandbedingungen festgestellt, der konträr zu den unter Gewächshausbedingungen erzielten Ergebnissen war. Daher sollte die UV-Stabilität der Testpräparate im Gewächshaus untersucht werden. Der Zusatz von Formulierungshilfsstoffen sollte zu einer Verbesserung der UV-Beständigkeit führen. Mit Hilfe eines UV-Simulators wurden die Bedingungen des Freilandes bezüglich UV-Einfluss im Gewächshaus simuliert (Abb. 4 a). Hierfür wurde eine 10-fach kon-

zentrierte Lösung der Produkte über 24 Stunden einer Lichtstärke von 120.000 LUX ausgesetzt. Die Testprodukte wurden in Petrischalen gefüllt und 80 cm von der Lichtquelle entfernt aufgestellt. Anschließend wurde die 1:10 verdünnte Lösung auf die Blattoberfläche appliziert. Das weitere Vorgehen entsprach dem unter 2.4.1 beschriebenen.

2.4.3 Studien zur Regenstabilität von Pflanzenstärkungsmitteln

Dem unter Freilandbedingungen beobachteten Wirkungsverlust der geprüften Kupferersatzagenzien auf pflanzlicher Basis sollte mit weiteren Versuchen zur Regenstabilität der Testprodukte begegnet werden. Die Regenfestigkeit der Testpräparate wurde im Gewächshaus an Topfreben untersucht und optimiert. Um die Testpräparate trotz Niederschlags auf der Zielfläche zu stabilisieren, wurden verschiedene Formulierungshilfsstoffe zugesetzt. Die Topfreben wurden nach dem Antrocknen der Testpräparate auf der Blattoberfläche in die Regensimulations-Apparatur gestellt und „beregnet“ (Abb. 4 b und c). Der Niederschlag wurde mit einer handelsüblichen Duschbrause simuliert. Die Brause hatte einen Kopfdurchmesser von 20 cm. Durch die waagerechte Anordnung der Brause entsprach der Brausedurchmesser der Breite des Niederschlagskegels. Die Duschbrause war 125 cm über einer rotierenden Plattform angebracht, auf die die zu behandelnden Pflanzen aufgestellt wurden. Bei der Versuchsdurchführung betrug der Wasserdruck 0,2 bar und der Wasserdurchfluss 200 L pro Stunde. Jede Topfrebe passierte einmal den Niederschlagskegel mit 0,6 Umdrehungen in der Minute und wurde mit ca. 300 ml Wasser benässt, was einem Niederschlagsereignis von 18 mm entsprach.

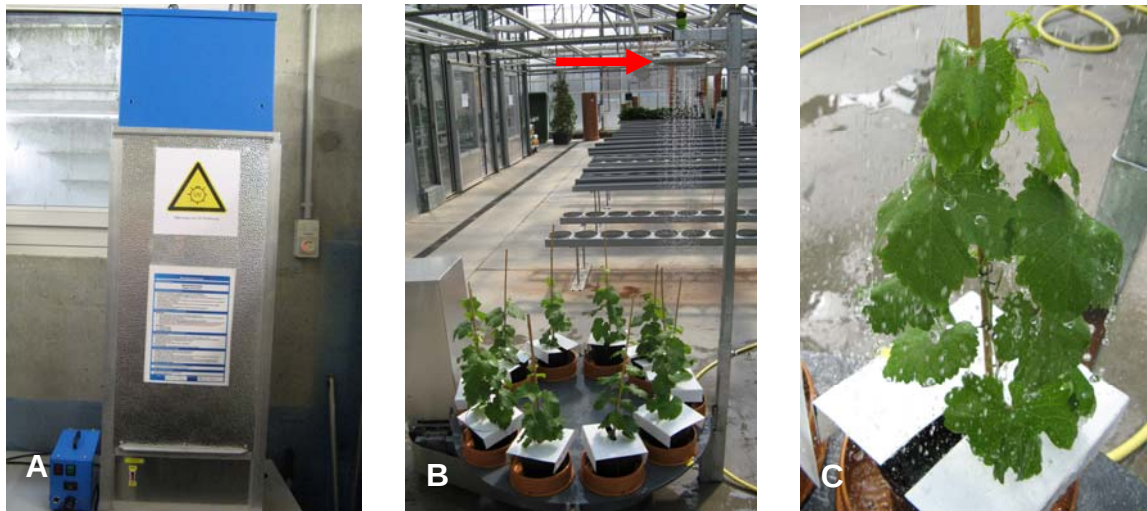


Abb. 4: Geräte und Apparaturen zur Überprüfung der UV-Beständigkeit und Regenstabilität der Testsubstanzen. A: UV-Simulator SOL 500 der Firma Dr. Hönle AG, Gräfelfing, B: selbstgebaute Regensimulations-Apparatur (Pfeil: Brausenkopf), C: Topfrebe während der Beregnung.

2.5 Versuchsweinberge, Witterungsdaten und Epidemiologie von *Plasmopara viticola*

Einige der Prüfsubstanzen aus den Gewächshausversuchen wurden für die Prüfung in den beiden Versuchsweinbergen ausgewählt. Die Versuche im Freiland wurden in Form einer randomisierten Blockanlage mit je vier Wiederholungen angelegt. An beiden Standorten wurden die Testpräparate mittels Tunnelspritzgerät ausgebracht. Das Applikationsintervall betrug ca. zehn Tage. Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die Richtlinien der EPPO (ANONYM 1980) mit einem 9-Klassen-Boniturschema (1: 0%, 2: 1%, 3: 3%, 4: 6%, 5: 11%, 6: 20%, 7: 35%, 8: 60% und 9: 100%), das im Fachgebiet Phytomedizin auch im Rahmen der Zulassungsprüfung verwendet wird. Bei diesem Schema sind die niedrigen Befallsstufen besonders eng gewählt, um eine bessere Differenzierung der Wirkung der Testsubstanzen selbst bei einem geringen Befall zu erreichen. Pro Variante wurden je 100 Blätter bzw. Trauben (50 von jeder Laubwandseite) in einer Parzelle bonitiert, somit konnten insgesamt 400 Organe bewertet werden. Die Klassifizierung Frutogard®-1 (Frutogard® bis BBCH 68 und anschließend Cuprozin® Fl. in der halben Aufwandmenge), Frutogard®-1* (Frutogard® bis BBCH 68 und durchgehend Cuprozin® Fl.) und Frutogard®-3 (Frutogard® in BBCH 68 und durchgehend Cuprozin® Fl.) wurde an das BÖL-Projekt (BLE 514-43.10/03OE572; BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. 2008) angelehnt. Die Vergleichsvariante „öko-Standard“ war eine Spritzfolge, die aus Myco-Sin® VIN (bis

BBCH 68) und Cuprozin® Flüssig (ab BBCH 68) sowie Netzschwefel (Stulln WG) bestand. Neben dieser Vergleichsvariante dienten Folpan® 80 WDG (Kontaktfungizid des integrierten Weinbaus) und Cuprozin® Flüssig mit 3 kg Cu/ha und 1,5 kg Cu/ha als Vergleichsvarianten. Für die Grundabdeckung gegen *Erysiphe necator* wurde Netzschwefel eingesetzt.

Tab. 4: Kenndaten der beiden Versuchsanlagen in Geisenheim (Weinbaugebiet Rheingau)

	„Mäuerchen“ (ökologisch bewirtschaftet)	„Kellersgrube“ (integriert bewirtschaftet)
Lage	Geisenheimer „Mäuerchen“	Geisenheimer „Kellersgrube“
Bodenart	sandiger Lehm	nicht untersucht
Rebsorte	Riesling (Klon 239 auf 5C)	Riesling (Klon 198-44/804 auf 5C)
Pflanzjahr	1982	1999
Erziehung	Drahtrahmen; Spalier in Halbbogen	Drahtrahmen; Halbbogen einarmig
Standraum	2,34 m ² (1,8 m x 1,3 m)	2,00 m ² (2,0 m x 1,0 m)
Umstellungsjahr	1996	nicht umgestellt
Rebstöcke pro Versuchsglied	14	14
Bodenkultursystem	offen/begrünt, abwechselnd	offen/begrünt, abwechselnd
Parzellengröße pro Versuchsglied	4 x 32,8 m ²	4 x 28 m ²
Versuchsdesign	randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen	randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen
Höhenlage (ü NN)	118 m	130-138 m
Temperatur (Ø 1971-2000)	10,2 °C (Vegetationsperiode (April-Oktober): 14,7 °C)	
Niederschlag (Ø 1971-2000)	530 mm (Vegetationsperiode: 330 mm)	
Sonnenscheindauer (Ø 1971-2000)	1603 h (Vegetationsperiode: 1272 h)	



Abb. 5: Lage der Versuchsweinberge am Standort Geisenheim. Gelber Kasten: Versuchsweinberg „Kellersgrube“ (integrierte Bewirtschaftungsweise); hellgrüner Kasten: Versuchsweinberg „Mäuerchen“ (ökologische Bewirtschaftungsweise); roter Kasten: meteorologische Messstation des DWD; Foto www.earth.google.de.

2005	2006	2007	2008
SPU-02540-F 1,7 kg Cu/ha pro Jahr	Cuprozin FI. (0,05%) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Cuprozin FI. (0,05%) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	SPU-02980-F ~2,0 kg Cu/ha pro Jahr
SPU-01010-F 1,7 kg Cu/ha pro Jahr	SPU-02690-F 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	SPU-02690-F 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Algin Biovital + proagro N. Cuprozin FI. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr
Kupferprotein 2,0 kg Cu/ha pro Jahr	SPU-01010-F 1,1 kg Cu/ha pro Jahr	Algin Biovital Cuprozin FI. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Myco-Sin VIN proagro Netzmittel
Algin Biovital u. 50% Cuprozin FI. 1,4 kg Cu/ha pro Jahr	Kendal* Cuprozin FI. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Myco-Sin VIN	Waschnuss Nufilm-P
Myco-Sin VIN 05	Algin Biovital* Cuprozin FI. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Rocksil	Frutogard + proagro Netzmittel (bis BBCH 68) Cuprozin FI. (durchgehend) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr
Algin Biovital	Algin Biovital*	Myco-Sin VIN Kendal	Frutogard + Trifolio-S-forte (bis BBCH 68) Cuprozin FI. (durchgehend) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr
Rocksil	Rocksil*	Frutogard (bis BBCH 68) Cuprozin FI. (durchgehend) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	
Frutogard (Frutogard bis inkl. ES 68; anschließend Cuprozin FI.) 1,7 kg Cu/ha pro Jahr			
Frutogard (50% Cuprozin FI.; 1x 4 L Frutogard in ES 68)) 1,7 kg Cu/ha pro Jahr			

2005	2006	2007	2008
SPU-01010-F 1,7 kg Cu/ha pro Jahr	Kendal* Cuprozin Fl. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Cuprozin Fl. (0,05%) Proteinkomplex 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Myco-Sin VIN proagro Netzmittel
SPU-01340-F 1,7 kg Cu/ha pro Jahr	Algin Biovital* Cuprozin Fl. 1,5 kg Cu/ha pro Jahr	Rocksil 1 %	Waschnuss Nufilm-P
SPU-02540-F 1,7 kg Cu/ha pro Jahr	Myco-Sin VIN Kendal*	Rocksil 2 %	Frutogard + proagro Netzmittel (bis BBCH 68) Cuprozin Fl. (durchgehend) 1,5 kg Cu/ha pro Jahr
Algin Biovital	Myco-Sin VIN	Myco-Sin VIN	
Rocksil	Rocksil*	Myco-Sin VIN Kendal	
	Timorex*		

Abb. 6: Übersicht über die in den Jahren 2005 bis 2008 geprüften Versuchsvarianten in den Versuchsweinbergen „Mäuerchen“ (oben) und „Kellersgrube“ (unten). Hellblau sind die Kupferminimierungs-Strategien (< 2 kg Reinkupfer / (ha x a)), hellgrün die Kupferersatz-Strategien und gelb die Kupferminimierungs-Strategien (Phosphonat-Varianten) dargestellt. Die mit * gekennzeichneten Testprodukte wurden bereits im BBCH-Stadium 13/14 ausgebracht.

Die Witterungsdaten (siehe Anhang-Abbildung 1 - 6) wurden vom DWD Außenstelle Geisenheim zur Verfügung gestellt. Die Messstation des DWD steht in der Nähe der beiden Versuchsweinberge (Tab. 4 und Abb. 5).

Durch den frühen und relativ starken Befall von *P. viticola* auf den beiden Versuchsweinbergen im **Jahr 2005** wurden die Versuche dreimal bonitiert. Am 23.05.2005 (KW 21) wurden die ersten Ölflecken von *P. viticola* in der ökologisch bewirtschafteten Versuchsanlage „Mäuerchen“ der FA Geisenheim gefunden. Durch die kühle Witterung Anfang Mai 2005 war die Inkubationszeit von *P. viticola* außergewöhnlich lang (ca. zwei Wochen). Die Primärinfektion konnte auf den 07. Mai 2005 rückdatiert werden. Die Weinreben am Standort „Mäuerchen“ befanden sich am 07. Mai 2005 im Entwicklungsstadium BBCH 13/14 (drittes bzw. viertes Laubblatt entfaltet). Das bedeutet, dass eine Infektion durch *P. viticola* aufgrund der physiologischen Entwicklung der Weinrebe „gerade“ möglich war. Dieser Sachverhalt wurde jedoch durch die kühle Witterung unterschätzt. Somit wurde die erste Applikation für den 25. Mai 2005 (zwei Tage nach dem Auftreten der ersten Ölflecken) geplant (Anhang-Abb. 1). Tägliche Niederschlagsereignisse sowie lange Blattnässezeiten in der dritten Maidekade führten zu einer raschen Ausbreitung von *P. viticola*. Neben diesen optimalen Witterungsbedingungen fand der Pilz

hervorragende Infektionsbedingungen an der Zielfläche Weinrebe vor (ungeschützter Neuzuwachs an sich vergrößernden Blättern und den sich streckenden Infloreszenzen). Durch optimale Infektionsbedingungen (boden- und blattbürtige Infektionen) in der dritten Mai-Dekade kam es zu einer flächendeckenden und extrem starken Ausbreitung von *P. viticola*. Mitte Juni wurden die ersten befallenen Infloreszenzen festgestellt (Anhang-Abb. 2). So konnten einige der Ergebnisse der Gewächshausversuche 2004-2005 in den Freilandversuchen bestätigt werden. Da in beiden Versuchsweinbergen die erste Applikation zwei Tage nach Ausbruch der ersten Ölflecken erfolgte, konnten im Falle des Testproduktes Algin Biovital die Ergebnisse des Gewächshaus-Screenings nicht bestätigt werden. Im **Jahr 2006** konnte aufgrund des geringen Niederschlags ein sehr geringer Befall von *P. viticola* festgestellt werden. Die besonderen klimatischen Bedingungen des **Jahres 2007** - extrem warmer und trockener Winter und sommerliche klimatische Bedingungen im April - hatten zur Folge, dass in fast allen Versuchsanlagen ein geringer Befallsdruck von *P. viticola* vorlag. Dies ist vor allem mit dem trockenen und außergewöhnlich warmen Monat April 2007 zu erklären. Die fehlenden Niederschläge zu Beginn der Vegetationsperiode verzögerten womöglich die Oosporenreifung und verhinderten die Oosporenkeimung (Rossi et al. 2007). Das Wachstum der Weinrebe wurde hingegen besonders gefördert und es kam zum frühesten Austrieb (Geisenheim am 10.-13. April 2007) im Rheingau seit der Aufzeichnung im Jahre 1947. An den beiden Standorten im Rheingau wurden die ersten Niederschläge Anfang Mai verzeichnet und die weiteren Niederschläge, die eine Primärinfektion verursacht haben könnten, fielen erst Mitte bis Ende Mai zum BBCH 57. Die ersten Symptome waren im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ ab 20.06.2007 (BBCH 75/77) zu sehen, somit müsste eine Infektion Mitte Juni (BBCH 75; „Erbsengröße“) stattgefunden haben. Ab diesem Stadium kann die Traube in der Regel kaum noch infiziert werden. Somit waren aufgrund klimatischer Bedingungen insgesamt keine nennenswerten Schäden durch *P. viticola* zu notieren. Bei den Bonituren in den Versuchsweinbergen in Geisenheim wurde kein Befall an den Trauben festgestellt. Im **Jahr 2008** waren die starken Niederschlagsereignisse im Juli und August für die Infektionen verantwortlich. Die ersten Ölflecken wurden am 19. Juni vermerkt. Diese sind wahrscheinlich durch (Primär-)Infektionen Anfang Juni entstanden. In Anhang-Tab. 2-9 sind die Applikationsdaten sowie die Bedingungen für eine Infektion mit *P. viticola* angegeben.

2.6 Untersuchungen zu Nebenwirkungen der Testprodukte

2.6.1 *Botrytis cinerea* (in vitro)

Die Testprodukte, die laut Herstellerangabe eine Regulierungsfähigkeit gegenüber *Botrytis cinerea* haben, wurden in einem Agarschalendiffusionstest auf ihr Potential zur Eindämmung geprüft. Um mögliche Nebenwirkungen der Substanzen auf *B. cinerea* zu prüfen, wurde ein von GÄRTEL (1967) beschriebener Schalen-Diffusionstest zur Erfassung der Wirksamkeit von Fungiziden gegenüber *B. cinerea* modifiziert: 10 ml auf 50 °C abgekühltes Nährmedium (OMA: 10 g Haferschmelzflocken, 9 g Agar, 500 ml A. dest) und 10 ml der Testsubstanz in der jeweiligen Verdünnungsstufe wurden in Petrischalen pipettiert und vermischt. Die Substanzen wurden in folgender Verdünnungsreihe angesetzt: $\frac{1}{125}$ K, $\frac{1}{5}$ K, K, 5 K und 10 K (K = die Anwendungskonzentration; Kontrolle = A. dest). Nach Erkalten des Agars wurden *B. cinerea*-Myzelstücke (Ø 11 mm; vier Tage alt) in die Mitte der Petrischale platziert. Die Platten wurden bei 24 °C in einem Brutschrank inkubiert. Die Auswertung erfolgte vier Tage nach Auflegen der Myzelstücke. Der Myzeldurchmesser wurde in Zentimetern gemessen. Im Jahr 2006 wurde die Methode geändert, da aufgrund der Konsistenz der Testprodukte bei der oben beschriebenen Vorgehensweise keine gleichmäßige Verteilung der Wirkstoffe in der Petrischale gegeben war. Zusätzlich wurde ein neues Nährmedium gewählt, um bessere Bedingungen für *B. cinerea* zu gewährleisten (TUDZYNSKI und KOKKELINK 2009). Die neue Methode sah wie folgt aus: 20 ml auf 50 °C abgekühltes Nährmedium (PDA: 19,5 g PDA in 500 ml A. dest) wurde in Petrischalen pipettiert. Nach Erkalten des Agars wurden mit einem Korkbohrer sechs Löcher in den Agar gestanzt, in die 10 µl Testsubstanz in der jeweiligen Verdünnungsstufe gefüllt wurden. Folgender Verdünnungsreihe wurde angesetzt: $\frac{1}{125}$ K, $\frac{1}{5}$ K, K, 5 K und 10 K. Anschließend wurden *B. cinerea* - Myzelstücke (Ø 11 mm; vier Tage alt) in die Mitte der Petrischale gelegt. Die Platten wurden bei 24 °C in einem Brutschrank inkubiert. Die Auswertung erfolgte hier in der Regel bis zu sieben Tage nach Auflegen der Myzelstücke.

Tab. 5: Übersicht der eingesetzten Prüfmittel für die Testung der Wirkung gegenüber *B. cinerea*

Versuchsglied	Konzentration	Wirkstoff(e)	Hersteller/Vertrieb
Vergleichsmittel			
Switch	0,1 %	Fludioxonil Cyprodinil	Syngenta Agro GmbH
Prüfsubstanzen			
Cuprozin® Flüssig	0,1 %	Kupferhydroxid	Spiess Urania Chemicals GmbH
Frutogard®	1,0 %	Algenextrakt mit Phosphonat	Tilco Biochemie GmbH
Folpan® 80 WDG	0,1 %	Folpet	Makteshim Agan
KENDAL	1,0 %	Pflanzenextrakt	Gerlach Natürliche Düngemittel

2.6.2 Erfassung von *Botrytis cinerea* im Freiland

Um eine Aussage über das Potenzial der Testprodukte zur Regulierung des Grauschimmels in Form einer „Nebenwirkung“ zu erfassen, wurden die Trauben des Versuchsweinberges „Mäuerchen“ in den Jahren 2005 bis 2007 einen Tag vor der Lese auf den Befall mit *B. cinerea* bonitiert. Die „klassischen“ Botrytizid-Termine des integrierten Weinbaus zu BBCH 79 und 81 waren in dem Zehn-Tage-Spritzintervall enthalten.

2.6.3 Raubmilbenpopulationen (*Typhlodromus pyri*)

Untersuchungen über mögliche Veränderungen von Raubmilbenpopulationen durch Testprodukte, Pflanzenschutzmittel und Pflanzenstärkungsmittel wurden im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ durchgeführt. Die eingesetzte Methode ist an die von HILL und SCHLAMP (1984) beschriebene Vorgehensweise angelehnt. Hierfür wurden 25 Blätter pro Wiederholung von beiden Seiten der Laubwand entnommen. Bis zur weiteren Verarbeitung wurden die Blätter in Plastiktüten verpackt und bei vier Grad Celsius gelagert. Um die Anzahl der Raubmilben besser erfassen zu können, mussten sie von den Blättern abgewaschen werden. Deshalb wurden die Blätter in

0,75 L Wasser mit Detergens vorsichtig gewaschen. Anschließend wurde die Fraktion, in der die Raubmilben enthalten waren, von der restlichen Flüssigkeit abgetrennt (gesiebt). Zur besseren Visualisierung der Raubmilben unter dem Binokular wurden sie mit Methylenblau angefärbt. Bei der Auszählung wurden nur adulte Raubmilben und das Nymphenstadium berücksichtigt.

2.6.4 Gärung, Gärverlauf, Inhaltsstoffe und Geschmack

2.6.4.1 Analyse der Versuchsmoste und Versuchssweine

Die Trauben aus den Versuchspartzen „Mäuerchen“ wurden bei Lesereife (ab Mitte Oktober) geerntet. Pro Versuchspartze wurden ca. 50 kg Trauben geerntet. Direkt im Anschluss wurden die Trauben in den Fachgebieten Rebenzüchtung und Rebenveredlung sowie Kellerwirtschaft der FA Geisenheim abgepresst. Nach dem Keltern wurde der Most zur Vorklärung für einen Tag mit NaCalit[®]PORE-TEC versetzt. Die Mostuntersuchung erfolgte im Fachgebiet Weinanalytik und Getränkeforschung der FA Geisenheim mit 2 x 250 ml vorgeklärtem und gefiltertem Most. Der Most wurde durch Faltenfilter (520 A ½, Ø 240 mm) gefiltert, um Trubstoffe zu entfernen. Die Weinanalyse wurde im Frühjahr/Sommer des darauf folgenden Jahres vom Fachgebiet Weinanalytik und Getränkeforschung der FA Geisenheim durchgeführt.

2.6.4.2 Mikrovinifikation der Versuchsmoste

Nach dem Vorklären wurden die Moste in Glasballons (25 Liter Gebinde) überführt und bei 15-18 °C im Versuchskeller des Fachgebietes Rebenzüchtung und Rebenveredlung der FA Geisenheim vergoren. Von der Reinzuchtheefe UVAFERM CEG (*Saccharomyces cerevisiae*) wurden 20 g/hL zugegeben. Im Jahr 2006 wurde die Reinzuchtheefe *Saccharomyces cerevisiae bayanus* Lalvin EC-1118 (25 g/hL) verwendet. Bei der Gärverlaufsbeobachtung im Jahr 2005 wurde das Mostgewicht an den ersten beiden Tagen mit einem Handbiegeschwinger bestimmt. Wegen einer zu starken CO₂-Entwicklung konnte dieses Verfahren aber nicht weiter angewendet werden. Daher wurden die Gärbehälter ab dem dritten Tag nach Gärstart gewogen. Der Gewichtsverlust korreliert mit der Umwandlung des Mostzuckers in Alkohol und CO₂. Dieses Verfahren wurde auch im Jahr 2006 angewandt. Die Gärbehälter der

Moste des Jahres 2007 waren zu schwer für die Waage (> 70 kg), so dass die Dichte des Mostes mit einer Spindel bestimmt wurde. Nach Abschluss der Gärung ruhte der Wein drei Wochen im Gärgefäß und wurde anschließend abgestochen. Direkt im Anschluss wurde der Wein mit 100 mg/L SO_2 geschwefelt. Die Lagerung der Weine erfolgte bei 15-18 °C. Die Abfüllung in Flaschen erfolgte im Frühjahr des darauf folgenden Jahres. Die Weine der Kontrollparzelle wurden nicht ausgebaut.

2.6.4.3 Sensorische Beurteilung der Versuchsweine

Die sensorische Prüfung der Weine wurde nach der Flaschenfüllung in Kooperation mit dem Fachgebiet Kellerwirtschaft der FA Geisenheim und einem geschulten Prüfer-Panel durchgeführt. Zur sensorischen Beurteilung der Versuchsweine fand das 5-Punkte-Schema der DLG Anwendung. Als Kontrolle für den integrierten Rebschutz dienten die Versuchsweine der Parzelle „Folpan 80 WDG“. Die Weine der Parzellen „Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/(ha x a))“ sowie „öko-Standard-Spritzfolge“ wurden als ökologischer Standard verwendet. Geruch, Geschmack und Wahrnehmung dieser Weine wurden im Vorfeld zur Verkostung gemeinsam besprochen und bewertet. Auf diese Weise wurden die Panelmitglieder für die sensorische Beurteilung der Versuchsweine „normiert“. Die oben genannten Kontroll-Weine wurden in die Verkostung integriert. Diese Vorgehensweise erlaubte eine subjektive Bewertung der sensorischen Eigenschaften der Versuchsweise, da im Falle einer zu großen Abweichung ($> 0,6$) bei der Bewertung eines Versuchsweins von den Kontroll-Weinen der entsprechende Verkoster bei der Endauswertung ausgeschlossen werden konnte.

2.7 Untersuchungen zur Beeinflussung der Sporangienkeimung *in vitro* durch Pflanzenstärkungsmittel mittels Fluoreszenzmikroskopie

Blattscheiben der Sorte Müller-Thurgau wurden mit 200 µl einer Sporangien-suspension (10^5 Sporangien/mL) inokuliert und für drei Tage in Petrischalen auf Wasseragar bei 20 °C inkubiert. Um den aktuellen Keimungsstatus der Zoosporen zu dokumentieren, wurden die Blattscheiben mit 2,5 %iger Glutardialdehyd-Lösung für ca. zwei Stunden fixiert. Anschließend erfolgte am Fluoreszenzmikroskop BZ-8000 K die visuelle Erfassung der Keimungsrate. Die Strukturen der Pilze wurden dazu mit

0,1 %igem Blankophor® PSG flüssig angefärbt. Die Zoosporen galten als gekeimt, wenn die Austrittsstelle des Keimschlauches aus der encystierten Zoospore zu erkennen war. Pro Versuchsglied wurden auf vier Blattscheiben jeweils 100 Sporen betrachtet.

2.8 Untersuchungen zur Gen-Expression

Um die Expression von PR-Genen im Zusammenhang mit der Applikation bestimmter Testsubstanzen nachzuweisen, wurde ein separater Versuch mit Topfreben unter Gewächshaus-Bedingungen angelegt. Für diesen Versuch dienten acht Wochen alte Weinreben der Sorte Müller-Thurgau als Ausgangsmaterial. Pro Variante wurden drei Topfreben verwendet. Von jeder Topfrebe wurden aus der mittleren Blattetage (viertes bis sechstes Blatt) drei Blätter entnommen. Diese Blätter wurden direkt in flüssigen Stickstoff gegeben und bis zur weiteren Verarbeitung bei - 80 °C gelagert. Beprobt wurde zu sechs Zeitpunkten nach Applikation der Prüfsubstanzen und siebenmal nach der Inokulation mit *P. viticola*, die zwölf Stunden nach der Applikation erfolgte. Als Kontrollen dienten unbehandelte Pflanzen sowie eine Wasser-Applikation. Die in Tab. 6 aufgeführten Prüfsubstanzen wurden auf ihren Effekt auf die Expression eines PR-2 Gens (accession number: AJ277900) und eines PR-5 Gens (accession number: Y10992) überprüft. Als Referenzgene dienten GAPDH (Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase; accession number: EF192466) und Aktin (accession number: AY847627).

Tab. 6: Übersicht über die in der Gen-Expressionsstudie geprüften Testprodukte unter Angabe der Wirkstoffe bzw. Inhaltsstoffe laut Hersteller und der Anwendungskonzentration in % sowie der Abkürzung der Testprodukte

Produktname	Wirkstoffe / Inhaltsstoff(e)	Zulassungs-/ Listungsinhaber	%
Cuprozin® Flüssig	Kupferhydroxid; 30 % Kupfer	Spiess-Urania Chemicals GmbH	0,1
Frutogard®	Algenextrakt + Phosphonat	Tilco Biochemie GmbH/Spiess-Urania Chemicals GmbH	1,0
Algin Biovital	Algenextrakt + Phosphat	Tilco Biochemie GmbH	1,0
KENDAL	Pflanzenextrakt	Gerlach Natürliche Düngemittel	1,0

2.8.1 RNA Extraktion und photometrische Bestimmung des RNA-Gehaltes

Die Isolierung der Gesamt-RNA erfolgte in Anlehnung an das Protokoll von WIELGOSS und KORTEKAMP (2006), modifiziert nach CHANG et al. (1993).

Das tiefgefrorene Pflanzenmaterial (Topfrebenblätter; pro Zeitpunkt und Variante) wurde mit flüssigem Stickstoff in einem Mörser zermahlen und in ein 2 ml Reaktionsgefäß überführt, so dass dieses zu $\frac{1}{3}$ gefüllt war. Dieses Pulver wurde mit ca. 700 µl Extraktionspuffer (Tab. 7) versetzt und mit Hilfe von Pistill und Vortexer gut durchmischt. Die Proben wurden zwei bis drei Minuten bei 65 °C erwärmt und anschließend auf RT abgekühlt. Zur Abtrennung von DNA, Proteinen und Polysacchariden wurde Chloroform-Isoamylalkohol (24:1 v/v) mit dem Überstand im Verhältnis 1:1 für fünf bis zehn Minuten gemischt. Um das Gemisch in seine einzelnen Phasen (Ober-, Inter- und Chloroformphase) zu trennen, wurden die Proben bei 7 000 rpm bei 4 °C für 10 min zentrifugiert. Somit wurde die RNA (obere, wässrige Phase) von den Proteinen und der DNA in der Interphase getrennt. Die obere Phase wurde vorsichtig, ohne die Interphase zu zerstören, in ein neues Reaktionsgefäß pipettiert. Der Chloroform-Isoamylalkohol Trennungsschritt wurde wiederholt, um restliche Proteine und DNA zu entfernen. Der so gewonnene wässrige Überstand wurde mit $\frac{1}{4}$ 10 M LiCl versetzt und die RNA über Nacht bei 4 °C gefällt. Durch Zentrifugation (10 000 rpm; 4 °C; 30 min) wurde die RNA pelletiert. Das LiCl wurde dekantiert und das Pellet mit 0,5 ml SDS (0,5 %) bei RT für

5 bis 10 min gelöst. Erneut wurde die gelöste RNA mit dem gleichen Volumen Chloroform-Isoamylalkohol zur Phasentrennung versetzt und durch Zentrifugieren getrennt. Um die RNA aus der wässrigen Phase zu gewinnen, wurde mit 98 % Ethanol (zweifachen Volumen) ein Fällungsschritt bei -20 °C für zwei Stunden durchgeführt. Zur Pelletierung der RNA wurde die Probe bei 10 000 rpm bei 4 °C für 30 min zentrifugiert, das Ethanol abdekantiert und das Pellet getrocknet. Zum Lösen des Pellets (RNA) wurden 70 µl A. dest⁵ hinzu gegeben. Der DNase-Verdau wurde mit dem NucleoSpin® RNA II Kit gemäß der Herstellerangabe durchgeführt.

Tab. 7: Extraktionspuffer zur RNA-Isolierung

Extraktionspuffer	Konzentration	1 M	1 Liter
CTAB	2 %	364,46 g/mol	20,0 g
PVP K 30	2 %	121,14 g/mol	20,0 g
Tris-HCl; pH 8.0	100 mM	121,14 g/mol	12,114 g
EDTA pH 8.0	25mM	372,24 g/mol	9,306 g
NaCl	2 M	58,44 g/mol	116,88 g
Spermidin	0,5 g/L		0,5 g
β-Mercaptoethanol	2 ml/100ml	Zugabe nach Autoklavierung	

Die Konzentration der RNA wurde durch eine **photometrische Messung** bestimmt. Dazu wurden die Proben bei 260 nm (OD 260 nm = 1 bei 40 µg RNA/ml) gemessen. Durch eine Messung bei 280 nm und über das Verhältnis der optischen Dichte bei 260 nm und 280 nm wurden Informationen über eine eventuelle Verunreinigung mit Proteinen gewonnen. Das Verhältnis der optischen Dichte bei 230 nm und bei 260 nm gibt einen Hinweis auf das Vorhandensein von phenolischen Verbindungen. Der Wert 260/280 soll bei 1,8 - 2,0 liegen und der Wert 230/260 soll sich zwischen 2,0 - 2,2 befinden. Zur Analyse wurde ein 10 mM Tris-Cl Puffer (pH-Wert von 7,5) verwendet.

⁵ A. dest* bedeutet A. dest mit 0,1 % DEPC versetzt und über Nacht gerührt und anschließend autoklaviert

2.8.2 Überprüfung der RNA-Qualität unter denaturierenden Bedingungen

Zur Überprüfung der RNA-Qualität wurde die RNA in einem 1,2 % denaturierenden Agarosegel aufgetrennt. Als Puffer diente 1x MOPS, dem 5 % Formaldehyd zugegeben wurden. 0,5 bis 1,0 µg RNA wurden 1:1 mit ethidiumbromidhaltigem RNA-Ladepuffer (Loading dye 2x) versetzt, 7 min bei 70 °C denaturiert und auf Eis abgekühlt. Nach der elektrophoretischen Auftrennung (1 h bei 100 V) wurden die Banden mittels einer UV-Lampe sichtbar gemacht und die Ergebnisse protokolliert.

10x MOPS pH 7,0

0,2 M MOPS

0,05 M NaAcetat

0,01 M EDTA

Laufpuffer

100 ml 10 x MOPS

50 ml (37 % w/v) Formaldehyd

850 ml A. bidest*

1000 ml

2.8.3 cDNA-Synthese

Die cDNA-Synthese erfolgte mit dem „iScript cDNA Synthesis Kit“ (Fa. BioRad) unter Einsatz von random hexamer/oligo-dT Primern nach Herstellerangaben. Diese Methode erlaubte die Quantifizierung mehrerer spezifischer Gene unter Verwendung derselben Charge cDNA. Für die cDNA Synthese wurden 250 ng RNA verwendet. Der Gehalt der Proben wurde mittels Photometer bestimmt.

2.8.4 qPCR

Für die qPCR am Real-Time PCR Gerät iQ 5 wurde das „iQ SYBR Green Supermix“ verwendet (Fa. BioRad). Die Bedingungen waren 95 °C für 3 min anschließend 40 Zyklen mit 95 °C für 10 s, 60 °C für 30 s und 72 °C für 30 s. Die Fluoreszenzmessung für die Quantifizierung erfolgte am Ende jedes 72 °C-Amplifikationsschrittes

Tab. 8: Mastermix des iQ SYBR Green Supermixes

Mastermix	1 x
iQ SYBR Green Supermix	12,5 µl
Primer 1 (10 µM)	1,8 µl
Primer 2 (10 µM)	1,8 µl
nukleasefreies Wasser	5,9 µl
Probe (25 ng/µl)	3,0 µl

Die Primersequenzen wurden mit dem web-based program Primer3 (http://frodo.wi.mit.edu/cgi-bin/primer3/primer3_www.cgi) erstellt und von Metabion bezogen. Die Primer wurden in einer Konzentration von 10 µM verwendet. Die beiden Referenzgene Aktin und GAPDH wurden in Anlehnung an BEZIER (2002) und AZIZ (2003) gewählt.

Tab. 9: Für die qPCR eingesetzten Primerpaare.

Gen	Accession Number	Sequenz (5'-3' Richtung)	T_m (°C)	Produktgröße (bp)
Aktin	AY847627	gcctgatgggcaagtcac	59,59	244
		gctgggagcaagagcagt	59,24	
GAPDH	EF192466	tcaaggtaaggactctaacacc	59,67	226
		ccaacaacgaacataggagca	61,06	
PR-2	AJ277900	gttgcggttggaatgaagt	59,98	166
		ttgatggagggttaggatgttc	58,85	
PR-5	Y10992	gccacctcaacatccaaa	59,49	181
		cacactccattccctga	59,46	

2.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuche (Gewächshaus, Exaktversuche und Fluoreszenzmikroskopie) erfolgte mit dem Programm STATISTICA 7.1 (StatSoft INC., ©1984-2005). Der Tukey HSD Test wurde mit einem $\alpha = 0,05$ verwendet. In Tabellen und Abbildungen wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen angegeben. Wenn notwendig, wurde aus Übersichtlichkeitsgründen auf die Angabe der Standardabweichungen verzichtet. Wenn die Varianzhomogenität der Werte

nicht gegeben war (Levene's Test), wurden die Befallsstärke-Werte einer Winkeltransformation ($\arcsin\sqrt{x/100}$) und die Befallshäufigkeits-Werte einer Wurzeltransformation unterzogen. Die Varianzanalyse erfolgte in diesen Fällen mit den transformierten Werten.

3 Ergebnisse

3.1 Wirksamkeit von Pflanzenstärkungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln gegenüber *Plasmopara viticola*

Zur Erarbeitung eines Kupferminimierungs-Management Konzeptes wurden mehrere Testprodukte (Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmittel) auf ihre Wirksamkeit gegenüber *P. viticola* geprüft. Für eine Strategie zur Regulation des Falschen Mehltaus im ökologischen Weinbau wurden nur Produkte getestet, die mit den Richtlinien des ökologischen Weinbaus konform sind.

3.1.1 Wirkung der Testprodukte an Topfreben

3.1.1.1 Kupferersatz-Strategien

Unter Gewächshausbedingungen wurden an Topfreben (*V. vinifera* cv. 'Riesling', 'Müller-Thurgau') mehrere Testprodukte auf ihre Wirksamkeit gegenüber *P. viticola* geprüft. Bei diesen Versuchen wurden vor allem Algen- und Pflanzenextrakte, pflanzliche Öle, Tonerdepräparate sowie neue kupferhaltige Produkte mit geringen Kupfergehalten geprüft. Bei dem Produkt **KENDAL** auf Basis eines Luzernenextraktes erwiesen sich nur Kombinationen mit anderen Produkten als wirkungsvoll. Das Produkt alleine appliziert zeigte hingegen sehr variable Wirkungen auf. Bei der Sorte 'Müller-Thurgau' erzielte das Produkt eine Wirkung von 26,0 % und 65,9 %, wohingegen die Wirkungsgrade bei der Sorte 'Riesling' bei 59,6 % und 88,9 % lagen. Allerdings waren die Kombinationen mit Tonerdepräparat oder Kupfer - unabhängig von der Rebsorte - in den Versuchen besser (Wirkungsgrade > 90 %, Tab. 10). Die Kombination mit Myco-Sin[®] VIN, die sich in den Gewächshausversuchen als eine viel versprechende Variante darstellte, wurde für die Prüfung in Exaktversuchen ausgewählt. Des Weiteren wurde mit der Mischung von KENDAL mit Cuprozin[®] Flüssig in einer reduzierten Aufwandmenge eine Kupferminimierungsstrategie entwickelt. Zwei auf Algenbasis hergestellte Produkte des Herstellers Tilco Biochemie, **Algin Biovital** und **Frutogard[®]**, zeigten sehr gute Wirkungen an Topfreben auf (Tab. 12). Algin Biovital enthält Phosphat und Frutogard[®] Phosphonat. Algin Biovital wies in den durchgeführten Gewächshausversuchen eine etwas schlechtere Wirkung als Frutogard[®] auf. Frutogard[®] stellte sich in allen Tests als wirkungsvolle Variante (Wirkungsgrade > 80 % z.T.: auch > 90 %) dar. Diese drei

Produkte wurden aufgrund ihrer guten Wirkung gegenüber *P. viticola* für weitere Untersuchungen zum Wirkungsmechanismus ausgewählt. Die beiden Tonerdepräparate (Gesteinsmehl) **Myco-Sin[®] VIN** und **ROCKSIL** ließen in allen Testserien gute Wirkungen erkennen (Tab. 12). Im Versuch am 10.08.2006 erzielten beide trotz extrem hohem Befallsdruck (Kontrolle: 74,2 % Befallsstärke) einen Wirkungsgrad von 46 % (Myco-Sin[®] VIN) und 48 % (ROCKSIL). Sie unterschieden sich somit signifikant von der Kontrolle. Das Produkt **TIMOREX** auf Teebaumöl Basis wies ein gutes Regulierungspotential auf. Die Wirkung des Produktes war unter Gewächshausbedingungen durchaus mit dem Ergebnis von Frutogard[®] zu vergleichen (Tab. 13). Ferner wurde ab 2007 eine Lösung des **Waschnuss-Schalen-Extraktes** (*Sapindus mukorossi*) unter Gewächshausbedingungen geprüft, die sehr gute Wirkungen aufzeigte (Tab. 11). Dieser Extrakt wurde für die Exaktversuche im Jahr 2008 in Kombination mit einem Formulierungshilfsstoff (s. 3.1.2) ausgewählt. Mit unterschiedlichen Inokulationszeitpunkten nach der Applikation sollte überprüft werden, ob durch verlängerte Zeitphasen zwischen Applikation und Inokulation eine Wirkungsverbesserung erzielt werden kann. Für diese Versuchsserie wurden die Produkte Frutogard[®], Algin Biovital, KENDAL, KENDAL^{TE}, KENDAL und Myco-Sin[®] VIN, ROCKSIL und Kupferprotein ausgewählt. Im ersten der beiden Versuche (Tab. 14) wurde bei KENDAL und Frutogard[®] keine Wirkungsverbesserung festgestellt. Bei der Inokulation fünf Tage nach der Applikation nahm die Wirkung bei Algin Biovital ab. Zur unbehandelten Kontrolle konnte kein Unterschied festgestellt werden, obwohl der Befallsdruck sehr gering war (Befallsstärke der Kontroll-Pflanzen lag bei 6,9 %). In der zweiten Serie (Tab. 15 und 16) wies Frutogard[®] eine kurative Wirkung mit einem Wirkungsgrad von 80 % auf. Bei ROCKSIL war eine Verbesserung der Wirkung bei einer Inokulation drei Tage nach der Applikation zu verzeichnen, wohingegen ein Wirkungsverlust bei einer Inokulation eine Woche nach Applikation bei Algin Biovital, KENDAL in Kombination mit Myco-Sin[®] VIN sowie bei ROCKSIL zu sehen war. Keinen Einfluss hatte ein späterer Inokulationstermin bei KENDAL^{TE} und Frutogard[®].

Tab. 10: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005. Die Testprodukte KENDAL solo und KENDAL in Kombination mit den Mischungspartnern Cuprozin Flüssig (reduzierte Aufwandmenge) und Myco-Sin® VIN sowie KENDAL^{TE} wurden auf ihre Wirkung/Regulierungsfähigkeit gegenüber *P. viticola* geprüft. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Versuchsdaten		Kontrolle	Vergleichsmittel			Versuchspräparate					
		Wasser	Cuprozin Fl. (0,1 %)	Folpan 80 WDG	Cuprozin Fl. (0,05 %)	Myco-Sin VIN	KENDAL	KENDAL Cuprozin (0,05 %)	KENDAL TE	Myco-Sin VIN + KENDAL	
Sorte:	Müller-Thurgau	34,6	7,9	0,0	12,1	5,4	25,6	0,0	0,0	2,3	MW
Applikation:	27.05.2005/KW 21	8,3	6,3	0,0	3,3	6,2	9,3	0,0	0,0	2,7	STABW
Bonitur:	05.05.2005/KW22	a	c	c	bc	c	ab	c	c	c	*
Sorte:	Riesling	41,7	1,5	0,0	6,7		4,6	0,0	0,0		MW
Applikation:	11.06.2005/KW 23	12,7	1,1	0,0	5,0		2,4	0,0	0,0		STABW
Bonitur:	17.06.2005/KW 24	a	b	b	b		b	b	b		*
Sorte:	Müller-Thurgau	16,3	0,0	0,0					0,0	0,0	MW
Applikation:	03.09.2005/KW 35	7,3	0,0	0,0					0,0	0,0	STABW
Bonitur:	10.09.2005/KW 36	a	b	b					b	b	*

Tab. 11: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben cv. Müller-Thurgau im Jahr 2007. Ein Pflanzenextrakt der indischen Waschnuss wurde auf seine Regulierungsfähigkeit gegenüber *P. viticola* geprüft. Angegeben sind Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Versuchsdaten		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate			
		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Waschnuss Flüssig	Waschnuss Pulver (kaltes Wasser)	Waschnuss Pulver (warmes Wasser)	
Sorte:	Müller-Thurgau	42,8	3,1	0,0	0,6	0,0		MW
Applikation	24.04.2007/KW17	13,0	2,3	0,0	1,0	0,0		STABW
Bonitur	04.05.2007/KW 18	a	b	b	b	b		*
Sorte:	Müller-Thurgau	38,9	1,3	0,0	0,4	0,0	0,0	MW
Applikation	03.05.2007/KW18	8,4	0,9	0,0	0,8	0,0	0,0	STABW
Bonitur	11.05.2007/KW19	a	b	b	b	b	b	*

Tab. 12: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben in den Jahren 2005 und 2006. Die Testprodukte Frutogard®, Algin Biovital, KENDAL und Myco-Sin® VIN sowie ROCKSIL wurden auf ihre Regulierungsfähigkeiten gegenüber *P. viticola* geprüft. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate				
Versuchsdaten		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Fruto- gard	Algin Biovital	KENDAL	Myco-Sin VIN	ROCKSIL
Sorte:	Müller-Thurgau	35,8	6,0	0,0	7,4	3,5			2,6
Applikation:	14.04.2005/KW 15	11,7	2,8	0,0	6,2	2,3			1,4
Bonitur	21.04.2005/KW 16	a	b	b	b	b			b
Sorte:	Müller-Thurgau	38,1	3,1	0,0	3,8	8,5			
Applikation:	19.05.2005/KW 20	8,8	3,5	0,0	2,1	3,6			
Bonitur	26.05.2005/KW 21	a	b	b	b	b			
Sorte:	Riesling	29,0	0,0	0,0	2,3	0,8			0,0
Applikation:	17.06.2005/KW 24	5,6	0,0	0,0	1,5	1,4			0,0
Bonitur	24.06.2005/KW 25	a	b	b	b	b			b
Sorte:	Riesling	42,4	6,7	0,0	1,9	3,9	17,1		
Applikation:	05.04.2006/KW 14	11,3	5,3	0,0	2,8	0,6	8,2		
Bonitur	13.04.2006/KW 15	a	bc	bc	bc	bc	ab		
Sorte:	Müller-Thurgau	25,8	9,0	9,2	1,0	23,8	8,8		
Applikation:	11.07.2006/KW 28	12,6	4,0	6,7	1,0	9,7	2,2		
Bonitur	28.07.2006/KW 30	a	ab	ab	b	ab	ab		
Sorte:	Müller-Thurgau	74,2	9,6	0,0			KENDAL TE 1,0	40,0	38,3
Applikation:	10.08.2006/KW 32	12,0	2,0	0,0			1,6	15,4	8,0
Bonitur	19.08.2006/KW 33	a	c	c			c	ab	ab
Sorte:	Riesling	29,2	11,7	0,0	0,0	0,0			
Applikation:	10.08.2006/KW 32	3,9	0,7	0,0	0,0	0,0			
Bonitur	19.08.2006/KW 33	a	b	c	c	c			

Tab. 13: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben cv. Müller-Thurgau im Jahr 2006. Das teebaumölhaltige Versuchspräparat TIMOREX wurde auf seine Regulierungsfähigkeiten gegenüber *P. viticola* geprüft. Die Bonitur fand sieben Tage nach der Inokulation statt. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Versuchsdaten		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparat	
		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	TIMOREX	
Sorte:	Müller-Thurgau	30,4	2,3	0,0	0,0	MW
Applikation	10.05.2006/KW 19	14,1	4,6	0,0	0,0	STABW
Bonitur	23.05.2006/KW 21	a	b	b	b	*
Sorte:	Müller-Thurgau	49,3	7,2	0,2	4,2	MW
Applikation	24.05.2006/KW 21	8,3	3,9	0,4	2,6	STABW
Bonitur	2.06. 2006/KW 22	a	b	b	b	*

		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate				
		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Fruto- gard	Algin Biovital	KENDAL	TIMOREX	
Sorte:	Müller-Thurgau	25,8	9,0	9,2	1,0	23,8	8,8	3,4	MW
Applikation	11.07.2006/KW 28	12,6	4,0	6,7	1,0	9,7	2,2	2,6	STABW
Bonitur	28.07.2006/KW 30	a	ab	ab	b	ab	ab	b	*
Sorte:	Riesling	29,2	11,7	0,0	0,0	0,0		1,0	MW
Applikation	10.08.2006/KW 32	3,9	0,7	0,0	0,0	0,0		2,1	STABW
Bonitur	19.08.2006/KW 33	a	b	c	c	c		c	*

Tab. 14: Versuchsserien im Gewächshaus mit Topfreben cv. Riesling mit den Testprodukten Frutogard®, Algin Biovital, KENDAL^{TE}, Myco-Sin® VIN & KENDAL, ROCKSIL und Kupferprotein. Die Inokulation wurde zu verschiedenen Zeitpunkten vorgenommen. Die Applikation der Testprodukte fand am 13.11.2006 statt. Die Bonitur fand sieben Tage nach der Inokulation mit *P. viticola* statt. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Zeitpunkt der Inokulation	Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate						MW STABW *
	Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Frutogard	Algin Biovital	KENDAL TE	KENDAL Myco-Sin VIN	Rocksil	Kupfer- protein	
1 dbt	34,8	36,9	32,1	7,1				31,9	20,4	MW STABW *
	5,6	24,1	26,9	4,0				14,3	5,5	
	a	a	a	a				a	a	
1 dat	38,5	13,1	0,0	5,2	1,9	1,5	9,2	7,2	0,0	MW STABW *
	7,9	8,3	0,0	4,4	2,5	1,9	4,5	3,7	0,0	
	a	b	c	bc	c	c	bc	bc	c	
3 dat	17,5	4,8	0,0	0,0	1,5	0,8	5,8	2,7	0,0	MW STABW *
	4,7	4,6	0,0	0,0	0,0	0,7	13,5	0,0	0,0	
	a	b	b	b	b	b	b	b	b	
7 dat	33,3	6,9	1,0	1,0	6,3	1,7	17,3	18,1	0,8	MW STABW *
	2,2	4,3	1,3	0,5	5,7	0,0	9,5	7,2	1,4	
	a	bc	c	c	bc	c	b	b	c	

Tab. 15: Versuch im Gewächshaus mit Topfreben cv. Riesling mit den Testprodukten Frutogard® und Algin Biovital. Die Inokulation mit *P. viticola* wurde einen Tag vor der Applikation (dbt = days before treatment) durchgeführt. Die Applikation der Testprodukte fand am 27.10.2006 statt. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Versuchsdaten	Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate		MW STABW *
	Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Fruto- gard	Algin Biovital	
1 dbt	34,0	37,9	46,5	0,0	11,5	MW STABW *
	11,1	11,4	27,9	0,0	7,4	
	a	ab	b	c	ac	

Tab.16: Versuchsserien im Gewächshaus mit Topfreben cv. Müller-Thurgau mit den Testprodukten Frutogard®, Algin Biovital und KENDAL. Die Inokulation mit *P. viticola* wurde zu verschiedenen Zeitpunkten (dat = days after treatment) vorgenommen. Die Applikation der Testprodukte fand am 23.07.2007 statt. Die Bonitur wurde sieben Tage nach der Inokulation durchgeführt. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede*. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

Zeitpunkt der Inokulation	Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate			
	Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Frutogard	Algin Biovital	KENDAL	
1 dat	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	MW
	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	STABW
	a	b	b	b	b	b	*
3 dat	13,6	0,0	0,0	0,0	1,8	2,3	MW
	4,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	STABW
	a	b	b	b	b	b	*
5 dat	6,9	4,7	1,7	0,0	8,9	2,9	MW
	2,0	7,5	2,2	0,0	4,6	2,8	STABW
	a	b	b	b	b	b	*

3.1.1.2 Kupferminimierungs-Strategien

Im Bereich **Kupferminimierung** wurden zahlreiche neue Formulierungen der Firma Spiess-Urania Chemicals GmbH (SPU) geprüft. Dabei handelte es sich um Kupferhydroxide und -oxychloride, die zwischen 25 g/L bis 500 g/L Reinkupfer enthielten. Unter Gewächshausbedingungen wiesen alle geprüften Produkte sehr gute Wirkungen auf (Tab. 17). Das Produkt SPU-02100-F war in beiden Versuchen etwas schlechter als die anderen Prüfsubstanzen. Die beiden Testprodukte SPU-01710-F und SPU-02540-F zeigten nur einmal einen geringen Befall auf. Phytotoxische Schäden wurden bei einigen SPU-Produkten beobachtet: SPU-01340-F, SPU-01010-F + 02610-Z, SPU-02540-F sowie SPU-02620-F. Neben den Produkten von SPU wurde auch ein kupferhaltiges Produkt der Biofa AG geprüft, das aus Kupferoxychlorid (9 g Cu/L) und einem Proteinkomplex besteht. Versuche mit kupferoxychloridhaltigen Produkten wurden aufgrund der Zulassungssituation im Untersuchungszeitraum nicht weiterverfolgt. Des Weiteren wurde KENDAL^{TE}, ein Produkt aus KENDAL und Kupferoxychlorid (23 % Cu) geprüft. Dieses Produkt wurde nicht im Freiland eingesetzt, da für das Produkt zum damaligen Zeitpunkt keine Zulassung vorlag. Die Ergebnisse dieses Produktes wurden in Tab. 10, 12 und 14 dargestellt, um einen besseren Vergleich zu den anderen Produkten zu haben.

Tab. 17.: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005. Die Kupferminimierungs-Testprodukte der Firma SPU wurden auf ihre Wirkung gegenüber *P. viticola* geprüft. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

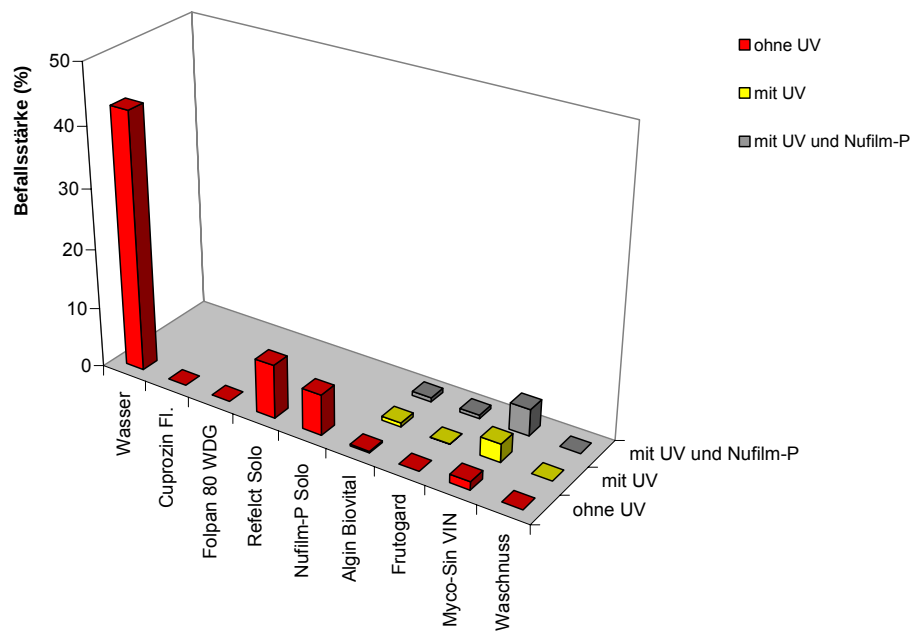
Versuchsdaten		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparate							
		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	01340-F	01010-F 02610-Z	02540-F	01710-F	02100-F	02620-F	02270-F	
Sorte:	Müller-Thurgau	35,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,0	0,0	MW
Applikation:	15.07.2005/KW 28	7,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1	0,0	0,0	STABW
Bonitur	23.07.2005/KW 29	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	*
Sorte:	Müller-Thurgau	23,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	4,0	0,0	0,0	MW
Applikation:	20.08.2005 /KW 34	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	4,1	0,0	0,0	STABW
Bonitur	28.08.2005 /KW 35	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	*

Tab. 18.: Versuche im Gewächshaus mit Topfreben im Jahr 2005. Die Kupferminimierung-Testprodukte der Firma Biofa AG wurden auf ihre Wirkung gegenüber *P. viticola* geprüft. Angegeben sind die Mittelwerte (MW) der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben sowie die Standardabweichungen (STABW) und signifikanten Unterschiede *. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$.

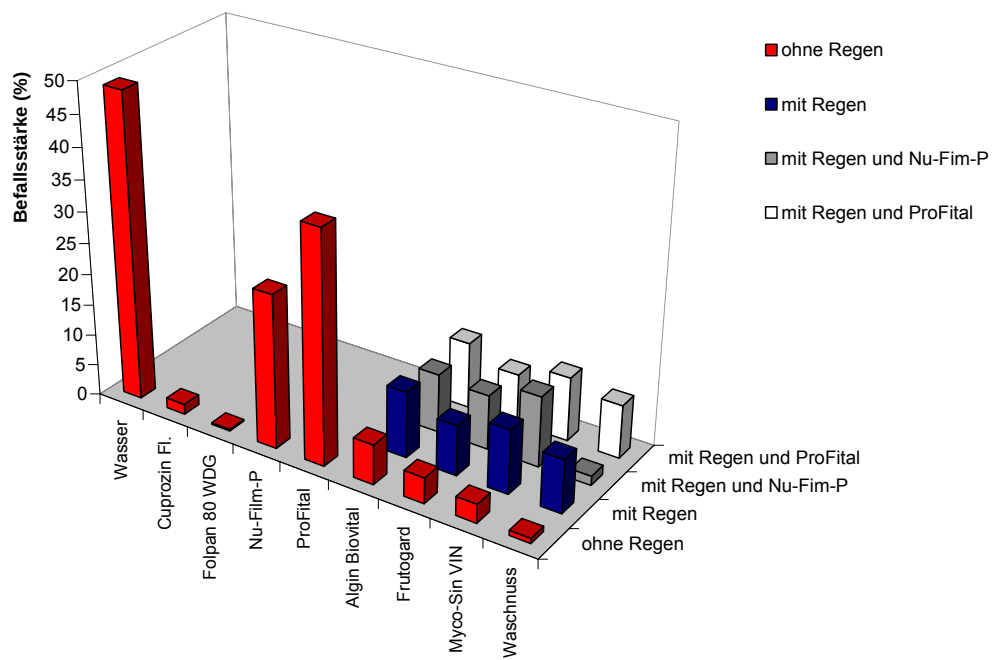
Versuchsdaten		Kontrolle	Vergleichsmittel		Versuchspräparat	
		Wasser	Cuprozin Flüssig	Folpan 80 WDG	Kupfer- protein	
Sorte:	Müller-Thurgau	35,8	6,0	0,0	4,4	MW
Applikation:	14.04.2005/KW 15	11,7	2,8	0,0	5,2	STABW
Bonitur:	21.04.2005/KW 16	a	b	b	b	*
Sorte:	Riesling	38,5	13,1	0,0	0,0	MW
Applikation:	13.11.2006/KW 46	7,9	8,3	0,0	0,0	STABW
Bonitur:	21.11.2006/KW 47	a	b	b	b	*
Sorte:	Riesling	10,3	0,9	0,4	1,2	MW
Applikation:	24.03.2005/KW12	5,8	1,1	0,7	1,9	STABW
Bonitur:	01.04.2005/KW13	a	b	b	b	*

3.1.2 Effekte von Formulierungshilfsstoffen auf die UV-Beständigkeit und Regenstabilität von Pflanzenstärkungsmitteln unter Gewächshausbedingungen

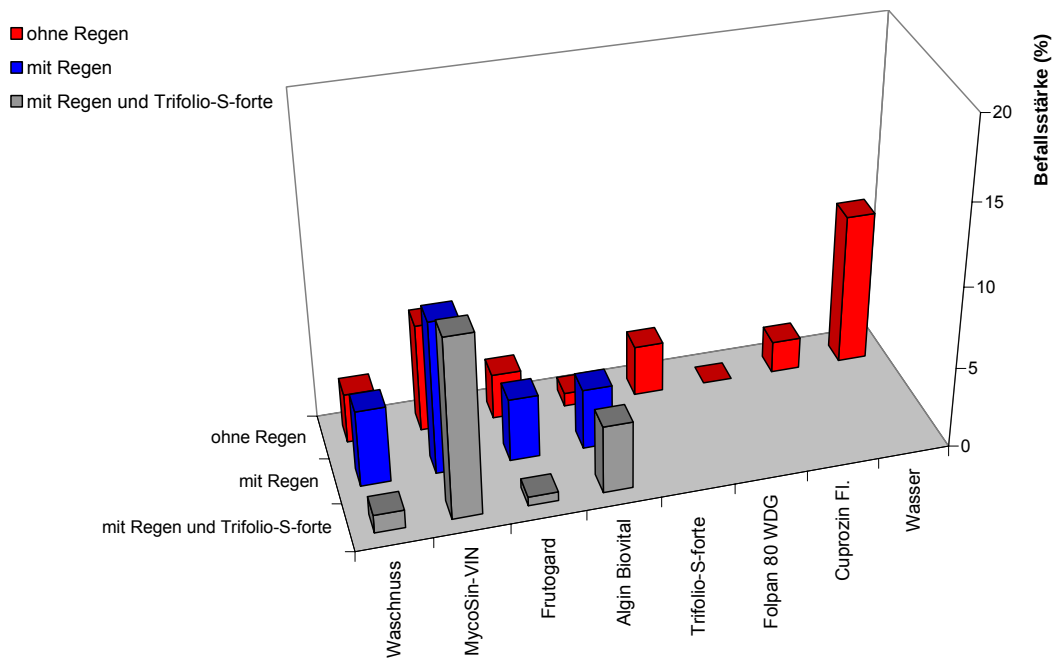
Der Zusatz von Formulierungshilfsstoffen zu den Testprodukten sollte zu einer Verbesserung der UV- und Regenfestigkeit und damit zu einer Wirkungsstabilität unter Freilandbedingungen führen. Durch die Einwirkung von **UV-Strahlung** wurde bei keinem der folgenden Testprodukte ein Wirkungsverlust festgestellt: Frutogard®, Algin Biovital und bei dem Extrakt der Waschnuss (Abb. 7a). Lediglich eine geringe Wirkungsverschlechterung war bei der Substanz Myco-Sin® VIN zu verzeichnen. Diese konnte nicht durch den Zusatz von Nu-Film®-P ausgeglichen werden. Ein simuliertes **Niederschlagsereignis**, das direkt nach dem Antrocknen der Testprodukte auf die Pflanzen erfolgte, bewirkte bei allen Produkten einen deutlichen Wirkungsrückgang (Abb. 7 b-d). Zu einer Wirkungsverbesserung konnten im Falle der Substanz Frutogard® die Formulierungshilfsstoffe Trifolio S-Forte und proagro Netz- und Haftmittel führen. Bei Algin Biovital und Myco-Sin® VIN sorgte nur der Formulierungshilfsstoff proagro Netz- und Haftmittel für eine verbesserte Wirkung. Bei dem Waschnuss-Extrakt zeigten sich alle drei Formulierungshilfsstoffe erfolgreich. Für weitere Untersuchungen im Freiland wurde nur die Variante Waschnuss & Nu-Film®-P ausgewählt.



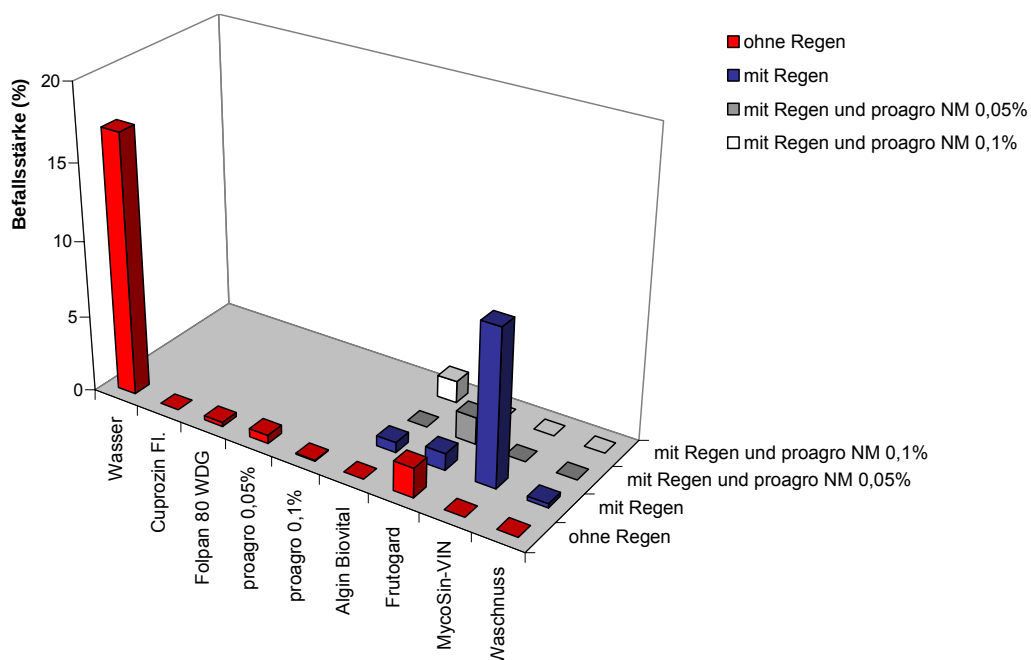
A)



B)



C)



D)

Abb. 7: Untersuchungen zur Wirkungsverbesserung gegenüber *P. viticola* durch Erhöhung der UV-Beständigkeit (Versuch A) und Regenfestigkeit (Versuche B-D) der Testprodukte Frutogard®, Algin Biovital Myco-Sin® VIN und Waschnuss durch Zugabe der Additive Reflect, Nu-Film®-P, proagro Netz- und Haftmittel und Trifolio S-Forte. Die einzelnen Versuche wurden 1 dat inokuliert und die Bonitur fand sieben Tage nach der Inokulation statt. Angegeben sind die Mittelwerte der Befallsstärke von sechs Blattunterseiten von vier Topfreben. Versuch A: Applikation: 02.04.2008 cv. Müller-Thurgau; Versuch B: Applikation: 08.04.2008 cv. Müller-Thurgau; Versuch C: Applikation: 15.04.2008 cv. Riesling und Versuch D: Applikation: 28.04.2008 cv. Riesling

3.1.3 Wirksamkeit von Testprodukten in Freilandversuchen

Die Testprodukte, die unter Gewächshausbedingungen an Topfreben eine gute Wirkung gegenüber *P. viticola* aufwiesen, wurden an zwei Freilandstandorten der FA Geisenheim in Exaktversuchen geprüft. Durch die Prüfung in Versuchsweinbergen ist eine praxisnähere Einschätzung des Wirkungspotentials der Testprodukte gegeben, als dies durch die Prüfung an Topfreben im Gewächshaus möglich ist.

Tab. 19: Dargestellt sind Befallsstärke (in %) und Befallshäufigkeit (in %) von *P. viticola* an Trauben und Blättern des Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“. a) erste Bonitur am 21./22. Juni 2005 KW 25 zum (BBCH 68), b) zweite Bonitur am 26./27. Juli 2005 KW 30 (BBCH 79), c) dritte Bonitur am 23. August 2005 KW 34 (BBCH 81).

a)

Bezeichnung	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	7,19	6,51	a	9,25	8,81	a	0,60	0,18	ab	17,50	6,86	ab
Folpan 80 WDG	8,83	5,33	a	10,25	5,74	a	0,18	0,07	b	5,50	2,38	b
Cuprozin fl.	8,20	1,23	a	9,00	0,82	a	0,75	0,36	ab	16,50	5,20	ab
öko-Standard	8,29	1,69	a	9,25	0,96	a	0,73	0,36	b	13,50	5,45	ab
Mycosin VIN 05	7,98	2,41	a	9,00	2,94	a	0,89	0,35	a	21,25	4,57	a
Algin Biovital	6,13	1,93	a	7,25	2,50	a	0,76	0,17	ab	19,25	3,77	a
Algin Biovital + Cupi	7,25	5,74	a	8,25	6,85	a	0,84	0,21	a	22,25	8,38	a
SPU-01010 F	10,89	3,33	a	12,25	3,30	a	0,48	0,05	ab	14,25	1,89	ab
SPU-02540 F	6,01	2,30	a	7,50	2,38	a	0,61	0,22	ab	16,00	4,97	ab
Rocksil	9,95	2,54	a	11,50	2,89	a	0,40	0,30	ab	11,00	7,48	ab
Kupferprotein	6,48	2,28	a	8,00	2,94	a	0,41	0,17	ab	13,75	4,86	ab
Frutogard-1	5,29	1,80	a	6,25	2,22	a	0,34	0,09	ab	13,75	3,77	ab
Frutogard-3	7,01	3,76	a	8,00	3,74	a	0,59	0,27	ab	14,50	4,51	ab

b)

Name	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	22,78	16,42	a	44,50	18,41	a	4,19	3,25	a	37,75	5,44	a
Folpan 80 WDG	12,48	5,42	a	14,00	5,89	c	0,92	0,33	b	14,00	1,15	b
Cuprozin fl.	15,33	3,36	a	31,25	6,85	abc	1,38	0,65	ab	25,25	9,54	ab
öko-Standard	10,38	3,20	a	26,25	5,25	abc	1,41	0,15	ab	30,25	5,62	a
Mycosin VIN 05	14,84	4,76	a	29,25	12,09	abc	3,10	1,86	ab	33,50	7,14	a
Algin Biovital	14,96	3,75	a	36,25	8,34	ab	2,33	1,08	ab	29,25	5,74	a
Algin Biovital + Cupi	17,17	8,13	a	37,75	17,08	ab	1,69	1,59	ab	28,50	10,15	ab
SPU-01010 F	13,79	3,09	a	32,50	2,38	abc	1,54	0,33	ab	28,50	7,23	ab
SPU-02540 F	12,03	4,29	a	28,75	5,91	abc	2,22	0,38	ab	31,00	3,46	a
Rocksil	10,49	3,04	a	19,50	4,36	bc	2,29	0,81	ab	28,25	3,86	ab
Kupferprotein	12,12	1,62	a	33,75	7,54	ab	1,34	0,51	ab	27,25	4,50	ab
Frutogard-1	10,93	2,87	a	33,25	8,85	abc	0,86	0,45	b	24,25	10,31	ab
Frutogard-3	11,45	3,62	a	32,00	4,32	abc	1,08	0,64	b	21,50	6,56	ab

c)

Name	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	12,66	5,84	a	40,75	5,32	a	4,17	2,44	a	62,00	18,17	a
Folpan 80 WDG	4,74	1,41	b	5,75	1,50	b	0,60	0,57	c	4,25	0,96	d
Cuprozin fl.	8,31	2,06	ab	26,25	8,73	a	0,94	0,81	bc	18,00	10,23	cd
öko-Standard	8,95	3,18	ab	23,50	4,80	a	1,68	1,29	abc	21,75	5,62	bc
Mycosin VIN 05	8,87	2,81	ab	26,75	5,74	a	1,14	0,30	abc	23,00	3,83	bc
Algin Biovital	11,92	1,98	a	38,75	5,38	a	3,29	1,13	ab	54,00	14,02	a
Algin Biovital + Cupi	9,81	3,46	ab	34,25	11,53	a	1,73	0,88	abc	42,00	18,67	ab
SPU-01010 F	9,38	3,31	ab	30,50	7,94	a	1,26	0,58	abc	18,00	2,94	bc
SPU-02540 F	7,26	2,92	ab	30,50	14,84	a	1,79	1,70	abc	23,75	6,24	bc
Rocksil	7,47	1,53	ab	21,75	2,22	a	1,05	0,29	bc	25,00	5,48	bc
Kupferprotein	7,93	1,15	ab	26,75	7,89	a	0,79	0,21	bc	23,25	4,11	bc
Frutogard-1	7,09	1,62	ab	31,75	5,56	a	1,13	0,52	abc	20,00	3,16	bc
Frutogard-3	7,63	3,06	ab	30,25	6,13	a	0,88	0,34	bc	20,25	8,10	bc

Tab. 20: Dargestellt sind Befallsstärke (in %) und Befallshäufigkeit (in %) von *P. viticola* an Trauben und Blättern des Exaktversuchs am Standort „Kellersgrube“. a) erste Bonitur am 27./28. Juni 2005 KW 26 zum BBCH-Stadium 71/73, b) zweite Bonitur am 01. August 2005 KW 31 zum BBCH-Stadium 79, c) dritte Bonitur am 23. August 2005 KW 34 zum BBCH-Stadium 81.

a)

Versuchsglied Bezeichnung	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	15,2	9,2	a	24,3	13,6	a	1,4	0,6	a b	29,3	8,2	a b
Folpan 80 WDG	14,2	6,3	a	20,8	9,5	a	0,3	0,2	b	9,3	4,5	b
Cuprozin fl.	8,7	4,0	a	13,3	6,8	a	0,8	0,6	a b	18,3	12,3	a b
Rocksil	11,2	6,0	a	16,5	9,1	a	0,8	0,5	a b	19,3	10,2	a b
Algin Biovital	17,7	10,9	a	26,8	13,0	a	2,0	0,8	a b	35,0	10,1	a
SPU-01010-F	9,4	5,1	a	13,5	6,8	a	1,3	0,6	a b	30,8	11,8	a b
SPU-01340-F	10,9	6,1	a	15,5	7,7	a	1,6	0,8	a b	28,5	10,2	a b
SPU-02540-F	16,8	7,7	a	24,5	12,4	a	1,8	1,1	a b	34,0	12,9	a

b)

Versuchsglied Bezeichnung	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	17,0	4,7	a	40,3	6,7	a	3,9	1,6	a b	57,5	13,2	a
Folpan 80 WDG	8,5	4,3	a	15,5	7,0	a	0,6	0,5	b	14,3	5,2	b
Cuprozin fl.	8,9	5,3	a	20,8	12,3	a	1,8	1,2	a b	30,5	15,9	a b
Rocksil	8,2	2,9	a	17,8	4,3	a	1,3	0,3	b	28,0	2,6	a b
Algin Biovital	19,5	7,2	a	45,8	12,0	a	6,0	2,8	a	61,0	21,4	a
SPU-01010-F	7,5	4,1	a	18,5	9,2	a	3,0	2,0	a b	39,8	22,2	a b
SPU-01340-F	11,7	5,9	a	28,5	10,5	a	1,9	0,8	a b	34,5	13,0	a b
SPU-02540-F	11,9	8,7	a	26,5	16,5	a	2,2	1,8	a b	34,5	16,9	a b

c)

Versuchsglied Bezeichnung	Trauben						Blätter					
	Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)			Befallsstärke (%)			Befallshäufigkeit (%)		
	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*	MW	STABW	*
Kontrolle	17,9	8,8	a	40,5	16,9	a	17,1	7,3	a	92,3	7,4	a
Folpan 80 WDG	8,9	2,0	a	15,0	2,8	a	1,3	2,0	b	9,8	6,1	b
Cuprozin fl.	9,7	5,1	a	22,3	13,9	a	2,3	2,3	b	26,0	15,7	b
Rocksil	7,9	3,4	a	19,5	8,6	a	2,0	1,4	b	21,3	6,0	b
Algin Biovital	21,3	6,7	a	45,8	11,8	a	17,8	8,0	a	93,8	4,8	a
SPU-01010-F	8,7	4,8	a	25,8	11,8	a	1,6	1,5	b	36,5	24,4	b
SPU-01340-F	10,1	0,9	a	23,3	5,3	a	2,6	1,2	b	36,5	16,5	b
SPU-02540-F	13,3	9,1	a	29,3	17,7	a	2,8	1,7	b	32,3	18,0	b

Durch den frühen und relativ starken Befall von *P. viticola* auf den Versuchsflächen im Jahr 2005 konnten die Versuche dreimal ausgewertet werden. Allerdings erfolgte in beiden Weinbergen die erste Applikation zwei Tage nach Ausbruch der ersten Ölflecken. Dies muss bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Die Applikation von Algin Biovital „solo“ zeigte bei allen drei Bewertungen eine schlechtere Wirkung als die Kombination Algin Biovital mit einer reduzierten Aufwandmenge von Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/ha). Visuell waren die Zeilen der Variante Algin Biovital nicht von den Kontroll-Parzellen zu unterscheiden (Tab. 19 und 20). Am Standort „Kellersgrube“ konnte in der Variante Algin Biovital ein höherer Befall festgestellt werden als in der Kontrollvariante. Die Wirkung bei den Frutogard®-Varianten war statistisch mit der Wirkung von Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/ha)

vergleichbar. Das Tonerdepräparat Myco-Sin[®] VIN wies bei der ersten Bewertung einen geringeren Befall an den Trauben als das Gesteinsmehl ROCKSIL auf, wohingegen an den Blättern bei ROCKSIL-Behandlung weniger Befall als bei Myco-Sin[®] VIN-Anwendung bonitiert wurde. An den beiden anderen Bonitur-Terminen konnte in der ROCKSIL-Variante an Trauben und Blättern jeweils ein geringerer Befall als bei Myco-Sin[®] VIN festgestellt werden. Die Wirkung beider Produkte war mit Cuprozin[®] Flüssig (3 kg Cu/ha) zu vergleichen. Am Standort „Kellersgrube“ zeigte ROCKSIL ebenfalls eine gute Wirkung, die analog zu Cuprozin[®] Flüssig (3 kg Cu/ha) war. Das Produkt Kupferprotein zeigte eine Wirkung, die ähnlich wie die der Vergleichsvarianten war. Die Unterschiede bei den beiden SPU-Produkten waren statistisch nicht abzusichern. Bei SPU-02540-F war tendenziell eine bessere Wirkung als bei SPU-01010-F an den Trauben festzustellen, wohingegen an den Blättern der umgekehrte Fall vorlag. Am Standort „Kellersgrube“ wies SPU-02540-F von den drei geprüften SPU-Produkten die geringste Wirkung auf. Der Unterschied zwischen den drei Produkten konnte statistisch nicht abgesichert werden. Bezüglich der Löslichkeit sowie Applizierbarkeit der zu prüfenden Substanzen ist folgendes zu bemerken: Ausfällungen traten bei der Variante SPU-02540-F auf, sobald das Produkt mit dem Pflanzenschutzmittel Vento[®] (Fa. Dow AgroSciences) vermischt wurde. Zudem wurden bräunliche Verschorfungen auf der Beerenhaut einiger Trauben in dieser Versuchsvariante festgestellt. Das Pflanzenschutzmittel Vento[®] wurde in diesem Versuchsweinberg als Grundabdeckung gegen *Erysiphe necator* eingesetzt. In der Versuchsanlage, die nach ökologischen Richtlinien bewirtschaftet wurde, traten Berostungen und Verbrennungen (Abb. 8 a und b) bei den Testpräparaten SPU-01010-F und SPU-02540-F in Mischung mit Netzschwefel (Stulln WG) auf, der hier als Grundabdeckung gegen den Echten Mehltau der Weinrebe verwendet wurde.



Abb. 8: A: Berostungen auf der Beerenhaut (cv. Riesling; „Mäuerchen“ Versuchsglied SPU-01010-F (Spiess-Urania Chemicals GmbH); 03.08.2005; BBCH 79); B: Verbrennung (cv. Riesling; „Mäuerchen“ Versuchsglied SPU-02540-F (Spiess-Urania Chemicals GmbH); fünf Tage nach der vierten Applikation am 28. Juni 2005; BBCH 68)

Im **Jahr 2006** lag der Schwerpunkt der Versuche in der Überprüfung der These, ob mit einer Applikation der Pflanzenstärkungsmittel Algin Biovital, Akse Bio, KENDAL, TIMOREX und ROCKSIL zum BBCH-Stadium 13/14 eine Verbesserung der Wirkung erzielt werden kann. Allerdings konnte aufgrund der Witterungsbedingungen in diesem Jahr nur ein relativ geringer Befall von *P. viticola* auf dem Standort „Kellersgrube“ festgestellt werden (Abb. 9). Die Versuchsfläche „Mäuerchen“ wurde nicht bonitiert, da selbst in der unbehandelten Kontrolle keine Symptome von *P. viticola* vorzufinden waren. Am Standort „Kellersgrube“ konnte ein schwacher Blattbefall von 48,5 % Befallshäufigkeit mit einer Befallsstärke von 8,9 % in den Kontrollparzellen bonitiert werden. Traubenbefall wurde nicht notiert. Die Produkte Algin Biovital und TIMOREX zeigten nur in der Befallsstärke einen signifikanten Unterschied zur Kontrolle. Sie wiesen einen signifikant höheren Befall als die Vergleichsvarianten auf. Die übrigen geprüften Testsubstanzen wiesen einen signifikanten Unterschied zur Kontrolle auf. Hinsichtlich der Löslichkeit sowie Applizierbarkeit der geprüften Substanzen sind keine Vorkommnisse zu bemerken.

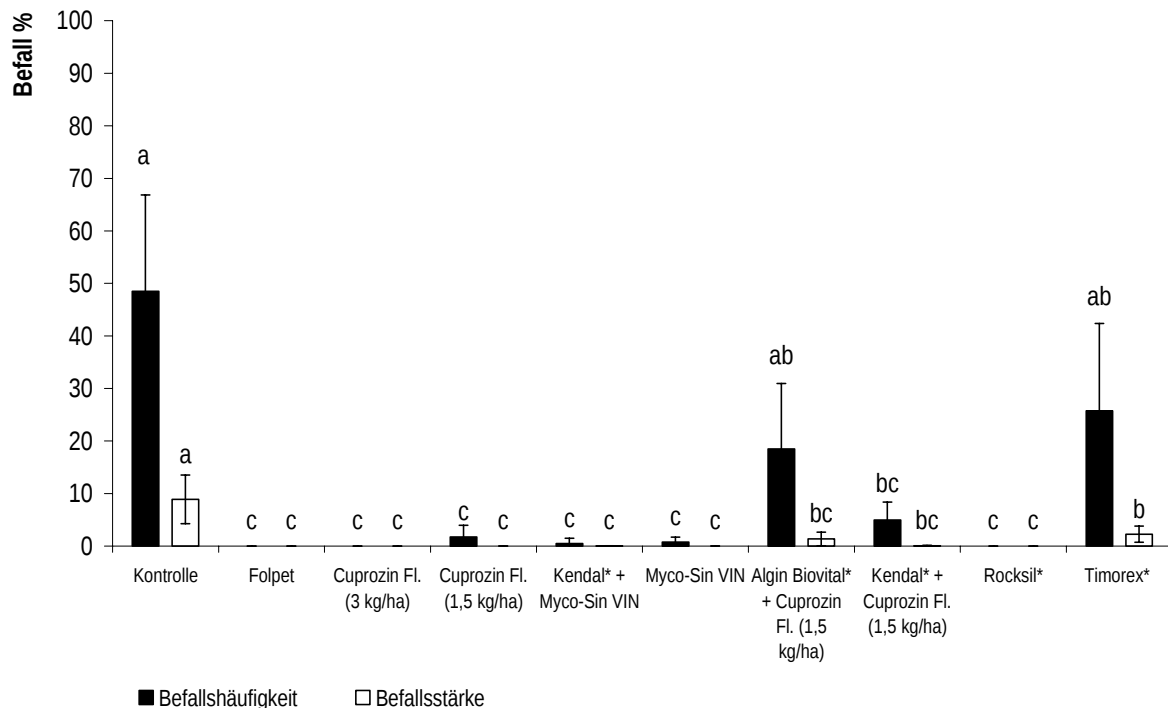


Abb. 9: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ Bonitur: 30. August 2006; BBCH 85. Dargestellt sind Befallshäufigkeit (in %) und Befallsstärke (in %) an Blättern mit *P. viticola*. Die mit * gekennzeichneten Varianten wurden bereits im BBCH-Stadium 13/14 zum ersten Mal appliziert. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$. Die Befallsstärke-Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,00308$); Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's Test $p=0,000645$; nach der Transformation).

Im **Jahr 2007** war erneut nur ein relativ geringer Befallsdruck an beiden Versuchstandorten zu verzeichnen (Abb. 11 und 12). Alle geprüften Testsubstanzen wiesen am Standort „Mäuerchen“ eine signifikant bessere Wirkung als die Kontrolle auf. Die Prüfvarianten Algin Biovital & Cuprozin® Flüssig (0,05 %), die drei Frutogard® - Varianten, KENDAL & Myco-Sin® VIN sowie ROCKSIL waren mit den beiden Vergleichsvarianten Cuprozin® Flüssig (1,5 kg Cu/ha) und öko-Standard vergleichbar. SPU-02690-F entsprach in seiner Wirkung den beiden Vergleichsvarianten Folpan® 80 WDG und Cuprozin® Flüssig (3,0 kg Cu/ha). Die mit KENDAL & Myco-Sin® VIN behandelten Weinreben wiesen den höchsten Befall im Vergleich zu den anderen Prüfsubstanzen auf. Im Versuchsweinberg „Kellersgrube“ zeigte sich ein ähnliches Bild bei etwas stärkerem Befall. Dort waren die Prüfsubstanzen KENDAL & Myco-Sin® VIN, Myco-Sin® VIN und Kupferprotein-2 mit der Vergleichsvariante Cuprozin® Flüssig (1,5 kg Cu/ha) vergleichbar. Die Wirkung von ROCKSIL war analog zu Folpan® 80 WDG. Insgesamt war bei allen Prüfsubstanzen eine signifikante Wirkung im Vergleich zur Kontrolle festzustellen. In Hinsicht auf die Löslichkeit sowie

Applizierbarkeit der zu prüfenden Substanzen ist zu bemerken, dass das Prüfmittel ROCKSIL an Blättern bei einer erhöhten Aufwandmenge (16 kg/ha) phytotoxische Schäden verursacht hat (Abb. 10).



Abb. 10: Phytotoxische Schäden verursacht durch ROCKSIL. *V. vinifera* cv. Riesling; Blätter im Versuchsweinberg „Kellersgrube“ in Geisenheim; 12.07.2007; BBCH 79.

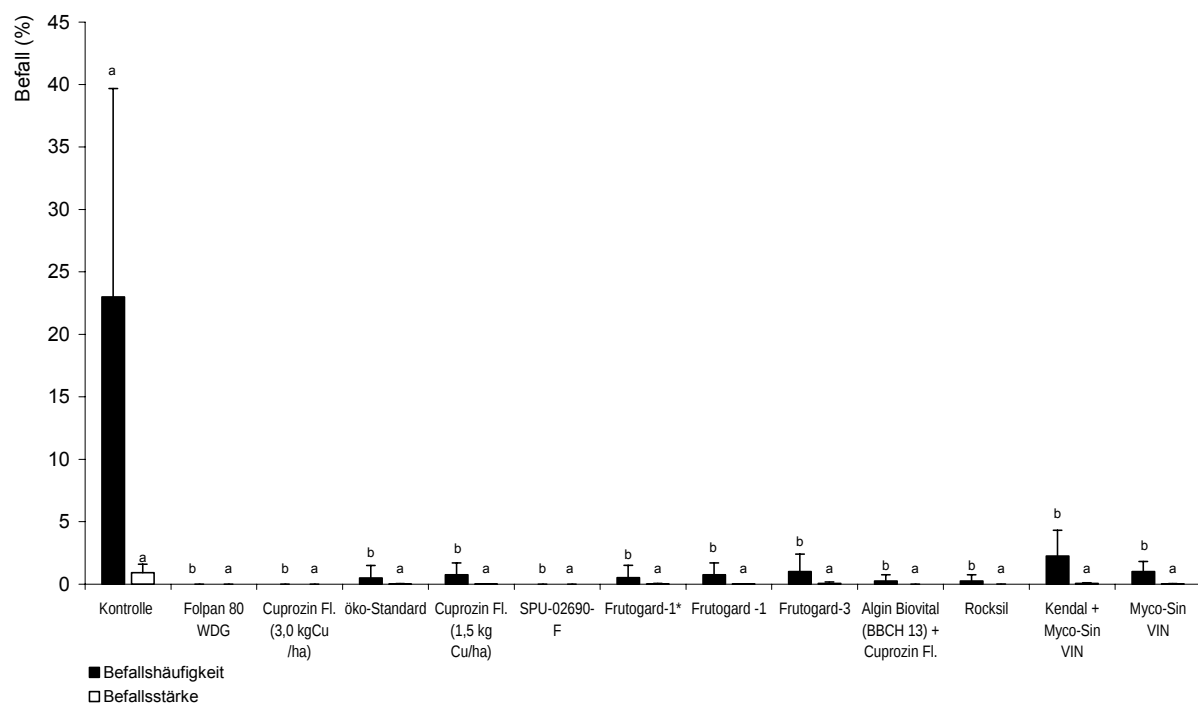


Abb. 11: Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“; Bonitur: Juli 2007; BBCH 79. Dargestellt sind Befallshäufigkeit (in %) und Befallsstärke (in %) von *P. viticola* an Blättern. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$. Die Befallsstärke-Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,00000$); Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's Test $p=0,000001$; nach der Transformation).

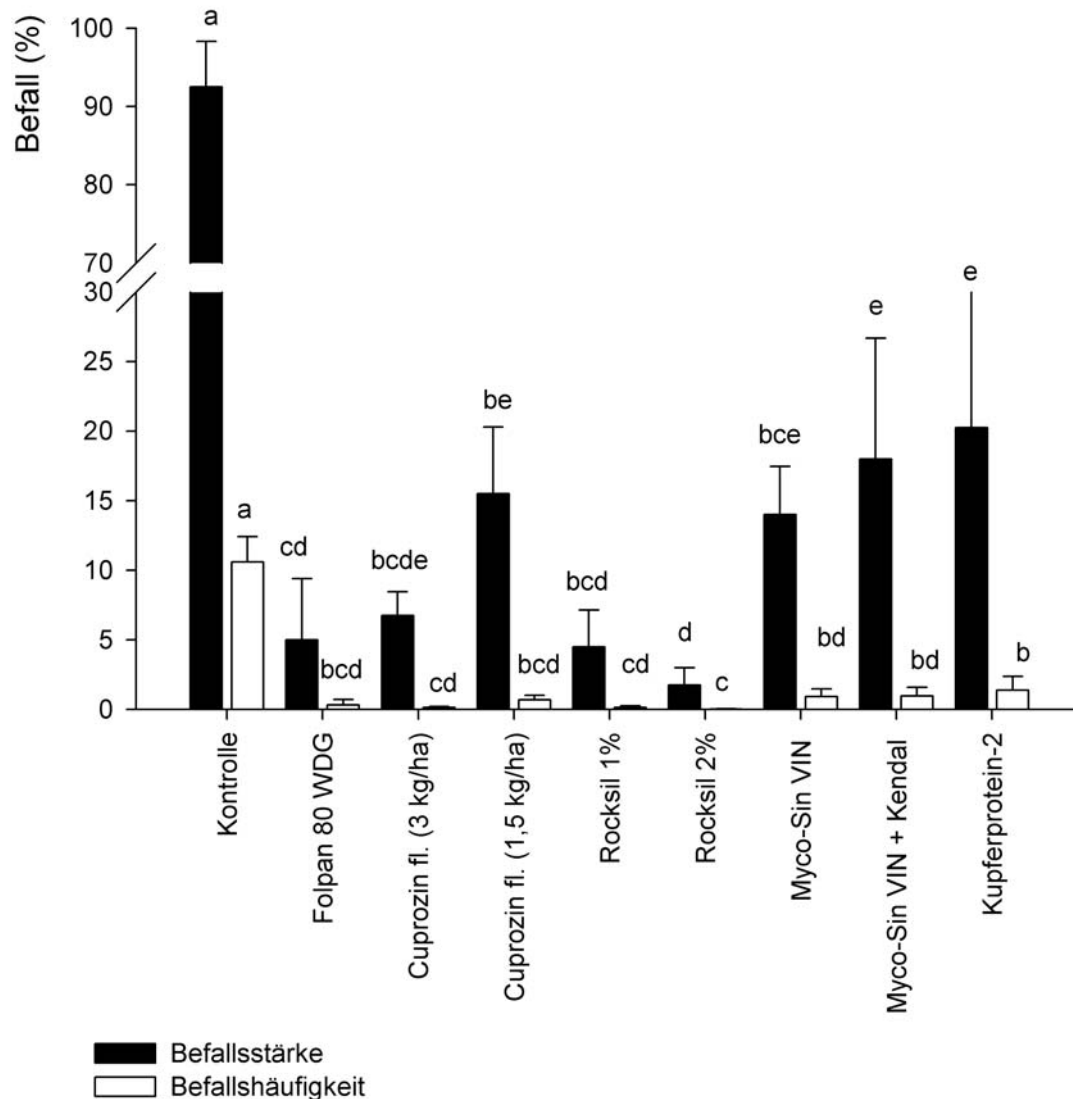


Abb. 12: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ Bonitur: Juli 2007; BBCH 79. Dargestellt sind Befallshäufigkeit (in %) und Befallsstärke (in %) von *P. viticola* an Blättern. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$. Die Befallsstärke-Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,019157$; nach der Transformation); Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's Test $p=0,211345$; nach der Transformation).

Im letzten Versuchsjahr **2008** konnte nur ein sehr geringer Befall von *P. viticola* festgestellt werden (Abb.13 und 14). In der Kontrolle wurde eine Befallsstärke von 0,22 % bei einer Befallshäufigkeit von 13 % an den Blättern am Standort „Mäuerchen“ ermittelt, wohingegen im Weinberg am Standort „Kellersgrube“ 8,1 % Befallsstärke bei einer Befallshäufigkeit von 86 % an den Blättern erfasst wurde. An beiden Standorten konnte kein Befall an den Trauben festgestellt werden. Beobachtete phytotoxische Schäden sind vermutlich durch die Additive in Kombination mit Netzschwefel entstanden. Die stärksten Schäden wurden bei der Kombination Myco-

Sin[®] VIN + Additive und Grundabdeckung festgestellt (Abb. 15). Bei dem saponin-haltigen Produkt Waschnuss konnte kein positiver Effekt durch die Beimischung des Additivs Nu-Film[®]-P festgestellt werden. Die anderen geprüften Mittelkombinationen bzw. -folgen haben bei dem geringen Befall gute Wirkungen gezeigt.

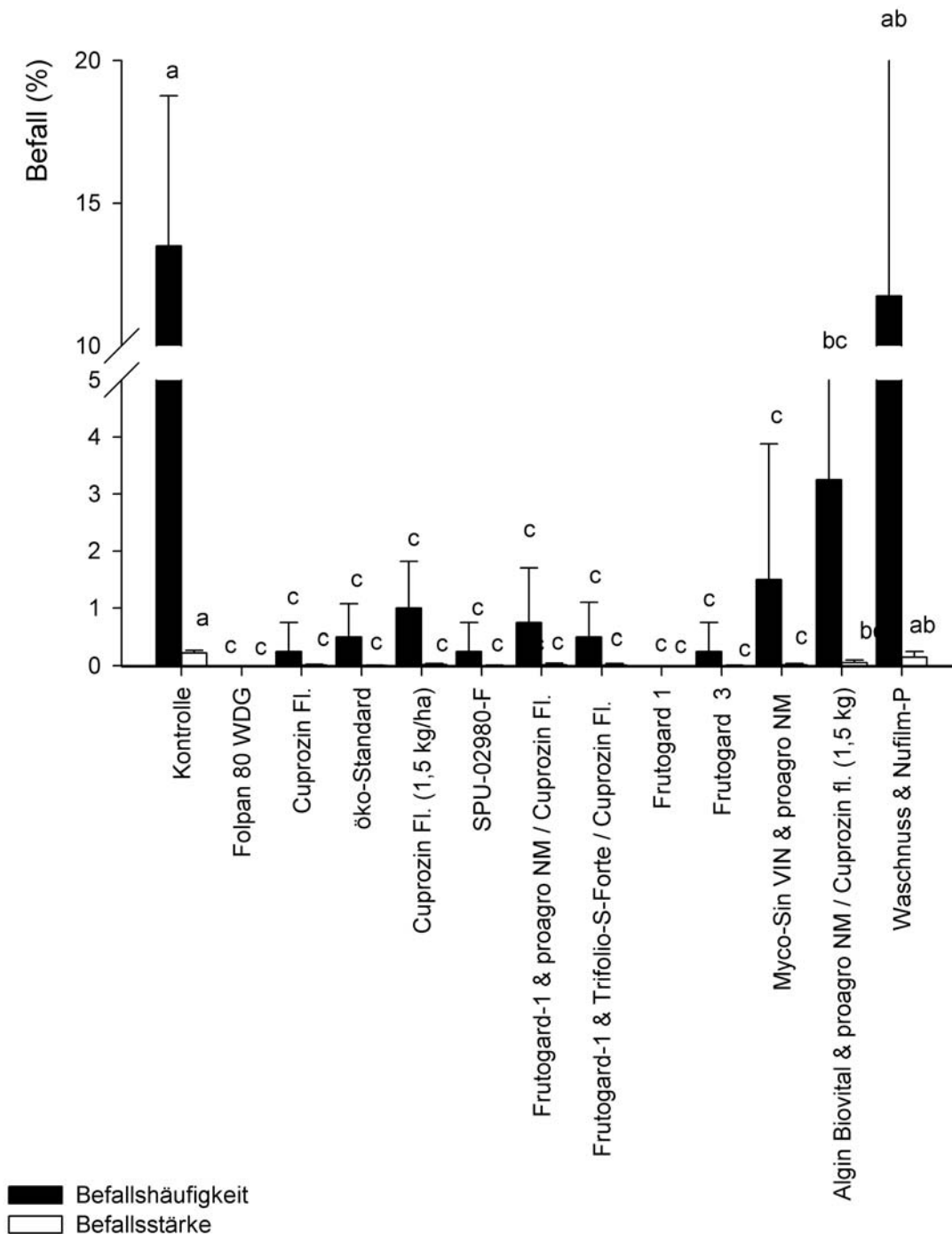


Abb. 13: Exaktversuch am Standort „Mäuerchen“ Bonitur: August 2008; BBCH 79. Dargestellt sind Befallshäufigkeit (in %) und Befallsstärke (in %) von *P. viticola* an Blättern. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$. Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,002413$; nach der Transformation); die Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's Test $p= 0,000012$; nach der Transformation).

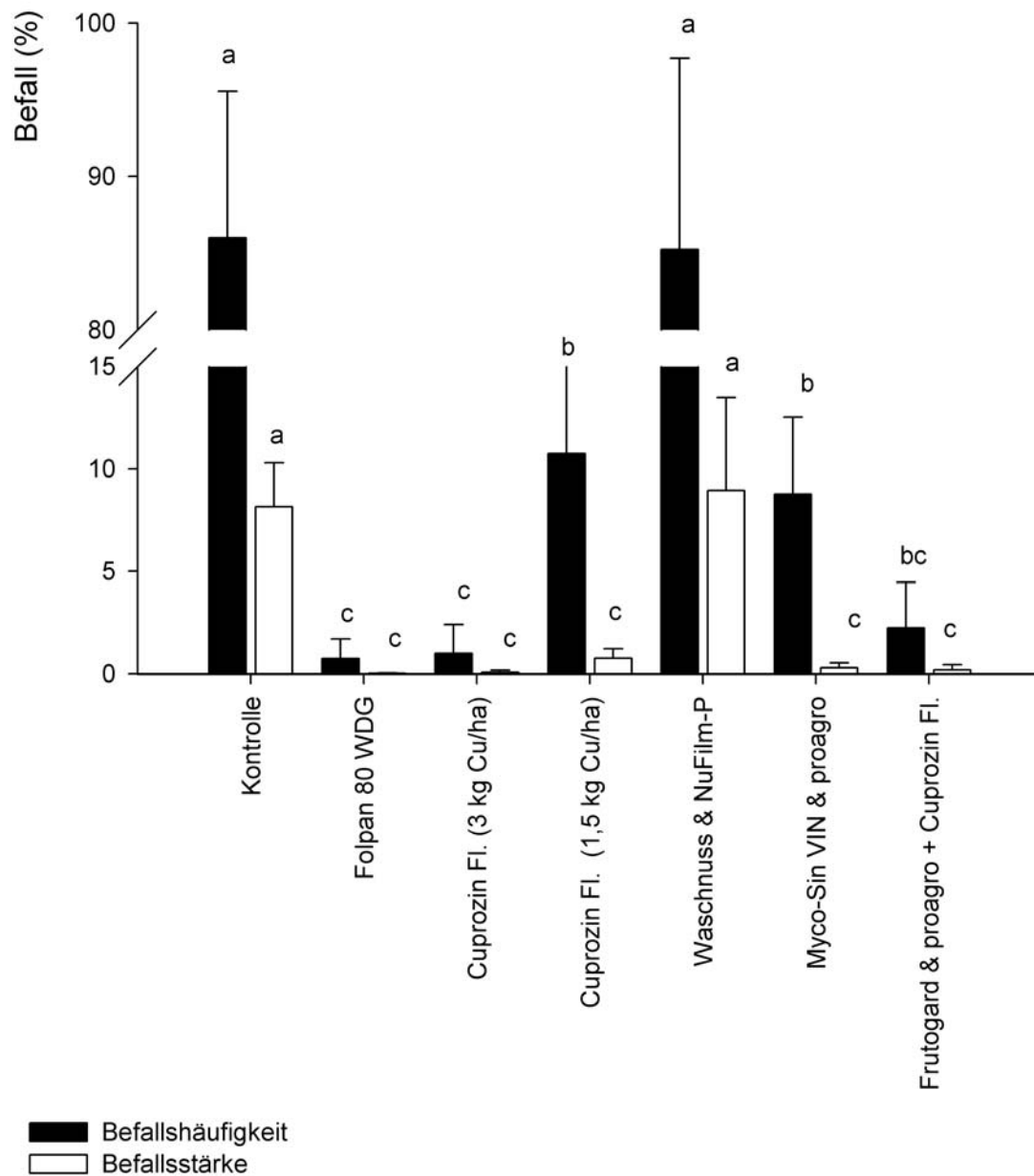


Abb. 14: Exaktversuch am Standort „Kellersgrube“ Bonitur: August 2008; BBCH 79. Dargestellt sind Befallshäufigkeit (in %) und Befallsstärke (in %) von *P. viticola* an Blättern. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey HSD Test $\alpha = 0,05$. Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,003009$; nach der Transformation); die Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's Test $p= 0,362842$; nach der Transformation).

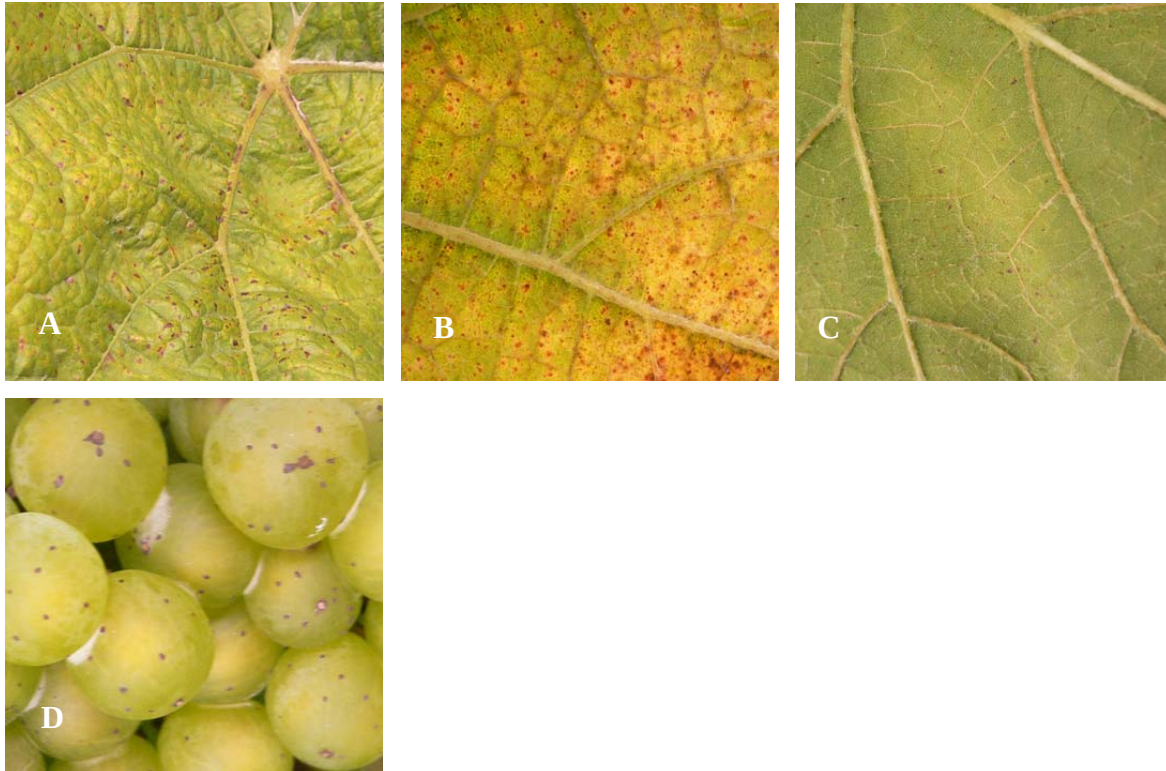


Abb. 15: Phytotoxische Schäden an *V. vinifera* cv. Riesling. Schäden wurden durch die Produkte Myco-Sin® VIN und Frutogard® & proagro Netzmittel und Haftmittel (A und B) sowie durch Frutogard & Trifolio S-Forte, Algin Biovital & proagro Netzmittel und Haftmittel, Frutogard®-3 und Waschnuss & proagro Netzmittel und Haftmittel (C und D) verursacht. A und B) Blätter im Versuchsw Weinberg „Kellersgrube“ in Geisenheim; 26.08.2008; BBCH 85, C und D) *V. vinifera* cv. Riesling im Versuchsw Weinberg „Mäuerchen“ in Geisenheim; 28.08.2008; BBCH 85

Mit statistischen Methoden wurde versucht, eine Korrelation zwischen den erhobenen Gewächshausdaten und den Freilandergebnissen nachzuweisen. Bei der Prüfung der Voraussetzungen der Korrelation konnte keine Linearität der Datensätze aufgrund der Häufung von 100 % Werten gefunden werden. Dies ist damit zu begründen, dass nur Produkte mit einem Wirkungsgrad $> 50\%$ in den Exaktversuchen geprüft wurden, wohingegen keine Autokorrelation der Residuen mit dem Durbin-Watson-Test gefunden wurde (LOZAN und KAUSCH 1998). Mit der SPEARMAN-Rangkorrelation konnte lediglich eine Korrelation von 0,037 nachgewiesen werden.

.3.2 Nebenwirkung der Testprodukte

3.2.1 *Botrytis cinerea* (in vitro und Freiland)

Mit den *in vitro*- und Freilandversuchen sollten mögliche Nebenwirkungen der Testsubstanzen auf *B. cinerea* überprüft werden. Die beiden Pflanzenschutzmittel **Cuprozin® Flüssig** und **Folpan® 80 WDG** zeigten bei der fünffachen Konzentration eine Hemmwirkung auf das Myzelwachstum. Cuprozin® Flüssig wies bei den anderen Verdünnungsstufen keine Wirkung auf, wohingegen bei Folpan® 80 WDG bei allen Verdünnungsstufen eine Wirkung zu sehen war (Abb. 16). Die Testmittel **KENDAL** und **Frutogard®** hatten bei den durchgeführten *in vitro*-Versuchen keinen Effekt auf das Myzelwachstum von *B. cinerea* (Abb. 17).

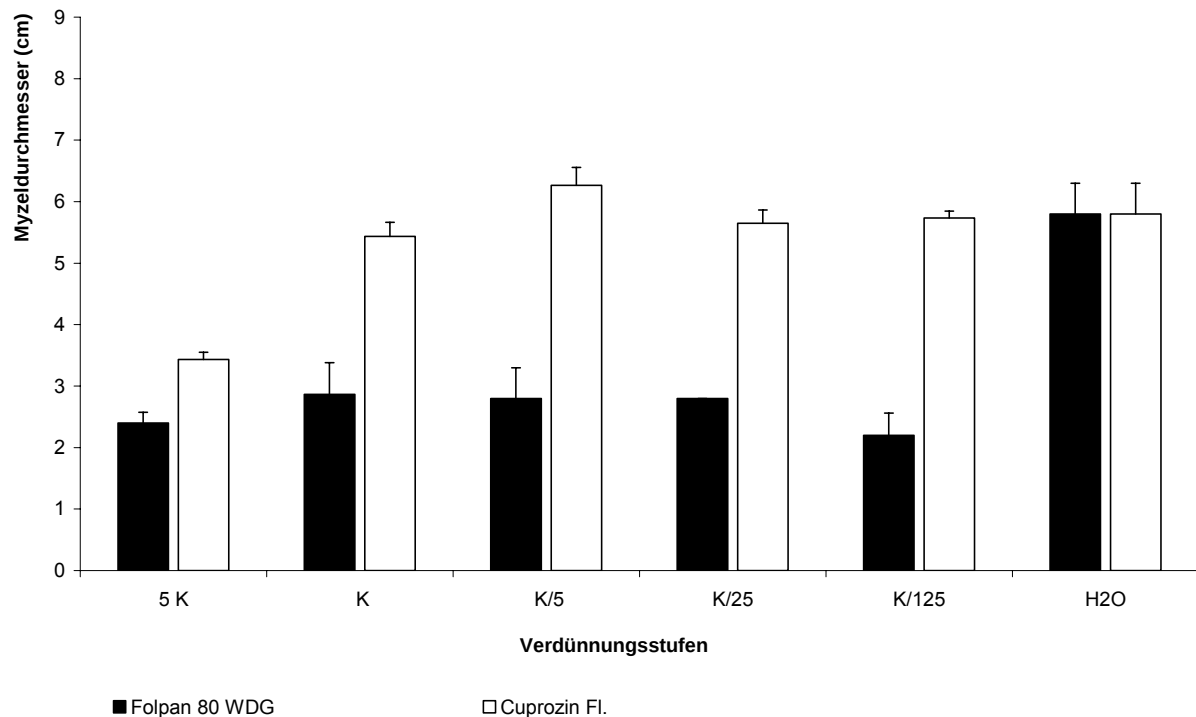


Abb. 16: Dargestellt sind Mittelwerte des Myzeldurchmessers von *B. cinerea* auf OMA-Medium, in welches die Testsubstanzen Cuprozin® Flüssig und Folpan® 80 WDG eingerührt wurden - modifizierter Agarschalendiffusionstest (KW 48 und 51/ 2004).



Abb. 17: *In vitro* Wirksamkeit von zwei Prüfmitteln gegenüber *Botrytis cinerea* (Agarschalendiffusionstest in KW 50 und 51/ 2006), *B. cinerea* auf PDA-Medium mit Switch® als Vergleichsmittel (links) sowie dem Prüfmittel KENDAL (mitte) und Frutogard® (rechts); Die Bonitur erfolgte vier Tage nach Beimpfen der Platten mit *B. cinerea*.

Die Trauben des **Freilandversuchs** der FA Geisenheim wurden einen Tag vor der Ernte am 06. Oktober **2005** auf Befall mit *B. cinerea* bonitiert. Insgesamt bewegte sich der Befallsdruck auf einem relativ hohen Niveau mit > 70 % Befallshäufigkeit und einer Befallsstärke > 20 % in allen Varianten (Abb. 18). Bei den Befallshäufigkeiten wurde kein Unterschied zwischen den Behandlungen und der Kontrolle gefunden. Die Befallshäufigkeit an Trauben lag in der Kontrollparzelle bei 100 %, die Befallsstärke bei 98,6 %. Hinzu kam ein großer Anteil an essigfaulen Trauben. Die Trauben der Kontrollparzellen wiesen eine Befallshäufigkeit von 25 % auf. Die Varianten Frutogard®-3 und ROCKSIL zeigten bei den Befallsstärken einen signifikanten Unterschied zur Kontrolle auf, wobei im Falle von ROCKSIL mehr Befall als in der Kontrolle bonitiert wurde. Bei SPU-02540-F war tendenziell weniger Befall zu verzeichnen. Im Jahr **2006** lag in allen Versuchspartzellen ein gleichmäßiger, hoher Befallsdruck mit fast 100 % Befallsstärke und Befallshäufigkeit vor. Daher konnte kein Unterschied zwischen den Varianten festgestellt werden (Abb. 19). Im Jahr **2007** wurden die Trauben am 01. Oktober (einen Tag vor der Lese) auf *B. cinerea* bonitiert (Abb. 20). Die Befallsstärke durch *B. cinerea* an Trauben in der Versuchsanlage „Mäuerchen“ betrug in allen Versuchsgliedern zwischen 12 und 19 %. Im Durchschnitt waren 44 bis 58 % der Trauben befallen. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten waren nicht festzustellen.

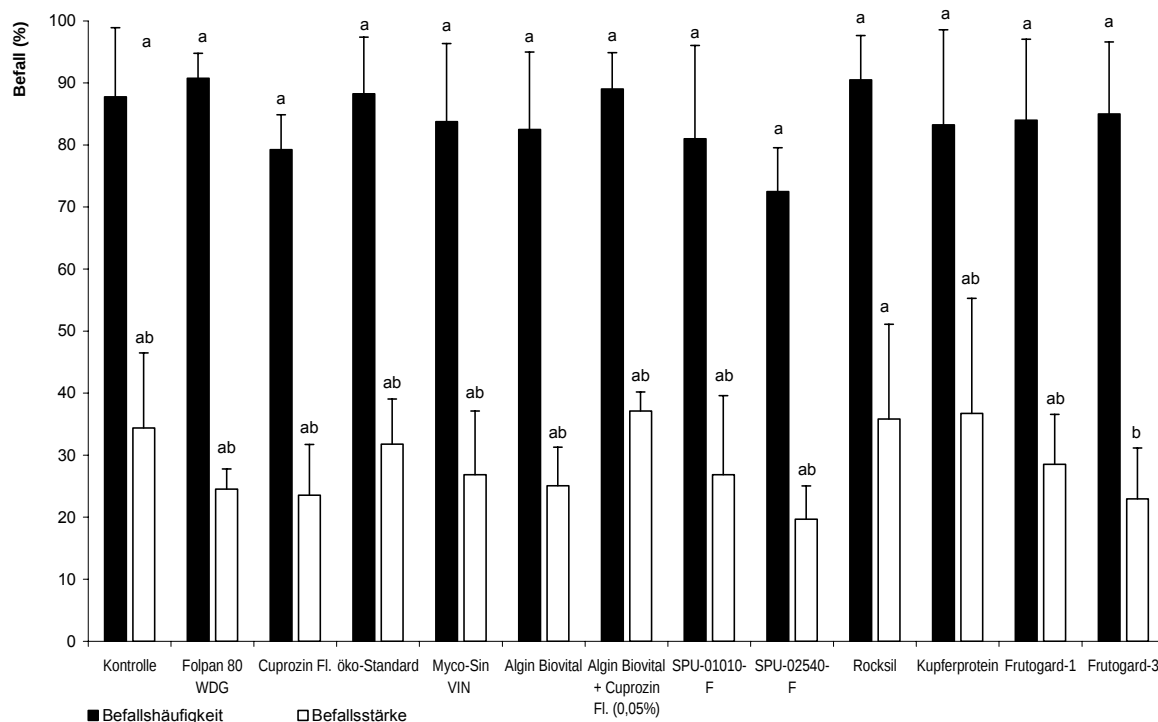


Abb. 18: Befallshäufigkeit (schwarze Säulen) und Befallsstärke (weißen Säulen) von *B. cinerea* in % an Trauben am 06.10.2005; KW 40; BBCH 89; Exaktversuch („Mäuerchen“; Geisenheim). Die Befallsstärke-Werte wurden mit einer $\arcsin(\sqrt{x}/100)$ transformiert (Levene's Test $p=0,154262$); die Befallshäufigkeits-Werte wurden $\sqrt{x}$ transformiert (Levene's test $p=0,174682$).

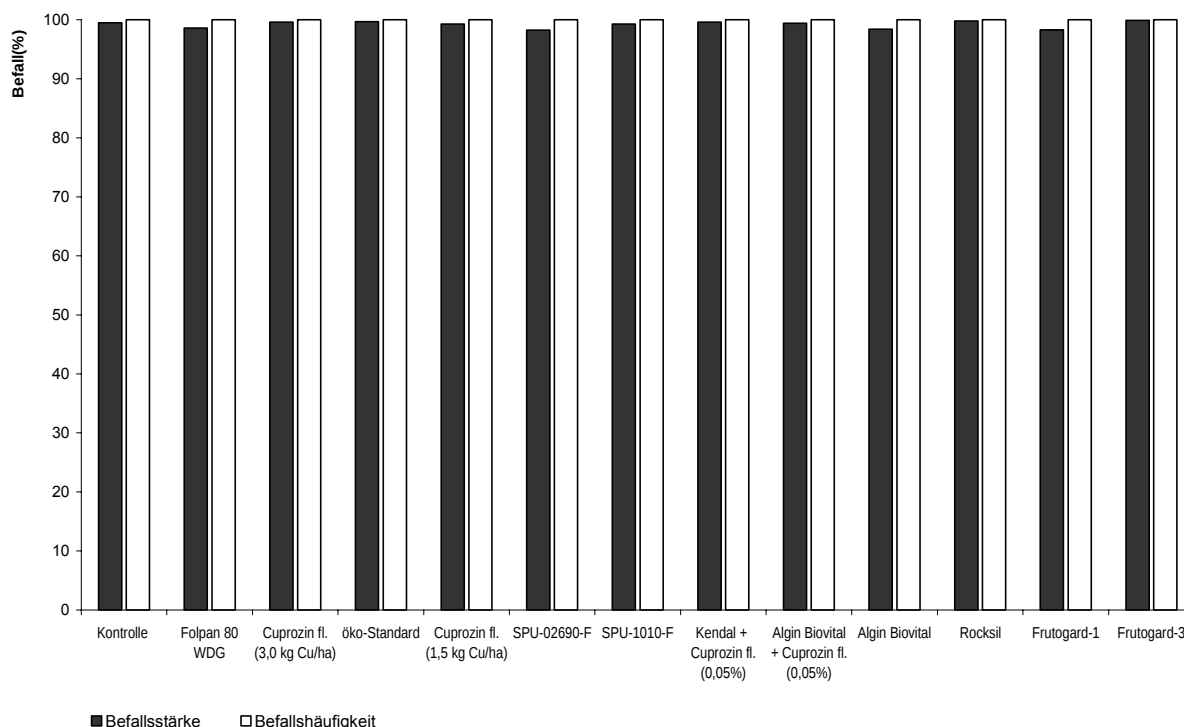


Abb. 19: Durchschnittlicher Befall mit *B. cinerea* in den verschiedenen Versuchsgliedern der Versuchsanlage „Mäuerchen“ am 8./9.10.2006; KW 41; BBCH 89.

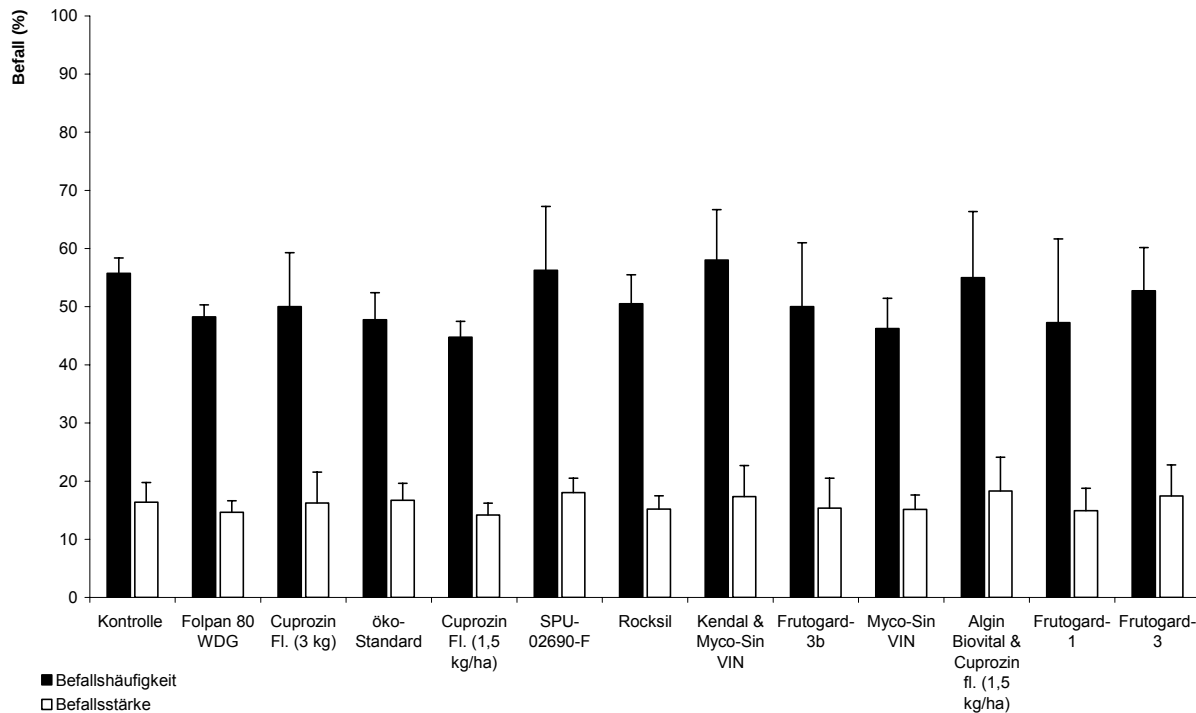


Abb. 20: Durchschnittlicher Befall mit *B. cinerea* in den verschiedenen Versuchsgliedern der Versuchsanlage „Mäuerchen“ am 1.10.2007; KW 40; BBCH 89.

3.2.2 Nebenwirkung der Testprodukte auf Nützlingspopulationen (*Typhlodromus pyri*)

Die im Ökosystem „Weingarten“ natürlich vorkommenden Raubmilben (*T. pyri*) dienen der biologischen Schadmilbenregulierung. Für eine ausreichende Regulierung sind bei voller Belaubung ein bis zwei Raubmilben pro Blatt notwendig. Um den negativen Einfluss der Testpräparate auf *T. pyri* bewerten zu können, wurden die Populationen zwei bis dreimal pro Versuchsjahr gezählt. Die Untersuchungen fanden in der Versuchsfläche „Mäuerchen“ statt. Im Jahr **2005** zeigten zum Entwicklungsstadium 57 alle Versuchspartzen deutlich mehr Raubmilben pro Blatt als die Kontrolle auf (Abb. 21). Als raubmilbenschonend konnte das Testpräparat Algin Biovital eingestuft werden, da die Raubmilbendichte dieser Partzen an allen drei Beobachtungsterminen mit der Populationsdichte in den Kontrollpartzen vergleichbar war. Die Nebenwirkungen kupferhaltiger Testpräparate auf Raubmilbenpopulationen wurden besonders an den beiden letzten Terminen deutlich. Im Versuchsw Weinberg „Mäuerchen“ waren in allen Versuchspartzen zum Entwicklungsstadium BBCH 57 am 08. Juni **2006** zwischen 250 bis 370 Raubmilben vorhanden (bezogen auf 25 Blätter, Abb. 22). Diese Populationsdichten sind für eine

erfolgreiche Spinnmilbeneindämmung ausreichend. Allerdings waren zum zweiten Boniturtermin (BBCH 79, Mitte Juli 2006) in allen Versuchspartzen deutlich weniger Raubmilben bonitiert worden. Die Varianten Cuprozin® Flüssig (max. 3 kg Cu/ha und Jahr), SPU-01010-F und ROCKSIL wiesen eine deutliche Abnahme der Populationsdichte auf. Besonders in der Versuchspartze des Vergleichsmittels Folpan® 80 WDG sowie bei den Versuchsgliedern öko-Standard, Algin Biovital in Kombination mit Cuprozin® Flüssig und ROCKSIL war die negative Wirkung des Produktes auf die Anzahl der Raubmilben am größten. Am dritten Boniturtermin (29.08.2006) zum Entwicklungsstadium 81 war in allen Partzen weniger als eine Raubmilbe pro Blatt zu finden. Bei der Auswertung der Populationsdichte aus dem Jahr **2007** zu drei Zeitpunkten in der Vegetationsperiode ist zunächst festzuhalten, dass bei den ersten beiden Boniturterminen Mitte Mai (BBCH 57) und Ende Juni (BBCH 68) starke Abweichungen vom Mittelwert vorlagen (Abb. 23). Im Durchschnitt konnten zu diesen Entwicklungsstadien 150 bis 200 Raubmilben in den Versuchspartzen gezählt werden, was für eine gute natürliche Regulierung der Spinnmilbenpopulation ausreicht. Zum dritten Beobachtungsdatum konnte eine Abnahme der Populationsdichte im Durchschnitt auf 75 Raubmilben erfasst werden. Keine besonderen Abweichungen der Populationsdichte gegenüber den Kontrollpartzen wiesen die Testpräparate Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/(ha·a)), Cuprozin® Flüssig (1,5 kg Cu/(ha·a)) sowie Frutogard® auf. Alle anderen Versuchsglieder zeigten zu einem der drei Termine deutliche Differenzen zur Kontrolle. Im Versuchsjahr **2008** wurden an den beiden Auszählungsterminen BBCH 68 und BBCH 75 keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Abb. 24). Grundsätzlich war der Besatz im Vergleich zu den Jahren zuvor als gering einzustufen. Die für eine zufrieden stellende Schadmilbenregulierung erforderlichen zwei Raubmilben pro Blatt konnten nicht in allen Varianten bzw. an allen Terminen gezählt werden. Beim Versuchsglied Waschnuss mit Nu-Film®-P konnte zum Beobachtungstermin BBCH 81 eine signifikant höhere Populationsdichte ermittelt werden. Natürlich muss bei der Betrachtung der Daten berücksichtigt werden, dass in allen Partzen mehrfache Netzschwefelapplikationen zur Kontrolle von *Oidium* durchgeführt wurden. Da dieser Einfluss in allen Partzen zugrunde liegt, kann er als vernachlässigbar angesehen werden. Darüber hinaus gilt Netzschwefel als raubmilbenschonendes (I) Pflanzenschutzmittel.

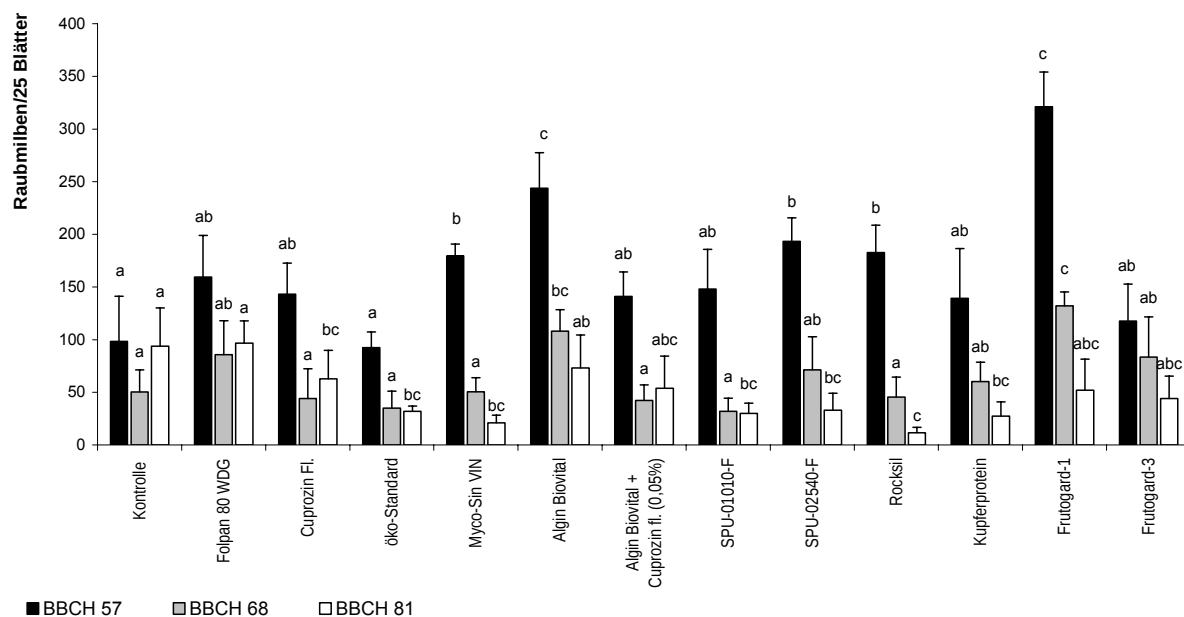


Abb. 21: Mittelwerte und Standardabweichungen des Raubmilbenbesatzes im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ 2005.

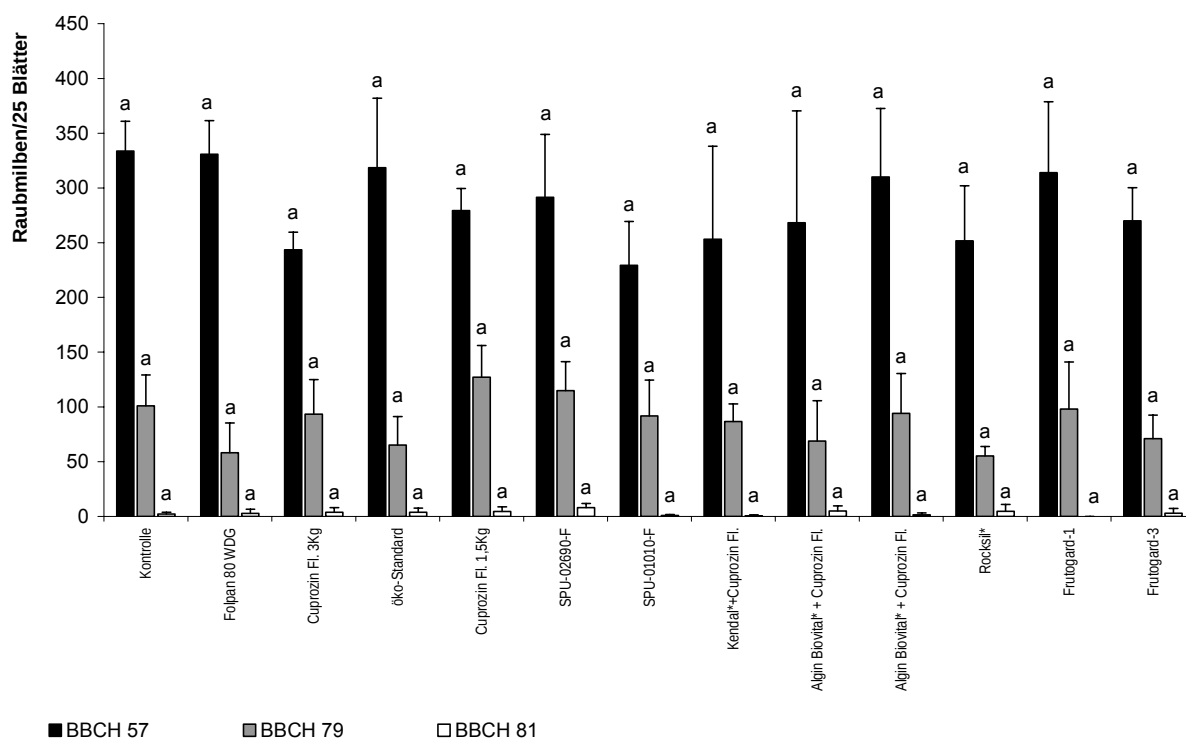


Abb. 22: Mittelwerte und Standardabweichungen des Raubmilbenbesatzes im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ 2006.

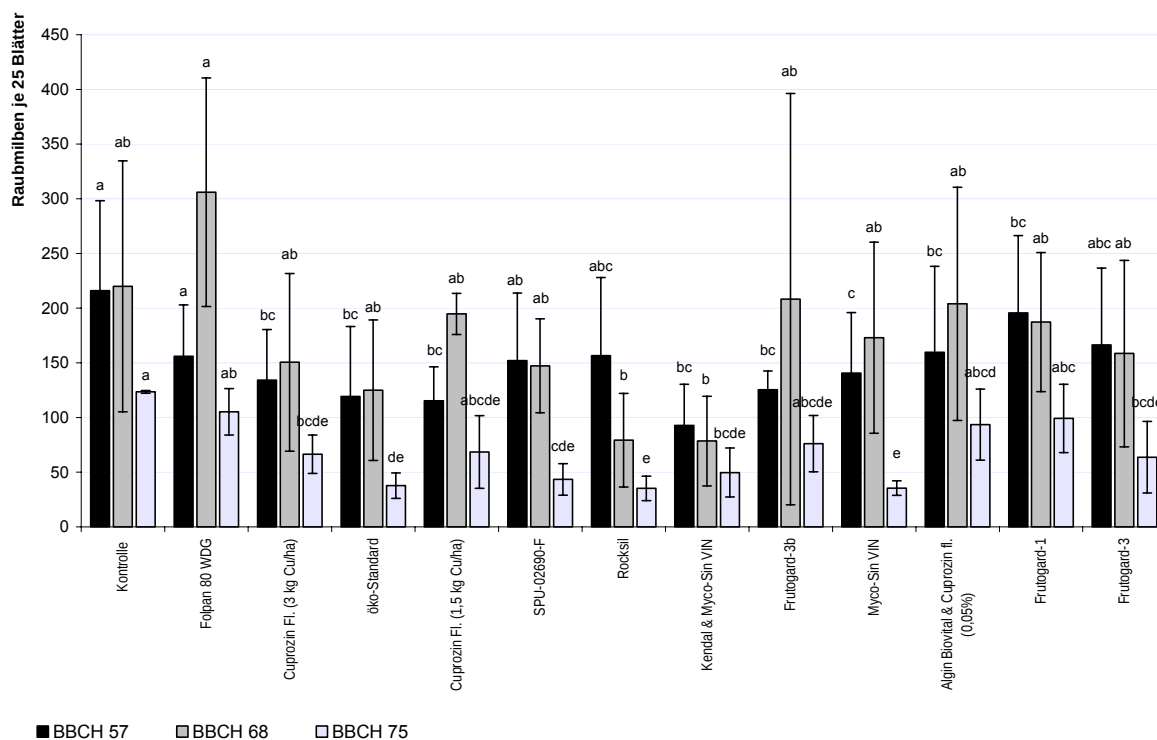


Abb. 23: Mittelwerte und Standardabweichungen des Raubmilbenbesatzes im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ 2007.

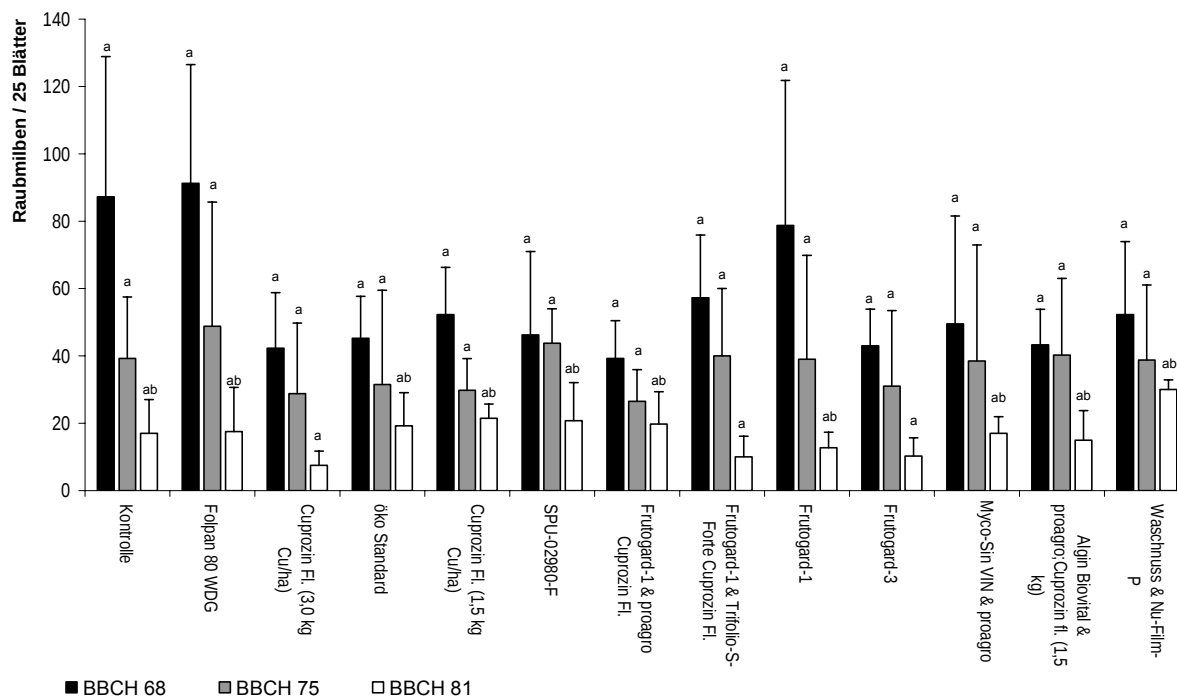


Abb. 24: Mittelwerte und Standardabweichungen des Raubmilbenbesatzes im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ 2008.

3.2.3 Effekte der Testprodukte auf die Gärung und den Geschmack

3.2.3.1 Inhaltsstoffe der Moste und Weine

Die Ergebnisse der **Mostanalyse** der einzelnen Versuchsjahre (2005-2007) sind in der Anhang-Tab. 12-14 dargestellt. Bei keiner Variante waren im Jahr **2005** besondere Auffälligkeiten festzustellen. Alle Werte bewegten sich innerhalb der normalen Bandbreiten für die jeweiligen Analyseparameter. Die Mostgewichte der Proben lagen zwischen 88 und 97,4 °Oe. Die pH-Werte reichten von 3,1 bis 3,21. Die Ergebnisse der Mostanalyse spiegelten die hohe Reife des Traubenmaterials im Jahrgang **2006** (Mostgewichte zwischen 109,2 und 115,4 °Oe) wider. Die Unterschiede zwischen den Varianten bewegten sich im Rahmen der allgemeinen Streuung. Gleiches galt für die Ergebnisse der Gesamtsäure (9,0 g/L - 10,9 g/L) und des pH-Wertes (3,1 - 3,2). Auffällig waren im Jahr 2006 die erhöhten Gehalte bei der Gluconsäure (1,9 g/L - 3,7 g/L) und Glycerin (6,2 g/l - 7,3 g/l), die auf den starken *Botrytis*-Befall (Abb. 19) zurückzuführen waren. Tendenziell war auch die flüchtige Säure gegenüber „normalen“ Jahren leicht erhöht (0,3 g/L - 0,4 g/L). Die Mostgewichte bewegten sich im Jahr **2007** zwischen 87 °Oe und 96 °Oe. Ein Einfluss der kupferhaltigen Versuchsvarianten auf den Zuckergehalt der Trauben konnte nicht festgestellt werden. Auffällig sind die vergleichsweise sehr geringen Gesamtsäuregehalte (< 8 g/L) in den Varianten Folpan® 80 WDG, Cuprozin® flüssig (3 kg/ha) und öko-Standard. Wahrscheinlich lag ein Fehler in der Analyse vor, da sich diese Unterschiede innerhalb der Weinanalysen nicht mehr zeigten. Die erhöhten Gehalte an flüchtiger Säure, die auf einen Säureabbau im Moststadium hinweisen könnten, wurden in diesen drei Varianten nicht festgestellt. Alle weiteren Untersuchungsparameter sind unauffällig und deuten nicht auf einen eventuell negativen Einfluss einer Versuchsvariante auf die Mostqualität hin.

Die Ergebnisse der **Analyse der Versuchsweine** sind in den Anhang-Tabellen 15 bis 17 dargestellt. Bei keiner Variante des Jahres **2005** sind besondere Abweichungen festzustellen. Alle Werte bewegten sich in den normalen Bandbreiten für die einzelnen Analyseparameter.

Die Analyse der Weine des Jahrgangs **2006** zeigten sehr hohen Mostgewichte und hohe Alkoholgehalte, die zwischen 14,5 und 15,5 % Vol. lagen. Eine vollständige Vergärung des Zuckers wurde aber in keiner Variante erreicht. Restzuckergehalte von durchschnittlich 5 g/l (3,5 g/L Frutogard®-3 bis 8,8 g/L Algin Biovital + Cuprozin® Flüssig) blieben erhalten. Der Restzuckergehalt von 8,8 g/L der Variante Algin

Biovital + Cuprozin® Flüssig ist durch den hohen Alkoholgehalt (15,5 % vol.) zu erklären, welcher sich negativ auf den Hefestoffwechsel auswirkte und zu einer nicht vollständigen Vergärung führte. Der pH-Wert (3,1 - 3,2) und die Säuregehalte (8,0 g/L - 9,6 g/L) zeigten keine Auffälligkeiten bzw. Unterschiede zwischen den Varianten. Leicht erhöhte Milchsäuregehalte (0,7 g/L - 1,0 g/L) könnten auf einen biologischen Säureabbau (BSA) hinweisen. Auch die innerhalb der Gärung entstandenen leicht erhöhten Gehalte an flüchtiger Säure bestätigten dies (siehe Mostanalyse). Alle Versuchsvarianten des Jahres **2007** bewegten sich im Rahmen der Richtwerte und Schwankungsbreiten. Die Weine wiesen einen Alkoholgehalt von 12,7 % Vol bis 13,2 % Vol und einen pH-Wert von 2,5 – 2,6 auf. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

3.2.3.2 Gärverlauf

Die Moste aus der Versuchsfläche „Mäuerchen“ wurden im Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung der FA Geisenheim ausgebaut. Der Gärverlauf der Versuchsweine wurde beobachtet, um mögliche Nebenwirkungen der Testpräparate auf die Gärung (Hefen) feststellen zu können. Die Trauben der Kontrollparzelle wurden nicht verarbeitet. Als Vergleich wurden die Trauben der Versuchspartzellen Folpan® 80 WDG, Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/ha) und öko-Standard ausgebaut. Bei allen Versuchsweinen der Jahre **2005**, **2006** und **2007** verlief die Gärung gleichmäßig. Der Endvergärungsgrad der Weine 2007 bewegte sich zwischen 1,4 und 2,1 g/l Restzucker. Gärstörungen wurden nicht registriert. Die Wartezeit von Netzschwefel beträgt 56 Tage. Diese Zeitspanne wurde in allen drei Jahren eingehalten (Tab. 21). Für die anderen Produkte ist die Wartezeit deutlich geringer. Bei den Testprodukten lagen diesbezüglich keine Erfahrungen oder Angaben seitens der Hersteller vor. Die Umrechnung von °Oe in Gewichtsabnahme in % konnte nicht erfolgen, da die genauen Volumina der Moste nicht bestimmt wurden.

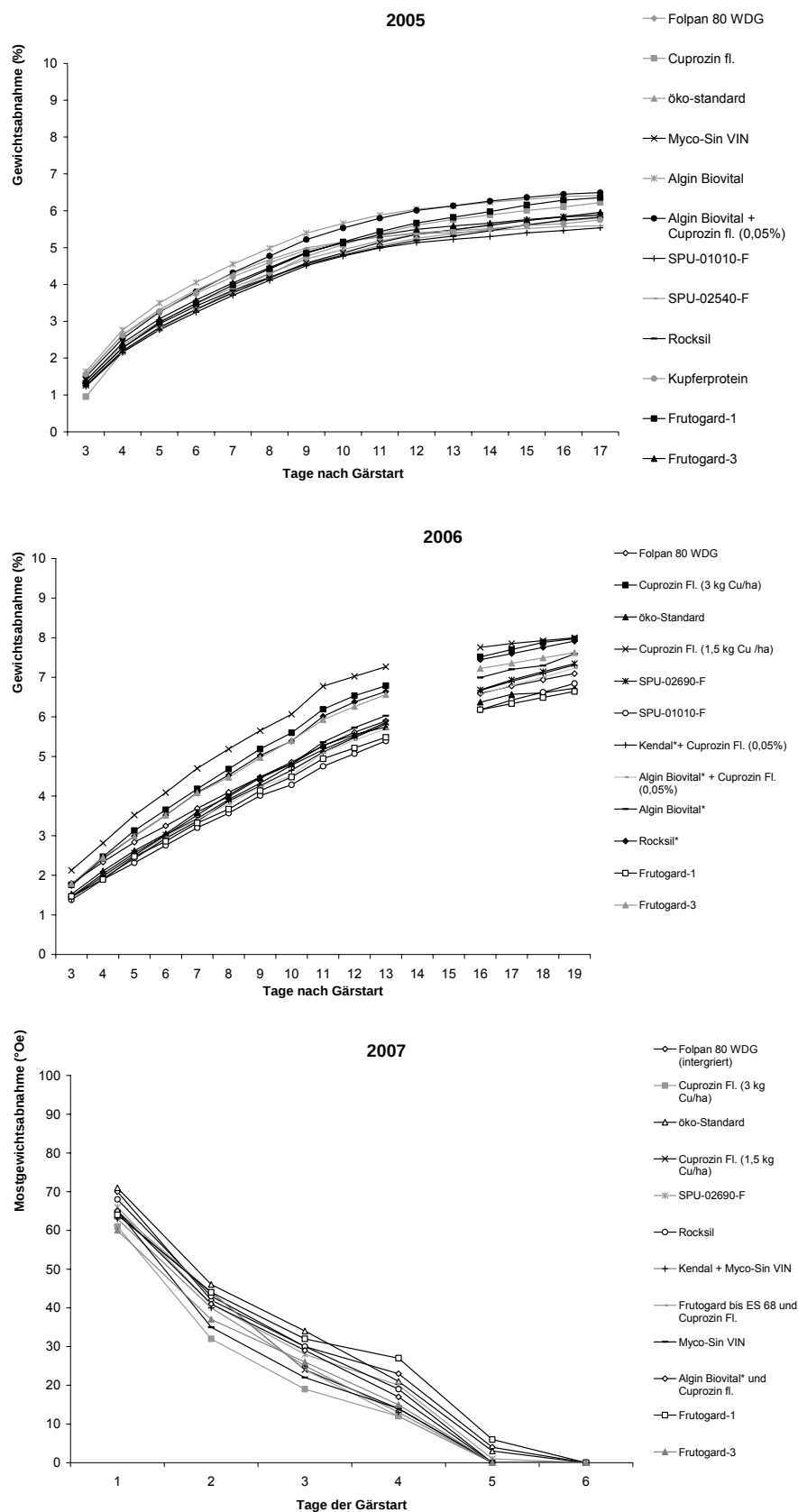


Abb. 25: Gärverlauf der Moste der Versuchsvarianten des Versuchs „Mäuerchen“, Geisenheim; 2005 bis 2006 und Mostgewichtsabnahme in °Oe zur Überprüfung des Gärverlaufes der Moste der Versuchsvarianten des Versuchs „Mäuerchen“ im Jahr 2007.

Tab.21: Angabe zu den Pflanzenschutzapplikationen und der Mikrovinifikation der Moste

Jahr	Letzte Pflanzenschutzapplikation	Lese	Gärstart Gärende	Abgefüllt
2005	16.08.2005 BBCH 81	12.10.2005	14.10.2005 01.11.2005	Frühjahr 2006
2006	14.08.2006 BBCH 81	11.10.2006	14.10.2006 02.11.2006	Frühjahr 2007
2007	01.08.2007 BBCH 81	2.10.2007 gepresst: 04.10.2007	08.10.2007 15.10.2007	Frühjahr 2008

3.2.3.3 Effekt der Testprodukte auf die sensorische Qualität der Weine

An beiden Verkostungsterminen (15. April 2005 und 20. Januar 2006) konnten durch die Prüfer keine variantenbedingten Auffälligkeiten bei den Weinen des Jahres **2005** festgestellt werden (Abb. 26). Die sensorischen Unterschiede zwischen den Varianten waren gekennzeichnet durch differierende Restzuckergehalte (unterschiedliche Vergärungsgrade) sowie durch einen während der Gärung teilweise eingetretenen biologischen Säureabbau. Diese Differenzierungen sind jedoch nicht direkt auf die Varianten des Versuchs zurückzuführen. Die Verkostung der Weine des Jahres **2006** erfolgte am 22.11.2007 durch das Sensorik-Panel der FA Geisenheim mit 17 Teilnehmern (Abb. 27). Als Vergleichsvarianten dienten die Versuchsglieder Folpan® 80 WDG und öko-Standard. Hierbei wurde die Vergleichsvariante Folpan® 80 WDG von den Verkostern besser bewertet als die Vergleichsvariante öko-Standard, bei der von einigen Prüfern eine untypische Alterung festgestellt wurde. Alle mit diesen zwei Weinen verglichenen Varianten wurden mit mehr als 1,5 Punkten bewertet. Variantenbedingte Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt. Aufgrund der hohen Alkoholgehalte und des starken *Botrytis*-Befalls wurden die Weine tendenziell etwas schlechter bewertet als im Vorjahr. Dies ist jedoch jahrgangsbedingt und nicht mit dem Einfluss eines Testproduktes zu begründen. Die Verkostung der Weine des Jahres **2007** erfolgte am 26.6.2008 innerhalb des Sensorik Panels der FA Geisenheim mit 20 Teilnehmern (Abb. 28). Als Vergleichsvarianten dienten die Versuchsglieder Folpan® 80 WDG und Cuprozin® Flüssig (3 kg/ha). Innerhalb aller Varianten wurden Qualitätszahlen von 2,2 bis 2,6 erreicht. Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt. Allen Weinen wurde eine durchschnittliche bis gute Qualität attestiert.

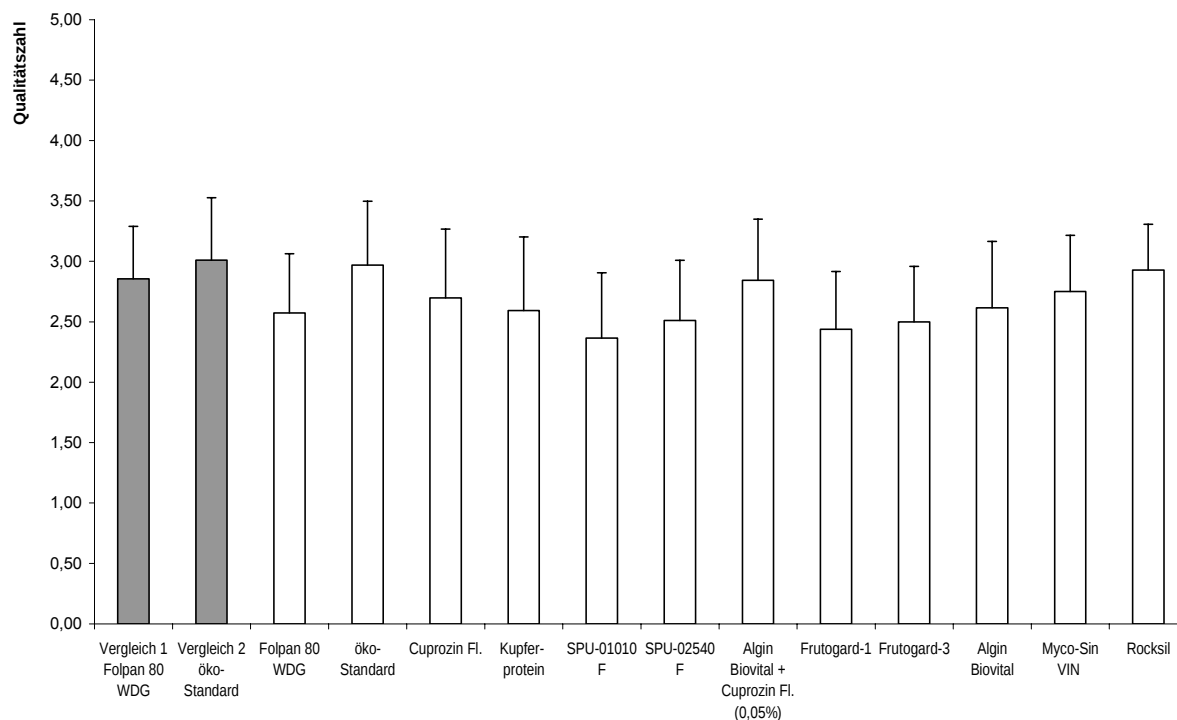


Abb. 26: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2005. Mit grauen Säulen sind die Vergleichsweine dargestellt. 15 Panelprüfbögen wurden ausgewertet. Dargestellt sind die Qualitätszahlen. Die Verkostung fand am 12. Mai 2006 statt.

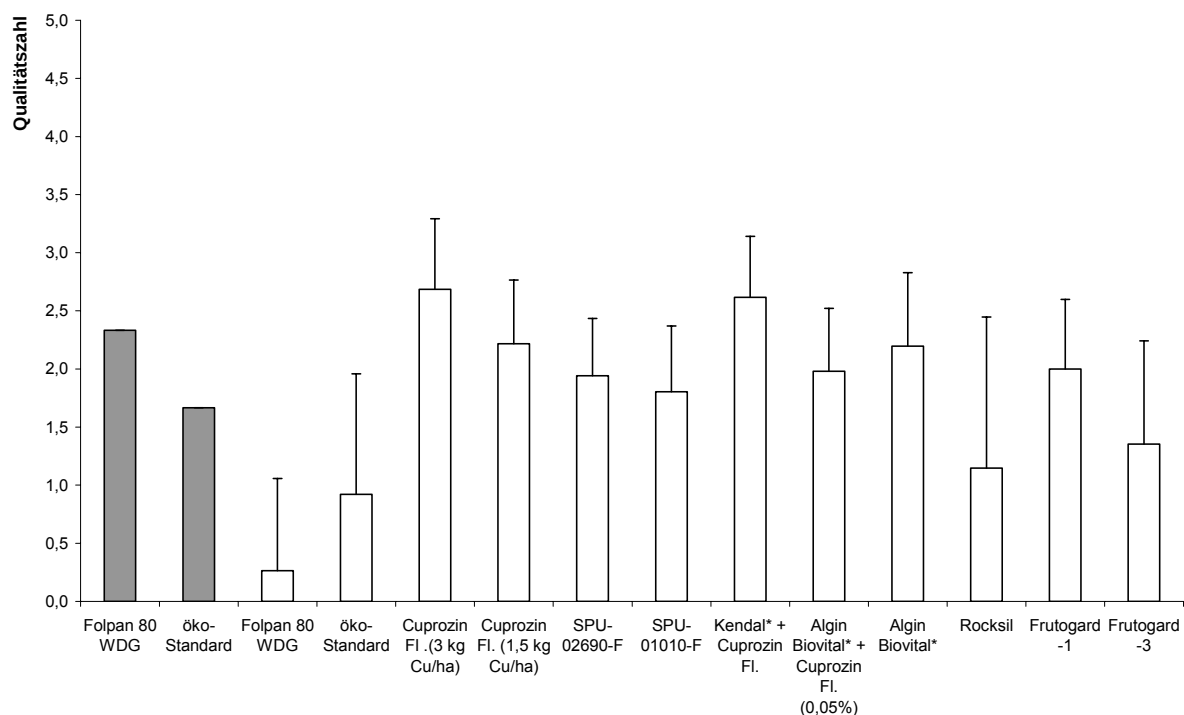


Abb. 27: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2006. Mit grauen Säulen sind die Vergleichsweine dargestellt. 17 Panelprüfbögen wurden ausgewertet. Dargestellt sind die Qualitätszahlen. Die Verkostung fand am 22. November 2007 statt.

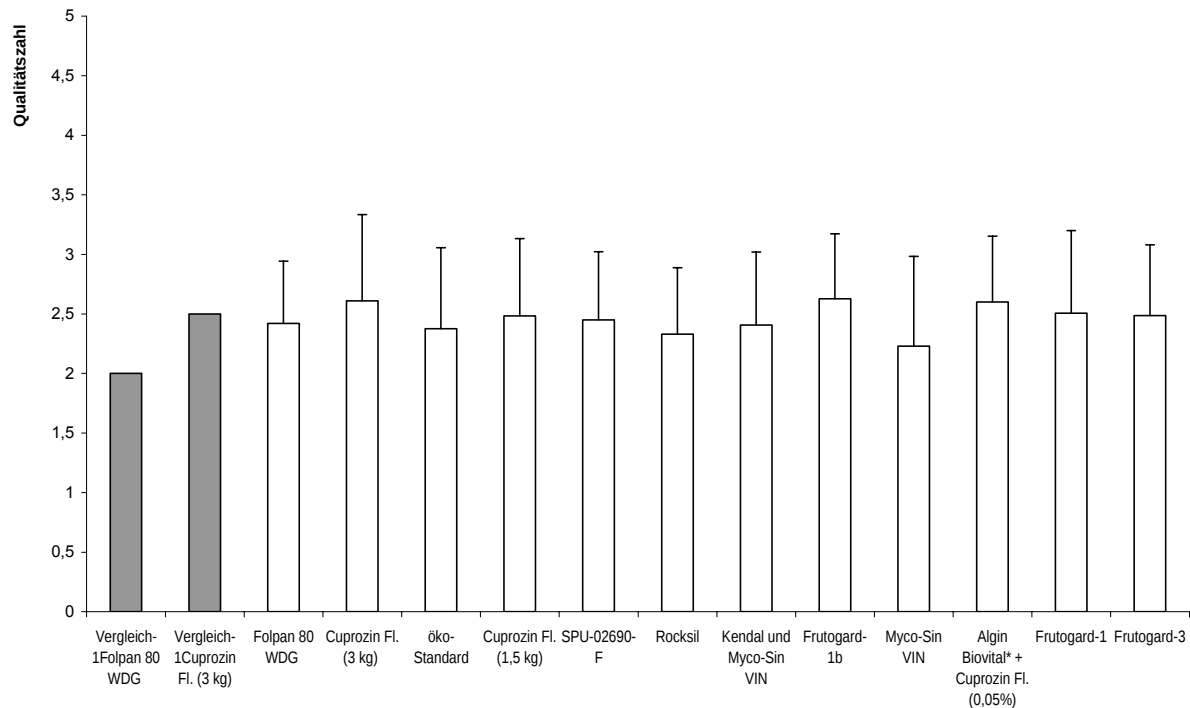
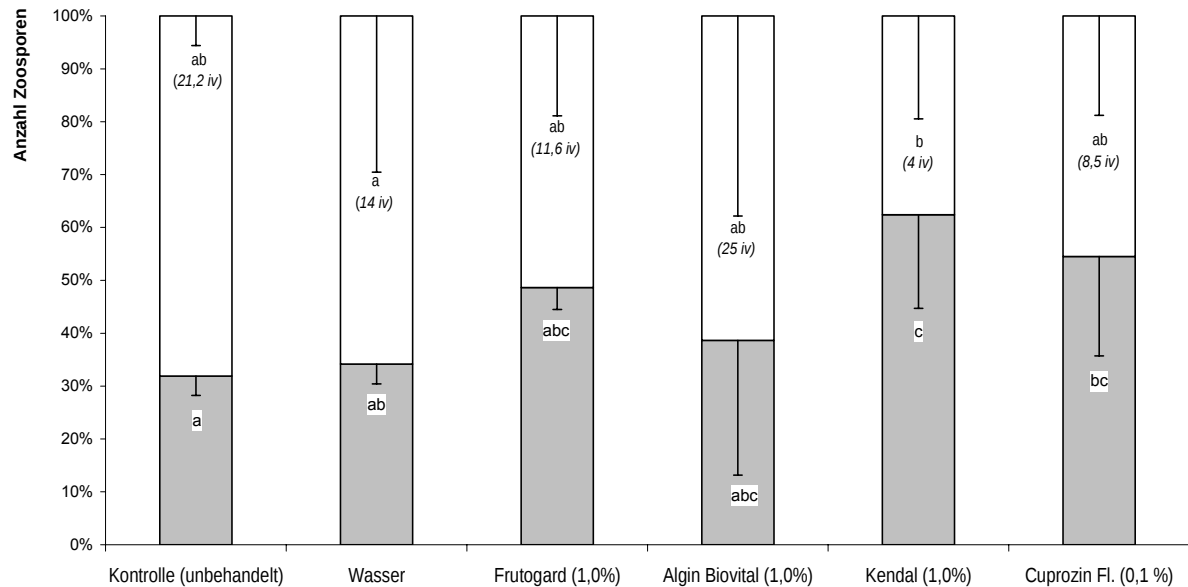


Abb. 28: Bewertung der Versuchsweine aus dem Jahr 2007. Mit grauen Säulen sind die Vergleichsweine dargestellt. 20 Panelprüfbögen wurden ausgewertet. Dargestellt sind die Qualitätszahlen. Die Verkostung fand am 26. Juni 2008 statt.

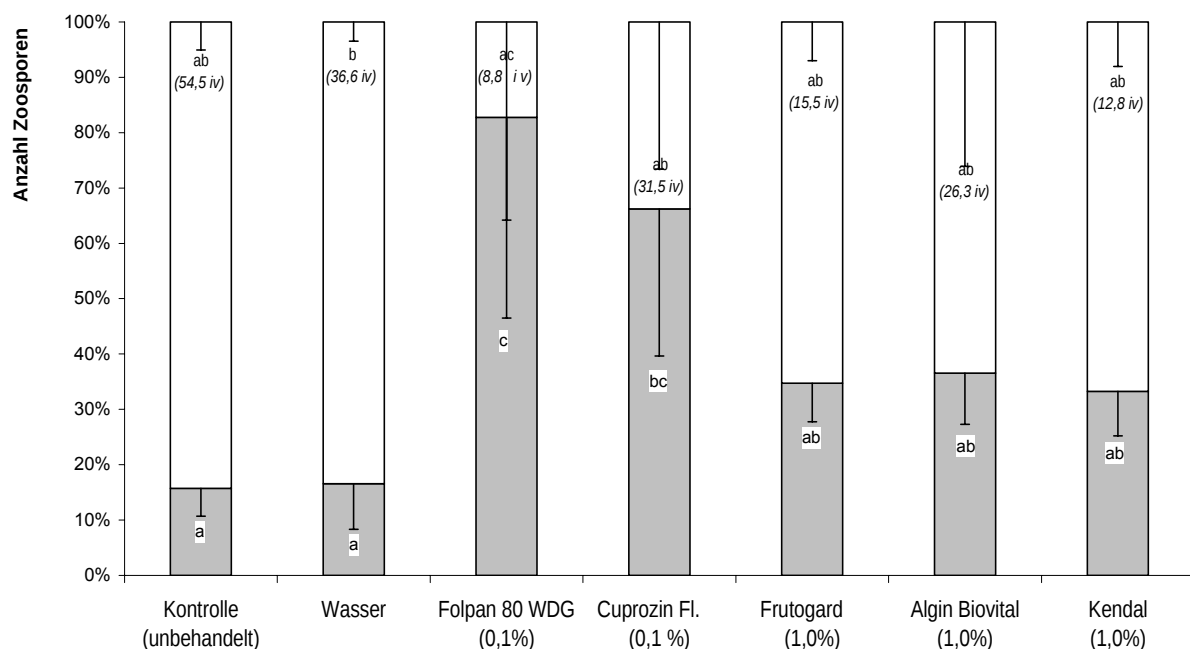
3.3 Einfluss von Pflanzenstärkungsmitteln auf die Sporangienkeimung *in vitro*

Um den Einfluss der Testsubstanzen auf die Entwicklung von *P. viticola* zu erfassen, wurde ein Blattscheibentest durchgeführt. Der erste Versuch fand Mitte Juli 2008 und der zweite Versuch Mitte August 2008 statt. Im ersten Versuch konnte im Falle des Testproduktes KENDAL ein signifikanter Unterschied bei den gekeimten Zoosporen und bei der Infektionsvesikel-Bildung (Penetrationshyphe) der Zoosporen im Vergleich zur Kontrolle festgestellt werden (Abb. 29). Der Effekt auf die Keimungsrate konnte im zweiten Versuch nicht bestätigt werden. Das Produkt Cuprozin® Flüssig wies eine geringere Anzahl der gebildeten Infektionsvesikel im Vergleich zur Kontrolle auf. Die anderen Produkte zeigten keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle auf. Im zweiten Versuch wurde eine zusätzliche „Kontroll-Variante“ Folpan® 80 WDG eingebaut, da hier eine Hemmung der Entwicklung von *P. viticola* sicher zu erwarten war. Die „Kontroll-Variante“ Folpan® 80 WDG wies bei allen drei Beobachtungsstufen signifikante Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle auf. Auch bei mit Cuprozin® Flüssig behandelten Topfrebenblättern wurde erneut eine deutlich geringere Anzahl von gekeimten Zoosporen und gebildeten

Infektionsvesikeln festgestellt. Bei der Anzahl von Infektionsvesikeln gab es auch bei Algin Biovital und KENDAL deutliche Unterschiede zur Kontrolle.



□ gekeimt
■ nicht gekeimt



□ gekeimt
■ nicht gekeimt

Abb. 29: Anteil der gekeimten und nicht gekeimten Zoosporen von *P. viticola*. Der Anteil der gebildeten Infektionsvesikel (iv) an den gekeimten Zoosporen ist als Zahl unterhalb der Signifikanz-Gruppierung angegeben. 1. Versuch: Beh/Inok. 11.07.2008 Auswerten: 14.07.2008 (3 dat); 5x 10000 Sporangien/ml; 2. Versuch: Beh/Inok. 15.08.2008 Auswerten: 19.08.2008 (3 dat); 2x 10000 Sporangien/ml; Es wurden pro Variante vier Blattscheiben und pro Blattscheibe je 100 encystierte Zoosporen ausgewertet. N = 400.

3.4 Gen-Expressions-Studien zum Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln und Kupfer

Zur Untersuchung der Expression von PR-Genen nach Behandlung sowie nach Inokulation mit dem Falschen Mehltau der Weinrebe wurde ein Versuch mit Topfreben der Sorte Müller-Thurgau im Gewächshaus durchgeführt. Der Zeitraum 1 bis 7 dat sowie 0,5 bis 5,5 dai wurde untersucht. Nach Beendigung der Probenahme erfolgte die Bonitur auf den Blattbefall mit *P. viticola*. Die einzelnen Werte sind in Tab. 22 dargestellt.

In den nicht behandelten und nicht inokulierten (nb/ni) Topfreben wurden die beiden PR-Gene 2 und 5 über den gesamten Versuchszeitraum (1 bis 7 dat sowie 0,5 bis 5,5 dai) im Vergleich zur Kontrolle (Probenahme vor der Behandlung am Tag eins des Experimentes) vermindert exprimiert. Das Maximum lag bei 3 dat und 2,5 dai (Abb. 30 a). Bei der Behandlung mit **Wasser** sind die hohen Werte beider Gene zum Zeitpunkt 1 dat auffällig. Aufgrund der hohen Standardabweichung muss vermutlich von einem Probeneffekt ausgegangen werden. Der alleinige Effekt einer Wasser-Behandlung in allen Produkten, die in Wasser gelöst sind, konnte nicht bestätigt werden. Ansonsten wurden die beiden untersuchten Gene bis einschließlich 5 dat weniger stark exprimiert. Erst bei der Probennahme 7 dat wurde eine leicht erhöhte Expression beider Gene festgestellt. Bei der β -1,3-Glukanase war eine leicht erhöhte Expression um das 0,7-fache (in Bezug auf die Kontrolle, die gleich null gesetzt wurde) 0,5 dai im Vergleich zur unbehandelten Probe 2 dat sowie der wasserbehandelten Probe 2 dat zu verzeichnen. Bei dem thaumatin-ähnlichen Gen konnte erst ab 2,5 dai eine leichte Erhöhung (0,3-fach) der Expression im Vergleich zur nb/ni Probe 2,5 dai festgestellt werden. Nach 5,5 dai war eine Erhöhung um das 3,5 – fache zu sehen. Bei PR-2 ist zu diesem Zeitpunkt nur eine 1,3-fache Erhöhung in Bezug auf die Kontrolle zu registrieren (Abb. 30 B). Bei der Behandlung mit dem Pflanzenstärkungsmittel **Frutogard®** (phosphonathaltiger Algenextrakt) konnte über den gesamten Versuchszeitraum eine erhöhte Expression der beiden Gene gegenüber der unbehandelten Variante verzeichnet werden. Der maximale Effekt der Behandlung konnte bei beiden Genen 3 dat beobachtet werden. Bei PR-2 wurde eine 5,3-fache und bei PR-5 eine 8,5-fache Erhöhung der Expression zur Kontrolle (nb/ni) 3 dat festgestellt. Ein Effekt der Inokulation mit *P. viticola* kann aufgrund der hohen Standardabweichung der Proben 0,5 dai nicht sicher belegt werden. Erst 1,5 dai kann eine Aussage getroffen werden. So konnte eine 1,0 bis 1,3-fache Erhöhung bei

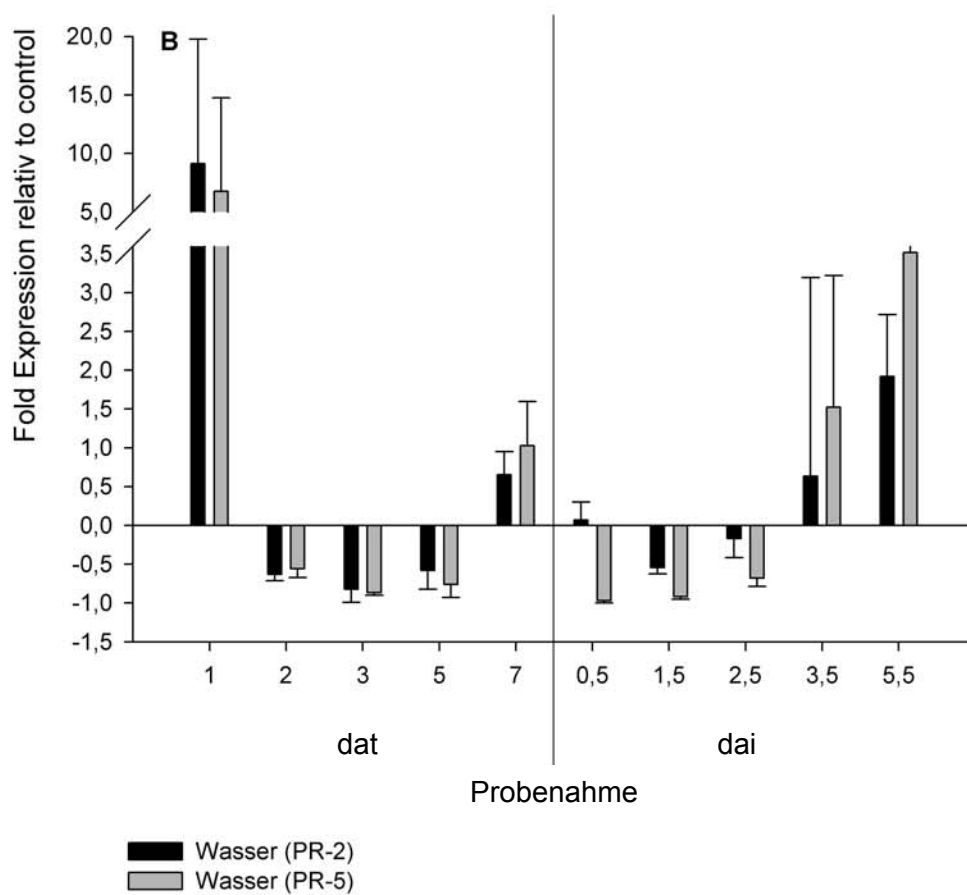
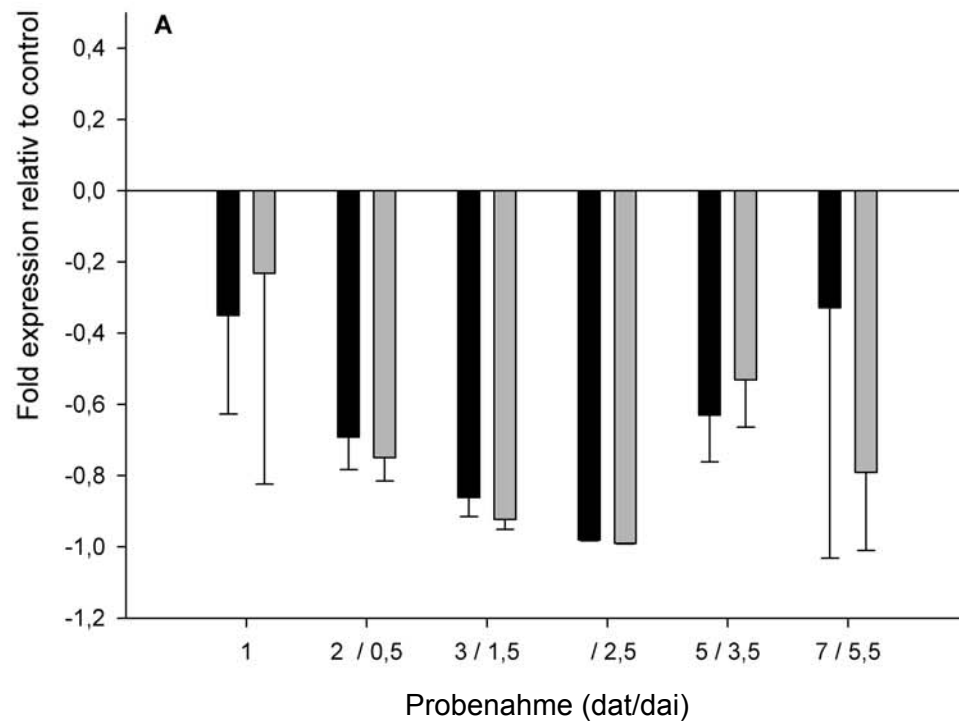
PR-2 sowie eine 3,1-fache Steigerung der Expressionsrate bei PR-5 1,5 dai im Vergleich zu den Proben der nb/ni und der inokulierten Wasserbehandlung beobachtet werden. Die höchste Expression konnte 2,5 dai bei beiden Genen festgestellt werden (Abb. 30 C). Der phosphathaltige Algenextrakt **Algin Biovital** bewirkte in den nicht inokulierten Pflanzen eine Erhöhung der Expression beider Gene. Das Maximum lag bei 3 dat und war um das 2-fache bzw. das 2,7-fache im Vergleich zu den Proben aus der nb/ni sowie aus der reinen Wasserbehandlung erhöht. Nach 7 dat konnte eine verminderte Expression beider Gene bestimmt werden. Die Expressionsraten lagen dann auf einem Niveau der nb/ni Proben. Die Inokulation bewirkte eine im Fall des PR-2-Gens 9,5-fache Expressionsrate in Relation zur nb/ni-Probe bzw. 8,6-fache Steigerung im Vergleich zur Wasser-Probe. Bei dem PR-5-Gen war die Reaktion etwas schwächer und lag bei 6,7-facher Erhöhung in Relation zu der nb/ni-Probe sowie zu den Wasser-Proben. Nach einem längeren Zeitraum nach der Inokulation unterschieden sich die beiden Gene dahingehend, dass das Maximum bei PR-2 mit einer 30-fachen Erhöhung (vgl. nb/ni bzw. Wasser) bei 2,5 dai und bei PR-5 bei 5,5 dai lag, das aber in Relation zu der nb/ni bzw. Wasser-Probe keine Erhöhung der Expression bewirkte. Bei Behandlung mit **KENDAL®** (Pflanzenextrakt der Luzerne) wurde direkt nach der Behandlung der Topfreben eine Erhöhung der Expression beider Gene beobachtet. Bei PR-2 handelt es sich dabei um eine 33,4-fache Erhöhung im Vergleich zur nb/ni-Probe und bei PR-5 um eine 3,1-fache. Anschließend war bei beiden Genen eine Reduzierung der Expression festzustellen, die im Falle von PR-2 am stärksten verlief. Nach der Inokulation mit *P. viticola* konnte ebenfalls bei beiden Genen eine um ca. das 2-fache erhöhte Expression im Vergleich zu den beiden Proben Kontrolle und Wasser verzeichnet werden. Das PR-2-Gen wurde um das ca. 7-fache nach 3,5 dai erhöht. Im Fall des Pflanzenschutzmittels **Cuprozin® Flüssig** (Wirkstoff: Kupferhydroxid) wurde erst 5 bzw. 7 dat eine deutliche Erhöhung der Expression der untersuchten Gene erfasst. Im Fall der β -1,3-Glukanase konnte eine Erhöhung der Expression um das 37-fache (vgl. nb/ni und Wasser) 5 dat, sowie um das 52-fache (vgl. nb/ni und Wasser) 7 dat festgestellt werden. Bei PR-5 lag die Erhöhung im Bereich des 3-4-fachen. Nach der Inokulation konnten also keine deutlichen Effekte beobachtet werden.

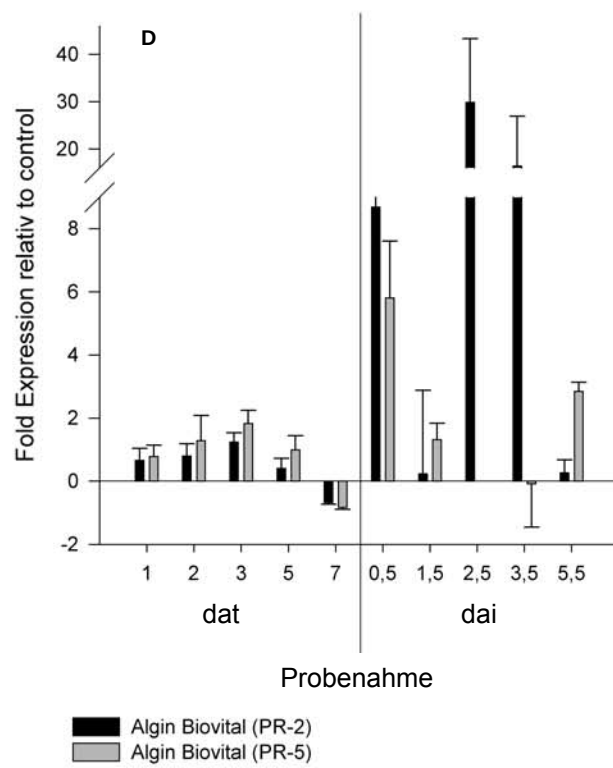
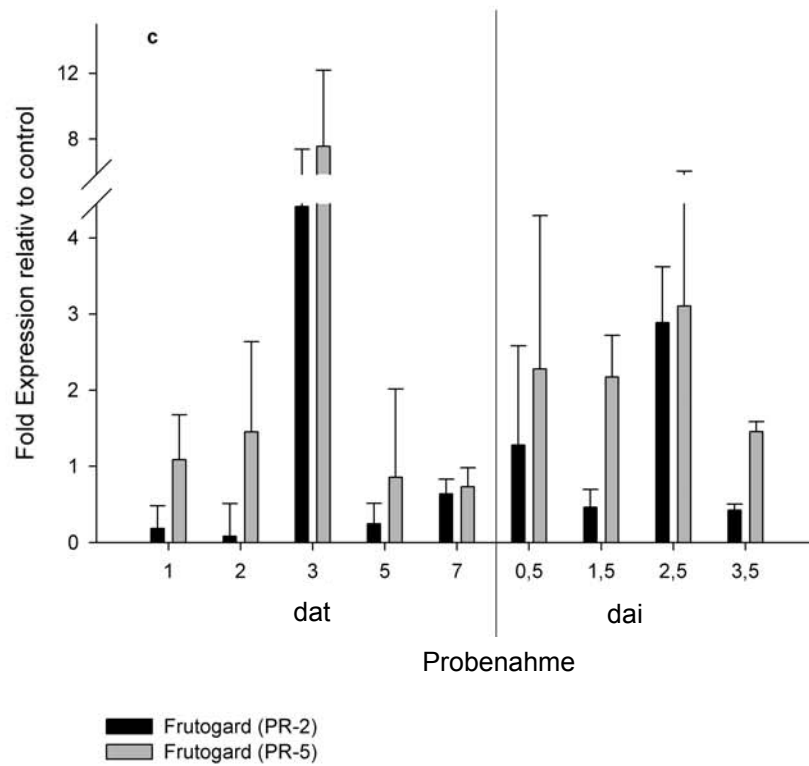
Tab. 22: Dargestellt ist die Befallsstärke von *P. viticola* an Blättern der Topfreben (cv. Müller-Thurgau) nach Beendigung des Experimentes zur Untersuchung der Gen-Expression. Die Bonitur fand 14 dat (12,5 dai) statt. MW = Mittelwert und StabW= Standardabweichung

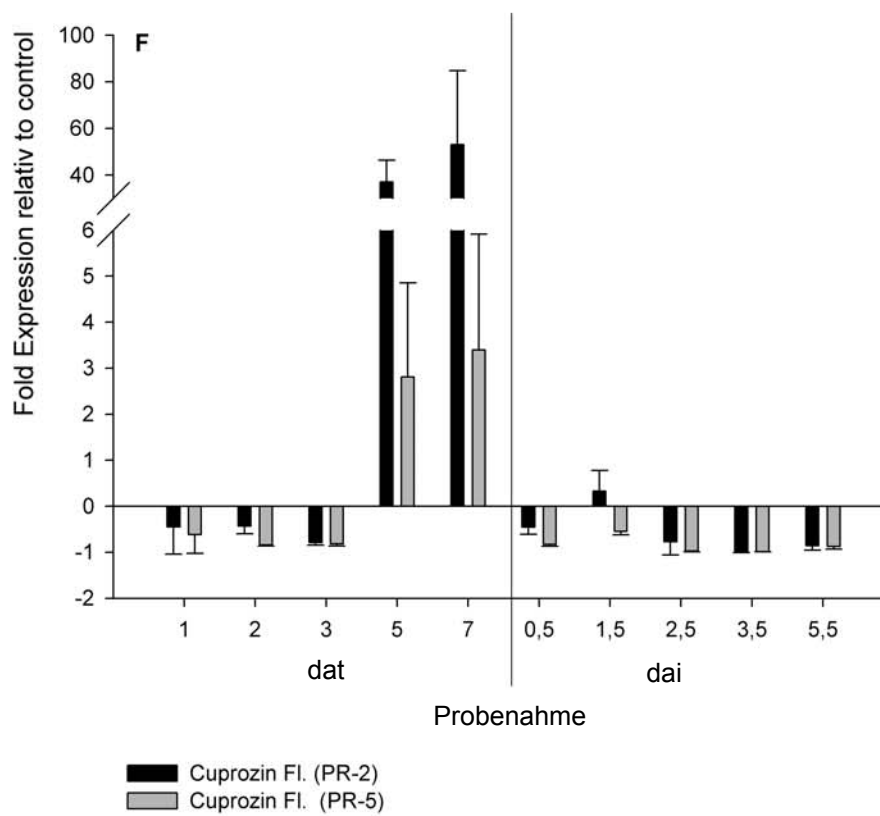
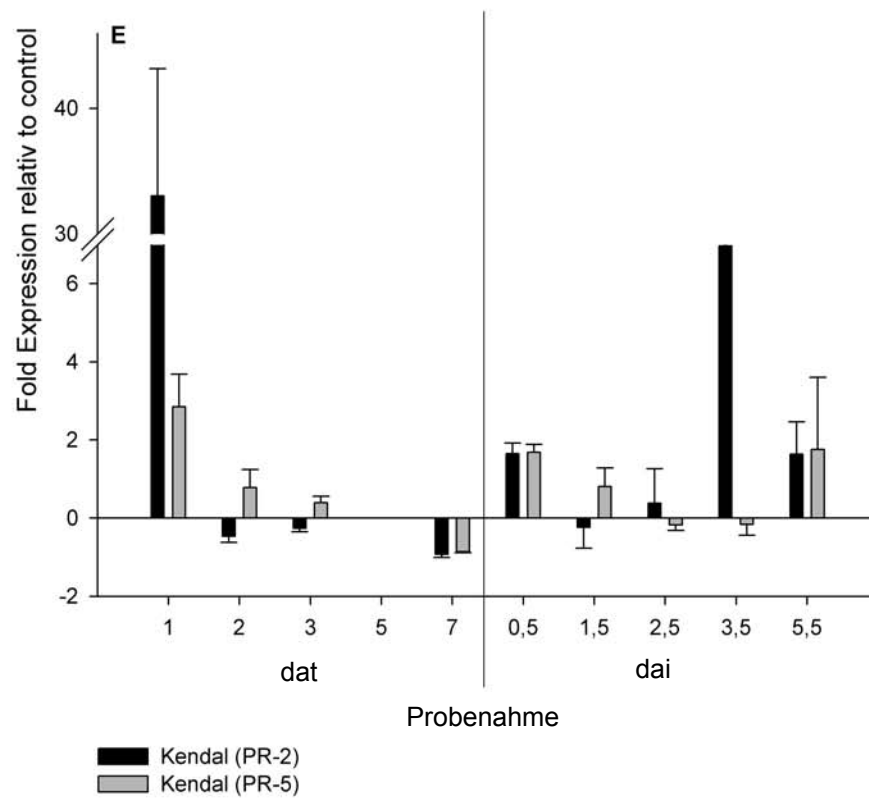
	unbehandelt/ nicht inokuliert	Wasser	Cuprozin Flüssig	Frutogard	Algin Biovital	KENDAL
MW	0,0	34,8	7,7	1,0	8,6	20,1
StabW	0	5,8	2,4	1,2	2,3	3,9
*		a	c	c	c	b

Auf den nächsten drei Seiten befinden sich die Ergebnisse der Genexpression.

Abb. 30: Expression von PR-2 und PR-5 an Topfreben cv. Müller-Thurgau in Abhängigkeit von der Behandlung sowie der Inokulation mit *P. viticola*. Die Probennahme erfolgte 1 bis 7 dat sowie 0,5 bis 5,5 dai. A: unbehandelt (nicht inokuliert), B: Wasser-Behandlung, C: Frutogard®-Behandlung, D: Algin Biovital-Behandlung, E: KENDAL-Behandlung und F: Cuprozin® Flüssig-Behandlung.







4 Diskussion

4.1 Regulierung von *Plasmopara viticola* mit Pflanzenstärkungsmitteln

Im Rahmen des Gewächshaus-Screenings sollte eine Alternative zur Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln für den ökologischen Weinbau gefunden werden. Einige Produkte (Pflanzenstärkungsmittel und Testprodukte natürlichen Ursprungs) wurden auf ihr Regulierungspotential gegenüber *P. viticola* geprüft. Die im deutschen Weinbau bedeutsamsten Weißweinsorten Riesling und Müller-Thurgau wurden bei diesen Untersuchungen verwendet.

Diese Arbeit trägt dazu bei, den Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln im Rahmen eines nachhaltigen *P. viticola*-Managements zu optimieren und den Einsatz von kupferhaltigen Produkten auf ein Minimum zu reduzieren.

Das Pflanzenstärkungsmittel **Algin Biovital** wies unter Gewächshausbedingungen sehr gute Regulierungsfähigkeiten gegenüber *P. viticola* auf. Durchgehend war die Wirkung des Produktes etwas schlechter als die von Frutogard®. Die beiden Produkte unterscheiden sich dahingehend, dass Algin Biovital Phosphat und Frutogard® Phosphonat enthält. Im Freiland hingegen zeigte Algin Biovital auch bei relativ geringem Befallsdruck keine ausreichende Regulierung des Falschen Mehltaus. Die Applikationsabstände betrugen zehn bis zwölf Tage, was eventuell für eine optimale Wirkung des Produktes zu lang war. Dies wird durch Gewächshausversuche bestätigt, die zeigen konnten, dass bei einer Inokulation der behandelten Topfreben 7 dat ein Wirkungsverlust vorliegt. Das Produkt zeigte bei einer Inokulation 1 dat und 3 dat einen 95 %igen bzw. 96 %igen Wirkungsgrad. Bei der um eine Woche verzögerten Inokulation verringerte sich die Wirkung auf 82 % (Tab. 14). Das Produkt wies in einem anderen Versuch eine Wirkung von 100 % bei Inokulation 1 dat auf, wohingegen die Wirkung auf 20 % bei Inokulation 5 dat sank (Tab. 16).

Allerdings wären kürzere Applikationsabstände kaum durchführbar und nicht für die Praxis zu empfehlen. Durch den Einsatz von Algin Biovital in Kombination mit Cuprozin® Flüssig im Freiland sollte der Reinkupfergehalt reduziert werden. Der Hintergrund dieser Strategie war es, die synergistische Wirkung des pflanzenstärkenden Produktes und des Kontaktfungizides zu nutzen. Die Kombination war etwas besser als die „solo“-Variante, dennoch war die erzielte Wirkung beider Varianten unter den hohen Befallsbedingungen des Jahres 2005 als „nicht ausreichend“ zu bezeichnen (Tab. 19-20). Die Überlegung, die Weinreben mit einer

ersten Applikation im BBCH-Stadium 13/14 mit dem Produkt zu behandeln, um mögliche Priming-Effekte zu nutzen, brachte allerdings keine Wirkungssteigerung unter Freilandbedingungen (Abb. 9). D.h. es wurde keine statistisch abzusichernde Verbesserung im Vergleich zur Kontrolle festgestellt. Im BÖL-Projekt 514-43.10/03OE572 (BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. 2008) konnte bei hohem Befallsdruck gezeigt werden, dass die Wirkung nicht ausreicht, um die Ertragssicherheit zu gewährleisten. Dass Pflanzenstärkungsmittel häufig bei erhöhtem Befallsdruck und anfälligen Sorten überfordert sind, ist bekannt (KÜHNE et al. 2006). Daher ist es wichtig, die Formulierung der Produkte weiter zu optimieren, um die Wirkung zu verbessern. Die Gewächshausversuche zur Regenstabilität haben gezeigt, dass bereits bei 18 mm Niederschlag ein Wirkungsverlust entsteht. Somit ist die geringe Wirkung unter Freilandbedingungen wahrscheinlich auf die unzureichende Regenstabilität der Formulierung zurückzuführen. Die Kombination von Algin Biovital mit dem Additiv proagro Netz- und Haftmittel zur Erhöhung der Regenstabilität zeigte im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ im Jahr 2008 bei sehr geringem Befallsdruck eine mittelmäßige Wirkung (Abb. 13), obwohl die Wirkung unter Gewächshausbedingungen als gut einzustufen war (Abb. 7).

Das phosphonathaltige Produkt **Frutogard®** zeigte in allen Versuchen unter Gewächshausbedingungen eine sehr gute Wirkung (Wirkungsgrad von 85 – 100 %, Tab. 12 - 16). Es lag meistens auf dem gleichen Signifikanz-Niveau wie das Vergleichsprodukt Folpan® 80 WDG. Im Gegensatz zu den meisten anderen geprüften Substanzen behielt es seine exzellente Wirkung auch zu den unterschiedlichen Inokulationszeitpunkten bei. In der ersten Versuchsserie (Tab. 14) zeigte sich die beste Wirkung bei einer Inokulation 3 dat. Dies deckt sich mit den Genexpressionsdaten. In der Versuchsserie im Jahr 2006 konnte auch eine gewisse kurative Leistung (Wirkungsgrad von 80 %) von Frutogard® an Topfreben festgestellt werden (Tab. 15). Die Beobachtungen der Arbeitsgruppe von KASSEMEYER (2003) am Weinbauinstitut Freiburg zeigten, dass 24 Stunden nach der Inokulation die Bildung der Haustorien beginnt. Eine Möglichkeit, die Entwicklung von *P. viticola* zu unterbinden, sei der Zeitpunkt an dem sich die Haustorien bildeten und die Parasitisierung der Wirtszelle beginnt, da laut Beobachtungen von KASSEMEYER (2003) in diesem Zeitraum die anfälligen Sorten empfänglich für die Resistenzinduktion seien. Die Applikation von Frutogard® 24 Stunden nach Inokulation könnte

also zur Unterbindung der Haustorienbildung geführt haben. Im Wesentlichen liegen nach KASSEMEYER (2003) mögliche Angriffspunkte für biogene Hemmstoffe bei dem Schlupf und der Encystierung der Zoosporen sowie bei der Ausbildung der Penetrationshyphe und deren Wachstum. Wohingegen keine Wirkung mehr nach der Ausbildung des substomatären Vesikels zu erwarten sei, da der sich Pilz durch ein Septum von der Sporenhülle an der Blattoberfläche getrennt habe. Eine weitere Möglichkeit, die Entwicklung von *P. viticola* zu unterbinden, sei der bereits angesprochene Zeitpunkt, an dem sich die Haustorien bilden und die Parasitisierung der Wirtszelle beginnt. In Untersuchungen von KIEFER et al. (2002) zeigte sich, dass lediglich 45 min bis anderthalb Stunden bis zum Schlüpfen der Zoosporen und zur Encystierung notwendig sind und ein bis zwei Stunden danach bereits die Penetrationshyphe gebildet wird. Daher müssen Pflanzenstärkungsmittel stets protektiv ausgebracht werden, um den einzelnen Stoffwechselwegen der IR ausreichend Zeit einzuräumen und einen optimalen Regulierungserfolg zu gewährleisten.

Für eine bessere Regenstabilität wurde im Jahr 2008 die Kombination mit den Additiven proagro Netz- und Haftmittel sowie mit Trifolio-S-Forte getestet. Aufgrund des relativ geringen Befallsdrucks im Jahr 2008 konnte keine aussagekräftige Bewertung erfolgen. Die Varianten ohne Additive (Frutogard-1 und -3) zeigten tendenziell eine bessere Wirkung (Abb. 13 - 14). Dagegen konnte im BÖL-Projekt 514-43.10/03OE572 (BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. 2008) bei einem hohen Befallsdruck gezeigt werden, dass die Kombination von Frutogard® bis BBCH 68 in Kombination mit Cuprozin® Flüssig (Frutogard-1) momentan eine wirkungsvolle Variante darstellt. In den in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnissen aus den beiden Versuchsweinbergen zeigte sich, dass die Wirkung der Frutogard®-Varianten 1 und 3 mit der Variante Cuprozin® Flüssig (3 kg Cu/ha, der maximalen Aufwandmenge im ökologischen Weinbau in Deutschland) vergleichbar waren. Die Wirkung beruht womöglich auf den Phosphonat-Bestandteilen, wie dies bereits in anderen Wirt-Pathogen-Interaktionen gezeigt wurde (REUVENI und REUVENI 1995; REUVENI et al. 1998; BÉCOT 2000; KOFOAT und FISCHER 2007). Es ist anzunehmen, dass eine Wechselwirkung mit den anderen Bestandteilen des Produktes, den pflanzlichen Aminosäuren und den Alginaten, die beobachtete Wirkung verstärkt haben könnte. In Untersuchungen an Gemüsearten (Zwiebel, Kopfsalat, Rettich und Gurke) zur Eindämmung von Falschen Mehltau-Erkrankungen (*Peronospora destructor*,

Peronospora parasitica, *Bremia lactucae* und *Pseudoperonospora cubensis*) konnten mit einigen Produkten der Kategorie Pflanzenstärkungsmittel unter Gewächshausbedingungen gute Ergebnisse erzielt werden. In Freilandversuchen hingegen konnte nur mit dem Einsatz von Fungiziden oder mit dem Produkt Frutogard® marktfähige Ware produziert werden (KOFOAT und FISCHER 2007). Bei Untersuchungen mit Phytogard® (58 % K_2HPO_3 ; 7,0 -10,0 ml/L) konnte gezeigt werden, dass die Wirkung besser war als die von BTH (0,1 mg/ml) (BÉCOT 2000). Allerdings wiesen die Pflanzen (Blumenkohl), die mit BTH behandelt waren, HR-Symptome auf, die mit Phytogard® behandelten nicht. BÉCOT (2000) konnte in seinen Versuchen keine systemische Wirkung des Produktes Phytogard® nachweisen. Die Wirkung der Behandlung mit Phytogard® hielt in seinen Untersuchungen 15 Tage nach Applikation an. Bei der Anwendung von phosphonathaltigen Produkten ist eine Applikation aufgrund möglicher Rückstände im Most und Wein nur bis BBCH 68 (abgehende Blüte) zu empfehlen (KAUER et al. 2005). Daher wurde Frutogard® in allen Varianten der Exaktversuche nur bis BBCH 68 geprüft und anschließend Cuprozin® Flüssig appliziert.

Die am besten untersuchte Substanz der Kategorie Resistenzaktivatoren ist BION® (Acibenzolar-5-methyl, BTH) (OOSTENDORP et al. 2001). REUVENI et al. (2001) konnten bei Kombinationen von BABA mit BION® gute Wirkungen gegenüber *P. viticola* finden. Im Rahmen des REPCO-Projektes wurde BION® in Gewächshaus- und Freilandversuchen an Weinreben geprüft. In den Gewächshausversuchen zeigte sich eine gute Wirkung, wenn BION® eine Woche vor der Inokulation appliziert wurde. Unter Freilandbedingungen wies BION® bei einem wöchentlichen Spritzintervall bei insgesamt 14 Applikationen und zusätzlicher dreimaliger Kupferanwendung im Zeitraum Blüte eine Wirkung von 88 % (Befallsstärke) und 58 % (Befallshäufigkeit) an Blättern auf. In den Kontroll-Parzellen lag der Befall bei 59,3 % (Befallsstärke) und 99 % (Befallshäufigkeit). Die Wirkung der BION®-Anwendung war mit der reinen Kupferanwendung vergleichbar (DAGOSTIN et al. 2006). In den Untersuchungen am Fachgebiet Phytomedizin im Jahr 1997 zeigte BION® bei der Regulierung von *Erysiphe necator* keine zufrieden stellende Wirkung (BAUS, mündliche Mitteilung 2008). Das Produkt BION® wird nicht mehr von der Firma Syngenta Agro GmbH vertrieben und wäre nicht mit den Richtlinien des ökologischen Weinbaus konform, folglich wurde es nicht in die Untersuchungen integriert.

Die beiden Tonerdepräparate (Gesteinsmehle) **ROCKSIL** und **Myco-Sin[®] VIN** wiesen in allen Versuchen im Gewächshaus und in Exaktversuchen sehr gute Regulierungsfähigkeiten gegenüber *P. viticola* auf. Bei einer Versuchsserie wurde an den Pflanzen in der Kontrolle eine Befallsstärke von 74,2 % bonitiert, in diesem Fall zeigten beide Produkte lediglich eine Wirkung von 46 % auf (Tab. 12). ROCKSIL hatte bei einer Inokulation 3 dat einen 92 %igen Wirkungsgrad, wohingegen bei Inokulation 7 dat der Wirkungsgrad nur 48 % betrug (Tab. 14). Im Freiland waren beide Produkte in ihrer Wirkung mit den kupferhaltigen Produkten vergleichbar. Dies zeigten auch Versuche von PATZWAHL und KOPF (1998), in denen Myco-Sin[®] VIN mit kupferreduzierten Varianten vergleichbar war. In Untersuchungen von WOHLFARTH (1992) erwies sich Ulmasud (aluminiumhaltiges Tonmineral) bei der Regulierung des Befalls an den Trauben als etwas schlechter als Cuproxat flüssig (2,08 kg Kupfer), wohingegen an den Blättern die Wirkung von Ulmasud überwog. HOFMANN (1999, 2002) und WOHLFARTH (1995) konnten belegen, dass Tonerdepräparate (Ulmasud, Myco-Sin) in ihrer Wirkung ebenfalls mit den kupferhaltigen Prüfmitteln vergleichbar sind. Zusammengefasst war ROCKSIL in den Versuchen der vorliegenden Arbeit meist signifikant besser als die Kontrolle und war in seiner Wirkung mit den Prüfmitteln Cuprozin[®] Flüssig und Folpan[®] 80 WDG vergleichbar. ROCKSIL führte mit einer Aufwandmenge von 16 kg/ha im Jahr 2007 zu phytotoxischen Schäden (Abb. 10). Bei Versuchen zur UV-Beständigkeit und Regenstabilität zeigte Myco-Sin[®] VIN starke Defizite. Der Formulierungshilfsstoff proagro Netz- und Haftmittel verbesserte jedoch die Wirkung. Die Kombination wies im Freiland eine signifikant bessere Wirkung als die Kontrolle auf. In Untersuchungen am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL, Schweiz) wurden die beiden Tonerdepräparate Myco San und Myco Sin geprüft. („Vorgänger“ von Myco-Sin[®] VIN). In diesen Versuchen konnte bestätigt werden, dass eine enge Korrelation der auf der Blattoberfläche gefundenen Al³⁺-Ionen und den Wirkungsgraden vorliegt (TAMM et al. 2004). Laut diesen Untersuchungen muss eine Belagsschicht von 2 µg/cm² an Al³⁺-Ionen vorhanden sein, um eine Wirkung von 75 % zu erzielen. Darüber hinaus wurde ebenfalls eine geringe Regenstabilität der Produkte nachgewiesen, die bei inhomogener Applikation der Produkte zu Wirkungsverlusten führen kann (TAMM et al. 2004). Somit sind die Aluminium-Ionen die hauptwirksamen Bestandteile dieser Produkte, die im Tonerdemineral (Aluminiumsilikate) gebunden sind. Bereits 1940 wurde die Wirkung von Al-Ionen zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus von

WILHELM untersucht. Bei Untersuchungen, die mit einer Mischung aus Kupfer- und Aluminiumionen durchgeführt wurden, musste allerdings festgestellt werden, dass die Wirkung hauptsächlich von den Cu-Ionen herrührte (WILHELM 1940).

Myco-Sin[®] VIN wurde in Kombination mit KENDAL im Freiland geprüft. Diese Kombination erwies sich am Standort „Mäuerchen“ bei dem geringen Befallsdruck im Jahr 2007 als die Variante mit dem geringsten Wirkungsgrad, wohingegen Myco-Sin[®] VIN „solo“ durchaus mit Frutogard[®] und Cuprozin[®] Flüssig vergleichbar war (Abb.11). Am Standort „Kellersgrube“ konnte belegt werden, dass die solo-Anwendung von Myco-Sin[®] VIN nur tendenziell eine bessere Wirkung als die Kombination mit KENDAL hatte (Abb. 12). In Gewächshausversuchen bei einer Inokulation 7 dat wies die Kombination beider Produkte ebenso wie ROCKSIL einen Wirkungsgrad von 50 % auf (Tab. 14). In diesem Versuch war die Wirkung mit Cuprozin[®] Flüssig vergleichbar, jedoch nicht mit dem Produkt KENDAL^{TE}.

Das Testprodukt **KENDAL** ist eine Kombination aus Oligosacchariden (Zellwandfragmenten), Glutathion und einem Pflanzenextrakt der Luzerne *Medicago sativa* (Fabaceae). Das Produkt zeigte allein angewendet sehr schwankende Wirkungsgrade auf. Daher wurde es in Kombination mit Myco-Sin[®] VIN, Cuprozin[®] Flüssig und in einer Formulierung mit KENDAL^{TE} geprüft, die Kupferoxychlorid enthielt. Das Produkt KENDAL^{TE} wurde nicht in den Freilandversuchen geprüft, da es noch nicht in Deutschland zugelassen war und die Zulassung von kupferoxychloridhaltigen Produkten als ungewiss anzusehen ist. Die Wirkung der Kombination mit Myco-Sin[®] VIN wurde zuvor besprochen. Die Kombination mit Cuprozin[®] Flüssig stellte sich im Jahr 2006 bei einem niedrigen Befallsdruck von *P. viticola* am Standort „Kellersgrube“ als „ausreichend“ dar, obwohl KENDAL bereits im BBCH-Stadium 13/14 angewendet wurde (Abb. 9). In Untersuchungen von KOFOAT und FISCHER (2007) an *Allium cepa* (Zwiebel) mit *Peronospora destructor* im Gewächshaus konnte bei einer protektiven Behandlung mit KENDAL sowie mit Myco-Sin eine Wirkung zwei Wochen nach der Inokulation festgestellt werden. Dieser Effekt war drei Wochen nach der Behandlung nicht mehr zu erkennen. In den Freilanduntersuchungen konnte im Fall von Myco-Sin keine Wirkung mehr beobachtet werden. NONAKA (1985) konnte in Versuchen mit *Trichoderma* sp. zeigen, dass *Medicago sativa* mehrere Saponine besitzt, die aufgrund der Aglykone antifungale Wirkung aufwiesen. HUHMAN

und SUMNER (2002) wiesen 15 verschiedene Saponine in *Medicago sativa* und 27 Saponine in *Medicago truncatula* nach.

In den Untersuchungen dieser Arbeit wurde ein weiterer saponinhaltiger und phenolhaltiger Pflanzenextrakt geprüft. Der Extrakt der indischen **Waschnuss** (*Sapindus mukorossi*) zeigte im Gewächshaus hervorragende Wirkungsgrade von 100 % gegen *P. viticola* auf. MOLITOR (2009) konnte unter Gewächshausbedingungen ebenfalls eine sehr gute Wirkung gegenüber der Schwarzfäule an Weinreben (*Guignardia bidwellii*) aufzeigen. Bemerkenswert ist, dass ein Extrakt gleichermaßen gegen einen Oomyceten und einen Ascomyceten wirkt. Die Erfahrungen mit anderen „Alternativen“ in den Jahren 2005 bis 2007 zeigten, dass die Wirkung im Freiland oft nicht ausreichend war, um den Befall einzudämmen (Abb. 9-12 und Tab. 19-20). Daher wurde versucht, mit Additiven diesem Wirkungsverlust im Vorfeld entgegenzuwirken. Die Mischung Waschnuss mit Nu-Film®-P, die sich im Gewächshaus als die beste Kombination darstellte, zeigte im Freiland an beiden Standorten bei einem geringen Befallsdruck von *P. viticola* nur eine geringe Wirkung (Abb. 13-14). Die Kombination Waschnuss mit Nu-Film®-P führte als einziges Testprodukt zu keiner Befallsminderung gegenüber der Kontrolle. Laut Produktbeschreibung von INTRACHEM BIO Deutschland GmbH & Co. KG (Bad Camberg) bewirkt die Zugabe von Nu-Film®-P eine bessere Verteilung, Haftung und Regenfestigkeit der Spritzbrühe, indem sich ein wasserfester Film bildet und dadurch die Aufnahme ins Blattgewebe beschleunigt wird. In dem Gewächshausversuch zeigte Nu-Film®-P keine Wirkung gegen *P. viticola* (Abb. 7b). Wahrscheinlich waren die natürlichen Regenereignisse (Anhang-Tab. 8 und 9) intensiver und durch das Lösen und wieder Antrocknen des Spritzbelages kam es zu dem beobachteten Wirkungsverlust. Bei Versuchen mit *Guignardia bidwellii* im Freiland am JKI Bernkastel-Kues konnte dagegen mit der Kombination Waschnuss und Netzschwefel bei einem sehr hohen Befallsdruck eine gute Wirkung erzielt werden (MOLITOR UND LOSKILL mündliche Mitteilung 2008). Die Wirkung des Auszuges von *Sapindus mukorossi* kann auch in der besseren Wirkstoffverteilung („Spreitung“) als natürlichem Netzmittel liegen, da die Blattoberfläche nach der Applikation vollständig mit dem Testprodukt bedeckt war. Somit konnten möglicherweise die Netzschwefelpartikel besser auf der Blattoberseite verteilt werden. Für *P. viticola* müsste nun geprüft werden, ob dies auch für Cuprozin® Flüssig oder andere Produkte auf der

Blattunterseite gilt. Vor diesem Hintergrund könnte der Waschnuss-Extrakt als Additiv Anwendung finden.

Die gute Wirkung (Wirkungsgrad > 98 %) von *Sapindus mukorossi* unter Gewächshausbedingungen (Tab. 11) beruht womöglich auf der Wechselwirkung zwischen Saponine und Phenolen. Eine Analyse auf Gesamtphenole ergab 69,4 mmol/kg Trolox TEAC⁶ (antioxidative Kapazität) bzw. 5,9 g/kg Gesamtphenol (Folin's phenol reagent). Diese Werte entsprechen den Gehalten, die in Schwarzen Johannisbeeren gefunden wurden (POKORNY 2005). Die Früchte von *Sapindus mukorossi*, die Waschnüsse (engl. soap nuts), enthalten Saponine, die zu den Triterpen-Saponinen gehören (HUANG et al. 2008). Der Name Saponin stammt von dem lateinischen Wort *sapo* (Seife) ab, da Saponin-Moleküle mit Wasser vermischt einen seifenartigen Schaum bilden (VINCKEN et al. 2007). Saponine wurden bisher nur in Pflanzen gefunden. Dort spielen sie eine wesentliche Rolle bei der präformierten Abwehr gegenüber Pathogenen (vgl. 1.4.). Neben Saponinen können in Pflanzen auch Lactone (*Rosaceae*), Phenolderivate (Apfel), cyanogene Glykoside (*Rosaceae*), Acetophenone (Fichte) oder Stilbene (Weinrebe) gebildet werden. Die Saponine der Pflanzen Hafer (Avenacin), *Cyclamen persicum* (Cyclamin), Tomate (α -Tomatin) und der Kartoffel (α -Solanin) sind bisher sehr gut untersucht worden. Saponine sind Glykoside mit unterschiedlichen Aglykonen, die man in Triterpen-Saponine (Avenacin, Cyclamin) und alkaloidische Saponine (α -Tomatin, α -Solanin) unterteilt. Bei den Saponinen ist die monodesmosidische Form die fungitoxische Komponente. Die bidesmosidische Form kommt in den pflanzlichen Vakuolen vor und ist nicht toxisch. Erst nach der Zuckerabspaltung durch die β -Glukosidase wird diese Form toxisch. Einige Pathogene (*Gaeumannomyces graminis* var. *avenae*) besitzen Enzyme (saponin detoxifying enzymes), die die Zuckergruppierung am C₃-Atom abbauen und damit die aktiven Formen deaktivieren können (ELSTNER 1996; OSBOURN 1996). In Untersuchungen von BAHRAMINEJAD et al. (2008) an *Avena sativa* zeigte sich, dass nur die aktive, antifungale Form 2,6-desglucoavenacoside B eine Wirkung auf das Pilzwachstum von *Pyrenophora* hat. Die beiden Vorstufen Avenacoside A und B sowie 2,6-desglucoavenacoside A wiesen hingegen nur geringe Wirkung auf. Die toxische Wirkung der Saponine beruht auf der Reaktion der Saponine mit den Sterinen der Zellmembran des Pilzes. Dabei entsteht ein Steroid-Sterin-Komplex. Die Folge dieser Reaktion sind Poren in der Membran und der

⁶ TEAC = Trolox Equivalent Antioxidative Capacity.

Verlust der Integrität der Pilzzelle (ELSTNER 1996; OSBOURN 1996). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass Saponine aufgrund ihrer membranauflösenden Einwirkung eine Wirkung auf Pilze haben können (OSBOURN 1996). Saponine sind gegenüber Oomyceten wirkungslos, da diese keine Sterole in den Zellmembranen besitzen (STRANGE 2003; OSBOURN 1996). In *in vitro*-Versuchen mit *Pythium* und *Phytophthora* wurden dem Nährmedium Sterole zugegeben, die von den beiden Oomyceten aufgenommen wurden. Dies führte zu einer erhöhten Sensitivität gegenüber Saponinen (SCHLÖSSER 1972 zit. nach OSBOURN 1996). Die Wirkung des Waschnuss-Extraktes unter Gewächshausbedingungen kann somit nicht allein von den Saponinen herrühren, sondern könnte in der Wechselwirkung der Phenole mit den Saponinen und der seifenartigen Eigenschaft der Saponine begründet sein.

Das Testprodukt **TIMOREX** von Biomor Ltd. enthält 66 % Teebaumöl, ein ätherisches Öl aus *Melaleuca alternifolia*. Es war in seiner Effektivität gegen *P. viticola* unter Gewächshausbedingungen an Topfreben deutlich besser als Algin Biovital oder KENDAL (Tab. 13). Des Weiteren wies das Produkt in den durchgeführten Gewächshausversuchen eine bessere Wirkung als Frutogard® auf. Dies deckt sich mit den Versuchen von REUVENI et al. (2005), in denen durch Einsatz einer 0,5 %igen Emulsion eine komplette Befallsfreiheit erzielt werden konnte. Daher wurde das Teebaumöl in einem Freilandversuch 2006 getestet. Bei dem relativ geringen Befallsdruck stellte sich diese Variante als die Schlechteste dar, die sich von der Kontrollparzelle weder visuell noch statistisch unterscheiden ließ. Obwohl das Produkt bereits in einer vorgezogenen Applikation im Drei-Blatt-Stadium ausgebracht wurde, um einen möglichen Priming-Effekt zu nutzen, war die Wirkung nicht ausreichend (Abb. 9). Bei Freilanduntersuchungen in Israel erwies sich das Produkt bei einer Befallshäufigkeit von 62,5 % in der Kontrolle mit einer Wirkung von 74 % sogar etwas besser als Kocide (53,8 % Kupferhydroxid), das lediglich eine Wirkung von 66 % aufwies (REUVENI et al. 2005). In Untersuchungen in Australien zeigte TIMOREX eine Wirkung (Befallsstärke an Blättern in der Kontrolle 30 %), die mit der Kupferbehandlung vergleichbar war (CRISP et al. 2006). In Israel und Australien herrschen andere klimatische Bedingungen (weniger Niederschlag), so dass die bessere Wirkung in den Freilanduntersuchungen vermutlich auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen im Vergleich zu Geisenheim zurückzuführen ist. Allerdings waren die Niederschlagsereignisse im Jahr 2006 im Zeitraum

Mitte Mai bis Mitte August gering, dass dies nicht der einzige Grund für die unzureichende Wirkung sein kann. Infolgedessen könnten neben den Formulierungseigenschaften (Regeninstabilität) auch die unterschiedlichen Sorten und die Standortunterschiede weitere Gründe für die Wirkung sein.

Der Grund für die unzureichende Wirkung einiger Pflanzenstärkungsmittel liegt u. a. in der Beschaffenheit der Blatt- sowie der Traubenoberfläche und dem lipophilen Charakter der Kutikula, der eine gleichmäßige Benetzung und damit eine homogene Wirkstoffverteilung verhindert (MOHR et al. 2008). Demzufolge muss das richtige Additiv zwischen Blatt- bzw. Traubenoberfläche und Produkt gefunden werden. Die momentan für den ökologischen Weinbau zur Verfügung stehenden drei Formulierungshilfsstoffe Nu-Film®-P, ProFital fluid und Trifolio S-forte (WILBOIS et al. 2008) sind nicht immer das richtige „Bindeglied“ für das jeweilige PStM. Die einzelnen Komponenten der Testprodukte sind nicht bekannt, so dass mögliche negative Beeinflussungen durch Zugabe von Additiven nicht ausgeschlossen werden können.

DITZER (2002) fand in ihren Untersuchungen an Topf-Apfelbäumen und dem Kontaktwirkstoff Tolyfluanid heraus, dass bei Nieselregen (8-25 mm Niederschlag) 55 - 62 % des Wirkstoffes abgewaschen wurde. Bei den Versuchen unter Gewächshausbedingungen an Topfreben mit simulierten Niederschlägen (18 mm) konnte bei allen Testprodukten ein Wirkungsverlust festgestellt werden (Abb. 7). Darüber hinaus konnte bei DITZER (2002) gezeigt werden, dass schon Tau die Regenfestigkeit des in ihren Untersuchungen geprüften Kontaktfungizides herabsetzte. Generell besteht im Frühjahr und Sommer bei dem stärksten vegetativen Wachstum und häufigen Starkregenereignissen (Gewitter) auch die höchste Infektionsgefahr mit *P. viticola*. Daher ist es unabdingbar, regenstabilisierende Formulierungen für die jeweiligen Pflanzenstärkungsmittel zu finden.

Mithilfe des Prognosesystems Öko-Symphit für den ökologischen Kartoffelanbau wird der optimale Applikationstermin und die genaue Kupfermenge vorhergesagt und eine Minimierung der Reinkupfermenge ermöglicht (KEIL et al. 2008). Denkbar wäre diese Vorhergehensweise auch für den ökologischen Weinbau. Dort müssen mehrere Pflanzenschutzmaßnahmen gleichzeitig durchgeführt werden, so dass eine Mischbarkeit der Produkte gegeben sein muss. Dies ist im Bereich der so genannten Alternativen oft nicht gegeben. So lassen sich beispielsweise die „Schwefel-Alternativen“ auf Hydrogenkarbonat-Basis nicht mit den „Kupfer-Alternativen“ auf

Tonerde-Basis mischen. Diese Unwägbarkeiten und die epidemiologischen Daten der beiden Hauptschaderreger *Erysiphe necator* und *P. viticola* müssten gemeinsam berücksichtigt und prognostiziert werden, um einen optimalen Pflanzenschutz im ökologischen Weinbau zu ermöglichen. Die Praxis benutzt die vorhandenen Prognosemodelle für *P. viticola* bisher nur für den Start der Pflanzenschutzmaßnahmen. Die weiteren Applikationen finden in einem regelmäßigen Turnus statt (FADER, mündliche Mitteilung 2008).

Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Bedarf an der Optimierung der Formulierung der geprüften Testprodukte besteht. Das Produkt Frutogard® zeigte die beste Wirkung aller geprüften Testprodukte, kann jedoch aufgrund der Rückstände in Most und Wein nur bis zur abgehenden Blüte (BBCH 68) angewendet werden. Aufgrund der Schwächen einiger Testprodukte (Algin Biovital, KENDAL, Myco-Sin® VIN, ROCKSIL, TIMOREX und Waschnuss) bei erhöhtem Befallsdruck kann noch keine Empfehlung für einen kupferfreien Pflanzenschutz im ökologischen Weinbau ausgesprochen werden. Frutogard®, Myco-Sin® VIN und ROCKSIL stellen eine gute Alternative für Kupfer im Vorblüte-Bereich dar. Nach der Blüte kann momentan nur die Anwendung von Myco-Sin® VIN und ROCKSIL empfohlen werden. Für eine Anwendung von ROCKSIL müsste zunächst eine Listung als PStM oder aber eine Zulassung als PSM erfolgen.

Somit besteht weiterhin Forschungsbedarf, eine situationsbezogene, kupferfreie Anwendungsempfehlung zu erarbeiten, um eine optimierte Wirkungssicherheit zu erreichen. Ein 40 %iger Befall stellt den wirtschaftlichen Erfolg in Frage und kann daher von ökologisch wirtschaftenden Weinbaubetrieben nicht akzeptiert werden (HOFMANN 1999).

4.2 Wirkung von kupferhaltigen Testprodukten gegenüber *Plasmopara viticola*

Die neuen kupferhaltigen Testprodukte der Firma Spiess-Urania Chemicals GmbH (SPU) SPU-01010-F und SPU-01710-F sind durch eine neuartige Formulierungstechnik gekennzeichnet, die von GOEBEL et al. (2004) beschrieben wurde. Das Ziel dieser neuen Formulierungen ist es, die Kupfer-Ionen gleichmäßig auf der Blattunterseite zu verteilen und damit eine bessere Wirkung bei geringerem Kupfergehalt/Liter zu ermöglichen. Allerdings gab es bei diesen Produkten zwei Nachteile. Zum einen

waren die Formulierungskosten laut SPU für eine Produktion zu hoch und zum anderen lief die Zulassung des Wirkstoffes Kupferoxychlorid im Dezember 2007 aus. Daher wurde verstärkt nach einer verbesserten Formulierung von Cuprozin® Flüssig (Wirkstoff: Kupferhydroxid) geforscht. Seit 2006 wurden Versuche mit dem kupferhydroxidhaltigen Produkt SPU-02690-F durchgeführt. Die Wirkung der verschiedenen kupferhaltigen Testprodukte der Firma SPU (Tab. 19-20, Abb. 11, 13) wiesen signifikante Unterschiede zur Kontrollparzelle auf, die mit Cuprozin® Flüssig vergleichbar waren. In Versuchen an der Mosel konnte in den Jahren 2004 bis 2006 gezeigt werden, dass die neuen Formulierungen der Firma SPU keine bessere Wirkung aufwiesen als das alte Produkt Cuprozin® Flüssig (HEIBERTSHAUSEN et al. 2008). MOHR et al. (2008) bestätigten, dass bei hohem Befallsdruck eine Reinkupfermenge von 3 kg/ha notwendig ist, um einen ausreichenden Bekämpfungserfolg zu garantieren. Dies belegen auch die Zahlen von HOFMANN (1999), der durch Praxisversuche zeigen konnte, dass über 85 % der ökologisch arbeitenden Winzer in Deutschland erfolgreich mit 3 kg/(ha x a) arbeiten konnten, wohingegen in Frankreich bei sechs bis elf Behandlungen 7,3 - 14 kg/ha Reinkupfer ausgebracht wurden (ROUSSEAU 1995 zit. n. HOFMANN 1999).

Durch Belagsmessungen konnte ein Kupferrichtwert erstellt werden, der bei 0,3 µg/cm² EDTA-löslichem Kupfer liegt. Ab dieser Belagskonzentration konnte ein geringerer Befall mit *P. viticola* festgestellt werden (MOHR et al. 2008). Die geringe Wirkung der neuen Formulierungen könnte darin begründet sein, dass bei den Formulierungen SPU-01010-F sowie SPU-02540-F dieser Kupferrichtwert auf der Blattunterseite nicht erreicht wurde, wohingegen auf der Blattoberseite der Kupferrichtwert überschritten wurde (MOHR et al. 2008). Mit dem Produkt Cuprozin® Flüssig wurde an der Blattoberseite und an der Blattunterseite der Richtwert erreicht (MOHR et al. 2008).

Die phytotoxischen Schäden, die durch SPU-01010-F sowie von SPU-02540-F verursacht wurden (Abb. 8), wurden auch von BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. (2008) an der Sorte Domina sowie bei MOHR et al. (2008) an den Sorten Müller-Thurgau und Riesling beobachtet. Bei MOHR et al. (2008) wurde die Ansiedlung des Schwärzepilzes *Epicoccum nigrum* auf den leichten Verkorkungen der Beerenhäute festgestellt. Wahrscheinlich sind die Pflanzenöl-Komponenten der Testprodukte, die zusammen mit Netzschwefel appliziert wurden, für die Schäden verantwortlich. An sonnenabgewandten Seiten wurden verstärkt Kupferschäden beobachtet (CLAUS

1979), besonders kleine nadelstichartige Verbrennungen an älteren Blättern, die sich weiter vergrößern können. Die Folge ist ein Assimilationsflächenverlust und damit eventuell einhergehende geringere Photosyntheseleistung, was einen geringeren Mostertrag zur Folge haben kann. Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurden keine Beeinträchtigungen des Mostgewichtes in den mit kupferhaltigen Produkten behandelten Varianten festgestellt (Anhang-Tab. 10-12). Temperaturen unter 15 °C hemmen die schädigende Wirkung von Kupfer, wohingegen warme Witterung die Schädigung des Blattgewebes beschleunigt (CLAUS 1979). Die Beobachtung, dass sich die mit kupferhaltigen Produkten behandelten Blätter etwas härter und steifer anfühlen, wurde in allen Jahren und bei allen kupferhaltigen Produkten gemacht. In den Arbeiten zur Kupferminimierung von MOHR et al. (2007) konnte gezeigt werden, dass der Kupferbelag durch Flächenwachstum der Blätter um 45 % und durch Niederschläge um 85 % abnahm. Die Unterseite war hingegen gut vor Abwaschungen geschützt. Aufgrund von Ergebnissen aus Blattscheibentests vermuteten MOHR et al. (2007), dass die Unterseite eine inhomogene Verteilung der Beläge aufweisen muss, da die Beläge und der Befall mit *P. viticola* sehr schwach korrelierten. Kleine Lücken im Spritzbelag erzeugen bei Kupfer einen Wirkungsverlust, da Kupfer als reines Kontaktfungizid eine enge Reichweite besitzt. So könnte Tau diese Schwachstelle teilweise ausgleichen, da das wieder in Lösung gehende Kupfer besser verteilt wird (HILSLOP und COX 1970). Allerdings kann es bei stärkerem Niederschlag verstärkt abgewaschen werden. KAST (1996) geht davon aus, dass eine frühe Anwendung (vor der Blüte) von Kupfer effizienter sei, da das Wirkstoffdepot auf der Blattunterseite besser vor Abwaschungen geschützt sei und dann auch mit geringen Kupferdosierungen eine erfolgreiche Bekämpfung möglich ist.

Das kupferhaltige Testprodukt **Kupferprotein** (Wirkstoff: Kupferoxychlorid) der Firma Biofa AG wurde mit 2 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr geprüft und erzielte dabei eine erstaunlich gute Wirkung (Tab. 19). Ob in Zukunft wieder kupferoxychloridhaltige Produkte zugelassen werden, kann zum momentanen Zeitpunkt (2009) nicht beurteilt werden. Im Gewächshaus zeigte es eine gute Wirkung im kurativen Bereich (41 % Wirkung) und konnte bei einer Inokulation sieben Tage nach der Applikation noch eine protektive Wirkung von 98 % aufweisen, wohingegen Cuprozin® Flüssig nur 80 % Wirkung aufwies (Tab. 14). Bei dem frühen und recht hohen Befallsdruck

im Jahr 2005 war die Wirkung mit Cuprozin® Flüssig und Folpan® 80 WDG zu vergleichen (Tab. 19). Da dieses Produkt in dieser Form nicht zugelassen wurde, konnte nur eine Mischung aus dem Proteinkomplex aus Kupferprotein und Cuprozin® Flüssig im Jahr 2007 geprüft werden. Aufgrund der geringeren Wirkung dieser Mischung im Jahr 2007 (Abb. 12) ist davon auszugehen, dass Additive in Cuprozin® Flüssig die Wirkung des Proteinkomplexes behindert haben könnten.

Wenn man die aktuellen Forderungen des UBA berücksichtigt, so müsste ein neues kupferhaltiges Pflanzenschutzmittel einen geringeren Kupfergehalt als z.B. Cuprozin® Flüssig aufweisen und zur erfolgreichen Bekämpfung von *P. viticola* weniger Kupfer/ha x a benötigen (KÜHNE 2008). Allerdings wiesen die neuen Formulierungen keine ausreichende Wirkung bei hohem Befallsdruck auf (HEIBERTSHAUSEN et al. 2008; BERKELMANN-LÖHNERTZ et al. 2008), so dass weiterhin Forschungsbedarf im Bereich Kupferminimierung besteht.

4.3 Einfluss der Testprodukte auf *Botrytis cinerea*, *Typhlodromus pyri* und die Weinbereitung

Einfluss der Testprodukte auf *B. cinerea* (Grauschimmel der Weinrebe)

Wenn reife Trauben mit *B. cinerea* befallen werden (Sauerfäule), hat dies negative Auswirkungen auf die Weinqualität, wie zum Beispiel erhöhte Glycerin- oder Gluconsäurewerte (DITTRICH und GROßMANN 2005). Werden dagegen reife Trauben befallen, kommt es durch die erhöhte Verdunstung über die von *B. cinerea* perforierte Beerenhaut zur einer Erhöhung der Zuckerkonzentration in der Beere, was einen Anstieg des Mostgewichtes zur Folge hat. Man spricht dann von der so genannten Edelfäule, die bei der Erzeugung höherer Qualitätsstufen erwünscht ist (edelsüße Weine z.B. Beerenauslese). Im ökologischen Weinbau stehen keine Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung des Erregers des Grauschimmels zur Verfügung. Zur Regulierung des Befalls können lediglich Pflanzenstärkungsmittel, wie z. B. Natrium-/Kaliumsilikat („Wasserglas“) verwendet werden. Aus diesem Grund muss das Hauptaugenmerk im ökologischen Weinbau bei der Eindämmung des Grauschimmels neben den rein vorbeugenden Kulturmaßnahmen (z. B. Anwendung von Entblätterungsmaßnahmen zur Durchlüftung der Laubwand und Belichtung der Traubenzone) und der Sortenwahl (lockerbeerige Klone) auf einer ausgewogenen Stickstoff-

versorgung der Weinrebe liegen. Des Weiteren hat die Regulierung der Traubenwickler (*Lobesia botrana* und *Eupoecilia ambiguella*) mit Bt-Präparaten (*Bacillus thuringiensis*) oder durch das Pheromonverfahren einen Einfluss auf die Entwicklung der Sauerfäule, da die Fraßstellen des Traubenwicklers als Eintrittspforten für *B. cinerea* dienen können (HOFMANN et al. 1995, KÜHNE et al. 2006). Folglich war es wichtig zu überprüfen, ob die gegen *P. viticola* eingesetzten Testprodukte eine Nebenwirkung gegenüber *B. cinerea* besitzen. Bei den Testprodukten **Algin Biovital**, **Frutogard®**, **Myco-Sin® VIN**, **ROCKSIL**, **KENDAL** in Kombination mit **Myco-Sin® VIN**, **KENDAL** mit **Cuprozin® Flüssig**, **Kupferprotein** und **SPU-02540-F** sowie **SPU-02690-F** war kein Effekt gegenüber *B. cinerea* an den Trauben im Versuchsweinberg „Mäuerchen“ festzustellen. Im Jahr 2005 konnte bei der Variante **Frutogard®-3** (Frutogard® in BBCH 68 appliziert) eine signifikante Befallsreduktion im Vergleich zur Kontrolle festgestellt werden. Insgesamt wurden 1,7 kg Reinkupfer ausgebracht, die allerdings bei anderen Versuchsvarianten keinen Effekt gegenüber *B. cinerea* hatten. Bei den durchgeführten *in vitro*-Versuchen wiesen Frutogard® und KENDAL keine fungizide Wirkung auf. Laut MOHR et al. (2007) haben kupferhaltige Pflanzenschutzmittel aufgrund des die Kutikula verstärkenden Effektes eine Wirkung gegen *B. cinerea*. Dieser Effekt konnte in den Untersuchungen dieser Arbeit nicht festgestellt werden und somit nicht bestätigt werden. Darüber hinaus ist die unzureichende Wirkung von Kupfer-Ionen an aufgeplatzten Beeren darin begründet, dass die Wirkung von Kupfer-Ionen in Traubensaft aufgrund des Austausches der Kupfer-Ionen durch H-Ionen aufgehoben wird (WILHELM 1965). Bei Untersuchungen am DLR Rheinpfalz wurde gezeigt, dass der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln (Kaliwasserglas, Vitisan, Equisetum Plus und Mycosin) genauso effektiv wie eine einseitige Entblätterungsmaßnahme in der Traubenzone war. Wie zu erwarten, war die Wirkung der geprüften Produkte im Vergleich zur Effektivität moderner Spezialbotrytizide deutlich geringer. In den Untersuchungen war auch Mycosin enthalten, das mit Myco-Sin® VIN vergleichbar ist. Mit diesem Produkt konnten in zwei Versuchen mit Riesling Wirkungsgrade von 42 – 43 % erzielt werden, bei der Sorte Ruländer lag der Wirkungsgrad bei 41 % (HARMS und WALTER 2008). JACKÓW et al. (2008) konnten belegen, dass Beeren von *Vitis* sp. bei der Samenbildung die Resistenz gegenüber *B. cinerea* verlieren. Dies wird durch die Konkurrenzsituation der beiden Stoffwechselwege zur Bildung von Anthocyanen und von Resveratrol begründet. In dieser Tatsache sehen JACKÓW et al.

(2008) den Grund für die häufig stattfindenden *Botrytis*-Kalamitäten in einigen deutschen Weinbauregionen, die durch eine frühe Reife aufgrund der klimatischen Veränderungen noch verstärkt werden können (JACKÓW et al. 2008). Schlussfolgernd kann eine erfolgreiche Bekämpfung der Traubenfäule im ökologischen Weinbau nur durch eine Kombination pflanzenbaulicher Maßnahmen und den Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln erreicht werden.

Einfluss der Testprodukte auf die Raubmilbenpopulationen während der Vegetationsperiode

Die polyphagen Raubmilben der Familie der Phytoseiidae sind im Weinbau zur Regulierung von *Tetranychus urticae* (Gemeine Spinnmilbe, Bohnenspinnmilbe) und von *Panonychus ulmi* (Rote Spinne, Obstbaumspeinnmilbe) notwendig. Der Befall der Roten Spinne verursacht physiologische Schäden (kurze Triebe, Verrieseln der Blüten und Verfärbung der Blätter) sowie Qualitätseinbußen (ungenügende Beerenreife) an der Weinrebe. Die Gemeine Spinnmilbe tritt erst im Sommer auf und führt ebenfalls zu Qualitätseinbußen durch das nicht Ausreifen der Beeren (SCHRUFFT und KASSEMAYER 1999). Unter den an der Weinrebe vorkommenden Raubmilben ist *Typhlodromus pyri* die bedeutendste Art für den deutschen Weinbau (HOFMANN et al. 1995; SCHRUFFT und KASSEMAYER 1999). Da sich *T. pyri* die gesamte Vegetationsperiode über in der Laubwand (Blattunterseite) aufhält und sich als polyphager Räuber auch von Pollen und Nektar ernährt, kann sie die gesamte Vegetationsperiode über die Spinnmilben auf einem Niveau unterhalb der wirtschaftlichen Schadensschwelle halten (STEINER 1986). Demzufolge ist der Einsatz raubmilbenschonender Pflanzenschutz- und Regulierungsmaßnahmen für den integrierten und den ökologischen Weinbau notwendig. Während bei der Registrierung der Pflanzenstärkungsmittel kein Nachweis über den Einfluss auf Nützlingspopulationen erbracht werden muss, liefern die Ergebnisse dieser Arbeit nützliche Informationen.

Im Beobachtungszeitraum (2005 bis 2008) wurden keine schädigenden Einflüsse durch die Produkte **Algin Biovital**, **Frutogard®**, **Myco-Sin® VIN**, **KENDAL mit Cuprozin® Flüssig**, **Waschnuss**, **Kupferprotein** und die SPU-Produkte **SPU-01010-F**, **SPU-02980-F** sowie **SPU-02540-F** auf die Raubmilbenpopulationen festgestellt. Die Varianten wiesen sogar meist mehr Raubmilben auf, als die mit Netzschwefel behandelten Kontrollparzellen. In der Regel ging die Raubmilbendichte gegen Ende der Vegetationsperiode (BBCH 81) etwas zurück und dann wurden geringe negative

Abweichungen zur Kontrollparzelle festgestellt (Abb. 21 - 24). Der Rückgang der Populationen zum zweiten und dritten Beobachtungstermin ist durch das vergrößerte Laubwandvolumen und mit der bereits eingetretenen Abwanderung von *T. pyri* in die Winterquartiere zu erklären. Bei den Testprodukten **ROCKSIL** und **SPU-02690-F** waren im Jahr 2007 an allen Beobachtungsterminen weniger Raubmilben zu finden als in der Kontrolle (Abb. 23). Dies war im Fall von ROCKSIL am letzten Termin statistisch abzusichern. Wahrscheinlich ist dafür die hohe Aufwandmenge in Kombination mit Netzschwefel verantwortlich. Die Kombination **KENDAL mit Myco-Sin® VIN** wies den geringsten Besatz mit Raubmilben zu allen drei Beobachtungsterminen im Jahr 2007 auf (Abb. 23). **Kupferprotein** wies stets eine ähnliche Wirkung wie Cuprozin® Flüssig oder öko-Standard auf. Generell konnte im Jahr 2006 festgestellt werden, dass bei den Varianten SPU-01010-F und der 3 kg Reinkupfer-Variante von Cuprozin® Flüssig tendenziell weniger Raubmilben zu finden waren (Abb. 22). Bei Einhaltung der Anwendungsvorschriften hat der Einsatz von Kupfer zu keinen wesentlichen Beeinträchtigungen der Raubmilben-Populationsdichten im Weinbau geführt (LOUIS 1999). Der Einsatz von Kupferoxychlorid wurde von SCHRUFFT et al. (1990) als unbedenklich in Hinblick auf *T. pyri* betrachtet. Für einen raubmilben-schonenden Weinbau wäre der Einsatz von so genannten PIWI-Sorten eine gute Basis, da mit diesen pilzwiderstandsfähigen Rebsorten der Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen deutlich reduziert werden kann (HOFFMANN et al. 2005).

Einfluss der Testprodukte auf die Gärung, die Inhaltsstoffe und die sensorische Qualität der Weine

Im Gegensatz zur Zulassung eines Pflanzenschutzmittels muss bei der Registrierung eines Pflanzenstärkungsmittels kein Nachweis über einen Einfluss auf die Gärung (Gär- und Geschmacksprüfung) erbracht werden. Aus diesem Grund sollte überprüft werden, ob mögliche Rückstände im Most zu einer Beeinflussung der alkoholischen Gärung durch die Hemmung des Zellwachstums der Weinhefe *Saccharomyces cerevisiae* führen können. Im Rahmen von Untersuchungen von HERRBRUCK et al. (2007) konnte kein Nachweis erbracht werden, dass bei den untersuchten Pflanzenstärkungsmitteln (Frutogard®-1) und der Versuchsvariante öko-Standard (Myco-Sin® VIN bis BBCH 68 anschließend Cuprozin® Fl.) eine Beeinträchtigung oder Beeinflussung der Zusammensetzung der Hefepopulationen auf der Beerenhautoberfläche vorliegt. Darüber hinaus konnten keine Unterschiede beim Gärverlauf

festgestellt werden und es wurden keine Auffälligkeiten der Versuchsweine bei der sensorischen Beurteilung gefunden (HERRBRUCK et al. 2007).

Aufgrund der langen Wartezeit von der letzten Applikation der Testsubstanzen bis zur Lese (Ernte der Trauben), die in allen drei Jahren länger als 57 Tage war (Tab. 21), konnte keine gärhemmende oder gärverzögernde Wirkung festgestellt werden (Abb. 25). Bei kürzeren Wartezeiten wurden in anderen Untersuchungen, besonders mit dem Wirkstoff Folpet, Gärverzögerungen beobachtet (EHRENHARDT und JAKOB 1968). Untersuchungen von DITTRICH (1968) konnten dies allerdings nicht bestätigen. Die Gärung in den Jahren 2005 und 2006 dauerte rund 17 Tage. Im Jahr 2007 konnte nach sechs Tagen keine Mostgewichtsabnahme mehr notiert werden. Diese Gärzeiträume entsprechen den in der Literatur beschriebenen (DITTRICH und GROßMANN 2005). Auch die Ergebnisse der beiden angewendeten Methoden Gewichtsmessung (CO₂-Entbindung) und Dichte-Messung (Spindel) sind miteinander vergleichbar (EHRENHARDT und JAKOB 1968). Die Wartezeiten der Pflanzenschutzmittel (Cuprozin® Flüssig und Folpan® 80 WDG), die in den Untersuchungen als Vergleichsmittel geprüft wurden, liegen bei 35 Tagen. Bei Netzschwefel, der als Grundabdeckung verwendet wurde, liegt die Wartezeit bei 56 Tagen. Die Analyse der Moste und Weine zeigte bei keinem verwendeten Testprodukt Veränderungen bei der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe. Bei den sensorischen Beurteilungen wurden alle Weine der drei Jahre mit mindestens 1,5 Punkten bewertet und damit die Marktfähigkeit zugesprochen (DLG-5-Punkte-Schema). Allerdings waren die Verkostungsergebnisse der Weine aus dem Jahr 2006 aufgrund des starken *Botrytis*-Befalls sehr unterschiedlich, was sich in den hohen Standardabweichungen niederschlägt. Neben den hohen Alkohol- (14-15 Vol. %) und Restzuckergehalten (4-8 g) wiesen die Weine noch erhöhte Glycerinwerte (12-13 g/L) auf, was eine Beurteilung erschwerte. Der Einfluss der Testprodukte auf die Gärung und die Qualität der Weine kann folglich als unbedenklich angesehen werden.

4.4 Einfluss der Testprodukte auf die Keimung von *Plasmopara viticola* (Fluoreszenzmikroskopie)

Um den Einfluss der Testsubstanzen (Algin Biovital, Cuprozin® Flüssig, Frutogard® und KENDAL) auf die Entwicklung von *P. viticola* zu erfassen, wurden zwei Blattscheibentests (cv. Müller-Thurgau) durchgeführt. Dabei wurden die behandelten

und inokulierten Blattscheiben auf Wasseragar bei 20 °C drei Tage inkubiert und anschließend die Keimungsrate der Zoosporen mit dem Fluoreszenzmikroskop ermittelt (vgl. 2.7).

Der erste Versuch fand Mitte Juli 2008 und der zweite Versuch Mitte August 2008 statt. Im ersten Versuch konnte bei dem Testprodukt **KENDAL** (*Medicago sativa*-Extrakt mit Polysacchariden) ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der gekeimten Zoosporen und bei der Infektionsvesikel-Bildung der Zoosporen im Vergleich zur Kontrolle festgestellt werden, wohingegen im zweiten Versuch bei der Anzahl der gekeimten Zoosporen kein Unterschied zur Kontrolle zu finden war (Abb. 29). Bei Behandlung mit **Cuprozin® Flüssig** (Wirkstoff: Kupferhydroxid) war auffällig, dass im Vergleich zur Kontrolle (21,2) sehr wenige Infektionsvesikel (8,5) gebildet wurden. Die beiden Produkte **Algin Biovital** (Algenextrakt mit Phosphat) und **Frutogard®** (Algenextrakt mit Phosphonat) zeigten keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle auf. Im zweiten Versuch wurde **Folpan® 80 WDG** (Wirkstoff: Folpet) als zusätzliche Kontrollvariante eingebaut. Bei dieser Variante sollte eine Hemmung der Entwicklung von *P. viticola* zu beobachten sein. In der Tat wies diese Kontrollvariante bei allen drei Beobachtungsstufen signifikante Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle auf. Auch bei mit Cuprozin® Flüssig behandelten Topfrebenblättern wurde eine deutlich geringere Anzahl von gekeimten Zoosporen und gebildeten Infektionsvesikeln verzeichnet. Die drei Testprodukte Algin Biovital, Frutogard® und KENDAL zeigten bei der Anzahl der gekeimten/nicht gekeimten Zoosporen keine hoch signifikanten Unterschiede zur Kontrolle und zur Wasserbehandlung auf. Lediglich bei der Anzahl von Infektionsvesikeln gab es bei Frutogard® und KENDAL signifikante Unterschiede zur Kontrolle.

Für eine Wirkung der Kupfer-Ionen muss ein direkter Kontakt zwischen Spore und Kupferpartikel vorliegen (MONTAG et al. 2006). Dies könnte eine Erklärung für die relativ schwache Wirkung von Kupfer sein. BÉCOT et al. (2000) konnten zeigen, dass Phytogard® (58 % K_2HPO_3) bei einer Konzentration von 7 ml/L die Sporenkeimung um 53 % im Vergleich zur Kontrolle (Wasser-Behandlung) inhibiert. Laut BÉCOT et al. (2000) liegt eine direkte Wirkung vor. Dagegen konnten PANICKER und GANGADHARAN (1999) keinen Einfluss auf die Keimung der Sporen von *Peronosclerospora sorghi* (Falscher Mehltau an Mais) bei Behandlung mit Phosphonsäure oder Kalium-Phosphonat feststellen.

OROBER (2002) konnte keine direkte Wirkung gegenüber *Colletotrichum lagenarium* im Agarschalendiffusionstest mit 75 mM K_2HPO_4 feststellen. Die direkte antifungale Wirkung der Phosphate wurde bisher nur gegen die Mehltäupilze beschrieben, wobei hier die relativ hohe Salzkonzentration sowie die physikalische Oberflächenbeschaffenheit durch die Applikationsrückstände berücksichtigt werden müssen (OROBER 2002). Laut KESSMANN et al. (1994) darf keine direkte Wirkung von Elictoeren (PAMP) wie z.B. Pflanzenstärkungsmitteln gegenüber Pathogenen bei der chemischen Resistenzinduktion vorliegen. Dies entspricht auch der Definition des PflSchG (§ 2 Abs.2 Nr.10) zu den Pflanzenstärkungsmitteln. Abschließend kann festgehalten werden, dass keine direkte Wirkung des geprüften Testproduktes Algin Biovital gegenüber *P. viticola* vorliegt und somit ein wesentliches Kriterium für den Status eines Pflanzenstärkungsmittels erfüllt ist.

4.5 Verfahren der Induzierten Resistenz und deren Anwendung im ökologischen Weinbau

Laut Literatur gelten die PR-Gene PR-1, PR-2 und PR-5 als Indikatoren für die SA-abhängige pathogen-induzierte Resistenz, wohingegen die Expression von PR-3 und PR-4 für eine SA-unabhängige (Ethylen, Jasmonsäure Signalweg) Resistenz steht (BESSER 2001). Nach Erfahrungen von BÉCOT (2000) kommt PR-2 die größte Bedeutung bei der Resistenz gegenüber dem Falschen Mehltau zu. Daher ist es überraschend, dass in den hier vorgestellten Versuchen nur eine geringe Induktion von PR-2 nach Inokulation mit *P. viticola* detektiert werden konnte. Bei den **unbehandelten und nicht inokulierten** Topfreben wurde zu allen Zeitpunkten eine bis zu 2-fach niedrigere Expression der beiden Gene verzeichnet. Bei den mit **Wasser behandelten** Proben ist der Zeitpunkt 1 dat sehr auffällig, da die Standardabweichung mit 10,6 (7,9) bei einem Expressions-Wert von 10,1 (7,7) bei PR-2 (PR-5) extrem groß ist. Wenn die Behandlung mit Wasser zu einem Priming-Effekt geführt haben sollte, so müsste bei allen Behandlungen eine verstärkte Expression der beiden Gene 1 dat vorliegen, da alle Produkte in Wasser gelöst wurden. Ein Effekt auf die Expression 1 dat wurde nur bei KENDAL beobachtet, bei allen anderen Varianten wurde keine Wirkung verzeichnet, so dass die Vermutung nahe liegt, dass den hohen Werten der Wasserbehandlung 1 dat ein Probenfehler zugrunde liegt. Womöglich war eine Pflanze oder ein Blatt gestresst und dieser

Zustand hat sich in der erhöhten Expression beider Gene ausgewirkt. Bei der Applikation des phosphonathaltigen Algenextraktes **Frutogard®** wurden beide Gene zu allen beobachteten Zeitpunkten verstärkt exprimiert. Besonders auffällig ist hier die erhöhte Expression des PR-5 Gens bei den nicht inokulierten Proben bis zu 7 dat, die ihr Maximum bei 3 dat hat. Im Gegensatz dazu verläuft die Expression des PR-2 Gens nach Inokulation auf einem niedrigeren Niveau ab, als vergleichsweise bei Algin Biovital. Dies könnte an dem geringeren Befall mit *P. viticola* liegen, weil die durch die β -1,3-Glukanase hydrolysierten Zellwandfragmente der *P. viticola*-Hyphen ebenfalls die PR-Gen Expression verstärkt haben könnten (LEUBNER-METZGER und MEINS 1999, WANG *et al.* 2005). Die verstärkte Expression des PR-2 Gens bei den beiden algenextrakthaltigen Produkten Frutogard® und Algin Biovital ist vermutlich auf die Oligosaccharide der Algen zurückzuführen, besonders vor dem Hintergrund der nahen Verwandtschaft der Oomyceten und der Algen, die sich in Zellwandbestandteilen (Glukanen) darstellt (BALDAUF *et al.* 2000). Bei dem phosphathaltigen Algenextrakt **Algin Biovital** ist die deutlich stärkere Expression der β -1,3-Glukanase zu den Zeitpunkten 0,5 dai (Priming), 2,5 dai sowie 3,5 dai im Vergleich zu Frutogard® auffällig. Dies kann in dem stärkeren Blattbefall mit *P. viticola* begründet sein (Tab. 22). Der in den Gewächshausversuchen festgestellte Wirkungsverlust von 96 % auf 20 % bzw. 82 % bei einer Inokulation 5 bis 7 Tage nach der Behandlung mit Algin Bovital (Tab. 14 und 16) könnte mit dem deutlichen Einbruch bei der Aktivierung der beiden PR-Gene nach 7 dat zusammenhängen (Abb. 30). Generell wurden beide Gene durch Algin Biovital nicht so stark aktiviert wie durch die Behandlung mit Frutogard®, wo ein Maximum nach 3 dat vorlag. Die Expression von PR-5 wird nur direkt nach der Inokulation um das 6,7-fache hoch reguliert und fällt anschließend deutlich ab. Dies könnte eine Erklärung für die im Freiland stets schlechtere Wirkung sein, da dort die Infektion auch einige Tage vor der Behandlung erfolgt sein könnte (Abb. 9 und 13). Bei **Algin Biovital** und **Frutogard®** wurde eine geringere Verminderung der Expression der PR-Gene 2 und 5 im Vergleich zur Wasserbehandlung und der unbehandelten Probe festgestellt. Bei der Behandlung mit Frutogard® kam es zu einer verstärkten Expression beider Gene nach 0,5 dai, 2,5 dai und 3 dat. Das Gen PR-5 wurde auch bei 2 dat und 3,5 dai verstärkt exprimiert. Zum Zeitpunkt 7 dat bzw. 3,5 dat war bei beiden Genen eine geringere Expression feststellbar. Dies wird auch durch die Zeitserienexperimente (Tab. 14 und 16) bestätigt, bei denen die stärkste Wirkung von Frutogard® bei einer Inokulation von

P. viticola 3 dat zu sehen war. Bei Frutogard® wurden beide Gene zum Zeitpunkt 3 dat bzw. 2,5 dai exprimiert. Ansonsten bewegte sich die Expression der beiden Gene auf einem mittleren Niveau. Im Falle der Testsubstanzen Algin Biovital und Frutogard® liegt nach diesen Untersuchungen eine (wahrscheinlich SA-abhängige) Induzierte Resistenz vor. KORTEKAMP und ZYPRIAN (2003) konnten in Versuchen nachweisen, dass durch Laminarin und Cellulysin keine HR in *Vitis* sp. hervorgerufen wurde. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass pflanzliche oder pilzliche Zellwandbruchstücke allein oder autoklavierte Sporangien nicht ausreichen, um einen programmierten Zelltod in *Vitis* sp. auszulösen. Nach Meinung der Autoren müssen mehrere Faktoren zusammenspielen, um die Reaktion in der Pflanze auszulösen. Bei Versuchen an *Nicotiana tabacum* und *Arabidopsis thaliana* mit Laminarin (Lam) und Laminarin mit Schwefel versetzt (SL) konnte die Expression von PR-Genen nachgewiesen werden (MÉNARD et al. 2004). Bei *N. tabacum* und *A. thaliana* konnten nur die basischen Isoformen der PR-Gene PR-2, PR-3 und PR-5 durch beide Lam und SL Behandlungen 3 dat exprimiert werden. Die Expression der sauren Isoformen hingegen wurde nur durch SL induziert. Laminarin ruft keine HR hervor (MÉNARD et al. 2004). In Infiltrationsversuchen an *N. tabacum* mit 50 mM Glykoprotein konnte die Expression von PR-5 im umgebenden Gewebe der Infiltrationsstelle nachgewiesen werden, in der eine HR-Reaktion beobachtet wurde (DOREY et al. 1997). GUEST und BOMPEIX (1990) konnten in ihren Versuchen feststellen, dass sich Pflanzen (Tabak, Paprika und Cowpea) nach Applikation von Phosphonaten wie resistente Cultivare „verhielten“. Darüber hinaus konnten sie zeigen, dass die resistenten Sorten durch die Anwendung die Resistenzeigenschaften verbesserten. GUEST und BOMPEIX (1990) konnten zeigen, dass die Phosphonat-Applikationen zu einer früheren Aktivierung des Pentose-Phosphat-Wegs, des Enzyms Phenylalanin Ammonium Lyase (PAL), des Phenylpropanoid-Wegs sowie der Phytoalexine führt. Die PAL-Aktivität war bei *Vitis* sp. 6 hpi am stärksten und bereits 24 hpi am niedrigsten (KASSEMAYER et al. 2005). Bei Kopfsalat konnte nach Inokulation mit *Bremia lactucae* und Behandlung mit Phytogard® keine Aktivierung der PR-Gene PR-1, PR-2, PR-5, PR-9 gefunden werden (PAJOT et al. 2001). BÉCOT (2000) hat in seinen Versuchen mit Phytogard® (Formulierung aus 58 % K₂HPO₃ und 42 % Wasser) der Firma CATE (St Pol-de Léon, Frankreich; Hersteller: Intrachem Bio, Frankreich) zeigen können, dass beim System *Brassica oleracea* var. *botrytis* - *Peronospora parasitica* nur eine schwache SAR vorliegt. Das

PR-Protein PR-2 und die β -1,3-Glukanase wurden bei der normalen Konzentration kaum exprimiert, erst bei einer 10-fachen Konzentration konnte eine schwache Aktivierung beobachtet werden. Die Aktivierung der Stoffwechselvorgänge der IR durch Applikation von Phosphonaten benötigt drei Tage (OROBER 2002). Die lokale SA-Akkumulation, die durch Phosphonatbehandlung hervorgerufen wurde, konnte von OROBER (2002) schon nach 24 hpt verzeichnet werden und das Maximum wurde in seinen Experimenten bei 48 bis 72 hpt erreicht, was sich mit den Untersuchungsergebnissen dieser Arbeit deckt. Bereits 48 hpi konnte KASSEMEYER (2005) ein Maximum der Expression von *Vitis* Chitinase class III und *Vitis* Glukanase beobachten. Darüber hinaus konnte OROBER (2002) an Tabakpflanzen nach Behandlung mit K_2HPO_4 auf NahG⁷-Pflanzen die Nekrosenbildung zwar feststellen, aber keine SA-Akkumulation. Er konnte nach Inokulation mit dem Tabakmosaikvirus (TMV) keinen Unterschied zur Kontrolle finden. Somit konnte er den Nachweis erbringen, dass die Induktion von Resistenz durch Nekrose-auslösende Phosphate die Akkumulation von SA erfordert.

Phosphate sind chemische Agenzien, die durch nekrotische Läsionen SAR auslösen können (OROBER 2002). Durch Phosphat-Applikationen können Micro-HR hervorgerufen werden, bei denen nur wenige Zellen absterben, die makroskopisch nicht in Erscheinung treten (ALVAREZ et al. 1998). Bei Gurken wurde eine durch Phosphat Induzierte Resistenz festgestellt, die mit einem lokal begrenzten Zelltod sowie mit einer schnellen Bildung von Superoxid und Hydrogenperoxid begleitet wurde (WALTERS et al. 2005).

Bei **KENDAL**, dem Pflanzenextrakt von *Medicago sativa*, konnte ein deutlicher Effekt 1 dat beobachtet werden, der auf Oligosaccharide und Saponine zurückzuführen ist. Im Gegensatz zu den geprüften Algenextrakten geht die Expression beider Gene im beobachteten Zeitraum wieder zurück. Im Falle der β -1,3-Glukanase ist sogar eine „Herabregulierung“ zu sehen. Nach der Inokulation wurden beide Gene leicht exprimiert, wobei die Reaktion schwächer ausfiel als bei Algin Biovital. Erst 3,5 dai wurde PR-2 um das 7-fache erhöht und bei PR-5 fand erst 5,5 dai eine Erhöhung der Expression statt, die allerdings auf dem Niveau der inokulierten mit reinem Wasser behandelten Proben lag. Wahrscheinlich muss ein Zusammenspiel mehrerer PR-Gene für eine optimale Wirkung vorhanden sein, wie dies bereits von WANG et al. (2005) beschrieben wurde. Bei Frutogard® wurde in Gewächshaus- sowie in

⁷ NahG = Gen, das für die Salicylsäure Hydroxylase kodiert

Freilanduntersuchungen die beste und stetigste Wirkung verzeichnet und beide Gene wurden über den gesamten Versuchszeitraum aktiviert.

Bei dem untersuchten Pflanzenschutzmittel **Cuprozin® Flüssig**, das 300 g Cu/L enthält, wurde erst 5 bis 7 Tage nach der Behandlung eine Erhöhung der Expression beider Gene beobachtet. Allerdings wurde nach Inokulation mit *P. viticola* keine Erhöhung in der Expression festgestellt. Wahrscheinlich wurden die Cu^{2+} -Ionen in das Gewebe des Pilzes eingelagert und konnten so keine Reaktion auslösen. Die Strukturen des Pilzes wurden durch diese Einlagerung in ihrer Entwicklung gehemmt und konnten so keine Angriffsflächen für bspw. β -1,3-Glukanasen bieten, was sich in der ausbleibenden Aktivierung des PR-2 Gens nach Challenge Inokulation zeigte. „Die Wirkung des Kupfers besteht daneben auch in der Förderung des Eiweißaufbaus und damit der Wiederherstellung der pflanzeigenen Abwehr (CHABOUSSOU 1987 zit. nach HOFMANN 1999).“ Bei Untersuchungen an Salat (*Lactuca sativa*) mit Kupfersulfat CuSO_4 (10 $\mu\text{g/ml}$) und Chitosan konnte gezeigt werden, dass nach CuSO_4 -Anwendung Phytoalexine (trans resveratrol und ϵ -viniferin) in der Weinrebe verstärkt gebildet wurden. Dabei wurde die Wirkung durch Zugabe von Chitosan verstärkt (AZIZ et al. 2006).

Im Rahmen der molekularbiologischen Untersuchungen konnte die erhöhte Expression des PR-Gens 5 (Osmotin) und des PR-Gens 2 (β -1,3-Glucanase) nach Behandlung mit Frutogard® und Algin Biovital im beobachteten Zeitfenster (1 bis 7 dat bzw. 0,5 bis 5,5 dai) gezeigt werden. Die Untersuchungen ergaben wichtige Hinweise für einen optimalen Anwendungszeitpunkt im Rahmen des prognosegestützten Pflanzenschutzes. Es ist empfehlenswert, das Produkt Algin Biovital protektiv (drei Tage vor der zu erwartenden Infektion) auszubringen und dies mit einem wirksamen Kontaktmittel zu kombinieren. Bei Frutogard konnte eine stärkere und gleichmäßigere Aktivierung beider Gene sowie eine bessere Regulierungsfähigkeit gegenüber *P. viticola* beobachtet werden. Daher sollte dieses Produkt bei erhöhter Gefahr von *P. viticola* verstärkt angewendet werden und in weniger kritischen Phasen Algin Biovital. KENDAL konnte weder bei der Regulierung noch bei der Expression der beiden Gene überzeugen.

5 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit soll eine praxisrelevante Strategie zur Bekämpfung und Regulierung von *P. viticola* unter Berücksichtigung der Kupferminimierung erarbeitet werden. Dazu wurde eine Vorauswahl an Testsubstanzen (PStM, PSM und Testprodukten) unter Gewächshaus-Bedingungen an Topfreben durchgeführt. Die besten Strategien wurden in Exaktversuchen an zwei Standorten auf ihre Wirkung gegenüber *P. viticola* getestet. Außerdem wurde überprüft, ob die Produkte eine Nebenwirkung gegenüber *B. cinerea* aufweisen oder einen Einfluss auf Raubmilbenpopulationen sowie die Gärung und den Geschmack haben. Mit Gen-Expressionsstudien sollte der Wirkungsmechanismus einiger Testsubstanzen näher beleuchtet werden.

Für eine Regulierung von *P. viticola* können Frutogard® mit einer Anwendung bis zur abgehenden Blüte (BBCH 68) in Kombination mit Cuprozin® Flüssig (2-3 kg Cu/ha), ROCKSIL und Myco-Sin® VIN empfohlen werden. Im Rahmen der Nebenwirkungsstudien konnte kein Einfluss auf *B. cinerea*, *T. pyri* oder die Mikrovinifikation festgestellt werden. Die Testprodukte Algin Biovital, Frutogard® und KENDAL zeigten keine direkte Wirkung auf die Keimung von *P. viticola*. Frutogard® wies als einziges Produkt eine Expression der Gene PR-2 und PR-5 über den gesamten Beobachtungszeitraum (1 bis 7 dat bzw. 0,5 bis 5,5 dai) auf. Die Behandlung von *V. vinifera* mit Algin Biovital bewirkte eine verstärkte Expression von PR-2 und PR-5 nach Pathogenbefall und zeigte somit Priming. Nach 2,5 dai konnte eine verstärkte Expression des Gens PR-2 beobachtet werden. KENDAL zeigte eine späte und schwache Expression bei einer geringen biologischen Wirkung. Cuprozin® Flüssig bewirkte eine späte Expression der beiden PR-Gene. Um die Maximalkonzentrationen der untersuchten PR-Gene in der Rebschutzpraxis auszunutzen, lassen sich anhand der Ergebnisse folgende Anwendungsempfehlungen ableiten: Die Produkte Algin Biovital und Frutogard® sollten protektiv (drei Tage vor der zu erwartenden Infektion) ausgebracht und mit Cuprozin® Flüssig kombiniert werden.

6 Summary

The aim of the presented thesis was to work out a practical strategy to regulate downy mildew on grapes (*Plasmopara viticola*) in organic viticulture with regard to the European copper reduction policy. Therefore, a screening under greenhouse conditions with potted vines was conducted to select effective test substances with low, less or even no copper (plant resistance improvers, plant protection products and test products). The best strategies were applied in research-vineyards according to EPPO guidelines at two locations to examine their efficacy against *P. viticola* in the field. Side effect studies considering *Botrytis cinerea* and predator mite biota as well as the fermentation process and the sensory of the wines were also carried out. The mode of action of some test substances should be highlighted based on gene expression studies.

To summarise: Frutogard® can serve as a regulation agent against *P. viticola* until BBCH 68 (flowering: 80% of flower hoods fallen) in combination with Cuprozin® Flüssig (2-3 kg Cu/ha), ROCKSIL and Myco-Sin® VIN. No side effects considering *B. cinerea*, *T. pyri* and micro-vinification, respectively, could be found in all performed tests. Additionally, there was no direct effect by any of the test-products Algin Biovital, Frutogard® and KENDAL on the germination of zoospores of *P. viticola*. Frutogard® was the only test product which shows an up-regulation of the two pathogenesis related genes PR-2 and PR-5 for the whole observation period (1 until 7 days after treatment [dat] and 0.5 until 5.5 days after inoculation [dai], respectively). The treatment of potted vines of *V. vinifera* with Algin Biovital caused a stronger expression of PR-2 and PR-5 after challenge inoculation (“priming” effect). After 2.5 dai an expression of PR-2 was obvious. KENDAL caused late and weak expression of PR-genes combined with a low biological efficacy in the field. The application of Cuprozin® Flüssig resulted in a delayed expression of both PR-genes. The use of the results of PR-gene expression studies under practical conditions leads to the following recommendation: The products Algin Biovital and Frutogard® should be used in a protective way (three days before the predicted infection) in combination with Cuprozin® Flüssig with reduced copper amount.

7 Literaturverzeichnis

- AGAOGLU, Y. S., ERGUL, A. und ARAS, S.** (2004): Molecular characterization of salt stress in grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) and rootstocks. *Vitis* **43** (3): 107-110.
- AGRIOS, G. N.,** Ed. (2005): Plant Pathology. Academic Press. San Diego, USA
- ALVAREZ, M. E., PENNELL, R. I., MEIJER, P.-J., ISHIKAWA, A., DIXON, R. A. und LAMB, C.** (1998): Reactive Oxygen Intermediates Mediate a Systemic Signal Network in the Establishment of Plant Immunity. *Cell* **92** (6): 773-784.
- ANONYM** (1980): EPPO-Guidelines for the efficacy evaluation of fungicides *Plasmopara viticola*.
- ANONYM** (2005): Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. E.U.L.B. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, BMVEL, Referat 518 http://www.jki.bund.de/cln_044/nn_921038/DE/Home/koordinieren/reduktionsprogr/forumrcppdf.html.
- ANONYM** (2008a): Der Öko-Lebensmittelmarkt im 1. Halbjahr 2008. <http://www.oekolandbau.de>, 25.08.2008.
- ANONYM** (2008b): Deutscher Wein Statistik 2008/2009. <http://deutscheweine.de>
- ANONYM** (2008c): Einsatzmengen von Pflanzenschutzmitteln DOI: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/landwirtschaft/pflanzenschutz/psm/>.
- ATTARD, A., GOURGUES, M., GALIANA, E., PANABIERES, F., PONCHET, M. und KELLER, H.** (2008): Strategies of attack and defense in plant-oomycete interactions, accentuated for *Phytophthora parasitica* Dastur (syn. *P. Nicotianae* Breda de Haan). *Journal of Plant Physiology* **165** (1): 83-94.
- AZEEZ, G. S. E. und HEWLETT, K. L.** (2008): The Comparative Energy Efficiency of Organic Farming. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.
- AZIZ, A., POINSSOT, B., DAIRE, X., ADRIAN, M., BEZIER, A., LAMBERT, B., JOUBERT, J. M. und PUGIN, A.** (2003): Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **16** (12): 1118-1128.
- AZIZ, A., TROTEL-AZIZ, P., DHUICQ, L., JEANDET, P., COUDERCHET, M. und VERNET, G.** (2006): Chitosan Oligomers and Copper Sulfate Induce Grapevine Defense Reactions and Resistance to Gray Mold and Downy Mildew. *Phytopathology* **96**: 1188-1194.

- BAHRAMINEJAD, S., ASENSTORFER, R. E., RILEY, I. T. und SCHULTZ, C. J.** (2008): Analysis of the Antimicrobial Activity of Flavonoids and Saponins isolated from the Shoots of Oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Phytopathology* **156**: 1-7.
- BALDAUF, S. L., ROGER, A. J., WENK-SIEFERT, I. und DOOLITTLE, W. F.** (2000): A kingdom-level phylogeny of eukaryotes based on combined protein data. *Science* **290** (5493): 972-977.
- BASLER, P.** (2002): Disease-resistant vine varieties as a tool to minimize the use copper [Pilzwiderstandsfähige Rebsorten als Mittel zu Verminderung der Kupfer-Anwendung]. *Ecofruit - 10th International Conference on Cultivation Techniques and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing, Weinsberg (Germany), Proceedings*, 136-141.
- BASLER, P. und PFENNINGER, H.** (2000): Standortbestimmung bezüglich der pilzwiderstandsfähigen Rebsorten in der Deutschschweiz. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **20**: 493-496.
- BAUS, O.** (2008): Mündliche Mitteilung (11.07.2008).
- BÉCOT, S., PAJOT, E., LE CORRE, D., MONOT, C. und SILUÉ, D.** (2000): Phytogard® (K_2HPO_3) induces localized resistance in cauliflower to downy mildew of crucifers. *Crop Protection* **19** (6): 417-425.
- BERKELMANN-LOEHNERTZ, B., HOFMANN, U. und HEIBERTSHAUSEN, D. S.** (2008): Optimierung des ökologischen Rebschutzes unter besonderer Berücksichtigung der Rebenperonospora. in print, voraussichtlich: DOI: <http://orgprints.org/5090/>.
- BERNSTEIN, L., BOSCH, P., CANZIANI, O., CHEN, Z., CHRIST, R., DAVIDSON, O., HARE, H., HUQ, S., KAROLY, D., KAROLY, H., KATTSOV, V., KUNDZEWICZ, Z., LIU, J., LOHMANN, U., MANNING, M., MATSUNO, T., MENNE, B., METZ, B., MIRZA, M., NICHOLLS, N., NURSE, L., PACHAURI, R., PALUTIKOF, J., PARRY, M., QIN, D., RAVINDRANATH, N., REISINGER, A., REN, J., RIAHI, K., ROSENZWEIG, C., RUSTICUCCI, M., SCHNEIDER, S., SOKONA, Y., SOLOMON, S., STOTT, P., STOUFFER, R., SUGIYAMA, T., SWART, R., TIRPAK, D., VOGEL, C. und YOHE, G.** (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- BEßER, K.** (2001): Chemisch Induzierte Resistenz im Pathosystem Gerste – Echter Gerstenmehltau: Identifizierung und Charakterisierung differentiell exprimierter Gene der Gerste. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.
- BODE, E.** (2003): Kupfer als Pflanzenschutzmittel – Zielstellung und Ergebnisse seit dem 1. Kupfer-Fachgespräch. In: KÜHNE, S. und FRIEDRICH, B.: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Siebtes Fachgespräch Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt Berlin-Dahlem, **118**: 4-5.

- BOLAY, A. und CACCIA, R.** (1979): Effets des traitements cupriques sur le rougissement précoce du feuillage du cépage Merlot au Tessin. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **11**: 205–211.
- BOURQUIN, H. D.** (1978): Der Wandel im Rebschutz – ein Rückblick. *Weinberg und Keller* **25**: 237–249.
- BRENDEL, G.** (1984): Einfluss von Kupferspritzungen auf die Rebsorte Riesling. *Rebe und Wein* **37**: 272–274.
- BROOK, P. J.** (1979): Effect of light on sporulation of *Plasmopara viticola*. *New Zealand Journal of Botany* **17**: 135-138.
- BUSAM, G., KASSEMAYER, H. H. und MATERN, U.** (1997): Differential expression of chitinases in *Vitis vinifera* L. responding to systemic acquired resistance activators or fungal challenge. *Plant Physiol.* **115**: 1029-1038.
- CHANG, S., PURYEAR, J. und CAIRNEY, J.** (1993): A simple and efficient method for isolating RNA from pine trees. *Plant Mol. Biol. Rep.* **11**: 113-116.
- CHESTER, K. S.** (1933): The Problem of Acquired Physiological Immunity in Plants. *The Quarterly Review of Biology* **8** (2): 129-154
- CLAUS, P.** (1979): 90 Jahre Kupferanwendung im Weinbau und immer noch Erkenntnislücken? *Weinberg & Keller* **26** (5): 142–172, 192–218.
- CONRATH, U., BECKERS, G. J. M., FLORS, V., GARCIA-AGUSTIN, P., JAKAB, G., MAUCH, F., NEWMAN, M. A., PIETERSE, C. M. J., POINSSOT, B., POZO, M. J., PUGIN, A., SCHAFFRATH, U., TON, J., WENDEHENNE, D., ZIMMERLI, L. und MAUCH-MANI, B.** (2006): Priming: Getting ready for battle. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **19** (10): 1062-1071.
- CONRATH, U. und KAUSS, H.** (2000): Systemisch erworbene Resistenz - Das "Immunsystem" der Pflanze. *Biologie in unserer Zeit* **4**: 202-208.
- CONRATH, U., PIETERSE, C. M. J. und MAUCH-MANI, B.** (2002): Priming in plant-pathogen interactions. *Trends in Plant Science* **7** (5): 210-216.
- CRISP, P., SCOTT, E. S. und WICKS, T. J.** (2006): Evaluation of Novel Controls of Grapevine Downy Mildew, *Plasmopara viticola*. 5th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew, San Michele all'Adige, Italy, Safe Crop Center. *Proceedings*: 195-196.
- DAGOTIN, S., VECCHIONE, A., ZULINI, L., FERRARI, A. und PERTOT, I.** (2006): Efficacy evaluation of the resistance inducer Benzothiadiazole against grapevine downy mildew. 5th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew, San Michele all'Adige, Italy, Safe Crop Center: 29-30.
- DERCKX, W. und CREASY, L. L.** (1989): Influence of fosetyl-Al on phytoalexin accumulation in the *Plasmopara viticola*-grapevine interaction. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **34** (3): 203-213.

- DICK, M. W.** (2002): Binomilas in the *Peronosporales*, *Sclerosporales* and *Pythiales*. In: P. T. N. SPENCER-PHILLIPS, U. GISI and A. LEBEDA: Advances in Downy Mildew Research. Kluwer Academic Publisher Dordrecht: 225-265.
- DITTRICH, H. H.** (1968): Der Einfluss botrytizidwirksamer Fungizide auf die Vergärung von Traubenmost. In: P. CLAUS: *Botrytis* im Weinbau. Weinberg und Keller, Traben-Trarbach.
- DITTRICH, H. H. und GROßMANN, M.,** Eds. (2005): Mikrobiologie des Weines. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- DITZER, S.,** Ed. (2002): Grundlegende Faktoren der Regenfestigkeit, untersucht am Beispiel ausgewählter Kontaktfungizide bei 'Golden Delicious'. Shaker Verlag.
- DOREY, S., BAILLIEUL, F., PIERREL, M. A., SAINDRENAN, P., FRITIG, B. und KAUFFMANN, S.** (1997): Spatial and temporal induction of cell death, defense genes, and accumulation of salicylic acid in tobacco leaves reacting hypersensitively to a fungal glycoprotein elicitor. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **10** (5): 646-655.
- EHRENHARDT, H. und JAKOB, L.** (1968): Beiträge zur Methodik der Bestimmung von Gärabläufen in Traubenmost unter der Einwirkung von Fungiziden. *Weinberg & Keller* **15**: 5-30, 355-385.
- EIBACH, R., ZYPRIAN, E., WELTER, L. und TÖPFER, R.** (2007): The use of molecular markers for pyramiding resistance genes in grapevine breeding. *Vitis* **46** (3): 120-124.
- ELSTNER, E. F., OßWALD, W. und SCHNEIDER, I.,** Eds. (1996): *Phytopathologie: Allgemeine und biochemische Grundlagen*. Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg; Berlin; Oxford.
- FADER, B.** (2008). Mündliche Mitteilung (11.09.2008).
- FAGOAGA, C., RODRIGO, I., CONEJERO, V., HINAREJOS, C., TUSET, J. J., ARNAU, J., PINA, J. A., NAVARRO, L. und PENA, L.** (2001): Increased tolerance to *Phytophthora citrophthora* in transgenic orange plants constitutively expressing a tomato pathogenesis related protein PR-5. *Molecular Breeding* **7** (2): 175-185.
- FLOR, H.** (1956): The complementary genic systems in flax and flax rust. *Adv Genet* **8**: 29-54.
- GAMS, W., HOEKSTRA, E. S. und APTROOT, A.,** Eds. (1998): *Course of Mycology*. Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS).
- GÄRTEL, W.** (1961): Einfluss der im Weinbau gebräuchlichen Pflanzenschutzmittel auf Keimung und Schlauchwachstum bei Rebpollen. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch.* **104**: 108– 112.

- GÄRTEL, W.** (1967): Schalen-Diffusionstest der Wirksamkeit von Fungiziden gegen *Botrytis cinerea*. Weinberg und Keller **14**: 410-413.
- GISI, U.** (2002): Chemical control of downy mildew. In: P. T. N. SPENCER-PHILLIPS, U. GISI and A. LEBEDA: Advances in Downy Mildew Research. Kluwer Academic Publishers Dordrecht: 119-159.
- GISI, U. und SIEROTZKI, H.** (2008): Fungicide modes of action and resistance in downy mildews, Springer: 157-167.
- GOBBIN, D., JERMINI, M., LOSKILL, B., PERTOT, I., M., R. und Gessler, C.** (2005): Relevance of *Plasmopara viticola* secondary inoculum. Plant Pathology **54**: 522-534
- GOEBEL, G., KASSEMAYER, H. H., DÜGGELIN, M., LEHNE, J., SIMON, A., RIECKEN, I. und PLOSS, H.** (2004): Kupfer, Entwicklung zur Reduzierung der Aufwandmenge im Pflanzenschutz. 54. Deutsche Pflanzenschutztagung, Hamburg, Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. **396**: 228.
- GOELLNER, K. und CONRATH, U.** (2008): Priming: it's all the world to induced disease resistance. European Journal of Plant Pathology **121** (3): 233-242.
- GORLACH, J., VOLRATH, S., KNAUFBEITER, G., HENGY, G., BECKHOVE, U., KOGEL, K. H., OOSTENDORP, M., STAUB, T., WARD, E., KESSMANN, H. und RYALS, J.** (1996): Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease resistance in wheat. Plant Cell **8** (4): 629-643.
- HARMS, M. und WALTER, R.** (2008): Was leisten Pflanzenstärkungsmittel gegen Traubenfäulen? Das Deutsche Weinmagazin: 22-30.
- HEIBERTSHAUSEN, D. S., BAUS O., KAUER R., HOFMANN U., KOGEL K.-H. und Berkelmann-Löhnertz, B** (2008): Optimisation strategies for organic viticulture focusing on copper reduction management; 9th International IFOAM Organic Viticulture and Wine Conference, Modena, Italy, Proceedings.
- HEITEFUSS, R., Ed.** (2000): Pflanzenschutz: Grundlagen der praktischen Phytomedizin. Thieme, Stuttgart.
- HERRBRUCK, T., KAUER, R., RAUHUT, D., RÜCK, C. und VON WALLBRUNN, C.** (2007): Auswirkungen von Pflanzenschutzstrategien im ökologischen Weinbau auf die Hefepopulation, den Gärverlauf und das Aromaprofil der Weine. 2. Internationales Symposium Ökologischer Weinbau (Intervitis Interfructa), Stuttgart: 88-92.
- HILL, G. K. und SCHLAMP H. A.** (1984): Der Einsatz der Waschmethode zur Ermittlung des Raubmilbenbesatzes auf Rebblättern. Wein-Wissenschaft **39**: 255-262.
- HISLOP, E. C. und COX, T. W.** (1970): Local redistribution of fungicides on leaves by water. Ann. Appl. Biol. **66**: 89-101.

- HOFFMANN, C., MICHL, G., DOYE, E. und BREUER, M.** (2005): Wer gewinnt? Kräuselmilbe gegen Raubmilbe. Das Deutsche Weinmagazin: 8-11.
- HOFMANN, U.** (1999): Kupferproblematik und Peronosporabekämpfung im ökologischen Weinbau. Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze: Die Anwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel, ihre Auswirkungen auf den Naturhaushalt und Erörterung der Möglichkeiten, unerwünschte Auswirkungen zu begrenzen. Darmstadt, Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **53**: 18-23.
- HOFMANN, U.** (2002): Copper reduction and copper replacement - results and experiences of 12 years of on farm research. 10th International Conference on Cultivation Techniques and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing and Viticulture, Weinsberg, Germany, Proceedings.
- HOFMANN, U.** (2007): Status-Quo Analyse: Anwendung von ökologischen Verfahren und Behandlungen beim Weinausbau in Betrieben des ökologischen Weinbaus. <http://orgprints.org/14920/>
- HOFMANN U., KÖPFER, P. und ARNDT, W.,** Eds. (1995): Ökologischer Weinbau. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- HUANG, H. C., WU, M. D., TSAI, W. J., LIAO, S. C., LIAW, C. C., HSU, L. C., WU, Y. C. und KUO, Y. H.** (2008): Triterpenoid saponins from the fruits and galls of *Sapindus mukorossi*. Phytochemistry **69** (7): 1609-1616.
- HUHMANN, D. V. und SUMNER, L. W.** (2002): Metabolic profiling of saponins in *Medicago sativa* and *Medicago truncatula* using HPLC coupled to an electrospray ion-trap mass spectrometer. Phytochemistry **59** (3): 347-360.
- JACKÓW, J., JÄGER, B., PETERS, F. und KASSEMAYER, H. H.** (2008): Potentielle Auswirkung von früher Beerenreife auf die Anfälligkeit für die Traubenfäule. FDW-Workshop: Auswirkungen des Klimawandels auf den Rebschutz, Neustadt a. d. Weinstraße, <http://www.fdw-geisenheimer.de/workshop-Auswirkungen-des-Klimawandels-auf-den-Rebs.1363.0html>.
- JAYASANKAR, S., LI, Z. J. und GRAY, D. J.** (2003): Constitutive expression of *Vitis vinifera* thaumatin-like protein after *in vitro* selection and its role in anthracnose resistance. Functional Plant Biology **30** (11): 1105-1115.
- KASSEMAYER, H. H.** (2003): Erarbeitung von wissenschaftlichen Ansätzen zur biologischen Kontrolle der Rebenperonospora und für Strategien zu deren Regulierung im ökologischen Weinbau. DOI: <http://orgprints.org/3993>.
- KASSEMAYER, H. H., SEIBICKE, T., BUCHHOLZ, G. und BÜCHE, C.** (2005): Early events in the host-pathogen-interactions and the expression of resistance response in grapevine - an approach to the biological control of grapevine downy mildew. IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection and Production in Viticulture", Darfo Boario Terme, Brescia, Italy. Proceedings.

- KAST, W. K.** (1996): Untersuchungen zur Wirksamkeit sehr geringer Kupfermengen gegen *Plasmopara viticola* im Weinbau. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz. **48** (3): 63-65.
- KATZ, V., FUCHS, A. und CONRATH, U.** (2002): Pretreatment with salicylic acid primes parsley cells for enhanced ion transport following elicitation. FEBS Letters **520** (1-3): 53-57.
- KAUER, R. und FADER, B.,** Eds. (2007): Praxis des ökologischen Weinbaus. KTBL, Darmstadt.
- KAUER, R., FADER, B. und WOLFF, M.** (2008): Aktuelle Situation der Bekämpfung von *Plasmopara viticola* in der Praxis des ökologischen Weinbaus in Deutschland. Fachgespräch: „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“, Berlin-Dahlem. **142**: 21-26.
- KAUER, R., SCHMIDT, M. und BERKELMANN-LÖHNERTZ, B.** (2005): Can inorganic phosphonate lead to copper reduction in organic viticulture without getting problems of residues? 8th International Viticulture & Wine Conference, Adelaide, South Australia. Proceedings.
- KEIL, S.** (2007): Epidemiologische Aspekte der Falschen Mehltauinfektion durch *Plasmopara viticola* an *Vitis*. Dissertation, Universität Hohenheim.
- KEIL, S., BENKER, M., ZELLNER, M., KLEINHENZ, B., BANGEMANN, L.-W. und ZWERGER, P.** (2008): Möglichkeiten zur Optimierung der Kupferwirkung gegen Kraut-fäule im ökologischen Kartoffelanbau. Deutsche Pflanzenschutztagung, Kiel, Mitt. Julius Kühn-Institut. **417**: 253.
- KESSMANN, H., STAUB, T., HOFMANN, C., MAETZKE, T., HERZOG, J., WARD, E., UKNES, S. und RYALS, J.** (1994): Induction of systemic acquired disease resistance in plants by chemicals. Annual Review of Phytopathology **32**: 439-459.
- KIEFER, B., RIEMANN, M., BÜCHE, C., KASSEMAYER, H.-H. und NICK, P.** (2002): The host guides morphogenesis and stomatal targeting in the grapevine pathogen *Plasmopara viticola*. Planta **215**: 387–393
- KLIEWE, H.** Ed. (1981): Wein und Gesundheit. Verlag und Druckerei D. Meininger GmbH, Neustadt a. d. Weinstraße.
- KOFOAT, A. und FISCHER, K.** (2007): Evaluation of plant resistance improvers to control *Peronospora destructor*, *P. parasitica*, *Bremia lactucae* and *Pseudoperonospora cubensis*. Journal of Plant Diseases and Protection **114** (2): 54-61.
- KOGEL, K. H. und LANGEN, G.** (2005): Induced disease resistance and gene expression in cereals. Cellular Microbiology **7** (11): 1555-1564.

- KORTEKAMP, A.** (2005): Growth, occurrence and development of septa in *Plasmopara viticola* and other members of the *Peronosporaceae* using light- and epifluorescence-microscopy. *Mycological Research* **109** (5): 640-648.
- KORTEKAMP, A.** (2006): Expression analysis of defense-related genes in grapevine leaves after inoculation with a host and a non-host pathogen. *Plant Physiology and Biochemistry* **44** (1): 58-67.
- KORTEKAMP, A.** (2008): *Plasmopara viticola* - Ein alter Bekannter mit unbekannten Eigenschaften. *Deutsches Weinbaujahrbuch* **60. Jahrgang**: 76-80.
- KORTEKAMP, A. und ZYPRIAN, E. V. A.** (2003): Characterization of *Plasmopara*-Resistance in grapevine using *in vitro* plants. *Journal of Plant Physiology* **160** (11): 1393-1400.
- KOTTE, W.** (1928): Die Wirkung des Kupfers auf den *Peronospora*-Pilz. *Weinbau und Kellerwirtschaft* **7**: 1-4.
- KUC, J.** (1995): Phytoalexins, stress metabolism, and disease resistance in plants. *Annual Review of Phytopathology* **33**: 275-297.
- KUC, J.** (2001): Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. *European Journal of Plant Pathology* **107** (1): 7-12.
- KÜHNE, S.** (2008): Zusammenfassung. Fachgespräch: „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“, Berlin-Dahlem, **142**: 4-5.
- KÜHNE, S., BURTH, U. und MARX, P.,** Eds. (2006): *Biologischer Pflanzenschutz im Freiland*. E. Ulmer.
- KULA, C.** (1999): Auswirkungen von Kupfer auf die terrestrische Flora und Fauna. *Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze, Berichte Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft*, **53**: 38-43
- LEUBNER-METZGER, G. und MEINS, F.** (1999): Functions and Regulation of Plant β -1,3-Glucanases (PR-2). In: S. K. DATTA and S. MUTHUKRISHNAN: *Pathogenesis-related proteins in plants*. CRC Press LLC Boca Raton, Florida: 49-76.
- LORENZ, D. H., EICHHORN, K. W., BLEIHOLDER, H., KLOSE, R., MEIER, U. und WEBER, E.** (1994): Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*). *Vitic. Enol. Sci.* **49**: 66-70.
- LOSKILL, B., GOBBIN, D. und BERKELMANN-LÖHNERTZ, B.** (2005): Bodenbürtige *Peronospora*-Infektionen. *Der Deutsche Weinbau* **7**: 26-29.
- LOSKILL, B. J.** (2003): Untersuchungen zur Biologie und Epidemiologie von *Plasmopara viticola* (BERK. & CURT.) BERL. & DE TONI auf der Basis serologischer und genetischer Studien. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

- LOUIS, F.** (1999): Einfluss von kupferhaltigen Fungiziden auf die Raubmilbe *Typhlodromus pyri* im Weinbau. Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze, Berichte Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. **53**: 55.
- LOULAKAKIS, K. A.** (1997): Genomic organization and expression of an osmotin-like gene in *Vitis vinifera* L. *Vitis* **36** (3): 157-158.
- LOZÁN, J. L. und KAUSCH, H.,** Eds. (1998): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Parey Buchverlag, Berlin.
- MEIER, U.,** Ed. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen, BBCH Monografie. Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft Braunschweig.
- MÉNARD, R., ALBAN, S., DE RUFFRAY, P., JAMOIS, F., FRANZ, G., FRITIG, B., YVIN, J.-C. und KAUFFMANN, S.** (2004): β -1,3 Glucan Sulfate, but not β -1,3 glucan, induces the salicylic acid signaling pathway in Tobacco and Arabidopsis. **16**: 3020-3032.
- METRAUX, J. P.** (2001): Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. *European Journal of Plant Pathology* **107** (1): 13-18.
- MOHR, H. D.,** Ed. (2005): Farbatlas Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge an der Weinrebe. E. Ulmer, Stuttgart.
- MOHR H. D., PORTZ C., HOLZ B., NOGA G., KAST W. K. und HENNING, M.** (2007): Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Blattbeläge und ihrer Wirkung gegen den Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*) – Teil 1: 2002 bis 2003. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **59** (3): 49-58.
- MOHR, H. D., HOLDER, J. und 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 2: 2004 bis 2006. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **60** (7): 145-156.
- MOLITOR, D. und LOSKILL, B. J.** (2008): Mündliche Mitteilung (14.12.2008).
- MOLITOR, D.** (2009): Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung der Schwarzfäule (*Guignardia bidwellii*) an Weinreben. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Giessen.
- MONOT, C., PAJOT, E., LE CORRE, D. und SILUE, D.** (2002): Induction of systemic resistance in broccoli (*Brassica oleracea* var. botrytis) against downy mildew (*Peronospora parasitica*) by avirulent isolates. *Biological Control* **24** (1): 75-81.

- MONTAG, J., SCHREIBER, L. und SCHÖNHERR, J.** (2006): An *in vitro* study of the nature of protective activities of copper sulphate, copper hydroxide and copper oxide against conidia of *Venturia inaequalis*. **154**: 474-481.
- MONTEIRO, S., BARAKAT, M., PICARRA-PEREIRA, M. A., TEIXEIRA, A. R. und FERREIRA, R. B.** (2003): Osmotin and Thaumatin from grape: a putative general defense mechanism against pathogenic fungi. **93**: 1505-1512.
- MÜLLER, K. und SLEUMER, H.** (1934): Biologische Untersuchungen über die Peronosporakrankheit des Weinstocks mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bekämpfung nach Inkubationsmethode. Z Wiss Landwirtsch **79**: 509–576.
- NAWRATH, C. und METRAUX, J. P.** (1999): Salicylic acid induction-deficient mutants of Arabidopsis express PR-2 and PR-5 and accumulate high levels of camalexin after pathogen inoculation. Plant Cell **11** (8): 1393-1404.
- NIGGLI, U., FLIESSBACH, A. und MÄDER, P.** (2008): Does organic farming have greater potential to adapt to climate change? 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy.
- NONAKA, M.** (1985): Variable sensitivity of *Trichoderma viride* to *Medicago sativa* saponins. Phytochemistry **25** (1): 73-75.
- OOSTENDORP, M., KUNZ, W., DIETRICH, B. und STAUB, T.** (2001): Induced disease resistance in plants by chemicals. European Journal of Plant Pathology **107** (1): 19-28.
- OROBER, M.** (2002): Mechanismen der Resistenzinduktion nach Blattbehandlungen mit Phosphaten. Dissertation Universität Hohenheim.
- OSBOURN, A.** (1996): Saponins and plant defense a soapstory. Trends in Plant Science **1** (1): 4-8.
- PAJOT, E., LE CORRE, D. und SILUE, D.** (2001): Phytogard (R) and DL-beta-amino butyric acid (BABA) induce resistance to downy mildew (*Bremia lactucae*) in lettuce (*Lactuca sativa* L). European Journal of Plant Pathology **107** (9): 861-869.
- PANICKER, S. und GANGADHARAN, K.** (1999): Controlling downy mildew of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* by foliar sprays of phosphonic acid compounds. Crop Protection **18** (2): 115-118.
- PATZWahl, W. und KOPF, A.** (1998): Ohne Kupfer erfolgreich gegen den Falschen Mehltau der Rebe? Ökologie und Landbau **26** (105): 46-47.
- PIETERSE, C. M. J. und VAN LOON, L. C.** (1999): Salicylic acid-independent plant defense pathways. Trends in Plant Science **4** (2): 52-58.
- POKORNY, O.** (2005): Antioxidativ wirksame Verbindungen in Brombeerblättern, *Cistus incanus*, Himbeerblättern, Pfefferminze und anderen Kräuter- und Früchtetees. Dissertation, Universität Carolo-Wilhelmina Braunschweig

- REPKA, V., FISCHEROVA, I. und SILHAROVA, K.** (2004): Methyl jasmonate is a potent elicitor of multiple defense responses in grapevine leaves and cell-suspension cultures. *Biologia Plantarum* **48** (2): 273-283.
- REUVENI, M., OPPENHEIM, D. und REUVENI, R.** (1998): Integrated control of powdery mildew on apple trees by foliar sprays of mono-potassium phosphate fertilizer and sterol inhibiting fungicides. *Crop Protection* **17** (7): 563-568.
- REUVENI, M., PIPKO, G., NEIFELD, D., FINKELSTEIN, E., MALKA, B. und HORNIK, Y.** (2005): Timorex – a new tea tree-based organic formulation for controlling grape powdery and downy mildew. 8th International Viticulture & Wine Conference Adelaide, South Australia. Proceedings.
- REUVENI, M. und REUVENI, R.** (1995): Efficacy of foliar sprays of phosphates in controlling powdery mildews in field-grown nectarine, mango trees and grapevines. *Crop Protection* **14** (4): 311-314.
- REUVENI, M., ZAHAVI, T. und COHEN, Y.** (2001): Controlling downy mildew (*Plasmopara viticola*) in field-grown grapevine with beta-aminobutyric acid (BABA). *Phytoparasitica* **29** (2): 125-133.
- ROBERT, N., FERRAN, J., BREDAS, C., COUTOS-THÉVENOT, P., BOULAY, M., BUFFARD, D. und ESNAULT, R.** (2001): Molecular characterization of the incompatible interaction of *Vitis vinifera* leaves with *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*: Expression of genes coding for stilbene synthase and class 10 PR protein. *European J. Plant Pathol.* **107**: 249-261.
- ROSS, A. F.** (1961): Systemic acquired resistance induced by localized virus infection in plants. *Virology* **14**: 340-358.
- ROßBERG, D.** (2007): NEPTUN oder „Wie oft wird gespritzt?“ *Gesunde Pflanzen* **59** (2): 55-65.
- ROSSI, V. und CAFFI, T.** (2007): Effect of water on germination of *Plasmopara viticola* oospores. *Plant Pathology* **56**: 957-966.
- RUMBOLZ, J., WIRTZ, S., KASSEMAYER, H. H., GUGGENHEIM, R., SCHÄFER, E. und BÜCHE, C.** (2002): Sporulation of *Plasmopara viticola*: differentiation and light regulation. *Plant biol.* **4**: 413-422.
- RYALS, J. A., NEUENSCHWANDER, U. H., WILLITS, M. G., MOLINA, A., STEINER, H. Y. und HUNT, M. D.** (1996): Systemic acquired resistance. *The Plant Cell* **8** (10): 1809-1819.
- SCHALLER, K., LÖHNERTZ, O. und BUBECK, K.** (1989): Einfluss unterschiedlicher Rebschutz-Verfahren auf die Schwermetallanreicherung in Weinbergsböden und deren Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit. *Deutsches Weinbaujahrbuch* **40**: 125–139.
- SCHERER, E. und GISI, U.** (2006): Characterization of genotype and mating type in European isolates of *Plasmopara viticola*. *J. Phytopathology* **154**: 489-495.

- SCHOLL, W. und ENKELMANN, R.** (1984): Zum Kupfergehalt von Weinbergsböden. *Landwirtsch. Forschung* **37**: 286–297.
- SCHRUFT, G. und KASSEMAYER, H. H., Eds.** (1999): Krankheiten und Schädlinge der Weinrebe. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- SCHRUFT, G., WOHLFARTH, P. und WEGNER, G.** (1990): Die Wirkung von Schwefel und Kupfer auf Raubmilben. *Rebe und Wein* **43**: (142-143).
- SLAUGHTER, A. R., HAMIDUZZAMAN, M. M., GINDRO, K., NEUHAUS, J. M. und MAUCH-MANI, B.** (2008): Beta-aminobutyric acid-induced resistance in grapevine against downy mildew: involvement of pterostilbene, Springer: 185-195.
- STEINER, H.** (1986): Möglichkeiten und Grenzen einer natürlichen Spinnmilbenbekämpfung durch Raubmilben. *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* **37**: 173-178.
- STICHER, L., MAUCH-MANI, B. und METRAUX, J. P.** (1997): Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology* **35**: 235-270.
- STRANGE, N. S., Ed.** (2003): Introduction to Plant Pathology. John Wiley & Sons, Ltd.
- TAMM, L., FUCHS, J. G., BÖGER, N., MÜHLETALER, L., AMSLER, A., LEVITE, D. und HÄSELI, A.** (2004): Eigenschaften von Tonerdepräparaten: Erfahrungen aus der Schweiz. *Intervitis Stuttgart*: 1. Internationales Symposium für ökologischen Weinbau, Stuttgart.Proceedings. 27-36.
- TUDZYNSKI, P. und KOKKELINK, L** (2009): *Botrytis cinerea*: Molecular Aspects of a Necrotrophic Life Style. in: *The Mycota V, Plant Relationships*, Deising H. (Ed), Springer Verlag, Berlin.
- VAN LOON, L. C.** (1997): Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *European Journal of Plant Pathology* **103** (9): 753-765.
- VAN LOON, L. C., REP, M. und PIETERSE, C. M. J.** (2006): Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Annual Review of Phytopathology* **44**: 135-162.
- VAN LOON, L. C. und VAN STRIEN, E. A.** (1999): The families of pathogenesis-related proteins, their activities, and comparative analysis of PR-1 type proteins. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **55** (2): 85-97.
- VINCKEN, J.-P., HENG, L., DE GROOT, A. und GRUPPEN, H.** (2007): Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry* **68** (3): 275-297.
- VOGT, E. und GÖTZ, B., Eds.** (1987): Weinbau - Lehr- und Handbuch für die Praxis und Schule. Ulmer, Stuttgart.

- WALTERS, D., WALSH, D., NEWTON, A. und LYON, G.** (2005): Induced Resistance for Plant Disease Control: Maximizing the Efficacy of Resistance Elicitors. *Phytopathology* **95**: 1368-1373.
- WANG, X., EL HADRAMI, A., ADAM, L. R. und DAAYF, F.** (2005): Genes encoding pathogenesis-related proteins PR-2, PR-3 and PR-9, are differentially regulated in potato leaves inoculated with isolates from US-1 and US-8 genotypes of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **67** (1): 49-56.
- WANG, X., WANG, Y., ZHANG, C. und ZHANG, J.** (2007): Isolation and characterization of cDNA encoding stilbene synthases from Chinese wild *Vitis pseudoreticulata*. *Vitis* **46** (3): 104-109.
- WIELGOSS, A. und KORTEKAMP, A.** (2006): Comparison of PR-1 expression in grapevine cultures after inoculation with a host- and a non-host pathogen. *Vitis* **45** (1): 9-13.
- WILBOIS, K.-P., MÄDER, R. und LIEBL, B., Eds.** (2008): Betriebsmittelliste 2008 für den ökologischen Landbau in Deutschland. FiBL, Frankfurt a. M.
- WILHELM, A. F.** (1940): Untersuchungen zur Frage der Kupferersparnis bei der Bekämpfung der Blattfallkrankheit der Reben (*Plasmopara viticola* Berl. et de Toni). *Wein und Rebe* **22**: 49–70, 87–95, 111–119.
- WINKLER, E.** (1980): Kupferbehandlung – Einfluss auf Menge und Güte des Ertrages sowie auf die Winterfrosthfestigkeit der Reben. *Rebe und Wein* **33**: 260–263.
- WOHLFARTH, P.** (1995): Ökologischer Weinbau – Ergebnisse aus den Jahren 1991 bis 1994. *Der Badische Winzer* **7**: 344–348.
- WONG, F. P., BURR, H. N. und WILCOX, W. F.** (2001): Heterothallism in *Plasmopara viticola*. **50**: 427-432.
- ZIADI, S., BARBEDETTE, S., GODARD, J. F., MONOT, C., LE CORRE, D. und SILUÉ, D.** (2001): Production of pathogenesis-related proteins in the cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*)-downy mildew (*Peronospora parasitica*) pathosystem treated with acibenzolar-S-methyl. *Plant Pathology* **50**: 579-586.

8.0 Anhang

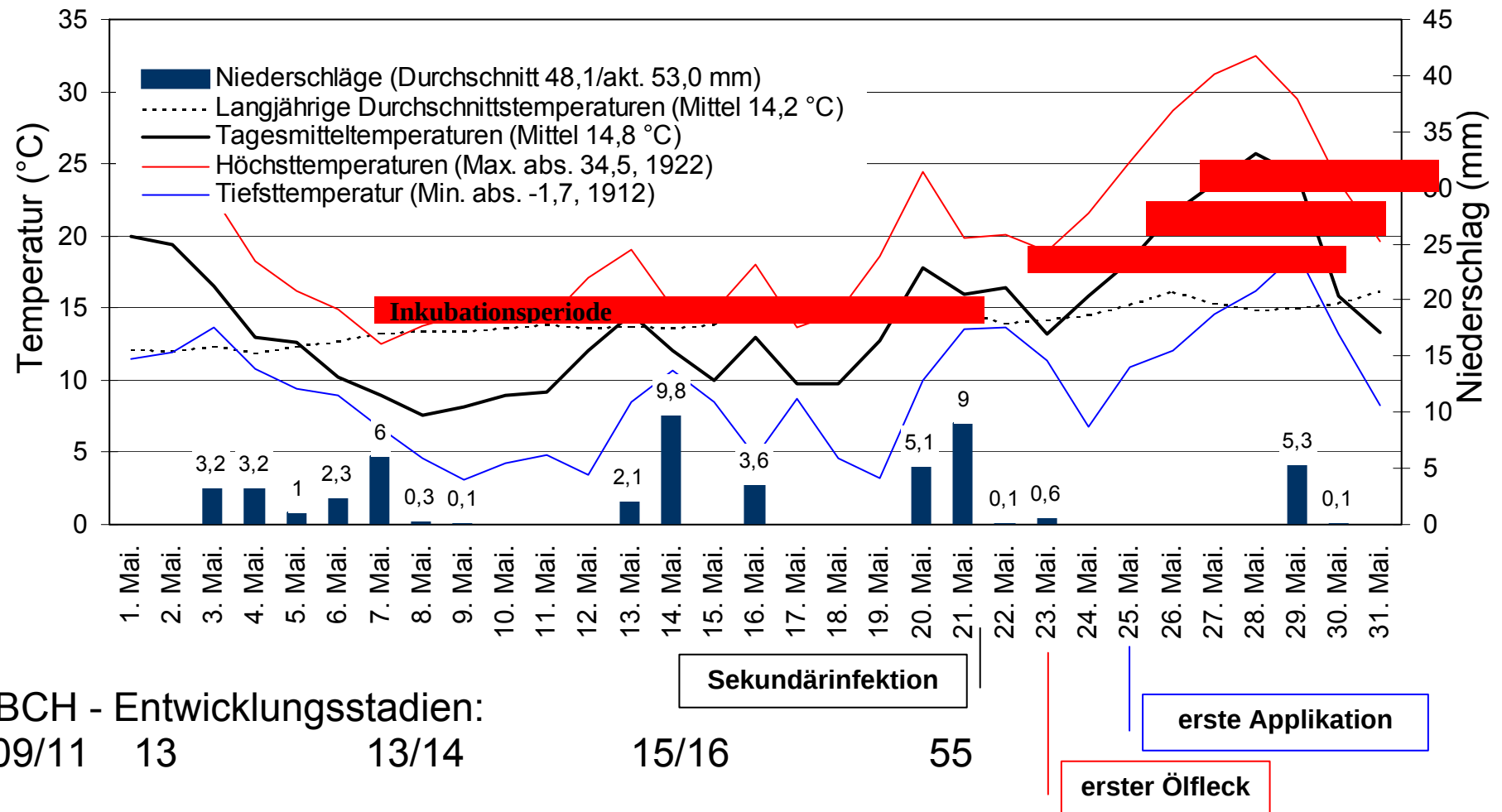
Anhang-Tab. 1: BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe (MEIER 2001)

BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der Weinrebe

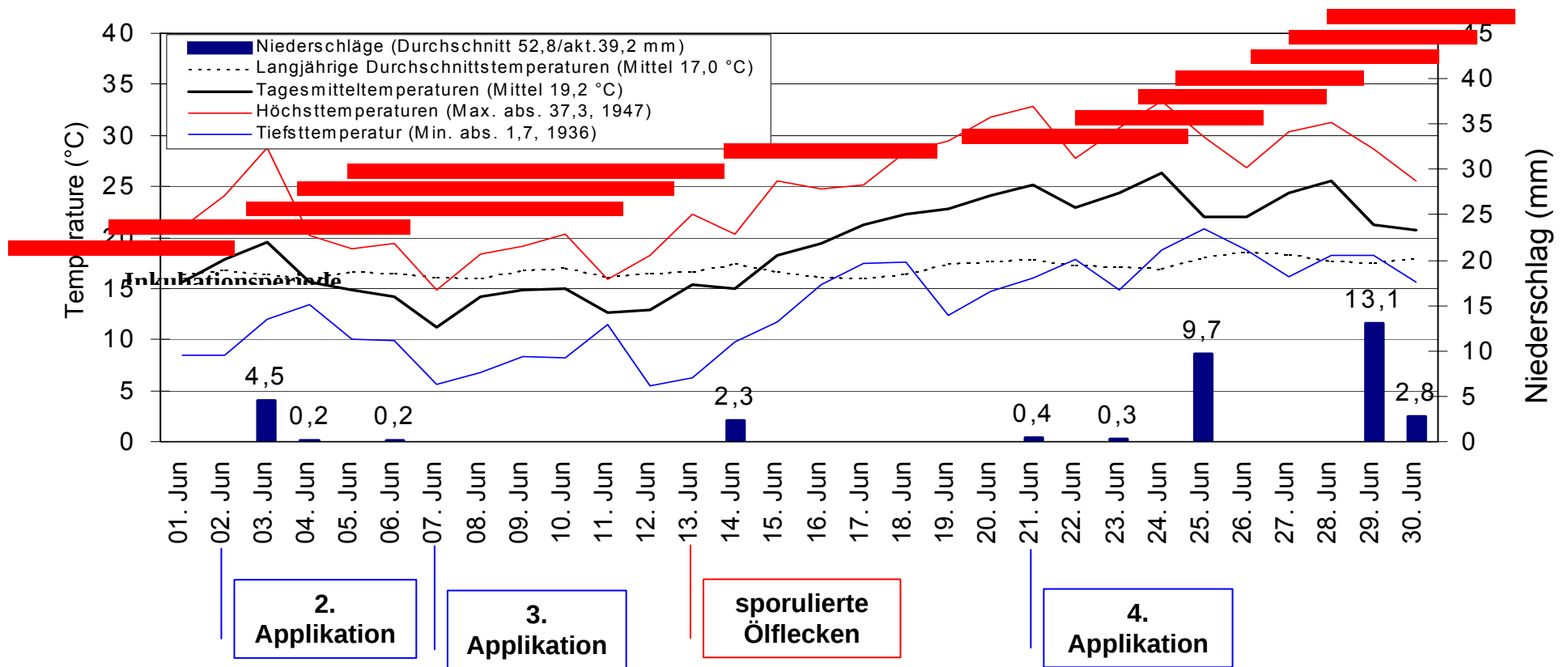
(*Vitis vinifera* L ssp. *vinifera*) nach LORENZ et al.(1994)

Code	Beschreibung
Makrostadium 0: Austrieb	
00	Vegetationsruhe: Winteraugen spitz bis rundbogenförmig, je nach Rebsorte hell- bis dunkelbraun; Knospenschuppen je nach Rebsorte mehr oder weniger geschlossen
01	Beginn des Knospenschwellens: Augen beginnen sich innerhalb der Knospenschuppen zu vergrößern
03	Ende des Knospenschwellens: Knospen geschwollen, aber noch nicht grün
05	„Wolle-Stadium“: wolleartiger brauner Haarbesatz deutlich sichtbar
07	Beginn des Knospenaufbruchs: grüne Tribspitzen werden sichtbar
09	Knospenaufbruch: grüne Tribspitzen deutlich sichtbar
Makrostadium 1: Blattentwicklung	
11	1. Laubblatt entfaltet und vom Trieb abgespreizt
12	2 Laubblätter entfaltet
13	3 Laubblätter entfaltet
1 .	Stadien fortlaufend bis ...
19	9 oder mehr Laubblätter entfaltet
Makrostadium 5: Entwicklung der Blütenanlagen	
53	„Gescheine“ (Infloreszenzen) deutlich sichtbar
55	„Gescheine“ (Infloreszenzen) vergrößern sich; Einzelblüten sind dicht zusammengedrängt
57	„Gescheine“ (Infloreszenzen) sind voll entwickelt; die Einzelblüten spreizen sich
Makrostadium 6: Blüte	
60	Erste Blütenköppchen lösen sich vom Blütenboden
61	Beginn der Blüte: 10% der Blütenköppchen abgeworfen
62	20% der Blütenköppchen abgeworfen
63	Vorblüte: 30% der Blütenköppchen abgeworfen
64	40% der Blütenköppchen abgeworfen
65	Vollblüte: 50% der Blütenköppchen abgeworfen
66	60% der Blütenköppchen abgeworfen
67	70% der Blütenköppchen abgeworfen
68	Abgehende Blüte: 80% der Blütenköppchen abgeworfen
69	Ende der Blüte

Code	Beschreibung
Makrostadium 7: Fruchtentwicklung	
71	Fruchtansatz; Fruchtknoten beginnen sich zu vergrößern; „Putzen der Beeren“ wird abgeschlossen
73	Beeren sind schrotkorngroß; Trauben beginnen sich abzusinken
75	Beeren sind erbsengroß; Trauben hängen
77	Beginn des Traubenschlusses
79	Ende des Traubenschlusses
Makrostadium 8: Fruchtreife	
81	Beginn der Reife, Beeren beginnen hell zu werden (bzw. beginnen sich zu verfärben)
83	Fortschreiten der Beeren-Aufhellung (bzw. Beerenverfärbung)
85	Weichwerden der Beeren
89	Vollreife der Beeren (Lesereife)
Makrostadium 9: Eintreten der Vegetationsruhe	
91	Nach der Lese: Abschluss der Holzreife
92	Beginn der Laubblattverfärbung
93	Beginn des Laubblattfalls
95	50% der Laubblätter abgefallen
97	Ende des Laubblattfalls
99	Erntegut /Trauben



Anhang-Abb. 1: Infektionsbeginn und Verlauf von *Plasmopara viticola* im Monat **Mai 2005** und Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von Mai 2005. Dargestellt sind Niederschläge (mm; blaue Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie). Unterhalb des Diagramms wurden der Zeitpunkt der Primärinfektion und der Sekundärinfektion, das Auftreten des ersten Ölflecks und der Start der Applikationsintervalle sowie die BBCH - Entwicklungsstadien angegeben. Die roten Balken zeigen die Inkubationszeiten an.



BBCH-Entwicklungsstadien:

57

60

60/61

68

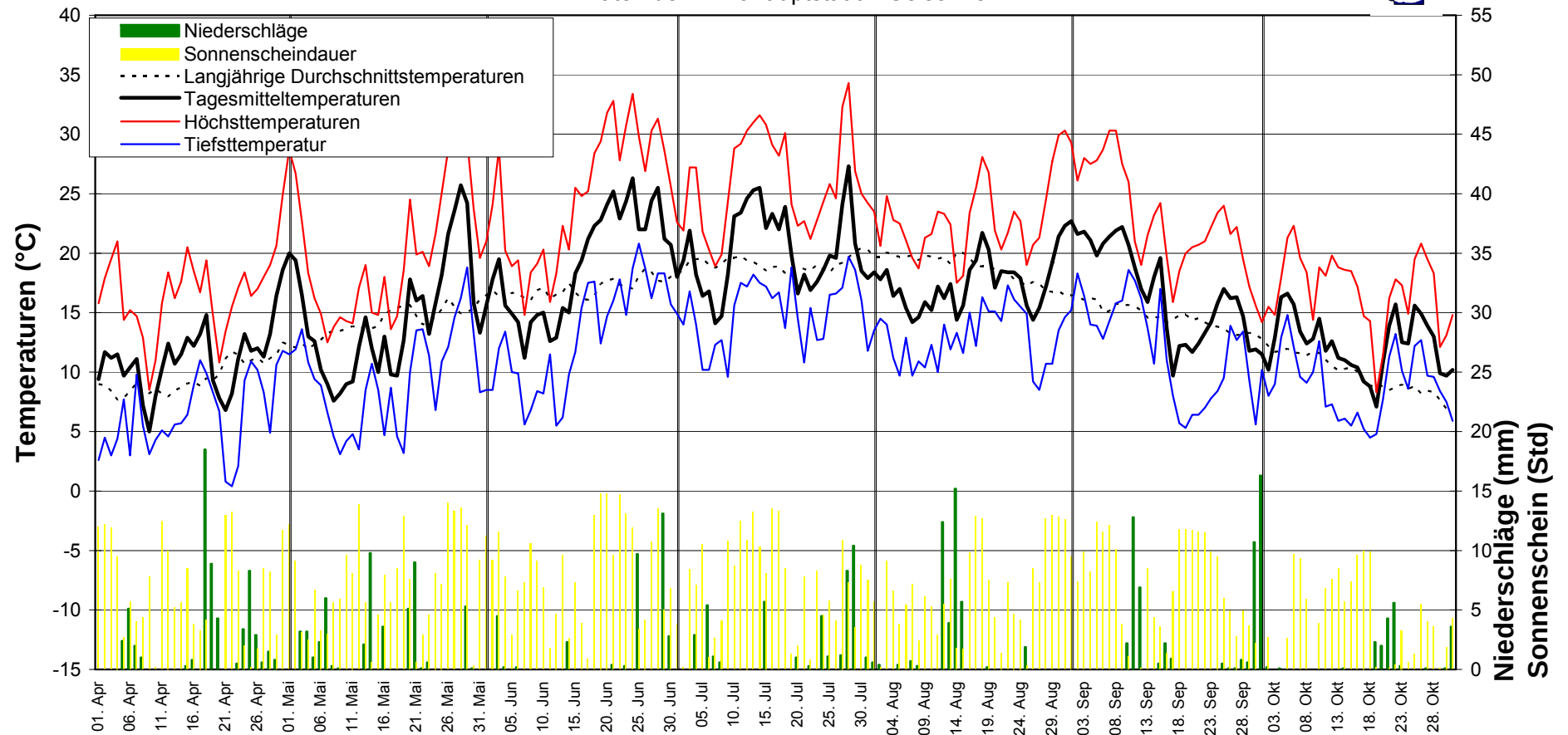
71/73

Anhang-Abb. 2: Infektionsbeginn und Verlauf von *Plasmopara viticola* im Monat Juni 2005 und Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von Mai 2005. Dargestellt sind Niederschläge (mm; blaue Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie). Unterhalb des Diagramms wurden der Zeitpunkt der Primärinfektion und der Sekundärinfektion, das Auftreten des ersten Ölflecks und der Start der Applikationsintervalle sowie die BBCH - Entwicklungsstadien angegeben. Die roten Balken zeigen die Inkubationszeiten an.

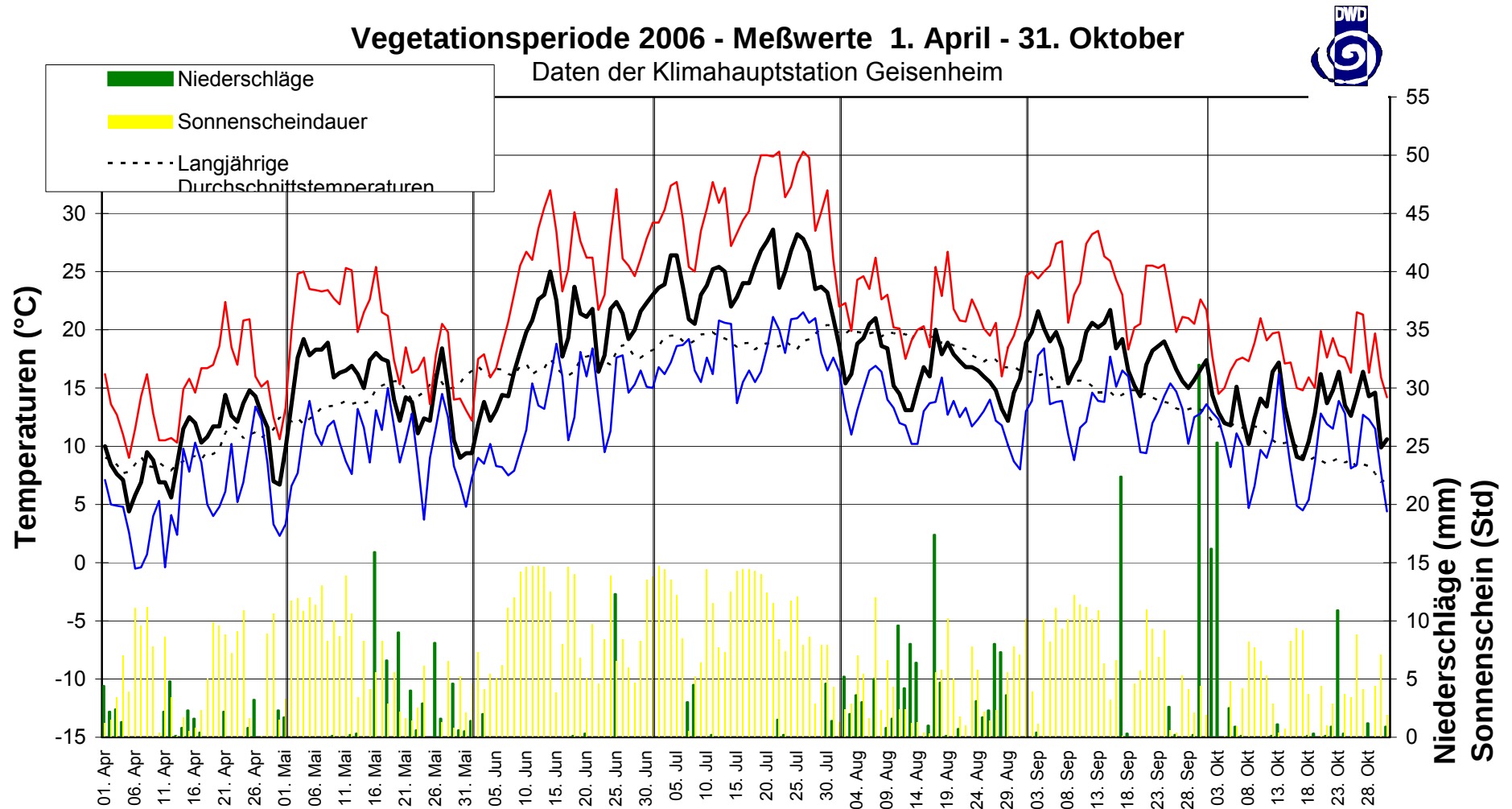


Vegetationsperiode 2005 - Meßwerte 1. April - 31. Oktober

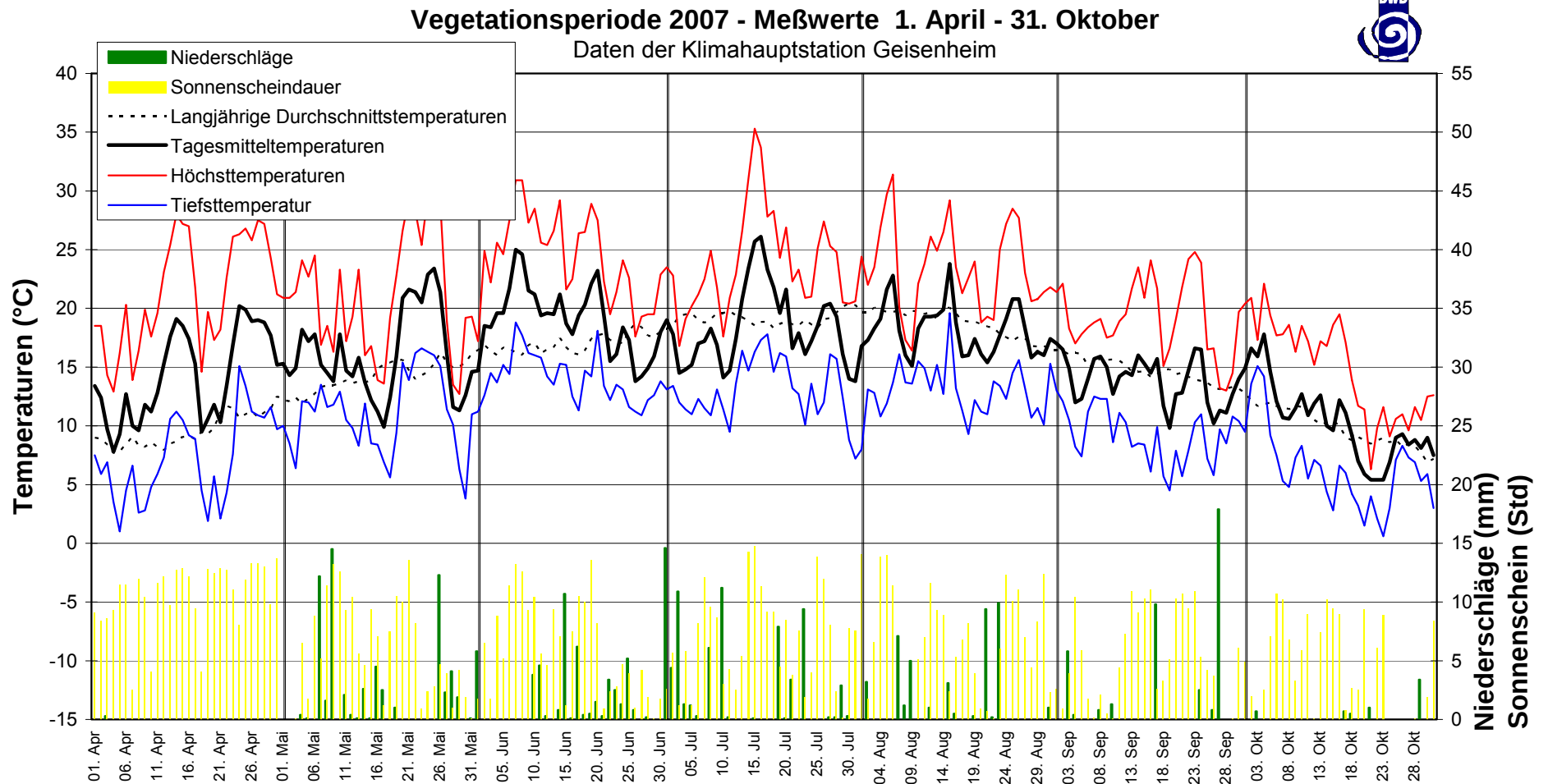
Daten der Klimahauptstation Geisenheim



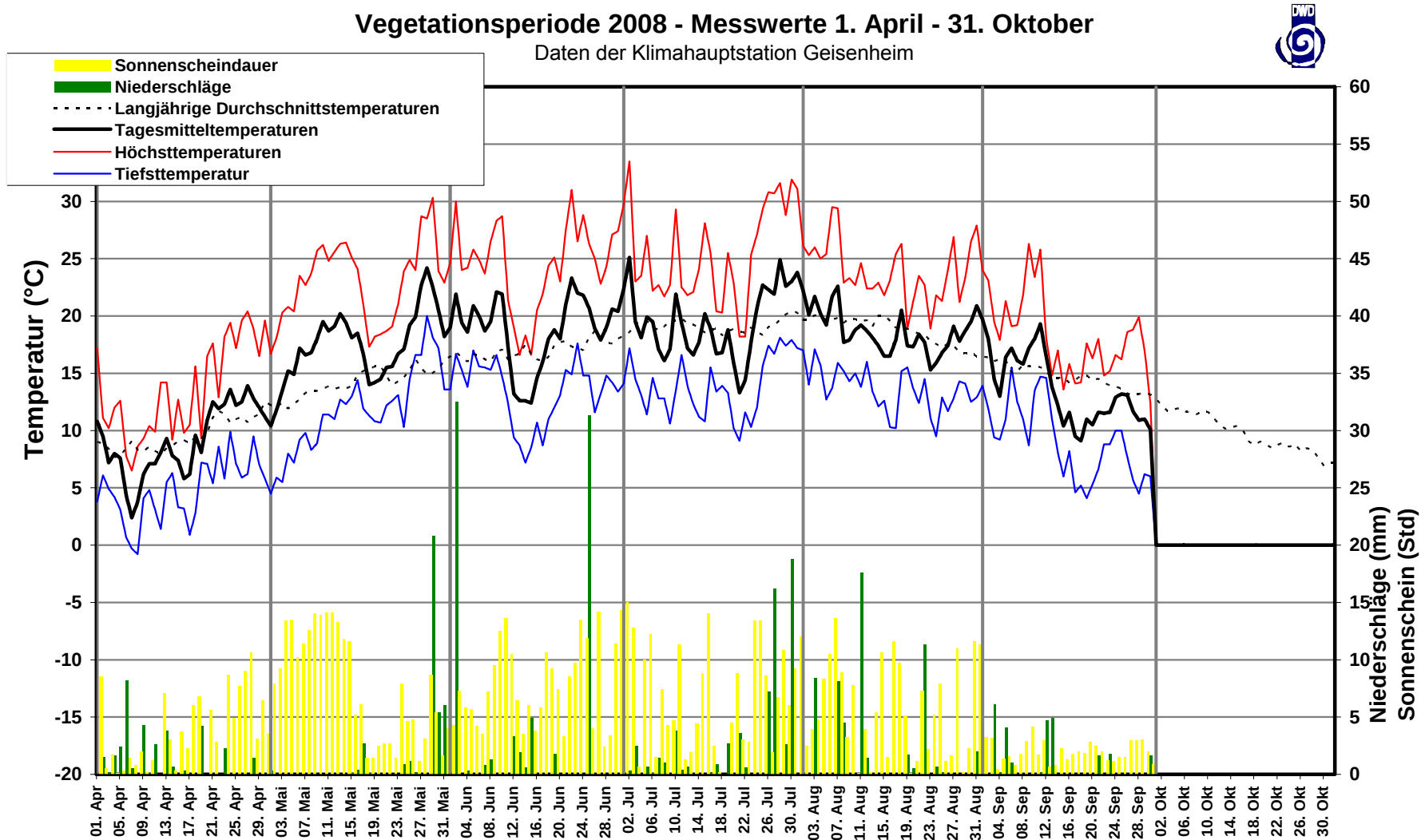
Anhang-Abb. 3: Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von **April bis Oktober 2005**. Dargestellt sind Niederschläge (mm; grüne Balken), Sonnenscheindauer (Stunden (Std); gelbe Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie)



Anhang-Abb. 4: Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von **April bis Mitte Oktober 2006**. Dargestellt sind Niederschläge (mm; grüne Balken), Sonnenscheindauer (Stunden (Std); gelbe Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie).



Anhang-Abb. 5: Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von **April bis Oktober 2007**. Dargestellt sind Niederschläge (mm; grüne Balken), Sonnenscheindauer (Stunden (Std); gelbe Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie).



Anhang-Abb. 6: Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (Geisenheim) von **April bis September 2008**. Dargestellt sind Niederschläge (mm; grüne Balken), Sonnenscheindauer (Stunden (Std); gelbe Balken), sowie Verlauf der Temperatur (rote (max.), blaue (min.) Linie und schwarze (Tagesmittelwert)) im Vergleich zum Jahresmittelwert von 1971-2000 (gestrichelte Linie)

																				Nr. Bezeichnung	
P	P	P	10/1	5/1	7/1	6/2	2/1	5/2	8/2	11/2	1/3	6/3	3/3	9/3	2/4	4/4	7/4	11/4	P	1 Kontrolle	
P	P	11/1	3/1	8/1	2/2	10/2	3/2	9/2	12/2	10/3	5/3	7/3	12/3	4/3	1/4	9/4	6/4	12/4	P	2 Folpan 80 WDG	
				1/1	4/1	6/1	9/1	1/2	7/2	4/2	12/1	11/3	2/3	8/3	5/4	3/4	10/4	8/4	P	3 Cuprozin fl.	
																				4 Rocksil	
																				5 Algin Biovital	
																				10 SPU-01010-F	
																				11 SPU-02610-Z	
																				12 SPU-01340-F	
																				13 SPU-02540-F	
Zeile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

Anhang-Abb. 7: Lageplan des Versuchsweinberges „Kellersgrube“ im Jahr 2005; P =Pufferzeile

																			Nr. Bezeichnung	
P	10/1	5/1	7/1	6/2	2/1	5/2	8/2	11/2	1/3	6/3	11/4	9/3	2/4	4/4	7/4	P	P			
P	11/1	8/1	2/2	10/2	4/1	9/2	3/1	10/3	5/3	7/3	3/3	4/3	1/4	9/4	6/4	P	P			
		1/1	3/2	6/1	9/1	1/2	7/2	4/2	8/4	11/3	2/3	8/3	5/4	3/4	10/4	P	P			
																			1	Kontrolle
																			2	Folpet
																			3	Cuprozin FI. (3 kg/ha)
																			4	Cuprozin FI. (1,5 kg/ha)
																			5	Kendal* + Myco-Sin VIN
																			6	Myco-Sin VIN
																			7	Algin Biovital* + Cuprozin FI. (1,5 kg/ha)
																			8	Kendal* + Cuprozin FI. (1,5 kg/ha)
																			9	Rocksil*
																			10	Timorex*
Zeile	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		

Anhang-Abb. 87: Lageplan des Versuchsweinberges „Kellersgrube“ im Jahr 2006; P =Pufferzeile

P	P	10/1	5/1	7/1	6/2	2/1	5/2	9/2	11/2	12/2	1/3	6/3	11/4	9/3	2/4	4/4	7/4	P
P	1/1	11/1	8/1	2/2	10/2	12/1	8/2	3/1	10/3	5/3	7/3	3/3	4/3	12/3	1/4	9/4	6/4	P
			4/1	3/2	6/1	9/1	1/2	7/2	4/2	8/4	11/3	2/3	8/3	5/4	3/4	12/4	10/4	P

Zeile 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

NR.	Bezeichnung 2007	NR.	Bezeichnung 2008
1	Kontrolle	1	Kontrolle
2	Folpan 80 WDG	2	Folpan 80 WDG
3	Cuprozin fl. (3 kg/ha)	3	Cuprozin fl. (3 kg/ha)
4	Cuprozin fl. (1,5 kg/ha)	4	Cuprozin fl. (1,5 kg/ha)
5	Rocksil 1%	5	Waschnuss/NuFilm-P
6	Rocksil 2%	6	Myco-Sin VIN proagro
7	Myco-Sin VIN	7	Frutogard/ProAgro+CuOH
8	Myco-Sin VIN + Kendal		
12	Kupferprotein-2		

Anhang-Abb. 9: Lageplan des Versuchsweinberges „Kellersgrube“ im Jahr 2007 und 2008; P =Pufferzeile

Puffer öko standard	Puffer öko standard	3/2	15/2	5/2	4/2	12/2	11/2	2/2	10/2	8/3	9/3	13/3	1/3	7/3	14/3	6/3	Puffer öko standard	Puffer öko standard
		13/2	8/2	9/2	6/2	1/2	7/2	14/2	12/3	2/3	15/3	3/3	5/3	10/3	4/3	11/3		
		5/1	1/1	14/1	2/1	10/1	3/1	15/1	9/4	7/4	4/4	12/4	11/4	6/4	13/4	8/4		
		11/1	4/1	7/1	9/1	6/1	12/1	13/1	8/1	1/4	10/4	5/4	2/4	3/4	15/4	14/4		

Zeile 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238

Nr.	Bezeichnung 2005	Bezeichnung 2006	Bezeichnung 2007	Bezeichnung 2008
1	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle
2	Folpan 80 WDG	Folpan 80 WDG	Folpan 80 WDG	Folpan 80 WDG
3	Cuprozin Fl. (3 kg Cu/ha)	Cuprozin Fl. (3 kg Cu/ha)	Cuprozin Fl. (3 kg Cu/ha)	Cuprozin Fl. (3,0 kg Cu/ha)
4	öko-Standard	öko-Standard	öko-Standard	öko Standard
5	Myco-Sin VIN 05	Cuprozin Fl. (1,5 kg Cu/ha)	Cuprozin Fl. (1,5 kg Cu/ha)	Cuprozin Fl. (1,5 kg Cu/ha)
6	Algin Biovital	SPU-02690-F	SPU-02690-F	SPU-02980-F
7	Algin Biovital + Cuprozin fl. (0,05%)	SPU-01010-F	Rocksil	Frutogard & proagro; Cuprozin Fl.
8	SPU-01010 F	Kendal*+Cuprozin Fl.	Kendal & Myco-Sin VIN	Frutogard & Trifolio-S-Forte; Cuprozin Fl.
9	SPU-02540 F	Algin Biovital* + Cuprozin Fl.	Frutogard-3b	Frutogard-1
10	Rocksil	Algin Biovital* + Cuprozin Fl.	Myco-Sin VIN	Frutogard-3
11	Kupferprotein	Rocksil*	Algin Biovital & Cuprozin fl. (0,05%)	
12	Frutogard-1	Frutogard-1	Frutogard-1	Myco-Sin VIN & proagro
13	Frutogard-3	Frutogard-3	Frutogard-3	Algin Biovital & proagro; Cuprozin Fl. (1,5 kg Cu/ha)
14				Waschnuss & Nufilm-P

Anhang-Abb. 10: Lageplan des Versuchsweinberges Mäuerchen in den Jahren 2005-2008

[illegible]

Ölflecken sichtbar

23. Mai

[illegible]

	Anwendungstermine						
Termin	1	2	3	4	5	6	7
Datum	23.Mai 2006	06.Juni 2006	20.Juli 2006	04.Juli 2006	18.Juli 2006	01.August 2006	15.August 2006
Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	17	55	68	73	79	79	81
Wasserberechnungsgrundlage (l/ha)	600	800	1000	1200	1600	1600	1600
Applikationsgerät	Pneumatisches Applikationsgerät für Raumkulturen (Schachtner-Tunnel)						
Düsenbezeichnung	Teejet-Flachstrahldüsen 80° in der Traubenzone 80015, sonst 8001						
Anzahl Düsen	4	6	8	8	8	8	8
Ausbringmenge (l/min)	2,8	4,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Druck (bar)	7	7	7	7	7	7	7
Fahrtgeschwindigkeit (m/s)	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5
Witterung zu Beginn der Applikation							
Uhrzeit (MEZ)	11:50	09:00	07:50	08:00	08:00	07:40	10:05
Windgeschwindigkeit (m/s)	1-3	1	0	0	0	0	0-1
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	6	1	7	0	0	7	8
Temperatur (°C)	14	12,7	18,6	20,8	18,7	17,2	16,1
relative Luftfeuchte (%)	49	60	87	72	65	79	75
Witterung am Ende der Applikation							
Uhrzeit (MEZ)	14:10	11:45	10:00	10:00	10:00	09:45	11:30
Windgeschwindigkeit (m/s)	2-3	1	0	0	0	0	0-1
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	6	4	3	0	0	8	8
Temperatur (°C)	14,6	15,6	21,6	25,6	24,9	20,0	17,4
relative Luftfeuchte (%)	47	49	75	55	43	60	72
Niederschlagsereignisse > 10 mm	16.Mai (15,9 mm)	25.Juni (12,3 mm)					
Ölflecken sichtbar							
				01.Juli 2006			

Anhang-Tab. 6: Angaben zu den durchgeführten Applikationen am Standort „Mäuerchen“ 2007 sowie zum ersten Auftreten von *P. viticola*

Termin	Applikationstermine								
	1a (VG 11)	1	2	3	4	5	6	7	8
Datum	24.April 2007	10.Mai 2007	21.Mai 2007	31.Mai 2007	11.Juni 2007	20.Juni 2007	02.Juli 2007	12.Juli 2007	23.Juli 2007
Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	14/15	55	57	65/68	71	75/77	79	79	79
Wasserberechnungsgrundlage (l/ha)	10	600	800	1000	1200	1400	1600	1600	1600
Applikationsgerät	Motor-Rückensprit Pneumatisches Applikationsgerät für Raumkulturen (Schachtner-Tunnel)								
Düsenbezeichnung	Teejet-Flachstrahl Teejet-Flachstrahldüsen 80° in der Traubenzone 80015, sonst 80010								
Anzahl Düsen	1	6	6	8	8	8	8	8	8
Ausbringmenge (l/min)	2,8	4,2	4,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Druck (bar)	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0
Fahrtgeschwindigkeit (m/s)	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5	2,2-2,5
Witterung zu Beginn der Applikation									
Uhrzeit (MEZ)	8:30	08:15	07:50	08:00	12:00	07:30	09:45	08:00	08:00
Windgeschwindigkeit (m/s)	0	3-5	0	0	0	0	1-2	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	5 bis 6	6	2	8	6	6	7	7	7
Temperatur (°C)	16,9	15,0	16,7	13,5	19,5	21,0	16,9	14,1	13,7
relative Luftfeuchte (%)	65	74	79	65	79	79	87	82	81
Witterung am Ende der Applikation									
Uhrzeit (MEZ)	9:00	12:50	12:00	12:00	15:40	11:11	14:10	11:30	11:25
Windgeschwindigkeit (m/s)	0	4-6	0	0	0	0	1-2	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	4 bis 5	6	1	8	6	6	4	1	8
Temperatur (°C)	18,1	21,2	24,6	15,2	22,9	23,0	20,8	17,1	18,7
relative Luftfeuchte (%)	58	45	58	68	65	70	61	64	67
Niederschlagsereignisse > 10 mm									
	7. Mai (12 mm) 9. Mai (15 mm)		26. Mai (12,3 mm)		15. Juni (10,7 mm) zuvor Regenperioden	1. Juli (14,6 mm)	3. Juli (10,9 mm) 10. Juli (11,2 mm)		
Ölflecken sichtbar									
			26. Mai			22. Juni			

Anhang-Tab. 7 : Angaben zu den durchgeführten Applikationen am Standort „Kellersgrube“ 2007 sowie zum ersten Auftreten von *P. viticola*

Termin	Applikationstermine							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Datum	14.Mai 2007	24.Mai 2007	04.Juni 2007	14. Juni 2007	25.Juni 2007	05.Juli 2007	16.Juli 2007	26.Juli 2007
Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	55	60	68/69	73	75/77	79	79	79/81
Wasserberechnungsgrundlage (l/ha)	600	800	1200	1200	1400	1600	1600	1600
Applikationsgerät	Pneumatisches Applikationsgerät für Raumkulturen (Schachtner-Tunnel)							
Düsenbezeichnung	Teejet-Flachstrahldüsen 80° in der Traubenzone 80015, sonst 80010							
Anzahl Düsen	6	6	8	8	8	8	8	8
Ausbringmenge (l/min)	4,2	4,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Druck (bar)	7	7	7	7	7	7	7	7
Fahrgeschwindigkeit (m/s)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Witterung zu Beginn der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	07.45	07.50	08.00	08.00	08.00	08.15	07.45	08.00
Windgeschwindigkeit (m/s)	0	0	0-1	0	0	0	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	8	1	3	1	6	8	1	2
Temperatur (°C)	13,9	18,5	17,2	17,6	17,4	15,4	19,5	14,3
relative Luftfeuchte (%)	75	80	79	82	88	66	74	82
Witterung am Ende der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	10.00	10.25	10.00	10.15	10.00	10.50	10.30	09.30
Windgeschwindigkeit (m/s)	0	0	0-1	0	0	0	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	8	1	3	0	6	8	1	0
Temperatur (°C)	14,6	22,8	20,2	22,0	18,4	19,3	25,4	17,7
relative Luftfeuchte (%)	80	65	68	62	81	46	24	71
Niederschlagsereignisse > 10 mm	7. Mai (12 mm) 9. Mai (15 mm)	26. Mai (12,3 mm)		15. Juni (10,7 mm) zuvor Regenperioden	1. Juli (14,6 mm) 3. Juli (10,9 mm)	10. Juli (11,2 mm)		
Ölflecken sichtbar		26. Mai		22. Juni				

Anhang-Tab. 8: Angaben zu den durchgeführten Applikationen am Standort „Mäuerchen“ 2008 sowie zum ersten Auftreten von *P. viticola*

Termin	Applikationstermine							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Datum	26.05.2008	04.06.2008	16.06.2008	26.06.2008	07.07.2008	17.07.2008	27.07.2008	05.08.2008
Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	55	57	68	73	77	77/79	79	79
Wasserberechnungsgrundlage (l/ha)	600	800	1200	1200	1600	1600	1600	1600
Applikationsgerät	Pneumatisches Applikationsgerät für Raumkulturen (Schachtner-Tunnel)							
Düsenbezeichnung	Teejet-Flachstrahldüsen 80° in der Traubenzone 80015, sonst 80010							
Anzahl Düsen	6	8	8	8	8	8	8	8
Ausbringmenge (l/min)	4,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Druck (bar)	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0
Fahrgeschwindigkeit (m/s)	2,2-2,5	3,0	3	3	3	3	3	3
Witterung zu Beginn der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	08.40	08.15	09.00	08.20	08.30	08.02	09.40	08.30
Windgeschwindigkeit (m/s)	0-1	0	0-2	0	4	0	0-2	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	6	2	3	1	0-2	7	2	1
Temperatur (°C)	19,2	19,2	15,6	18,9	17,9	15,5	24,6	20,3
relative Luftfeuchte (%)	69	75	65	54	54	74	64	55
Witterung am Ende der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	13.00	11.30	11.40	11.20	11.00	11.15	12.30	11.10
Windgeschwindigkeit (m/s)	0	0	0-2	0-1	4	0	0-2	0-1
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	6	3	2	1	0-2	7	2	1
Temperatur (°C)	21,8	23,3	17,0	22,9	20,2	19,3	29,1	22,8
relative Luftfeuchte (%)	63	56	48	39	41	58	40	47
Niederschlagsereignisse > 10 mm	29. Mai (20,8 mm) 2. Juni (32,5 mm)	15. Juni (15,6 mm)		29. Juni (31,3 mm)			27. Juli (16,2 mm) zuvor Regenperioden 30. Juli (18,8 mm)	11. August (17,6 mm) zuvor Regenperioden
Ölflecken sichtbar			19. Juni		15. Juli			

Anhang-Tab. 9: Angaben zu den durchgeführten Applikationen am Standort „Kellersgrube“ 2008 sowie zum ersten Auftreten von *P. viticola*

Termin	Applikationstermine							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Datum	29.05.2008	09.06.2008	19.06.2008	30.06.2008	10.07.2007	21.07.2008	31.07.2008	11.08.2008
Entwicklungsstadium (BBCH-Code)	55	65	71	75	77/79	79	79	81
Wasserberechnungsgrundlage (l/ha)	600	1000	1200	1400	1600	1600	1600	1600
Applikationsgerät	Pneumatisches Applikationsgerät für Raumkulturen (Schachtner-Tunnel)							
Düsenbezeichnung	Teejet-Flachstrahldüsen 80° in der Traubenzzone 80015, sonst 80010							
Anzahl Düsen	6	8	8	8	8	8	8	8
Ausbringmenge (l/min)	4,2	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Druck (bar)	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0	ca. 7,0
Fahrgeschwindigkeit (m/s)	2,2-2,5	2,2-2,5	3	3	3	3	3	3
Witterung zu Beginn der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	08.15	09.30	08.15	08.30	08.00	08.10	08.40	08.15
Windgeschwindigkeit (m/s)	0-1	0-1	0	0-1	0	0	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	4	1	2	2	2	4	1	3
Temperatur (°C)	24,0	24,0	19,0	20,2	20,4	16,8	23,2	18,7
relative Luftfeuchte (%)	66	42	62	55	64	51	74	79
Witterung am Ende der Applikation								
Uhrzeit (MEZ)	10.15	10.40	10.20	09.30	09.30	09.40	10.15	09.30
Windgeschwindigkeit (m/s)	0-1	0-1	0-1	0-1	0	3-4	0	0
Bedeckungsgrad (s. Anlage)	2	1	5	2	2	3	1	4
Temperatur (°C)	26,0	25,4	22,3	21,7	24,4	17,2	26,2	20,5
relative Luftfeuchte (%)	62	38	41	55	52	48	62	71
Niederschlagsereignisse > 10 mm								
	29. Mai (20,8 mm) 2. Juni (32,5 mm)	15. Juni (15,6 mm)	29. Juni (31,3 mm)			27. Juli (16,2 mm) zuvor Regenperioden 30. Juli (18,8 mm)		11. August (17,6 mm) zuvor Regenperioden
Ölflecken sichtbar								
			19. Juni		15. Juli			

Anhang-Tab. 10: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Mostanalyse 2005** der Moste der Versuchsglieder aus dem Versuchsweinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglied	Brix °	Dichte 20/20	pH- Wert	Gesamt- säure g/l	Wein- säure g/l	Äpfel- säure g/l	Flüchtige Säure g/l	Glucose g/l	Fructose g/l
Folpan 80 WDG	22,05	1,0945	3,18	7,87	5,9	3,0	0,2	112,7	119,8
Cuprozin Flüssig	21,8	1,0935	3,2	8,1	5,9	3,3	0,1	111,0	118,1
Öko-Standard	22,54	1,0971	3,20	7,95	6,1	3,1	n.n.	114,8	120,2
SPU-01010-F	21,64	1,0930	3,18	8,07	6,2	3,3	n.n.	109,8	114,1
SPU-02540-F	20,52	1,0880	3,18	7,82	5,8	3,4	n.n.	103,4	107,4
Kupferprotein	21,3	1,0908	3,1	8,1	6,1	3,5	0,2	107,0	115,0
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	22,45	1,0967	3,20	7,55	5,9	3,0	n.n.	114,3	120,1
Algin Biovital	22,40	1,0965	3,20	8,19	6,5	3,3	n.n.	112,9	118,0
Myco-Sin VIN 05	22,59	1,0974	3,17	7,76	5,9	3,2	n.n.	115,4	119,9
Rocksil	23,06	1,0993	3,21	8,26	6,4	3,3	n.n.	117,1	122,0
Frutogard-1	22,55	1,0971	3,21	7,34	5,8	2,9	n.n.	115,9	121,0
Frutogard-3	22,50	1,0965	3,18	7,89	5,8	3,0	0,2	115,2	121,5

Anhang-Tab. 11: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Mostanalyse 2006** der Moste der Versuchsglieder aus dem Versuchsweinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglied	Brix	Dichte	pH - Wert	Gesamt-säure	Wein-säure	Äpfel-säure	flüchtige Säure	Glucose	Fructose	Glycerin	Glucon-säure
	°	20/20		g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
Folpan 80 WDG	24,92	1,1092	3,1	10,6	6,6	3,5	0,4	116,6	131,3	6,9	3,7
Cuprozin Fl. 3Kg	25,58	1,1126	3,2	9,0	5,6	3,1	0,3	124,6	140,1	6,2	1,9
öko-Standard	25,47	1,1125	3,1	9,9	6,1	3,5	0,3	124,0	139,3	6,2	2,2
Cuprozin Fl. 1,5Kg	26,02	1,1145	3,2	9,8	5,9	3,2	0,3	126,5	141,8	7,0	2,5
SPU-02690-F	25,56	1,1125	3,1	9,9	6,2	3,2	0,3	123,1	136,3	7,0	3,2
SPU-01010-F	25,48	1,1114	3,2	9,5	6,0	3,0	0,4	123,1	135,6	7,3	3,0
Kendal + Cuprozin Fl.	25,14	1,1106	3,1	10,4	6,3	3,5	0,4	122,1	134,8	6,6	3,0
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	26,10	1,1150	3,2	9,1	5,7	2,8	0,3	127,6	143,4	6,5	2,3
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	25,29	1,1112	3,1	10,9	6,5	3,9	0,4	121,5	133,3	7,3	3,5
Rocksil	26,16	1,1154	3,2	9,2	5,8	2,9	0,3	127,7	143,0	6,6	2,2
Frutogard-1	25,36	1,1113	3,2	9,6	5,8	3,4	0,3	122,6	136,9	6,6	2,4
Frutogard-3	25,36	1,1116	3,2	9,0	5,6	3,0	0,3	123,4	139,8	6,2	1,9

Anhang-Tab. 12: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Mostanalyse 2007** der Moste der Versuchsglieder aus dem Versuchsweinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglieder	Brix	Dichte	pH - Wert	Gesamt- säure	Wein- säure	Äpfel- säure	fl. Säure	Glucose	Fructose	Glycerin
	°	20/20	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
Folpan 80 WDG	21,8	1,0948	3,37	7,3	3,5	4,3	0,2	110,72	118,38	0,5
Cuprozin Fl. (3 kg)	20,7	1,0900	3,32	5,5	3,8	2,2	0,18	108,62	117,03	1,1
öko-Standard	22,4	1,0980	3,46	6,4	4,6	2,7	0,32	112,03	119,38	1,3
Cuprozin Fl. (1,5 kg)	20	1,0873	2,99	10,1	7	3,5	0,16	110,15	117,7	0,7
SPU-02690-F	21,4	1,0940	3,1	9,5	6,4	3,9	0,2	112,27	120,11	1,2
Rocksil	21,3	1,0929	3,09	9,1	5,9	3,7	0,17	112,49	119,8	1,1
Kendal und Myco-Sin VIN	21,3	1,0932	3,13	9,9	6,1	4,2	0,2	113,4	121,5	1,1
Frutogard bis ES 68 und Cu	21,7	1,0955	3,11	10	6,6	4	0,18	112,53	120,16	1,3
Myco-Sin VIN	21,7	1,0951	3,12	9,8	6,4	4	0,16	110,66	117,57	1,2
Algin Biovital III * und Cu	21,3	1,0933	3,14	9,4	6,1	3,9	0,2	110,23	118,32	1,3
Frutogard-1	21,8	1,0954	3,17	9,5	6,3	3,7	0,22	117,22	117,22	1,3
Frutogard-3	21,6	1,0949	3,14	9,6	6	4,2	0,21	116,86	116,86	0,9

Anhang-Tab. 13: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Weinanalyse** der Weine aus dem Jahr **2005** der Versuchsglieder aus dem Versuchsw Weinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglied	Dichte	Gesamt alkohol	Gesamt säure	pH - Wert	Wein säure
	20/20	% Vol	g/L		g/L
Folpan 80 WDG	0,9931	13,4	7,3	3,2	3,0
Cuprozin Fl.	0,9926	13,1	7,1	3,2	3,1
öko-Standard	0,9925	14,0	7,4	3,2	3,1
SPU-01010-F	0,9925	13,4	7,5	3,1	3,0
SPU-02540-F	0,9928	12,6	7,6	3,1	3,1
Kupferprotein	0,9930	12,9	7,4	3,2	2,8
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	0,9920	13,9	7,0	3,2	2,8
Algin Biovital	0,9924	13,6	7,3	3,2	3,0
Myco-Sin VIN	0,9924	14,0	7,3	3,1	2,9
Rocksil	0,9940	14,3	7,5	3,1	2,9
Frutogard-1	0,9929	14,1	7,0	3,2	2,9
Frutogard-3	0,9922	13,7	7,1	3,2	2,9

Anhang-Tab. 14: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Weinanalyse** der Weine aus dem Jahr **2006** der Versuchsglieder aus dem Versuchsweinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglied	Dichte	Alkohol	reduzierende Zucker	Glucose	Fructose	Gesamt-säure	pH-Wert	Wein-säure	Milch-säure	Äpfel-säure	Glycerin
	20/20	% Vol	g/L	g/L	g/L	g/L		g/L	g/L	g/L	g/L
Folpan 80 WDG	0,9961	14,60	4,60	2,30	3,70	9,00	3,10	2,40	1,00	3,30	13,30
Cuprozin Fl. (3 kg)	0,9944	15,20	5,20	2,50	4,10	8,00	3,20	2,00	0,80	3,00	12,60
öko-Standard	0,9947	15,00	4,70	2,50	3,80	8,60	3,10	2,10	0,80	3,00	12,30
Cuprozin Fl. (1,5 kg)	0,9952	15,30	5,00	2,90	3,80	8,60	3,10	1,90	0,80	3,10	14,40
SPU-02690-F	0,9951	15,10	4,10	2,40	3,40	9,10	3,10	2,60	0,90	3,10	12,90
SPU-01010-F	0,9948	15,10	4,50	2,30	3,60	8,30	3,20	2,10	0,90	2,90	13,00
Kendal+ Cuprozin Fl.	0,995	15,20	4,60	2,50	3,80	8,60	3,10	2,30	0,80	3,00	13,00
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	0,9953	15,50	8,20	2,70	6,90	8,30	3,10	2,30	0,90	3,20	12,70
Algin Biovital	0,9961	15,00	4,40	2,70	3,60	9,60	3,10	2,40	0,90	3,40	13,60
Rocksil	0,9945	15,30	5,00	2,60	4,30	8,10	3,20	1,80	0,70	3,00	13,40
Frutogard-1	0,9946	15,10	4,60	2,70	3,90	8,50	3,10	2,00	0,70	3,00	12,60
Frutogard-3	0,9942	14,50	3,50	1,90	2,80	8,00	3,20	2,10	0,70	3,00	12,10

Anhang-Tab. 15: Dargestellt sind die Ergebnisse der **Weinanalyse** der Weine aus dem Jahr **2007** der Versuchsglieder aus dem Versuchsweinberg „Mäuerchen“ der Forschungsanstalt Geisenheim

Versuchsglied	Dichte	Alkohol	reduzierende Zucker	Glucose	Fructose	Gesamt-säure	pH-Wert	Wein-säure	Milch-säure	Äpfel-säure	Glycerin
	20/20	% Vol	g/L	g/L	g/L	g/L		g/L	g/L	g/L	g/L
Folpan 80 WDG (intergriert)	0,9913	12,9	1,5	0,5	1,0	8,3	2,6	4,0	0,3	3,3	7,8
Cuprozin Fl. (3 kg)	0,9918	12,8	2,1	0,6	1,5	8,7	2,6	4,1	0,4	3,7	7,8
öko-Standard	0,9915	13,1	1,9	0,3	1,6	8,7	2,5	4,1	0,3	3,6	8,0
Cuprozin Fl. (1,5 kg)	0,9914	13,0	1,5	0,4	1,1	8,5	2,6	4,2	0,4	3,5	7,9
SPU-02690-F	0,9913	13,2	1,4	0,3	1,1	8,2	2,6	3,9	0,4	3,5	8,1
Rocksil	0,9914	13,1	1,8	0,4	1,4	8,6	2,6	4,0	0,4	3,7	8,0
Kendal und Myco-Sin VIN	0,9913	13,1	1,3	0,2	1,1	8,6	2,6	4,0	0,4	3,6	8,6
Frutogard 3b	0,9917	13,1	1,9	0,3	1,6	8,8	2,6	4,2	0,4	3,7	8,3
Myco-Sin VIN	0,9919	12,9	1,9	0,5	1,4	8,7	2,6	4,0	0,4	3,7	8,1
Algin Biovital + Cuprozin Fl.	0,9917	12,9	1,8	0,6	1,2	8,8	2,5	4,2	0,4	3,6	7,8
Frutogard-1	0,9917	12,9	1,8	0,7	1,1	8,6	2,6	4,1	0,4	3,5	7,9
Frutogard-3	0,992	12,7	1,7	0,5	1,2	8,4	2,6	4,0	0,4	3,7	7,9

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Kogel möchte ich für die Bereitstellung des Themas, seine hervorragende Betreuung und stete Diskussionsbereitschaft danken. Bei Herrn Prof. Dr. Wolfgang Friedt bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Für die intensive Betreuung und das mir entgegen gebrachte Vertrauen in den vergangenen fünf Jahren möchte ich Prof. Dr. Beate Berkelmann-Löhnertz ganz herzlich „Danke“ sagen. Bei Dr. Gregor Langen und Dr. Frank Waller möchte ich mich für Ihre Geduld bei meinen zahlreichen Fragen und ihre Unterstützung bei den molekularbiologischen Versuchen bedanken. Für die Überlassung des Arbeitsplatzes und die Finanzierung in den letzten Monaten nach dem BÖL-Projekt möchte ich mich bei Prof. Dr. Annette Reineke bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fachgebiets Phytomedizin für die stete Hilfsbereitschaft und die hervorragende Arbeitsatmosphäre, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders möchte ich Isidoro Giampapa und Wilfried Hölzer danken, die in den Pflanzenschutzanzügen viele Stunden verbringen mussten, damit die Testprodukte optimal auf die Zielfläche *Vitis vinifera* ausgebracht werden konnten. Natürlich auch Silke Klingebiel und Winfried Schönbach, die Dank Ihrer GRÜNEN DAUMEN stets Top Topfreben bereitstellen konnten. Und darüber hinaus stets hilfsbereit waren und immer ein paar gute Ratschläge parat hatten. Helga Findeis und Hubertus Fehres möchte ich für die Unterstützung bei der Laborarbeit und ihren Tipps & Tricks danken. Herrn Prof. Dr. Dr. Walter Wohanka für die Hilfestellungen bei der statistischen Auswertung meiner Ergebnisse. Last but not least ein riesiges Dankeschön an Ottmar Baus, der mir einen exzellenten technischen-Support (Computer) bot und „nebenbei“ meine Arbeit durch sein Zutun bei den Exaktversuchen unterstützte.

Dem Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebveredelung möchte ich für Bereitstellung der Laborräume und für den Ausbau der Versuchsweine danken. Besonderer Dank gilt Bianca Walber und Roger Grundel. Aus dem Fachgebiet Botanik möchte ich Tatjana Wolf und Livia Blank für ihre Ratschläge im molekularbiologischen Bereich danken.

Für die vielen wertvollen Anregungen im Bereich „PERO“ und ökologischer Weinbau möchte ich Dr. Andreas Kortekamp, Dr. Bernd Loskill und Dr. Tobias Seibicke sowie Herrn Dr. Kassemeyer danken. Für die Bereitstellung des Versuchsweinbergs „Mäuerchen“ möchte ich dem Fachgebiet Weinbau und im speziellen Professor Randolph Kauer für seine Unterstützung danken.

Meinen Kollegen und Kolleginnen Mela, Kiki, Nadine, Jacqui, Karo und Daniel danke ich für die vielen schönen Stunden auf dem Campus Geisenheim und die fruchtbaren Gespräche.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, meinem Freund und meinen Freunden, die nie ihre Zuversicht auf ein erfolgreiches Gelingen dieser Arbeit verloren haben und mich auf meinem Weg liebevoll begleitet haben.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the
electronic version of the paper.**