

Fachbereich II
– Marketing und Personalmanagement –

Dualer Bachelor-Studiengang Weinbau und Oenologie

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

**Wirksamkeit von Kupfer, UPSIDE® & FytoSave® gegen
Plasmopara viticola an den Rebsorten
Cabernet blanc & Sauvignon blanc**

Erstgutachter:

Prof. Dr. Jochen Bogs, Weincampus Neustadt / Dienstleistungszentrum Ländlicher
Raum Rheinpfalz

Zweitgutachterin:

Frau Kristina Heilemann, Luxembourg Institute of Science and Technology

Verfasser:

Felix Weyer

13 rue de Wormeldange-Haut

5488 Ehnen, Luxemburg

Matrikelnummer: 635214

Abgabetermin: 23.05.2025

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Entstehung dieser Bachelorarbeit unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Kristina Heilemann und Dr. habil. Daniel Molitor vom Luxembourg Institute of Science and Technology für ihre wertvolle Unterstützung, ihrer fachlichen Expertise und stetigen Motivation. Sie standen mir während der gesamten Planungs- und Durchführungsphase der Arbeit stets mit Rat und Tat zur Seite.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch Herrn Simon Christopher, Weinbauberater am Institut Viti-Vinicole aus Remich (Luxemburg), sowie dem gesamten technischen Dienst für die Planung und Durchführung der Pflanzenschutzapplikationen.

Ein besonderer Dank gebührt auch Prof. Dr. Jochen Bogs, der mir mit seiner fachlichen Expertise und hilfreichen Anregungen bei der Ausarbeitung dieser Arbeit zur Seite stand.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, die mir während des gesamten Studiums und insbesondere bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit stets zur Seite standen, mir mit offenem Ohr, wertvollen Rückmeldungen und großer Unterstützung beigestanden haben, bedanken.

Ohne die vielfältige Unterstützung wäre die Erstellung dieser Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Danke!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	X
Einleitung	1
1. Literaturübersicht.....	2
1.1. <i>Plasmopara viticola</i> und seine Wirtspflanze	2
1.2. Entwicklungszyklus	4
1.2.1. Primärinfektion.....	5
1.2.2. Sekundärinfektion.....	6
1.3. Krankheitsbild	7
1.4. Wirtschaftliche Bedeutung.....	8
1.5. Induzierter Resistenz-Mechanismus	9
1.6. Bekämpfungsstrategien	9
1.6.1. Kupfer.....	10
1.6.2. UPSIDE®	11
1.6.3. FytoSave®	12
1.7. Pilzwiderstandsfähige Reben	12
1.8. Sauvignon blanc & Cabernet blanc	13
2. Material und Methoden.....	14
2.1. Versuchsfläche und -sorten	14
2.2. Versuchsaufbau und -bonituren.....	15
2.3. Angewandte Mittel und Materialien	17
2.4. Parameter der Applikationsqualität im Versuch.....	21
2.5. Statistische Versuchsauswertung.....	22
3. Ergebnisse	25
3.1. Wetterdaten aus 2024.....	25
3.2. Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Blättern	26

3.3.	Wirkungsgrad der Behandlungsmittel gegen <i>P. viticola</i> an den Blättern....	28
3.4.	Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Trauben.....	29
3.5.	Wirkungsgrad der Behandlungsmittel gegen <i>P. viticola</i> an den Trauben....	31
3.6.	Oidium, Botrytis & Schwarzfäule	32
3.7.	Ertragserfassung bei Cabernet blanc.....	34
3.8.	Ertragserfassung bei Sauvignon blanc.....	35
3.9.	Mostgewicht Cabernet blanc	38
3.10.	Mostgewicht Sauvignon blanc	39
4.	Diskussion	40
4.1.	Infektions- und Witterungsverlauf.....	40
4.2.	Reliabilität des Versuches	42
4.3.	Wirkung der Mittel	43
4.4.	Einfluss der pilzwiderstandsfähigen Sorte Cabernet blanc.....	46
5.	Zusammenfassung	51
	Literaturverzeichnis	52
	Anhang	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungszyklus von <i>P. viticola</i> (Kassemeyer, 2003).....	4
Abbildung 2: Blattunterseite mit weißem sichtbarem Pilzrasen unter den Ölflecken. Quelle: Autor	7
Abbildung 3: Erkennbar gelbliche Ölflecken auf der Oberseite der jungen Blätter. Quelle: Autor	7
Abbildung 4: Typische Lederbeeren-Symptome: Runzlige, lederartige Beeren und verdorrt Stielgerüst. Quelle: Autor	7
Abbildung 5: Luftbilder (Orthophotos) der Versuchsfläche in Remich am Institut Viti- Vinicole. Quelle: Geoportal Luxembourg.....	14
Abbildung 6: Randomisierung der Versuchsanlage	15
Abbildung 7: Rückansicht des LIPCO Parzellensprüngeräts während des Versuchs vom 06.08.2024. Quelle: Autor.....	21
Abbildung 8: Seitliche Ansicht des LIPCO Parzellensprüngeräts während des Versuchs vom 06.08.2024. Quelle: Autor	21
Abbildung 9: Summe der Niederschlagsmenge (mm), minimale & maximale Temperatur (°C) in 2m Höhe der Kalenderwochen 18-35 (Mai bis August) an der Wetterstation in Remich (MeteoLux, 2024).....	25
Abbildung 10: Befallsstärke in % von <i>P. viticola</i> an den Blättern am 06. August (BBCH 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mittelapplikationen & Applikationsfrequenzen. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken zeigen signifikante Unterschiede auf Basis eines Letter- Based Grouping ($\alpha = 0,05$). Großbuchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den 11x Varianten Cabernet blanc zu Sauvignon blanc, Kleinbuchstaben zwischen Cabernet blanc 11x und 2x Varianten. (n = 4, Fehler = $\pm$ SD)	26
Abbildung 11: Wirkungsgrad in % der unterschiedlichen Mittel Applikationen bei <i>P.</i> <i>viticola</i> Befall an den Blättern am 06. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc (n = 4)	28
Abbildung 12: Befallsstärke in % von <i>P. viticola</i> an den Trauben am 05. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mittelapplikationen & Applikationsfrequenzen. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken zeigen signifikante Unterschiede auf Basis eines Letter-	

Based Grouping ($\alpha = 0,05$). Großbuchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den 11x Varianten Cabernet blanc zu Sauvignon blanc, Kleinbuchstaben zwischen Cabernet blanc 11x und 2x Varianten. (n = 4, Fehler = $\pm$ SD)	29
Abbildung 13: Wirkungsgrad in % der unterschiedlichen Mittel Applikationen bei <i>P. viticola</i> Befall an den Trauben am 05. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc (n = 4)	31
Abbildung 14: Ertragserfassung in kg bei Cabernet blanc am 24. September (BBCH: 89) mit kg pro Rebe auf primär Y-Achse und kg pro Hektar auf sekundärer Y-Achse (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * p<0,05 / **p<0,01 / ***p<0,001)	34
Abbildung 15: Ertragserfassung in kg bei Sauvignon blanc am 23. September (BBCH: 89) mit kg pro Rebe auf primär Y-Achse und kg pro Hektar auf sekundärer Y-Achse (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * p<0,05 / **p<0,01 / ***p<0,001)	35
Abbildung 16: Mostgewicht in °Oe bei Cabernet blanc am 24. September (BBCH: 89) (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * p<0,05 / **p<0,01 / ***p<0,001)	38
Abbildung 17: Mostgewicht in °Oe bei Sauvignon blanc am 23. September (BBCH: 89) (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * p<0,05 / **p<0,01 / ***p<0,001)	39
Abbildung 18: Erste sichtbare Ölflecken an den Blättern von Sauvignon Blanc in der Variante UPSIDE 11x am 05.06.2024 (BBCH 57). Quelle: Autor	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Taxonomie von <i>P. viticola</i> (Schoch et al., 2020)	2
Tabelle 2: Einzelne Varianten des Versuches	16
Tabelle 3: Schadensklassen der Bonituren an Blätter und Trauben nach dem Siebenklassen-Bonitur-Schema gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3).....	16
Tabelle 4: Zeitpunkt, Wassermenge, Mittelmenge, und Entwicklungsstadium bei der die Fungizidbehandlungen durchgeführt wurden.....	18
Tabelle 5: Angewendete Materialien für den Freilandversuch	20
Tabelle 6: Befallsstärke in % von <i>Oidium</i> an den Trauben vom 05.08.24 bei BBCH 77- 79 (n = 4).....	32
Tabelle 7: Befallsstärke in % von <i>Botrytis</i> an den Trauben vom 23.09.24 bei BBCH 89 (n = 4).....	32
Tabelle 8: Befallsstärke in % von Schwarzfäule an den Trauben vom 17.07.24 bei BBCH 75 (n = 4).....	33
Tabelle 9: Optische Bonitur des jeweiligen Leseguts der unterschiedlichen Varianten.	36
Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc & Sauvignon blanc an den Blättern der Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> vom 06.08.2024.....	59
Tabelle 11: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc & Sauvignon blanc auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Blättern vom 06.08.2024.....	60
Tabelle 12: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x & Fytosave 2x) & Cabernet blanc (Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) an den Blättern auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> vom 06.08.2024.....	62
Tabelle 13: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Blättern vom 06.08.2024.....	63

Tabelle 14: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc & Sauvignon blanc an den Trauben der Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> vom 05.08.2024.....	64
Tabelle 15: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc & Sauvignon blanc auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Trauben vom 05.08.2024	65
Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x & Fytosave 2x) & Cabernet blanc (Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) an den Trauben auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> vom 05.08.2024.....	67
Tabelle 17: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc auf die Befallsstärke von <i>P. viticola</i> an den Trauben vom 05.08.2024.....	68
Tabelle 18: Ergebnisse der ANOVA, Deskriptiven Auswertung & Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Ertrages bei der Sorte Sauvignon blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 23.09.2024	69
Tabelle 19: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Ertrages bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024	70
Tabelle 20: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Ertrages bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024	71
Tabelle 21: Ergebnisse der ANOVA, Deskriptiven Auswertung & Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Mostgewichtes bei der Sorte Sauvignon blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 23.09.2024	72
Tabelle 22: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Mostgewichts bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024	73

Tabelle 23: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Mostgewichts bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024	74
---	----

Abkürzungsverzeichnis

BBCH....	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
DLR	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
EFSA.....	European Food Safety Authority
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
EU	Europäische Union
FTIR.....	Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie
Inst. f. Phyt.....	Institut für Phytomedizin
n.d.	Not Determined
PIWI	Pilzwiderstandsfähige Rebsorten
UV.....	Ultraviolett
VIVC.....	Vitis International Variety Catalogue

Einleitung

Der politische Druck sowie das wachsende Umweltbewusstsein von Verbrauchern, das sich in der Nachfrage einer nachhaltigeren Produktion widerspiegelt, beeinflusst zunehmend die landwirtschaftliche Praxis. Auch der ökologische Weinbau, der selbst einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz leistet, profitiert von diesem Wandel. Somit hat sich in Deutschland die ökologisch bewirtschaftete Rebfläche in den letzten Jahren verdreifacht und macht inzwischen 9 % der Gesamtrebfläche aus (Deutsches Weininstitut, 2025, Hassel et al., 2024). Der biologische Weinbau verpflichtet sich, die in der EU-Öko-Verordnung festgelegten Bestimmungen einzuhalten. Dies bedeutet, dass synthetisch hergestellter Stickstoffdünger, leicht lösliche Phosphordünger und chemisch-synthetisch hergestellte Pflanzenschutzmittel nicht verwendet werden dürfen. Auch der Einsatz von Herbiziden zur Bodenpflege ist verboten, da diese Mittel nicht aus naturgemäß gewonnenen Stoffen hergestellt werden (Rat der Europäischen Union, 2007). Eine der größten Herausforderungen im ökologischen Weinbau ist der Umgang mit dem Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*), eine der gefährlichsten Krankheiten der Rebe, die zu erheblichen Ertragsausfällen und Qualitätsminderungen führen kann (Fischer-Colbrie et al., 2023). Bisher haben sich Kupferpräparate als wirksame Mittel im biologischen Weinbau gegen *P. viticola* erwiesen. Insbesondere Kupferoxidchlorid, Kupferhydroxid, Kupferoktanoat und dreibasisches Kupfersulfat kommen zum Einsatz. Diese Stoffe sind jedoch nicht biologisch abbaubar und verbleiben im Boden (Hofmann, 2014). Insbesondere im biologischen Weinbau sind die Möglichkeiten kupferfreier Alternativen zur Bekämpfung von *P. viticola* nach wie vor begrenzt. In dieser Arbeit wurden die kupferfreien Präparate UPSIDE® und FytoSave®, als Alternativen zu Kupfer untersucht. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Ansatz für eine noch nachhaltigere biologische Weinbauproduktion zu entwickeln, und deren Wirkung sowohl an der traditionellen Rebsorte Sauvignon blanc als auch an der pilzwiderstandsfähigen Rebsorte Cabernet blanc zu testen. Die Mittel wurden jeweils auf ihre Wirksamkeit an den Trauben sowie den Blättern getestet. Zudem wurde der daraus resultierende Ertrag, sowie das Mostgewicht analysiert.

1. Literaturübersicht

1.1. *Plasmopara viticola* und seine Wirtspflanze

Plasmopara viticola [Berk. & Curt] Berl. & de Toni) oder zu Deutsch Falscher Mehltau ist ein biotropher Oomycet und gehört zu den bedeutendsten pilzartigen Krankheitserregern im Weinbau (Koledenkova et al., 2022). Er wächst ausschließlich auf lebendem Gewebe der Weinrebe und kann somit alle grünen Pflanzenorgane wie Blätter, Ranken, Triebe und Trauben befallen. Außerhalb seines Wirts kann er nur als Oosporen überdauern (Gouveia et al., 2024). Der Pilz gehört zur Familie der *Peronosporaceae* und ist über Handelsbeziehungen von Amerika nach Europa gelangt. Im Folgendem wird die Taxonomie von *P. viticola* dargestellt:

Tabelle 1: Taxonomie von *P. viticola* (Schoch et al., 2020)

<u>Klassifikation:</u>	<u>Name:</u>
Reich	Chromista
Stamm	Oomycota
Klasse	Oomycetes
Ordnung	Peronosporales
Familie	Peronosporaceae
Gattung	<i>Plasmopara</i>
Art	<i>viticola</i>

Oomyceten gehören zu einer Gruppe von Organismen, die aufgrund ihrer Zellwände, die größtenteils aus Zellulose bestehen und ihrer zweifach begeißelten Sporen, enger mit den Braunalgen als mit den echten Pilzen verwandt sind. Pilze besitzen in der Regel Zellwände aus Chitin (Thines, 2010). Als ursprünglicher Wasserorganismus, ist ein charakteristisches Merkmal, dass die Sporangien ausschließlich bei direktem Kontakt mit tropfbarem Wasser keimen (Keil, 2007). Als Sporangien bezeichnet man Sporenbehälter, in denen die Sporen gebildet werden (Stützel, 2018). Die Oomyceten, zu denen *P. viticola* gehört, zeichnen sich durch ihre Fähigkeit zur sexuellen Vermehrung über Oosporen aus, bei dem das Vorhandensein unterschiedlicher Paarungstypen des Erregers erforderlich sind (Mohr, 2012, Wong et al., 2001). Die dickwandige Oospore ist die einzige Form, die es dem Erreger selbst unter ungünstigen Bedingungen ermöglicht, außerhalb des Wirtsgewebes zu überleben. Laut GRÜNZEL, können direkte Einflüsse von Temperatur-, Feuchtigkeits- und Lichtverhältnissen die Oosporogenese beeinflussen (Grünzel, 1961, Mohr, 2012). Neben der Überdauerungsstrategie des Erregers ist auch die Anfälligkeit der Wirtspflanze ein entscheidender Faktor für die Ausbreitung von *P. viticola*. Die europäische Rebe (*Vitis vinifera*) ist sehr anfällig gegenüber dem Erreger. Im Gegensatz dazu zeigen Rebsorten aus Nordamerika, wie *Vitis aestivalis* und *Vitis labrusca* eine moderate Anfälligkeit, während *Vitis cordifolia*, *Vitis rupestris* und *Vitis rotundifolia* sogar eine vergleichsweise hohe Resistenz gegenüber *P. viticola* aufweisen (Schubiger, 2024).

1.2. Entwicklungszyklus

P. viticola durchläuft sexuelle als auch asexuelle Entwicklungszyklen. Die Primärinfektion (sexueller Zyklus) erfolgt bodennah durch eine aus Wintersporen ausgehende Infektion. Im Anschluss daran folgt die Sekundärinfektion (asexueller Zyklus) mit der Bildung von Sekundär-Sporangien, die für die weitere Verbreitung des Erregers während der Vegetationsperiode verantwortlich sind (Mohr, 2012). Beide Zyklen werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

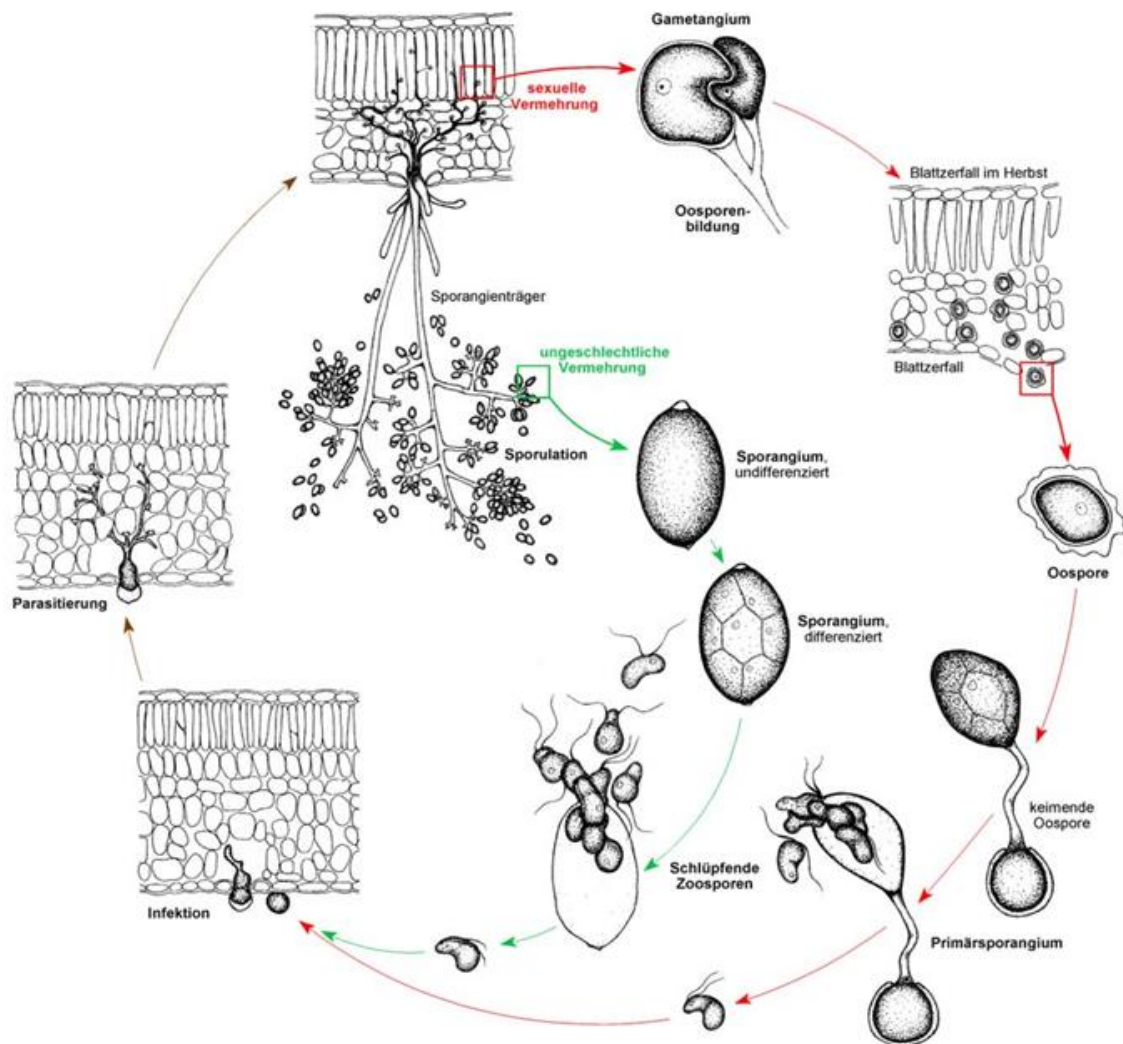


Abbildung 1: Entwicklungszyklus von *P. viticola* (Kassemeyer, 2003)

1.2.1. Primärinfektion

Die Primärinfektion bezeichnet das erste in einer Rebanlage während der Vegetationsperiode auftretende Infektionsereignis. *P. viticola* überdauert die Winterzeit meist als Oospore, die in abgefallenen Blättern vorkommt und so im Boden verbleibt. Im Europäischen Weinbau, können sich im Oberboden etwa 20 bis 100 der Dauersporen pro Gramm Boden befinden (Mohr, 2012). Bei der Primärinfektion handelt es sich um eine bodenbürtige Infektion, die vom Austrieb bis weit in den Sommer mehrmals im Jahr stattfinden kann und bedingt, dass eine bodenbürtige Infektion nicht nur zu Beginn der Epidemie, also nach dem Entwicklungsstadium „Austrieb der Rebe“ möglich ist (Bleyer et al., 2008). Die Oosporen von *P. viticola* keimen im Frühjahr, wenn die Wetterbedingungen optimal sind. Dazu zählen eine Bodentemperatur von mindestens 8 °C über einen Zeitraum von 24 Stunden, eine hohe Feuchtigkeit, bedingt durch Regenschauer von über 2 mm pro Stunde, und eine anschließende Blattnässe von mindestens 4 bis 6 Stunden. Zusätzlich ist ein Blattdurchmesser von mindestens 2 cm erforderlich, um eine erfolgreiche Infektion zu ermöglichen (Müller, 2019). In der Praxis wird von Winzern häufig die sogenannte 10er-Regel verwendet, die die optimalen Bedingungen für eine Primärinfektion von *P. viticola* bestimmt. Diese lautet: 10 cm Trieblänge, bei 10 mm Niederschlag innerhalb von 2 bis 3 Tagen und einer Mindestdtemperatur von 10°C (Gessler et al., 2011). Die dickwandige Oospore ist die einzige Form, die es dem Erreger selbst unter ungünstigen Bedingungen ermöglicht außerhalb des Wirtsgewebes zu überleben (Mohr, 2012). Ab dem Zeitpunkt, an dem die Witterungsbedingungen der 10er-Regel erfüllt sind, sind die Stomata der Rebe vollständig entwickelt. Unter geeigneten Bedingungen keimen die Wintersporen (Oosporen) im Boden aus und bilden am Ende des Keimschlauches sogenannte Primärsporangien. Sobald sie mit Wasser in Kontakt kommen, setzen sie bis zu 60 begeißelte Schwärmsporen (Zoosporen) frei. Diese wiederum werden unter dem sogenannten „Splash Effekt“ vom Boden aus an die grünen Triebe verlagert, wo sie dann im Wasserfilm auf dem Blatt zu den Stomata auf der Blattunterseite wandern (Mohr, 2012). Hier angekommen werfen sie ihre Geißeln ab und gelangen mithilfe des Infektionsschlauchs in den Hohlraum der Stomata hinein und weiten sich dort zu einem Infektionsvesikel aus (Kiefer et al., 2002). Ab diesem Zeitpunkt ist die Primärinfektion erfolgt (Müller, 2019). Aus dem Infektionsvesikel wächst eine primäre Hyphe heraus und

bildet ein Myzel, das sich im Blattgewebe, hauptsächlich im Interzellularraum des Schwammparenchyms ausbreitet (Kiefer et al., 2002). Das Myzel bildet Haustorien, um die Nahrungsaufnahme sicherzustellen (Fröbel, Zyprian, 2019). Diese sogenannte Parasitierung hat zur Folge, dass in den befallenen Blattzellen ein Teil des Chlorophylls abgebaut wird, sich die Blattoberseite aufhellt, bis es zu dem sogenannten Sichtbarwerden der Ölflecken kommt. Junge, wachsende Blätter bieten dem Pilz ideale Bedingungen, weshalb sie in der Regel die größten Ölflecken aufweisen. Der Zeitraum zwischen dem Eindringen des Pathogens in das Rebblatt und dem sichtbaren Auftreten von Ölflecken, bezeichnet man als Inkubationszeit (Müller, 2019).

1.2.2. Sekundärinfektion

Die Infektionen, die aus dem Ausbruch der Primärinfektionen folgen, sind die sogenannten Sekundärinfektionen (Mohr, 2012). Ab Temperaturen von 11 °C während der Nacht, Dunkelheit von mindestens 4 Stunden und mehreren Stunden an Blattnässe oder auch hoher Luftfeuchtigkeit von mindestens 95 %, wachsen aus den Stomata nach der Bildung von Ölflecken neue Sporangienträger (Mohr, 2012, Müller, 2019). Für eine maximale Bildung von Sporangien, ist eine Temperatur um 22 °C sowie eine Feuchtigkeitsperiode von 8 bis 10 Stunden erforderlich. Besonders günstige Bedingungen liegen in feuchten und warmen Nächten, oder bei abendlichem Gewitter mit schwüler Witterung und langsamen Abtrocknen am Morgen vor (Mohr, 2012). Am Ende der Stomata, bilden sich wiederum neue Sporangien aus, die über Wind oder Regen weiterverbreitet werden können. Unter den optimalen Bedingungen, keimen diese Sporangien und entlassen wiederum begeißelte Zoosporen, die in die Stomata der Pflanze eindringen können und anschließend zu Sekundärinfektionen oder auch zu späteren weiteren Infektionen führen (Müller, 2019). Dunkelheit ist ein wichtiger Faktor für den Ausbruch der Sporangien, wohingegen die Keimung der Sporangien und die darauffolgende Infektion unabhängig von Lichtbedingungen stattfinden und sowohl bei Tageslicht als auch bei Dunkelheit erfolgen können (Mohr, 2012). Im Gegensatz zu den Bodeninfektionen (Primärinfektionen), werden die Sekundärinfektionen auch als Stock-Blatt Infektionen bezeichnet (Müller, 2019).

1.3. Krankheitsbild



Abbildung 2: Blattunterseite mit weißem sichtbarem Pilzrasen unter den Ölflecken.
Quelle: Autor



Abbildung 3: Erkennbar gelbliche Ölflecken auf der Oberseite der jungen Blätter. Quelle: Autor



Abbildung 4: Typische Lederbeeren-Symptome: Runzlige, lederartige Beeren und verdorrtes Stielgerüst. Quelle: Autor

Das Krankheitsbild selbst zeigt sich zu Beginn durch leichte Aufhellungen an den Blättern. Diese werden auch als Ölflecken (Abb. 3) bezeichnet. Etwas später, erscheint an der Blattunterseite ein weißer Pilzrasen (Abb. 2). Der weiße Pilzrasen wird auch als Sporangienträger bezeichnet (Müller, 2019). Zu einem späterem Zeitpunkt, trocknen diese befallenen Stellen vom Zentrum ausgehend ein und werden braun (Mohr, 2012). Bei einem starkem Befall, können die Blätter komplett abfallen (Müller, 2019). Ranken als auch junge Triebspritzen können ebenfalls befallen werden, und zeigen ölige, bräunliche Flecken. Besonders bei Junganlagen, kann dies zu beträchtlichen Schäden führen. Die Symptome bei befallenen Gescheinen und jungen Trauben zeigen sich zunächst durch eine Aufhellung und Krümmung der Hauptachse infizierter Gescheine nach unten. In der Folge sind sie von einem weißem Pilzrasen bedeckt und verfärben sich danach rötlich braun bis bräunlich und trocknen anschließend ein (Abb. 4). Bis zu BBCH 75, also Erbsengröße der Beeren, können die jungen Beeren wie auch Gescheine befallen werden. Danach können die Beeren nur noch über das Traubengerüst infiziert werden, da die Spaltöffnungen in die Beerenhaut einwachsen. Befallene Trauben schrumpfen ein und verfärben sich rot-bräunlich. Dabei wird die Beerenhaut lederartig zäh, daher stammte der alte Name „Lederbeerenkrankheit“ (Mohr, 2012).

1.4. Wirtschaftliche Bedeutung

Die Einschleppung von *P. viticola* aus Nordamerika stellte eine erhebliche Herausforderung für den europäischen Weinbau dar, die auch heute noch in nassen Jahren zu starken Ertragsausfällen führt (Mohr, 2012). Um einen umfassenden Überblick über die Ertragsverluste durch den *P. viticola* zu gewinnen, zeigen die Erntedaten von 1915 aus Frankreich, wo 70 % der französischen Weinproduktion verloren gingen. Im Jahr 1930 waren es 20 Millionen Liter Wein die auf dem französischen Markt fehlten (Cadoret, 1931). Diese Daten verdeutlichen die gravierenden Auswirkungen, die diese Krankheit auf die Weinproduktion hatte und zeigen die Notwendigkeit von effektiven Maßnahmen zur Bekämpfung des Schaderregers, da es ansonsten zu starken Ertragsausfällen kommen kann. Die häufigsten Wirte für Mehltau sind die Weinreben, die mit 54 % den größten Anteil am Wirtsspektrum ausmachen. Weitere bedeutende Wirte sind Kürbisgewächse (12 %), Salat (8 %), sowie Lauch und Zwiebeln (jeweils 6 %). Auch Tabak (4 %), Erbsen (3 %), Kohl (3 %), Zuckerrüben (3 %), Sojabohnen (2 %), Mais (2 %), Hopfen (1 %) und Sonnenblumen (1 %) sind betroffen. Diese Zahlen verdeutlichen, dass die potenzielle Gefährdung durch Mehltapilze vor allem an den Weintrauben von großer Bedeutung sind, es jedoch auch bei anderen Kulturen zu wirtschaftlichen Verlusten kommen kann (Koledenkova et al., 2022). Neben dem vollständigen Absterben von Pflanzenteilen beeinträchtigen Infektionen durch *P. viticola* auch die Weinqualität. Durch den Verlust von Assimilationsfläche an den befallenen Blättern sinkt die Photosyntheseleistung der Pflanze, was sich negativ auf die Qualität der Trauben auswirkt (Agrios, 2004). Moste zeigen hier einen niedrigeren Zucker- und erhöhte Weinsäuregehalte. Sobald die befallenen Trauben jedoch austrocknen, nimmt es keinen Einfluss auf die genannten Parameter (Dittrich, 2005). Eine langfristige negative Auswirkung ist die gleichbleibende Traubenproduktion (Miles et al., 2018). Jahre mit starkem Infektionsdruck, können somit starke Schwankungen in der Qualität des Produktes erzeugen. Eine weitere langfristige Auswirkung durch *P. viticola* ist die Holzreife im Herbst. Bei einer geringeren Blattzahl, kann diese nicht die benötigten Kohlenhydrate, die für die Reifung des Holzes notwendig sind, produzieren (Miles et al., 2018).

1.5. Induzierter Resistenz-Mechanismus

Pflanzen verfügen über ein komplexes Abwehrsystem, das sie bei Bedarf gegen Krankheitserreger aktivieren können. Wenn gezielte Maßnahmen ergriffen werden, um diese natürlichen Abwehrmechanismen der Pflanze zu verstärken oder ihre Reaktionsfähigkeit zu fördern, wird von induzierter Resistenz gesprochen. Dieser Ansatz verfolgt das Ziel, die pflanzlichen Abwehrprozesse so zu stimulieren, dass die Pflanze widerstandsfähiger gegenüber Krankheiten wird, ohne eine genetische Modifikationen vorzunehmen (Tamm, 2001). Die Synthese von beispielsweise solchen Abwehrstoffen wird durch Signalmoleküle, die zu Beginn eines Befalls entstehen ausgelöst. Solche Stoffe werden auch als Elicitoren bezeichnet. Diese können von den Pathogenen selbst stammen, wie beispielsweise Proteine oder Zellwandfragmente. Diese Signale führen letztendlich zur Aktivierung von Genen, die die Synthese von Abwehrsubstanzen wie Phytoalexine, reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) oder Abwehrenzime steuern (Heldt, Piechulla, 2015) und somit die Pathogene direkt schädigen können. Für eine erfolgreiche Abwehr müssen solche Reaktionen rechtzeitig aktiviert werden um den pathogenen Angriff zu stoppen, heißt, die Mittel müssen vorbeugend (protektiv) angewendet werden (Heibertshausen, 2009).

1.6. Bekämpfungsstrategien

Zur Bekämpfung von *P. viticola*, unterscheidet man zwischen indirekten und direkten Maßnahmen. Zu den indirekten Maßnahmen zählen unter anderem Standortwahl, Wahl der Rebsorten als auch kulturtechnische Maßnahmen. Die direkte Bekämpfung mittels Pflanzenschutzmittel muss vor einer Infektion bis spätestens einige Tagen danach erfolgen. Vor einer Infektion können Kontaktmittel wie beispielsweise kupferhaltige Mittel ausgebracht werden, da diese nur die Sporangien und Zoosporen abtöten können. Nach der Infektion sollten kurative Mittel verwendet werden, die in das Pflanzengewebe eindringen und dort das Pilzmycel abtöten (Mohr, 2012). Ein Beispiel solcher Mittel wäre Kaliumphosphonat. Die Wirkungsweise dieser Mittel wird in 3 Gruppen unterteilt: Systemisch wirkende Mittel, bei dem der Wirkstoff mit dem Saftstrom in die Triebe transportiert werden, lokalsystemisch oder auch teilsystemisch wirkende Mittel, bei denen der Wirkstoff nur lokal innerhalb der Pflanze, wie beispielsweise im Blattbereich wirkt. Ein Vorteil systemisch wirkender Mittel besteht darin, dass sie bei Neuzuwachs

der Pflanze eine verlängerte Wirkungsdauer aufweisen und wie bereits erwähnt befallsstoppend wirken können, indem sie bereits etabliertes Myzel abtöten. Ein wesentlicher Nachteil dieser hochwirksamen Präparate ist jedoch das erhöhte Risiko, dass der Erreger rasch Resistenzen gegen den Wirkstoff entwickelt (Müller, 2019). Bei den protektiven Pflanzenschutzmitteln besteht die Strategie darin, diese erst kurz vor dem Infektionsereignis auszubringen. Weiterhin ergänzen neu entwickelte Prognosemodelle die Strategie der Winzer, um anhand von Wetterdaten mit Parametern über Inkubationszeit, Sporenbildung und Infektionsdauer um Sporulationsausbrüche und Infektionsereignisse zu modellieren (Keil, 2007).

1.6.1. Kupfer

Der Begriff „Kontaktabtötung“ beschreibt das Abtöten von Bakterien, Hefen und Viren, die beispielsweise auf einer metallischen Kupferoberfläche absterben. Dieses Phänomen nutzten bereits die alten Ägypter in der Medizin, wie im Papyrus Edwin Smith, einem der ältesten medizinischen Dokumente der Welt, erwähnt wird. Bis heute wird sich dieses Phänomen zunutze gemacht, indem Türklinen aus Messing oder Bronze zur Verhinderung der Verbreitung von Mikroben dienen (Grass et al., 2011). Das beschriebene Prinzip der „Kontaktabtötung“ machte man sich anschließend auch in der Landwirtschaft zunutze. Im Weinbau beruht die Wirkung von Kupfer auf *P. viticola*, dass die Zoosporen durch die Wirksamkeit von Cu^{2+} -Ionen, die aus dem Spritzmittel in Lösung gehen, geschädigt werden. Dadurch wird die Sporenkeimung verhindert und der Keimschlauch kann nicht in das Pflanzengewebe eindringen, wodurch eine Infektion ausbleibt. Das heißt jedoch, dass das Mittel präventiv, bevor eine Sporulation ausbricht behandelt werden muss (Mohr et al., 2007). Der genaue Mechanismus der Kontaktabtötung ist bislang nicht vollständig geklärt. Es gibt jedoch weitere Hinweise, dass Kupfer an verschiedenen, weiteren Reaktionen beteiligt ist, die sich negativ auf Zellmoleküle auswirken können, wie etwa die Oxidation von Proteinen und Lipiden (Grass et al., 2011). Trotz der lang bekannten Wirksamkeit von Kupfer als Fungizid im Weinbau, bringt dessen Einsatz mehrere Nachteile mit sich. Die beispielsweise ursprüngliche Anwendung der sogenannten Bordeauxbrühe und über Jahrzehnte lang extrem hohe Ausbringungsmengen von stellenweise 80 kg Reinkupfer pro Hektar hatte eine sehr starke Anreicherung an Kupfer im Boden zur Folge (Diesner et al., 2014). Die hohe

Kupferanreicherung im Boden bewirkt, dass Bodenmikroorganismen und -tiere wie Regenwürmer beeinträchtigt werden. In humusarmen und sauren Böden kann ein Überschuss an Kupfer dazu führen, dass sich dieser in den Wurzeln anreichert, die Eisenaufnahme hemmt und dadurch schädliche Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung hat. Besonders bei Junganlagen oder auch in Rebschulen stellt dieses Phänomen ein erhebliches Problem dar (Mohr, 2012). Aus den genannten Gründen gibt es eine auf EU-Ebene geltende Höchstmenge für Reinkupfer. Diese wurde am 1. Januar 2019 unter den Vorgaben der europäischen Verordnung (EG) 1107/2009 auf maximal 28 kg pro Hektar in sieben Jahren festgelegt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2025). Dies entspricht einem Durchschnitt von 4 kg Reinkupfer pro Hektar und Jahr. Es handelt sich hier um eine Art „Kupferkonto“, d.h. in Jahren mit schwierigen Verhältnissen dürfen größere Mengen (> 4 kg/ha) ausgebracht werden. Bei hohem Infektionsdruck sollte darauf geachtet werden, dass die Spritzabstände zwischen den Applikationen verkürzt werden, um einen kontinuierlichen Schutz sicherzustellen. Im ökologischen Weinbau werden die Reinkupfermengen pro Anwendung laut *DLR Rheinlandpfalz, Inst. f. Phyt.* auf 80 bis 300 g/ha verteilt, wodurch bis zu 15 Behandlungen pro Saison möglich sind. Praxiserfahrungen zeigen, dass regelmäßige Applikationen von etwa 150 g Reinkupfer/ha wirksam zur Vorbeugung von Infektionen mit *P. viticola* beitragen können. In Deutschland wurde die maximale Menge auf 3 kg Reinkupfer/ha und Jahr festgelegt (Ausnahme bei Hopfen 4kg/ha pro Jahr) (Jänsch, Römbke, 2025).

1.6.2. UPSIDE®

Das im Januar 2024 neu zugelassene Mittel UPSIDE® der Firma Kwizda Agro basiert auf dem Wirkstoff ABE IT-56, der aus Zellwandfragmenten der Hefe *Saccharomyces cerevisiae*, Stamm DDSF623, gewonnen wird. Dieser Stamm kommt aus der Lallemand Yeast Culture Collection in Kanada. Der Wirkstoff wird verwendet, um die natürliche Abwehr der Pflanze gegen Krankheitserreger zu aktivieren. Die bewerteten Anwendungen beziehen sich auf Spritzbehandlungen im Weinbau zur Vorbeugung von Falschem Mehltau. Dabei wirkt der Wirkstoff als Elicitor und aktiviert die natürlichen Abwehrmechanismen der Rebe. Des Weiteren hat die EFSA eine Risikobewertung für den Wirkstoff durchgeführt und festgestellt, dass es keine Umwelt oder Gesundheitsrisiken gibt (Arena et al., 2018). Darüber hinaus konnte Hefeextrakt

nachweislich die pflanzliche Reaktion auf abiotischen Stress positiv beeinflussen (Abdel Latéf, Arafat Abdel Hamed et al., 2019)

1.6.3. FytoSave®

Das im Jahr 2019 zugelassene Mittel FytoSave®, mit dem Wirkstoff COS (Chito-Oligosaccharide)-OGA (Oligo-Galacturonide) ist eine Verbindung, die aus der Kombination von Chitosan-Oligosacchariden mit Pektin-abgeleitetem OGA aus pflanzlichen Zellwänden entsteht (Makau et al., 2023). Chitosan ist die deacetylierte Form von Chitin, einem Biopolymer, das natürlicherweise als Bestandteil von Pilzzellwänden, Insektenskeletten und Krustentierpanzern vorkommt (Pichyangkura, Chadchawan, 2015). In Pflanzen ist Chitin jedoch nicht enthalten (Heldt, Piechulla, 2015). Die Kombination aus den beiden Stoffen, simuliert die Wahrnehmung einer pathogen-assoziierten Interaktion, wie sie bei Pilzen in pflanzlichem Gewebe auftritt (van Aubel et al., 2016). Der Wirkstoff wird bei vielen Pflanzenarten angewendet. Bei der Weinrebe, wird es gegen eine Vielzahl von Krankheiten wie *P. viticola*, *Erysiphe necator* (Echten Mehltau) und *Botrytis cinerea* (Grauschimmel) eingesetzt (Brulé et al., 2024).

1.7. Pilzwiderstandsfähige Reben

Um eine nachhaltigere Weinproduktion zu fördern, begannen französische Züchter, sogenannte „Französische Hybriden“ die aus nordamerikanischen und später asiatischen *Vitis*-Arten gekreuzt wurden zu züchten. Ziel war es, die Resistenzen gegen Krankheiten wie *P. viticola* sowie *U. necator* zu entwickeln. Aufgrund ihrer mangelnden Weinqualität wurden diese frühen Hybriden jedoch schnell abgelehnt (Töpfer, Trapp, 2022). Da die europäische Rebe *Vitis vinifera* keine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Rebkrankheiten wie *P. viticola* sowie *U. necator* besitzt, spielt die Resistenzzüchtung weiterhin eine große Rolle. In diesem Zusammenhang werden natürliche Abwehrmechanismen genutzt, die durch spezifische Gene vermittelt werden. Solche Resistenzgene aus amerikanischen/asiatischen Wildreben, sind im Zuge einer langfristigen Koevolution mit den jeweiligen Krankheitserregern entstanden und haben daraufhin wirksame Abwehrstrategien entwickelt (Höschle, 2019). Ein Grund der erhöhten Resistenz ist die beispielweise durch die Koevolution entstandene stärkere Blattbehaarung bei den Wildreben. Sie dient der Rebe als erste Schutzbarriere gegen

Pathogenbefall und erschwert ein Eindringen in die Stomata (Höschle, 2021). Aus diesen Gründen, werden durch Kreuzungszüchtungen aus amerikanischen oder asiatischen Wildreben diese mit etablierten Qualitätssorten aus *Vitis vinifera* gekreuzt, um sie anschließend wieder wiederholt mehrfach mit weiteren Qualitätssorten der europäischen Rebe zurückzukreuzen und dadurch nicht nur eine Resistenz sondern auch die Weinqualität zu erhalten (Höschle, 2019). Ein wesentliches Ziel der Züchtung besteht darin, mehrere Resistenzgene gegen denselben Krankheitserreger in einem Genotyp zu vereinen, um das Risiko eines Resistenzdurchbruchs zu minimieren (Töpfer, Trapp, 2022).

Ein Beispiel für eine solche pilzwiderstandsfähige Sorte ist Cabernet blanc, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurde.

1.8. Sauvignon blanc & Cabernet blanc

Sauvignon blanc gehört zu einer der beliebtesten Weißweinsorten der Welt. Sie stammt ursprünglich aus dem französischen Loiretal (Tsai et al., 2022). Sauvignon blanc ist eine natürliche Kreuzung zwischen Savagnin blanc, zu Deutsch Traminer und einer bislang noch nicht identifizierten Rebsorte (Franco et al., 2024). Zu den ampelographischen Merkmalen der Rebsorte gehört, dass sie mittelgroße kompakte Trauben mit kleinen festen Beeren ausbildet (Ries, 2010). Die Rebsorte neigt zu einer starken Wüchsigkeit und somit auch eine hohe *B. cinerea* Anfälligkeit. Desweiteren muss eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber *U. necator* beim Rebschutz berücksichtigt werden (Petgen et al., 2010). Bei der Rebsorte Cabernet blanc handelt es sich um eine pilzwiderstandsfähige Rebsorte, die 1991 von dem Schweizer Züchter Valentin Blattner in der Pfalz gezüchtet wurde (Petgen et al., 2010). Die Resistenz gegen *P. viticola* und *B. cinerea* wurden bei der Sorte in den Vordergrund gestellt, alle beide sind als gut zu bewerten. Auch eine gute *U. necator* Resistenz besitzt die Rebsorte. Resistenzloci der Sorte sind; Ren3, Ren9 und Rpv3.1 (Töpfer, Trapp, 2022). Laut VIVC-Katalog besteht die Sorte aus einer Kreuzung aus Cabernet blanc x Regent (Becker, 2023). Die Sorte erinnert an die Aromatik und Fruchtigkeit von Sauvignon blanc. Cabernet blanc besitzt eine lockere Traubenstruktur, die es nach Regenfällen ermöglicht wieder schnell abzutrocknen. Die Traube ist gemischtbeerig, das heißt normalgroße und jungfernfrüchtige Beeren kommen abwechselnd vor (Petgen et al., 2010).

2. Material und Methoden

2.1. Versuchsfläche und -sorten

Um herauszufinden, wie die unterschiedlichen Mittel gegen *P. viticola* in natürlichen Bedingungen wirken, wurde der Versuch auf einer Rebfläche des Institut Viti-Vinicole in Remich (49°32'38.8"N 6°21'14.3"E) mit natürlichen Infektionen durchgeführt. In den Zeilen 10-13 wurden die Cabernet blanc Versuche durchgeführt und in den Zeilen 14-16, fanden die Sauvignon blanc Versuche statt. Die Rebanlage wurde im Jahr 2020 mit den Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc gepflanzt in jeweils einem Stockabstand von 1 m und einer Gassenbreite von 2 m. Bei Cabernet blanc handelt es sich um den Klon VB 91-26-1, der auf die Unterlage SO4 gepfropft wurde. Bei Sauvignon blanc ist es der Klon LB 50, der ebenfalls auf SO4 Unterlage gepfropft wurde. Die Anlage selbst ist in Richtung Süd-Ost angepflanzt worden und befindet sich auf Keuper Boden. Eine Rebzeile besitzt eine gesamt Länge von ungefähr 60 Metern. Beide Sorten sind im Spalier erzogen, mit einem Flachbogen und einem Anschnittsniveau von etwa 8 Augen je Rebstock. Die Bewirtschaftung erfolgte abgesehen von den Pflanzenschutzapplikationen der Versuchsfragestellung in betriebsüblicher Weise. Erwähnenswert ist hier nur die Entblätterungsmaßnahme, die einseitig nach abgehender Blüte (BBCH 68) stattgefunden hat.

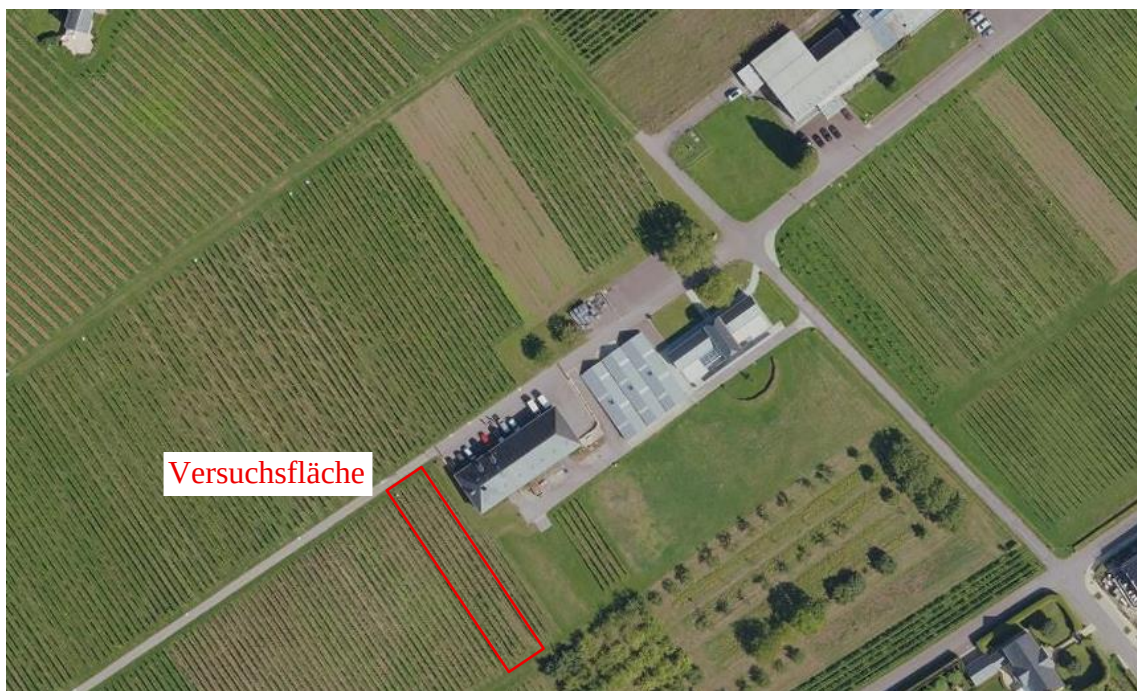


Abbildung 5: Luftbilder (Orthophotos) der Versuchsfläche in Remich am Institut Viti-Vinicole. Quelle: Geoportal Luxembourg

2.2. Versuchsaufbau und -bonituren

10	11	12	13	14	15	16
Cabernet blanc				Sauvignon		
A	B	C	D			
7a	4b	1c	5d			
6a	2b	3c	7d	1b	7b	
5a	7b	4c	1d	5b	6b	
4a	6b	2c	3d	7a	5c	5d
3a	1b	5c	6d	6a	1c	7d
2a	5b	7c	4d	5a	6c	1d
1a	3b	6c	2d	1a	7c	6d
Weg unten						

Abbildung 6: Randomisierung der Versuchsanlage

Die einzelnen Varianten wurden auf die jeweilige Fläche randomisiert angelegt, um systematische Verzerrungen und Störeffekte zu minimieren. Die einzelnen Parzellengrößen (Wiederholungen) haben eine Größe von zwei Stickellängen, also 8 Rebpfflanzen. Die einzelnen Versuchsglieder sind aus der unten abgebildeten Tabelle 2 zu entnehmen. Der Versuch wurde mit 4 Wiederholungen (A, B, C, D) durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte 2-faktoriell im Block (Faktor 1: Rebsorten, Faktor 2: Präparate). Die Ermittlung des Befalls ist anhand von einer optischen Bonitur erfolgt. Alle Bonituren, ob Blattbefall oder Traubenbefall, wurden von den gleichen Personen durchgeführt, um Interpretationen, Gewohnheiten unter mehreren unterschiedlichen Personen auszuschließen. Um den Blattbefall zu erfassen, wurden bei jeder Wiederholung der Varianten insgesamt 100 Blätter per Zufall ausgewählt und die Anzahl der infizierten Blätter erfasst. An jeder Seite der Laubwand wurden jeweils 50 Blätter bewertet, um eine repräsentative Analyse sicherzustellen. Aus diesen Werten ließen sich anschließend die Befallshäufigkeiten der Varianten errechnen. Neben der Befallshäufigkeit, wurde auch die Befallsstärke bonitiert. Dazu wurde das Siebenklassen-Bonitur-Schema gemäß EPPO

Richtlinie PP1/17(3) angewendet, dessen Einteilung in Tabelle 3 dargestellt ist. Mit Hilfe der Klassenzuordnung, konnte anschließend die Befallsstärke errechnet werden. Zur Bestimmung der Befallshäufigkeit und Stärke an den Trauben wurde nach demselben Schema vorgegangen, wie bei den Blättern. Insgesamt fanden an folgenden Tagen die Bonituren für *P. viticola* an Blättern und Trauben statt; 05. Juli 2024, 24. Juli 2024, 15. Juni 2024, 17. Juni 2024, 05. August 2024 und der 06. August 2024.

Tabelle 2: Einzelne Varianten des Versuches

			Cabernet b.	Sauvignon b.
1	Unbehandelte Kontrolle			
2	Kupfer	2 Spritzungen		n.d.
3	Upside	2 Spritzungen		n.d.
4	Fytosave	2 Spritzungen		n.d.
5	Kupfer	10 Spritzungen		
6	Upside	10 Spritzungen		
7	Fytosave	10 Spritzungen		

Desweiteren wurden Bonituren gegen *Guignardia bidwellii* (Schwarzfäule), *Botrytis cinerea* (Graufäule) und *Erysiphe necator* (Echter Mehltau) an den Trauben durchgeführt. Diese Bonituren wurden ebenfalls nach dem Siebenklassen-Bonitur-Schema gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Bonituren sind jedoch zu vernachlässigen, da der bonitierte Befall sehr gering war und es keine relevanten Auswirkungen auf das Gesamtbild gab. Am 23. September 2024 fand anschließend eine Ertragsbonitur wie auch Mostanalyse für die Sorte Sauvignon blanc statt und am 24. September 2024 für Cabernet blanc. Hier wurden jeweils für jede Wiederholung der Varianten der Ertrag und das Mostgewicht bestimmt. Alle Trauben wurden für die Messung berücksichtigt, es wurde nicht nach faulen/gesunden Trauben sortiert.

Tabelle 3: Schadensklassen der Bonituren an Blätter und Trauben nach dem Siebenklassen-Bonitur-Schema gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3)

Boniturstufen	0	5	10	25	50	75	100
Befall [% pro Blatt/Traube]	0	1-5	6-10	11-25	26-50	51-75	76-100

2.3. Angewandte Mittel und Materialien

Der Versuch untersuchte die Wirksamkeit dreier biologischer Pflanzenschutzmittel gegen *P. viticola*: Kupfer, das 2024 neu zugelassene Mittel UPSIDE® sowie FytoSave®. Bei den Varianten, wo Kupfer eingesetzt wurde, musste die maximale Zahl der Anwendungen beachtet werden. Somit musste während dem Versuch zwischen unterschiedlichen Kupferpräparaten gewechselt werden. Bei den Kupferpräparaten handelt es sich um die Mittel des Handelsnamens; Cuproxat®, Champ Flo Ampli, Cuprex 50 % sowie Koperhydroxide WG. Im Versuch wurde Cuproxat®, klassisches Kontaktfungizid der Firma Nufarm B.V. mit einer Aufwandsmenge 1000 ml/ha zwei Mal eingesetzt. Es handelt sich hier um ein Suspensionskonzentrat aus Kupfer mit dem Wirkstoff Kupfersulfat (190 g/l Reinkupfer). Champ Flo Ampli der Firma Nufarm B.V. ist ein Suspensionskonzentrat und beinhaltet den Wirkstoff Kupferhydroxid mit 360 g/l Reinkupfer. Es wurde im Versuch mit einer Aufwandsmenge von 1000 ml/ha insgesamt drei Mal eingesetzt. Cuprex 50 %, ein wasserdispergierbares Pulver, das von der Firma Industrias Químicas del Vallés (IQV) hergestellt wird und auf Basis von Kupferoxychlorid (50% Reinkupfer) besteht. In Luxemburg ist es auf vier Anwendungen pro Jahr beschränkt. Die Wartezeit beträgt 42 Tage und ist damit die längste der im Versuch eingesetzten Kupferpräparate. Im Versuch wurden 600 g/ha insgesamt zwei Mal appliziert. Koperhydroxide WG (alter Name: Hermoo Koperhydroxide 50%), ein wasserdispergierbares Granulat mit dem Wirkstoff Kupferhydroxid wurde mit 625 g/ha zwei Mal eingesetzt. Das Kontaktmittel, welches ebenfalls von der Firma Industrias Químicas del Vallés (IQV) hergestellt wird, besitzt einen Reinkupfergehalt von 250 g/kg. Zu den nicht kupferhaltigen Mitteln, wurde FytoSave®, welches aus 12,5 g/l COS-OGA besteht, zu Beginn mit einer Aufwandsmenge von 0,4 l/ha bis später zur maximalen Aufwandsmenge von 2 l/ha angewendet. UPSIDE® mit dem Wirkstoff ABE IT-56, wurde anfangs im Versuch mit einer Aufwandsmenge von 1 l/ha und später bis zu 3 l/ha angewendet. Während des gesamten Versuchszeitraums wurde bei jedem Spritzdurchgang, einschließlich der unbehandelten Kontrolle zusätzlich Microthiol SP, ein Schwefelpräparat zur Bekämpfung von *Erysiphe necator* appliziert. Microthiol SP, ein wasserdispergierbares Granulat mit einem Schwefelgehalt von 80 % wurde anfangs im Versuch mit einer Aufwandsmenge von 3,6 kg/ha bis zum Schluss mit einer Menge von 5,2 kg/ha appliziert.

Tabelle 4: Zeitpunkt, Wassermenge, Mittelmenge, und Entwicklungsstadium bei der die Fungizidbehandlungen durchgeführt wurden

Applikation	Datum	Wasser -Menge [l/ha]	Aufwand- menge [ml/ha]	Düsenanzahl [max. 10 Düsen]	Entwicklung [BBCH]
Variante 2; Kupfer [2 Applikationen]					
1	27.06.24	700	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	69
2	17.07.24	750	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	77
Variante 3; Upside [2 Applikationen]					
1	27.06.24	700	2500	10	69
2	17.07.24	750	3000	10	77
Variante 4; Fytosave [2 Applikationen]					
1	27.06.24	700	2000	10	69
2	17.07.24	750	2000	10	77
Variante 5; Kupfer [11 Applikationen]					
1	08.05.24	400	1000 _(190 gr. Rein Cu)	4	16
2	15.05.24	400	1000 _(190 gr. Rein Cu)	4	18
3	23.05.24	600	1000 _(360 gr. Rein Cu)	6	19
4	31.05.24	600	1000 _(360 gr. Rein Cu)	6	57
5	10.06.24	700	1000 _(360 gr. Rein Cu)	8	61
6	18.06.24	700	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	65
7	27.06.24	700	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	69
8	08.07.24	700	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	75
9	17.07.24	750	600 _(300 gr. Rein Cu)	10	77
10	25.07.24	750	625 _(250 gr. Rein Cu)	10	79
11	05.08.24	750	625 _(250 gr. Rein Cu)	10	81

Variante 6; Upside [11 Applikationen]					
1	08.05.24	400	1000	4	16
2	15.05.24	400	1000	4	18
3	23.05.24	600	2000	6	19
4	31.05.24	600	2000	6	57
5	10.06.24	700	2000	8	61
Applikation	Datum	Wasser- Menge [l/ha]	Aufwand- menge [ml/ha]	Düsenanzahl [max. 10 Düsen]	Entwicklung [BBCH]
6	18.06.24	700	2500	10	65
7	27.06.24	700	2500	10	69
8	08.07.24	700	3000	10	75
9	17.07.24	750	3000	10	77
10	25.07.24	750	3000	10	79
11	05.08.24	750	3000	10	81
Variante 7; Fytosave [11 Applikationen]					
1	08.05.24	400	400	4	16
2	15.05.24	400	440	4	18
3	23.05.24	600	1500	6	19
4	31.05.24	600	1500	6	57
5	10.06.24	700	2000	8	61
6	18.06.24	700	2000	10	65
7	27.06.24	700	2000	10	69
8	08.07.24	700	2000	10	75
9	17.07.24	750	2000	10	77
10	25.07.24	750	2000	10	79
11	05.08.24	750	2000	10	81

Im Folgenden sind die angewandten Materialien des gesamten Versuches aufgelistet.

Tabelle 5: Angewendete Materialien für den Freilandversuch

<u>Bezeichnung</u>	<u>Typ</u>	<u>Hersteller</u>
Biocontrols	Fytosave	Fytofend S.A., Isnes
Biologicals	UPSIDE®	Kwizda Agro Deutschland GmbH, Meckesheim
Datenanalyseprogramm	JASP	JASP, Amsterdam
Düsen	Flachstrahldüse APE 80°02 gelb	ALBUZ, Évreux
FTIR	WineScan™	FOSS Analytical, Hillerød
Handzähler	Mechanischer Handstückzähler	SV-Artikel, Schwarzach
Kupfer-Präparat	Cuproxat®	Biofa GmbH, Münsingen
Kupfer-Präparat	Champ Flo Ampli	Nufarm B.V, Laverton
Kupfer-Präparat	Cuprex 50%	Industrias Químicas del Vallés (IQV)
Kupfer-Präparat	Koperhydroxide WG	Industrias Químicas del Vallés (IQV)
Mehrfachzähler	1×9 Laborzähler mit arretierbarem Summenzähler	The Denominator Company, Waterbury
Parzellensprüngerät	LIPCO Tunnel® Sprühgeräte TSG	LIPCO GmbH, Sasbach
Schwefel-Präparat	Microthiol Spécial Disperss	UPL Europe Ltd. Aesch, Warrington
Statistisches Programm	Excel Office 2016	Microsoft, Redmond

2.4. Parameter der Applikationsqualität im Versuch

Um eine gute Applikationsqualität zu gewährleisten, sind Fahrgeschwindigkeit, Wassermenge, Düsenanzahl und -wahl als auch Druckeinstellungen am Sprühgerät von großer Bedeutung (Müller, 2019). Die Ausbringung der Mittel erfolgte nach guter fachlicher Praxis. Mittelaufwand-, Wasser-, und Düsenanzahl haben im Versuch in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Rebe variiert. Die entsprechenden Mengen sind aus dem Material- und Methodenteil, Tabelle 4 zu entnehmen. Die Fahrgeschwindigkeit des Schleppers, an der das Parzellensprühgerät der Firma LIPCO montiert war, betrug 3 km/h. Das Parzellensprühgerät selbst wurde mit einem Druck von 5 bar betrieben. Das Spritzintervall im Versuch betrug 9-10 Tage. Zu erwähnen ist, dass jede Variante (auch bei unbehandelter Kontrolle) durchgehend mit Netzschwefel (Microthiol SP.) appliziert wurde. Die Pflanzenschutzspritzungen wurden jeweils für den ganzen Versuch von demselben Mitarbeiter des luxemburgischen Weinbauinstitutes durchgeführt.



Abbildung 8: Rückansicht des LIPCO Parzellensprühgeräts während des Versuchs vom 06.08.2024. Quelle: Autor



Abbildung 7: Seitliche Ansicht des LIPCO Parzellensprühgeräts während des Versuchs vom 06.08.2024. Quelle: Autor

2.5. Statistische Versuchsauswertung

Zur besseren Verdeutlichung der Ergebnisse, wurde mit Hilfe von Microsoft Excel Office 2016 sowie Jupiter Notebook und der Programmiersprache Python gearbeitet. Die statistische Analyse und die Durchführung der Signifikanztests erfolgten mit dem Datenanalyseprogramm JASP. Signifikante Unterschiede zwischen den zwei Rebsorten, den Behandlungsmaßnahmen sowie den Applikationsfrequenzen wurden anhand einer ANOVA durchgeführt, gefolgt von einem Tukey-HSD-Post-Hoc-Test ($\alpha = 0,05$). Die Signifikanzniveaus wurden wie folgt definiert:

p-Wert $< 0,05$: signifikant (*)

p-Wert $< 0,01$: sehr signifikant (**)

p-Wert $< 0,001$: hoch signifikant (***)

Zur besseren Übersicht wurden in den Abbildungen 10 und 12 im Ergebnisteil, die Signifikanzen nach Letter-Based Grouping ($\alpha = 0,05$) über den Balken dargestellt. Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den 11-fach behandelten Varianten von Cabernet blanc und Sauvignon blanc, Kleinbuchstaben hingegen Unterschiede zwischen den Cabernet blanc 11x und 2x Varianten. Wenn zwei oder mehrere Varianten denselben Buchstaben erhalten, bedeutet dies, dass kein signifikanter Unterschied zwischen diesen Gruppen nachgewiesen wurde.

Die Befallsstärke, beschreibt den Umfang des befallenen Anteils an *P. viticola* des Blattes oder der Traube bei der Bonitur.

$$BS [\%] = \left(\frac{\sum (K_m \times N_m)}{N_{Gesamt}} \right) \cdot 100$$

K_m : Durchschnittlicher Befall der jeweiligen Boniturstufen

N_m : Anzahl der Blätter/Trauben in der jeweiligen Boniturstufe

N_{Gesamt} : Gesamtzahl der bewerteten Blätter/Trauben (Summe aller N_m -Werte)

Die Befallsstärke wird berechnet, indem der gewichtete Durchschnitt der Befallsstufen (Boniturstufen) genommen wird, wobei jede Klasse mit der Anzahl der darin enthaltenen Blätter multipliziert wird. Das Ergebnis wird dann durch die Gesamtzahl der Blätter geteilt und mit 100 multipliziert, um den Prozentwert zu erhalten.

Der Wirkungsgrad (WG) ist ein Maß dafür, wie effektiv eine Pflanzenschutzmaßnahme die Infektion oder den Schaden durch eine Krankheit reduziert. Er wird oft in Prozent angegeben und gibt an, wie stark der Befall durch eine Behandlung im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle verringert wurde. In der Pflanzenschutzforschung hilft der Wirkungsgrad, die Effizienz verschiedener Behandlungsansätze zu bewerten und zu vergleichen.

$$WG [\%] = \left(\frac{BS_{Kontrolle} - BS_{Behandlung}}{BS_{Kontrolle}} \right) \cdot 100$$

$BS_{Kontrolle}$: Befallsstärke in der unbehandelten Kontrolle

$BS_{Behandlung}$: Befallsstärke in der behandelten Variante

Der Wirkungsgrad (WG) nach ABBOTT und HENDERSON-TILTON zeigt an, wie effektiv eine Pflanzenschutzmaßnahme den Befall im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle reduziert. Ein hoher Wert (nahe 100 %) bedeutet starke Befallsreduktion und hohe Wirksamkeit, während ein niedriger Wert auf geringe Effektivität hinweist (Abbott, 1925). Bei der Ertragerfassung wurden für jede Variante und deren Wiederholungen alle Trauben der Rebstöcke einzeln heruntergeschnitten und mit einer digitalen Waage

gemessen. Auf ein Ausputzen von faulen Beeren sowie das Entfernen der eingetrockneten Trauben von *P. viticola* wurde verzichtet. Anschließend wurde der Mittelwert der einzelnen Varianten durch folgende Formel errechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$\bar{x}$: Der Mittelwert in kg für das Gewicht der Trauben pro Rebstock

n : Anzahl der Rebstöcke

$\sum_{i=1}^n x_i$: Summe der Erträge aller Rebstöcke

Bei der Hochrechnung auf den Ertrag pro Hektar in ($\frac{kg}{ha}$) wurde von einem Standraum von $2m^2$ ausgegangen, da der Zeilenabstand 2m betrug und der Stockabstand 1m. Bei einem Hektar ohne Vorgewende ($\frac{10000m^2}{2}$) kommt man auf eine Pflanzenanzahl von $N=5000$ Pflanzen pro Hektar. Somit ergibt sich folgende Formel:

$$GE = \bar{x} \cdot N$$

GE : Gesamtertrag in Kilogramm pro Hektar

$\bar{x}$: Durchschnittliches Ertragsgewicht pro Rebstock in Kilogramm

N : Anzahl der Rebstöcke pro Hektar ($N=5000$)

3. Ergebnisse

3.1. Wetterdaten aus 2024

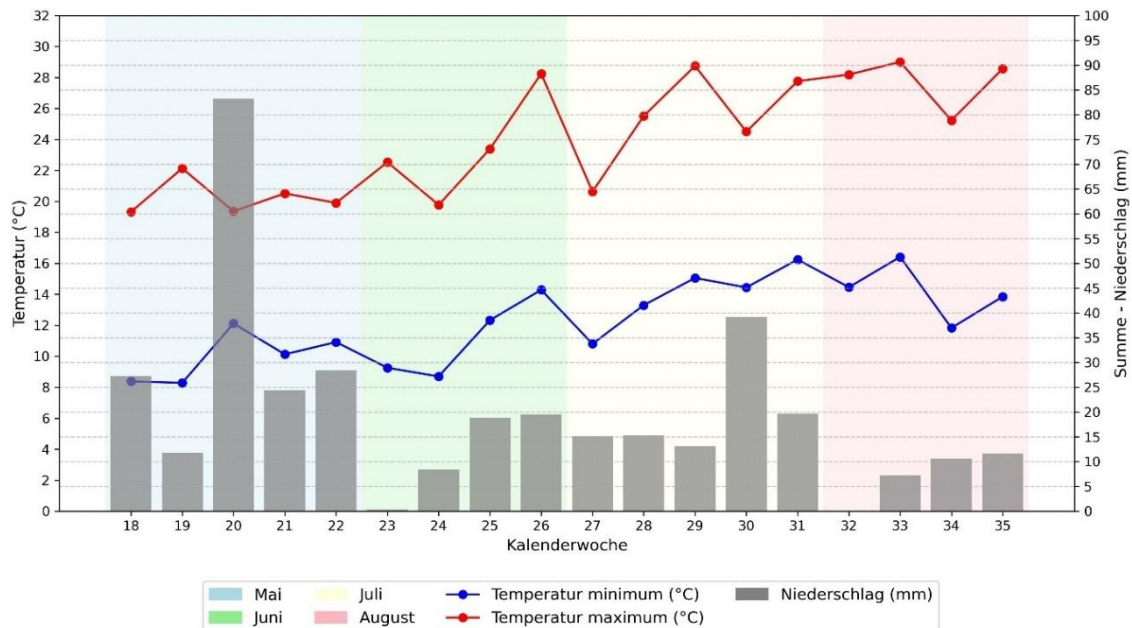


Abbildung 9: Summe der Niederschlagsmenge (mm), minimale & maximale Temperatur (°C) in 2m Höhe der Kalenderwochen 18-35 (Mai bis August) an der Wetterstation in Remich (MeteoLux, 2024)

Abbildung 9 zeigt die wöchentliche Niederschlagsmenge (mm) in Form von grauen Balken sowie die minimale (blaue Linie) und maximale Temperatur (rote Linie) in 2m Höhe (°C) für die Wetterstation in Remich im Jahr 2024. Der betrachtete Zeitraum umfasst die Kalenderwochen 18 bis 35, also des Monats Mai bis August. In diesem Zeitraum wurde insgesamt eine Niederschlagsmenge von 354 mm verzeichnet. Besonders auffallend ist die Kalenderwoche 20, wo die Niederschlagsmenge deutlich heraussticht. Die wöchentlichen Mittelwerte der minimalen Tagestemperaturen, gemessen in einer Höhe von 2m über dem Boden, schwankte zwischen 8°C und 15°C. Die wöchentlichen Mittelwerte der maximalen Tagestemperaturen betrugen zwischen 20°C und 30°C.

3.2. Befallsstärke von *P. viticola* an den Blättern

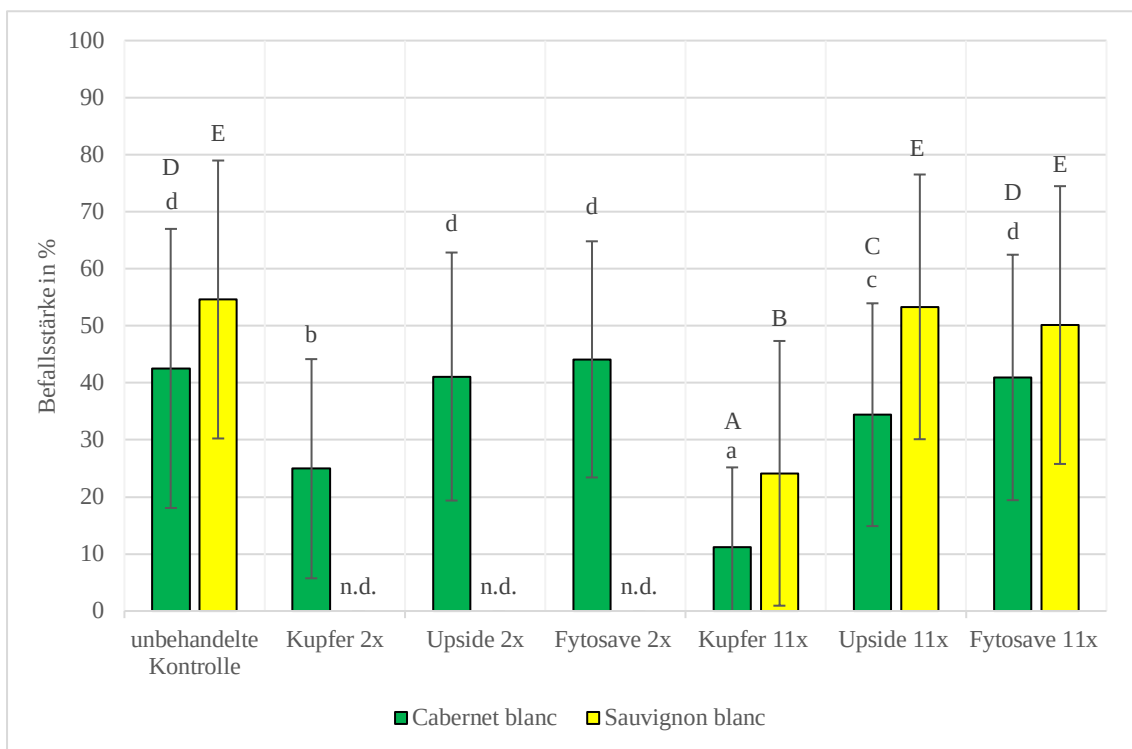


Abbildung 10: Befallsstärke in % von *P. viticola* an den Blättern am 06. August (BBCH 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mittelapplikationen & Applikationsfrequenzen. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken zeigen signifikante Unterschiede auf Basis eines Letter-Based Grouping ($\alpha = 0,05$). Großbuchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den 11x Varianten Cabernet blanc zu Sauvignon blanc, Kleinbuchstaben zwischen Cabernet blanc 11x und 2x Varianten. (n = 4, Fehler = $\pm$ SD)

Das Säulendiagramm zeigt die Befallsstärke von *P. viticola* an den Blättern. Bei Cabernet blanc weist die unbehandelte Kontrolle 42,5 %, bei Sauvignon blanc 54,5 %. In den Varianten Kupfer 2x sind es 25 %, Upside 2x 41 % und Fytosave 2x sind es 44 % Befallsstärke für die Rebsorte Cabernet blanc. Die Befallsstärke für Sauvignon blanc wurden für Kupfer 2x, Upside 2x und Fytosave 2x nicht bestimmt. In den Varianten Kupfer 11x wurde eine Befallsstärke von 11%, Upside 11x 34,5 % und Fytosave 41 % für die Sorte Cabernet blanc gemessen. Bei Sauvignon waren es 24 % für Kupfer 11x, 53 % für Upside 11x und Fytosave lag bei 50 % Befallsstärke. Die ANOVA (Anhang, Tab. 10) stellte einen signifikanten Unterschied zwischen den Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc (F-Wert = 288,05; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)) und signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen Kontrolle, Kupfer, Upside und Fytosave (bei 11 Applikationen) fest (F-Wert = 333,72; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)). Beim Vergleich der Applikationsfrequenz zwischen Cabernet blanc (2 Applikationen) und Cabernet Blanc

(11 Applikationen) (Anhang, Tab. 12), wurden ebenfalls signifikante Unterschiede in den Behandlungen festgestellt (F-Wert = 140,78; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)). Beim Vergleich der Behandlungsmittel, zeigte sich im Post-Hoc-Tukey-Test in der Befallsstärke von *P. viticola* an den Blättern von Cabernet blanc bei der Variante Fytosave 11x zur unbehandelten Kontrolle, keine signifikanten Unterschiede (p-Wert: 0,974). Im Vergleich der Kontrolle bei Cabernet blanc, gab es zu den Varianten Upside 11x (p-Wert: $< 0,001$) als auch zur Kupfer 11x Variante (p-Wert: $< 0,001$) hoch signifikante Unterschiede (***). Im Vergleich der Behandlungsmaßnahmen bei der Sorte Sauvignon blanc, gab es bei der Variante Fytosave 11x zur Kontrolle ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (p-Wert: 0,081). Bei dem Vergleich Upside 11x und Kontrolle gab es keinen signifikanten Unterschied (p-Wert: 0,992). Einen hoch signifikanten (***) Unterschied gab es bei Kupfer 11x Variante im Vergleich zur Kontrolle (p-Wert: $< 0,001$). Im Vergleich der Applikationsfrequenzen, zeigte der Post-Hoc-Tukey-Test (Anhang, Tab. 13), dass es zwischen Kupfer 2x und Kupfer 11x bei Cabernet blanc hoch signifikante Unterschiede (***) gab (p-Wert: $< 0,001$). Ebenfalls gab es in der Variante Upside 2x im Vergleich zu Upside 11x hoch signifikante (***) Unterschiede (p-Wert: $< 0,001$). Keine signifikanten Unterschiede konnten im Vergleich bei Fytosave 11x und Fytosave 2x festgestellt werden (p-Wert: 0,297). Um im folgendem Kapitel den Wirkungsgrad zu bestimmen, wird noch das Signifikanzniveau (p-Wert: $< 0,001$) (***) von Kupfer 2x zur unbehandelten Kontrolle bei Cabernet blanc erwähnt. Upside 2x (p-Wert: 0,958) und Fytosave 2x (0,927) waren im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht signifikant.

3.3. Wirkungsgrad der Behandlungsmittel gegen *P. viticola* an den Blättern

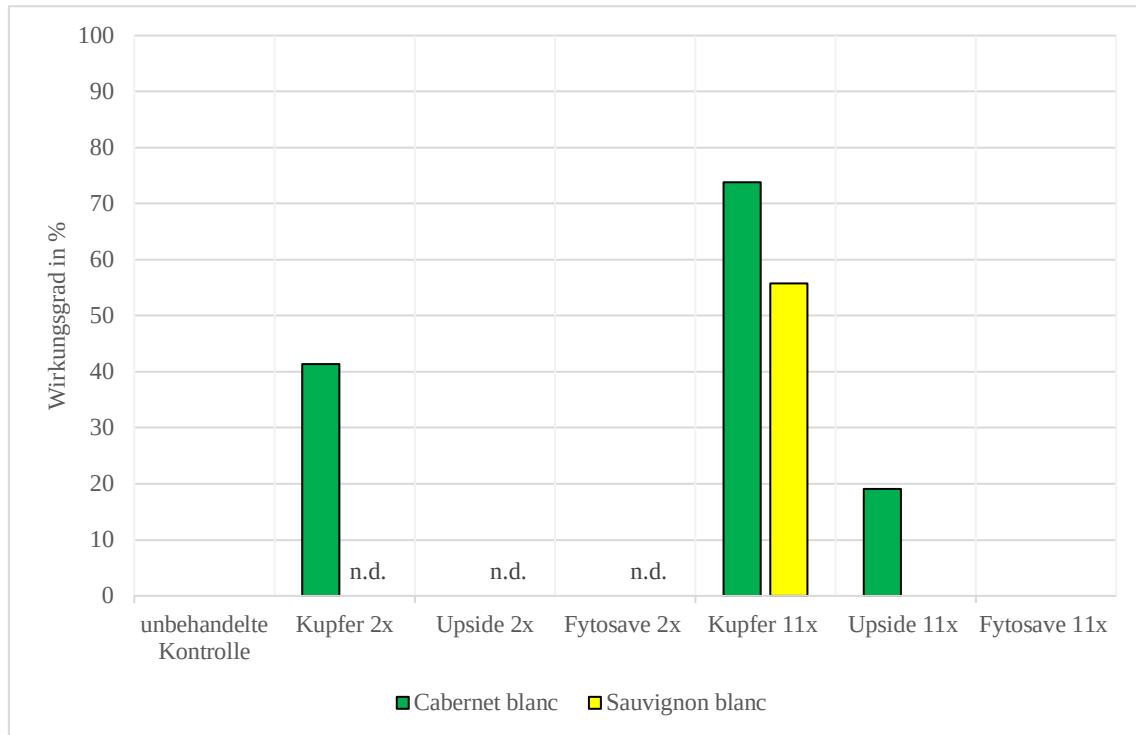


Abbildung 11: Wirkungsgrad in % der unterschiedlichen Mittel Applikationen bei *P. viticola* Befall an den Blättern am 06. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc (n = 4)

Bei Cabernet blanc in den Varianten Upside 2x, Fytosave 2x und Fytosave 11x gab es im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle keinen positiven Wirkungsgrad. Während die Applikation von Kupfer 2x eine Wirkung von 41 %, die Kupfer 11x Variante 74 % und die Upside 11x Variante einen Wirkungsgrad von 19 % erbracht hat. Bei Sauvignon blanc, wurde in der Variante Kupfer 11x einen Wirkungsgrad von 56 % erreicht, die Varianten Upside 11x und Fytosave 11x hatten einen Wirkungsgrad von 0 %.

3.4. Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben

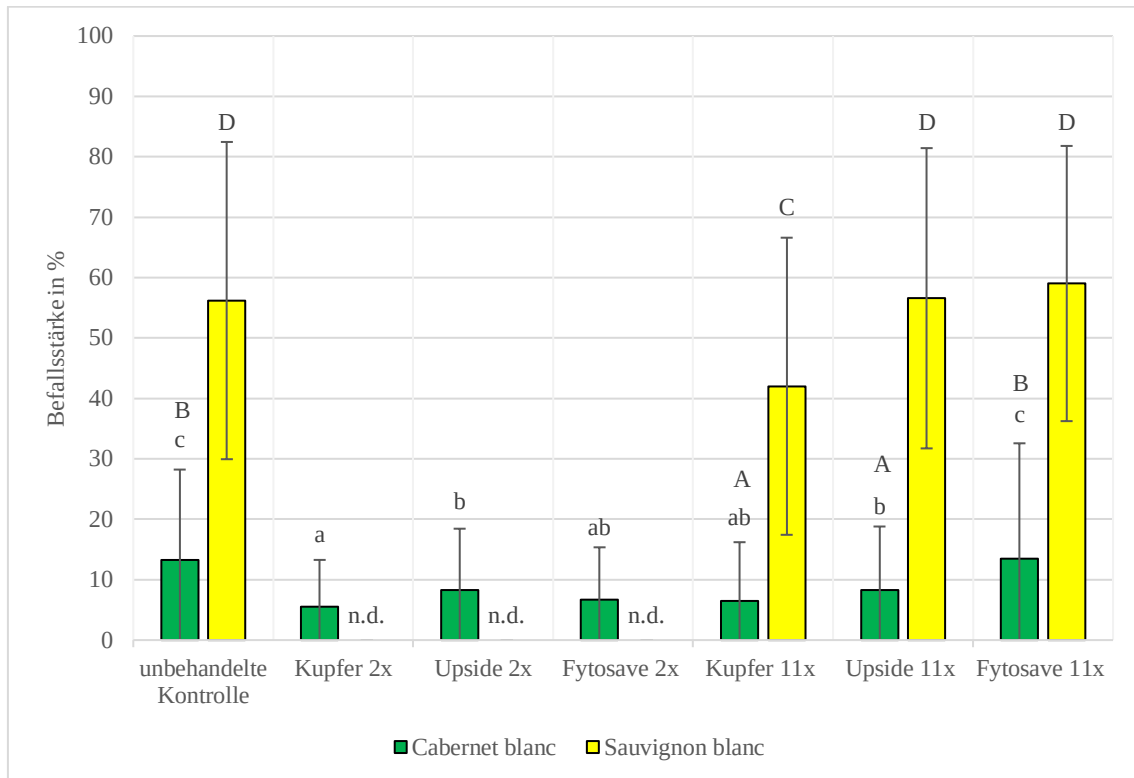


Abbildung 12: Befallsstärke in % von *P. viticola* an den Trauben am 05. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mittelapplikationen & Applikationsfrequenzen. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken zeigen signifikante Unterschiede auf Basis eines Letter-Based Grouping ($\alpha = 0,05$). Großbuchstaben kennzeichnen Unterschiede zwischen den 11x Varianten Cabernet blanc zu Sauvignon blanc, Kleinbuchstaben zwischen Cabernet blanc 11x und 2x Varianten. (n = 4, Fehler = $\pm$ SD)

Das Säulendiagramm (Ergebnis, Abb. 12) zeigt die Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben. Bei Cabernet blanc weist die unbehandelte Kontrolle 13 % bei Sauvignon blanc sind es 56 %. In den Varianten Kupfer 2x sind es 5,5 %, Upside 2x 8 % und Fytosave 2x sind es 6,5 % Befallsstärke. Die Befallsstärke für Sauvignon blanc wurden für Kupfer 2x, Upside 2x und Fytosave 2x nicht bestimmt. In den Varianten Kupfer 11x wurde eine Befallsstärke von 6,5 %, Upside 11x 8 % und Fytosave 13,5 % für die Sorte Cabernet blanc gemessen. Bei Sauvignon waren es 42 % für Kupfer 11x, 56,5 % für Upside 11x und Fytosave lag bei 59 % Befallsstärke. Bei der ANOVA (Anhang, Tab. 14) konnten auch bei den Bonituren an den Trauben signifikante Unterschiede zwischen den Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc (F-Wert = 3682,75; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)) festgestellt werden. Auch zwischen den Behandlungen Kontrolle, Kupfer, Upside und Fytosave (bei 11 Applikationen), konnten signifikante Unterschiede (F-Wert = 56,45; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)) beobachtet werden. Im Vergleich der Applikationsfrequenzen

konnten zwischen Cabernet blanc (2 Applikationen) und Cabernet blanc (11 Applikationen) (Anhang, Tab. 16) an der Bonitur der Trauben ebenfalls signifikante Unterschiede (F-Wert = 28,41; $p < 0,001$ ($\alpha = 0,05$)) beobachtet werden. Beim Vergleich der Behandlungen, zeigt der Post-Hoc-Tukey-Test, dass sich die Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben von Cabernet blanc bei der Variante Fytosave 11x nicht signifikant im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle unterschied (p-Wert: 1,000). Upside 11x unterschied sich signifikant (*) (p-Wert: 0,010) zur Kontrolle und Kupfer 11x unterschied sich hoch signifikant (***) (p-Wert: $< 0,001$) im Vergleich zur Kontrolle. Im Vergleich der Befallsstärke von *P. viticola* bei der Rebsorte Sauvignon blanc, gab es keinen signifikanten Unterschied im Vergleich der unbehandelten Kontrolle mit Fyotsave 11x (p-Wert: 0,491). Ebenfalls gab es keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich der unbehandelten Kontrolle und Upside 11x (p-Wert: 1,000). Hoch signifikante (***) Unterschiede konnten bei der Kupfer 11x Variante (p-Wert: $< 0,001$) festgestellt werden. Beim Betrachten der Applikationsfrequenzen, zeigte der Post-Hoc-Tukey-Test (Anhang, Tab. 17), dass es zwischen den Varianten Kupfer 2x und Kupfer 11x bei Cabernet blanc keine signifikanten Unterschiede (p-Wert: 0,896) gab. Ebenfalls zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Upside 2x und Upside 11x (p-Wert: 1,000). Im Vergleich von Fytosave 2x und Fytosave 11x wurden hoch signifikante (***) Unterschiede festgestellt (p-Wert: $< 0,001$). Um den Wirkungsgrad an den Trauben zu bestimmen, wurden noch von dem Post-Hoc-Tukey-Test (Anhang, Tab. 17) die Signifikanzniveaus von Cabernet blanc (2 Applikationen) im direkten Vergleich zur unbehandelten Kontrolle verglichen. Hier gab es bei Kupfer 2x einen hoch signifikanten (***) Unterschied (p-Wert: $< 0,001$). Ebenfalls zeigte sich sowohl für Upside 2x als auch für Fytosave 2x im Vergleich zur Kontrolle hochsignifikante (***) Unterschiede (p-Wert $< 0,001$).

3.5. Wirkungsgrad der Behandlungsmittel gegen *P. viticola* an den Trauben

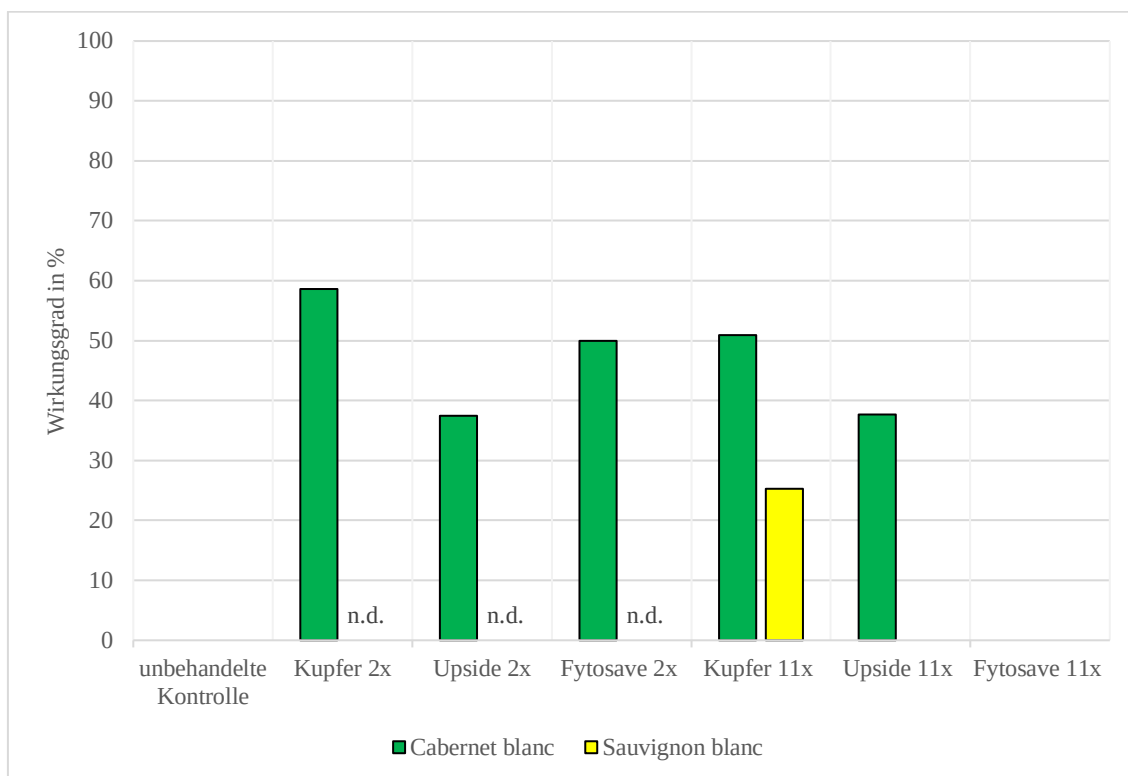


Abbildung 13: Wirkungsgrad in % der unterschiedlichen Mittel Applikationen bei *P. viticola* Befall an den Trauben am 05. August (BBCH: 77-79) bei Cabernet blanc im Vergleich zu Sauvignon blanc (n = 4)

Bei der Rebsorte Sauvignon blanc zeigt sich im Zusammenhang des Befalls von *P. viticola* an der Traube kein positiver Wirkungsgrad an den Varianten; Upside11x und Fytosave 11x. Ebenso zeigt sich keine positive Wirkung bei der Sorte Cabernet blanc in der Variante Fytosave 11x. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, gibt es bei der Rebsorte Cabernet blanc bei der Variante Kupfer 2x die höchste Wirkung von 59 %, gefolgt von Kupfer 11x von 51 %. Upside 2x und Upside 11x erzielten eine Wirkung von jeweils 37,5 %. Bei Fytosave 2x wurde eine Wirkung von 50% festgestellt. Bei der Rebsorte Sauvignon blanc, konnte bei der Variante Kupfer 11x eine Wirkung von 25 % erreicht werden.

3.6. Oidium, Botrytis & Schwarzfäule

Zusätzliche Bonituren an den Trauben wurden für Oidium, Botrytis und Schwarzfäule durchgeführt. Aufgrund der geringen Befallsstärke, waren diese wenig aussagekräftig. Da der Schwerpunkt der Arbeit die Wirkung der Mittel gegen *P. viticola* untersuchte, wurden die Ergebnisse nicht als Diagramme abgebildet. Stattdessen wurden die Mittelwerte der Befallsstärken in Form einer Tabelle im folgenden Abschnitt dargestellt.

Tabelle 6: Befallsstärke in % von Oidium an den Trauben vom 05.08.24 bei BBCH 77-79 (n = 4)

Befallsstärke in % von Oidium an den Trauben vom 05.08.24 bei BBCH 77-79 (n = 4)		
	Cabernet blanc	Sauvignon blanc
unbehandelte Kontrolle	0,47	0,15
Kupfer 2x	1,02	n.d.
Upside 2x	0,73	n.d.
Fytosave 2x	0,67	n.d.
Kupfer 11x	0,05	0,12
Upside 11x	0,56	0,21
Fytosave 11x	0,07	0,33

Tabelle 7: Befallsstärke in % von Botrytis an den Trauben vom 23.09.24 bei BBCH 89 (n = 4)

Befallsstärke in % von Botrytis an den Trauben vom 23.09.24 bei BBCH 89 (n = 4)		
	Cabernet blanc	Sauvignon blanc
unbehandelte Kontrolle	0,12	2,60
Kupfer 2x	0,24	n.d.
Upside 2x	0,13	n.d.
Fytosave 2x	0,05	n.d.
Kupfer 11x	0,06	1,74
Upside 11x	0,04	3,07
Fytosave 11x	0,03	3,23

Tabelle 8: Befallsstärke in % von Schwarzfäule an den Trauben vom 17.07.24 bei BBCH 75 (n = 4)

Befallsstärke in % von Schwarzfäule an den Trauben vom 17.07.24 bei BBCH 75 (n = 4)		
	Cabernet blanc	Sauvignon blanc
unbehandelte Kontrolle	0,47	0,15
Kupfer 2x	1,02	n.d.
Upside 2x	0,73	n.d.
Fytosave 2x	0,67	n.d.
Kupfer 11x	0,05	0,12
Upside 11x	0,56	0,21
Fytosave 11x	0,07	0,33

3.7. Ertragserfassung bei Cabernet blanc

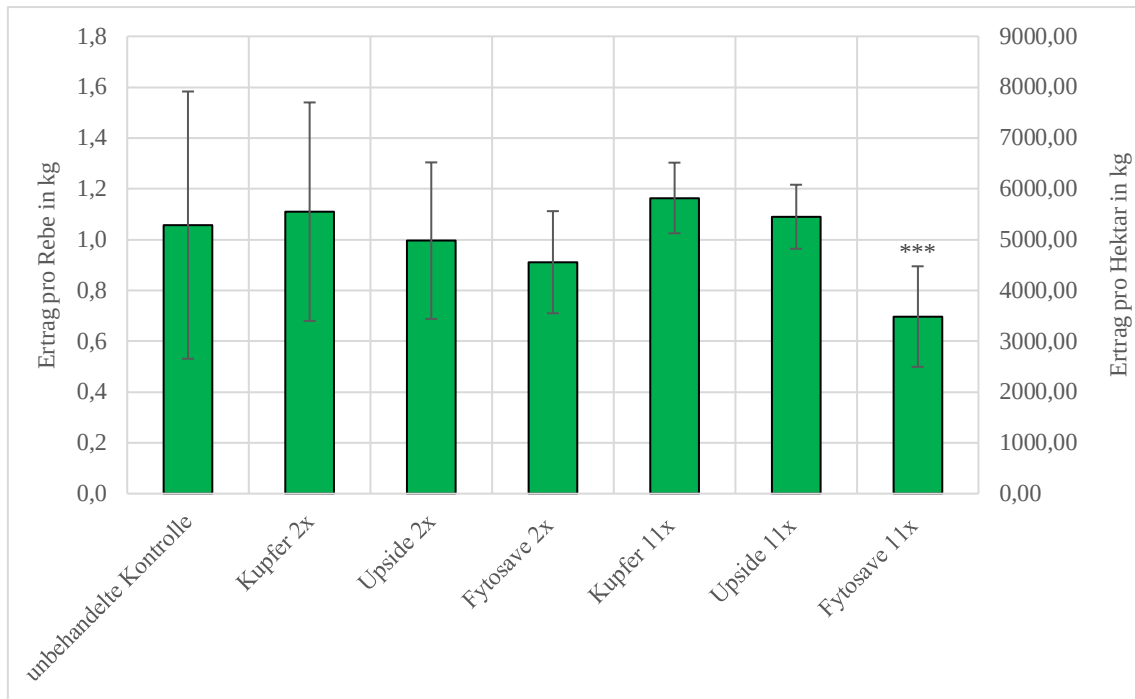


Abbildung 14: Ertragserfassung in kg bei Cabernet blanc am 24. September (BBCH: 89) mit kg pro Rebe auf primär Y-Achse und kg pro Hektar auf sekundärer Y-Achse (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * $p < 0,05$ / ** $p < 0,01$ / *** $p < 0,001$)

Für den praktischen Vergleich wurde im Diagramm der Ertrag pro Hektar auf der sekundären Y-Achse dargestellt, während die statistische Analyse auf dem Ertrag pro Rebstock basierte. Die unbehandelte Kontrolle erzielte einen Ertrag von 1,05 kg pro Rebstock, was einem Hektarertrag von 5.285 kg entspricht. Die Variante Kupfer 2x erreichte 1,11 kg pro Rebstock bzw. 5.550 kg/ha, während Upside 2x 0,99 kg pro Rebstock und 4.980 kg/ha lag. Die Fytosave 2x Variante wies einen Ertrag von 0,91 kg pro Rebstock auf, entsprechend auf ein Hektar sind das 4.555 kg. Kupfer 11x lag bei 1,16 kg pro Rebstock und 5.820 kg/ha. Upside 11x erreichte 1,09 kg pro Rebstock und 5.450 kg/ha und Fytosave 11x lag bei einem Ertrag von 0,69 kg pro Rebstock was einem Ertrag von 3.485 kg/ha entspricht. Dabei zeigte sich ein hoch signifikant (***) geringerer Ertrag für die Variante Fytosave 11x im Vergleich zur Kontrolle (p-Wert: $< 0,001$). Bei allen anderen Varianten, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

3.8. Ertragserfassung bei Sauvignon blanc

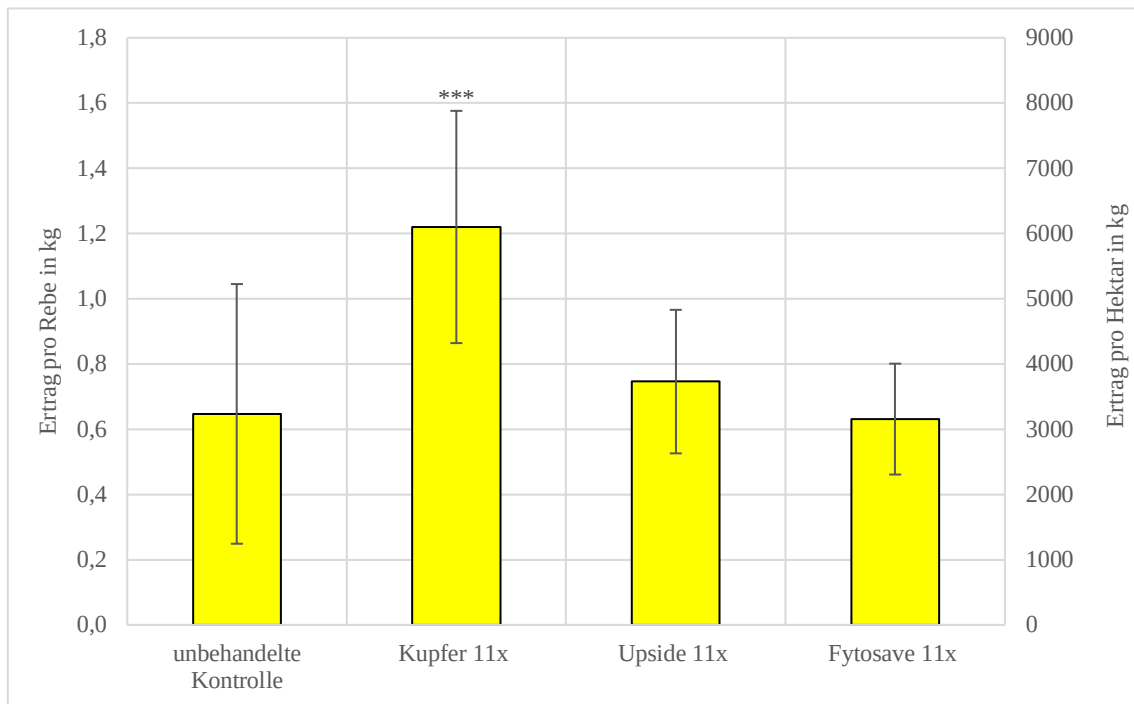


Abbildung 15: Ertragserfassung in kg bei Sauvignon blanc am 23. September (BBCH: 89) mit kg pro Rebe auf primär Y-Achse und kg pro Hektar auf sekundärer Y-Achse (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * $p < 0,05$ / ** $p < 0,01$ / *** $p < 0,001$)

Das Diagramm zeigt den Ertrag pro Hektar auf der sekundären Y-Achse, während die statistische Analyse den Ertrag pro Rebstock als Grundlage hat. Die unbehandelte Kontrolle zeigte einen Ertrag von 0,65 kg pro Rebstock und 3.235 kg/ha. Kupfer 11x lag bei 1,22 kg pro Rebstock und 6.100 kg/ha. Upside 11x erreichte einen Ertrag von 0,75 kg pro Rebstock bzw. 3.730 kg/ha. Die Variante Fytosave 11x hatte einen Stockertrag von 0,63 kg, was einem Hektarertrag von 3.155 kg entspricht. Für die Variante Kupfer 11x wurde im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ein hochsignifikanter (***) Anstieg des Gewichts pro Rebstock festgestellt (p-Wert: $< 0,001$). Bei den anderen Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 9: Optische Bonitur des jeweiligen Leseeguts der unterschiedlichen Varianten

	Cabernet blanc	Sauvignon blanc
unbehandelte Kontrolle		
Kupfer 2x		n.d.
Upside 2x		n.d.
Fytosave 2x		n.d.

	Cabernet blanc	Sauvignon blanc
Kupfer 11x		
Upside 11x		
Fytosave 11x		

Die Abbildungen (Ergebnis, Tab. 9) zeigen den Vergleich des Leseguts der Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc in Abhängigkeit der unterschiedlichen Varianten.

3.9. Mostgewicht Cabernet blanc

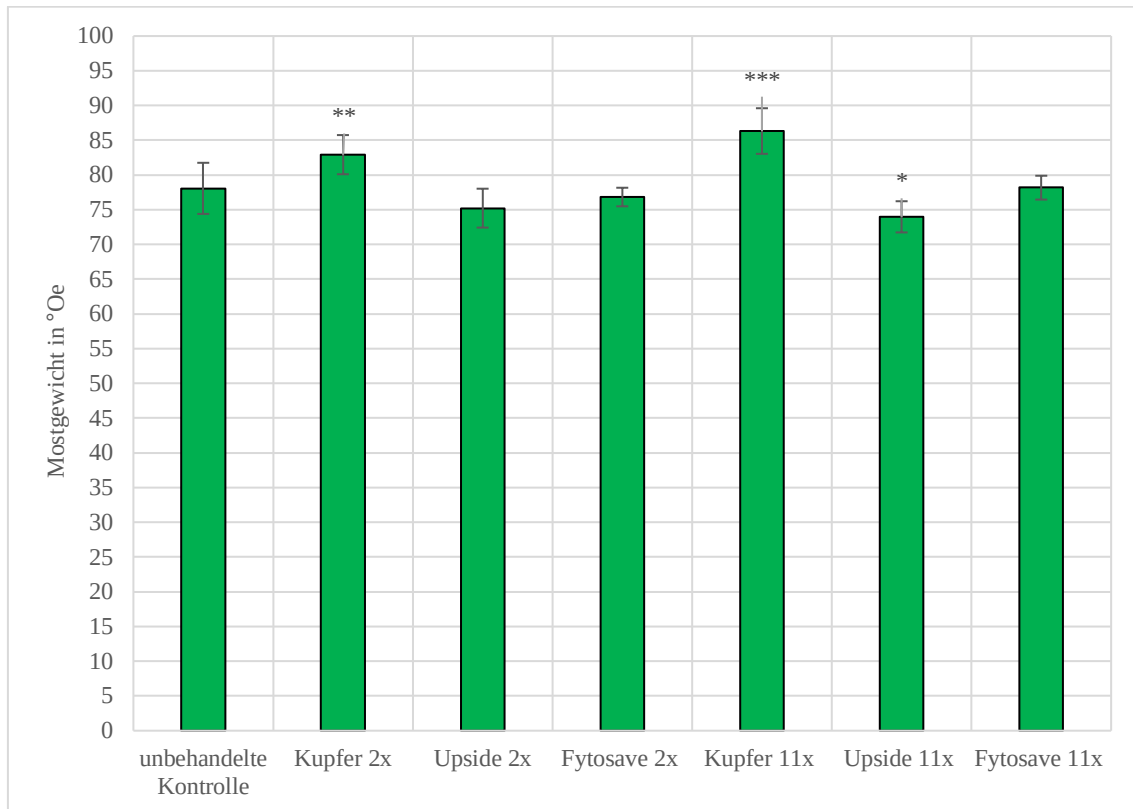


Abbildung 16: Mostgewicht in °Oe bei Cabernet blanc am 24. September (BBCH: 89) (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * $p < 0,05$ / ** $p < 0,01$ / *** $p < 0,001$)

In der unbehandelten Kontrolle betrug das Mostgewicht 78°Oe. Für Kupfer 2x waren es 83°Oe und für Upside 2x 75°Oe. Die Variante Fytosave 2x erreichte 77°Oe. Kupfer 11x betrug 86°Oe und Upside 11x lag bei 74°Oe. Für die Variante Fytosave wurde ein Mostgewicht von 78°Oe gemessen. In Abhängigkeit des Mostgewichtes in °Oe, konnten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle hoch signifikante (***) bessere Unterschiede bei der Variante Kupfer 11x festgestellt werden (p-Wert: $< 0,001$). Bei Kupfer 2x im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, wurden sehr signifikant (**) bessere Unterschiede festgestellt (p-Wert: 0,001). In der Variante Upside 11x, wurde ein signifikant (*) schlechteres Mostgewicht im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle gemessen. In allen anderen Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden.

3.10. Mostgewicht Sauvignon blanc

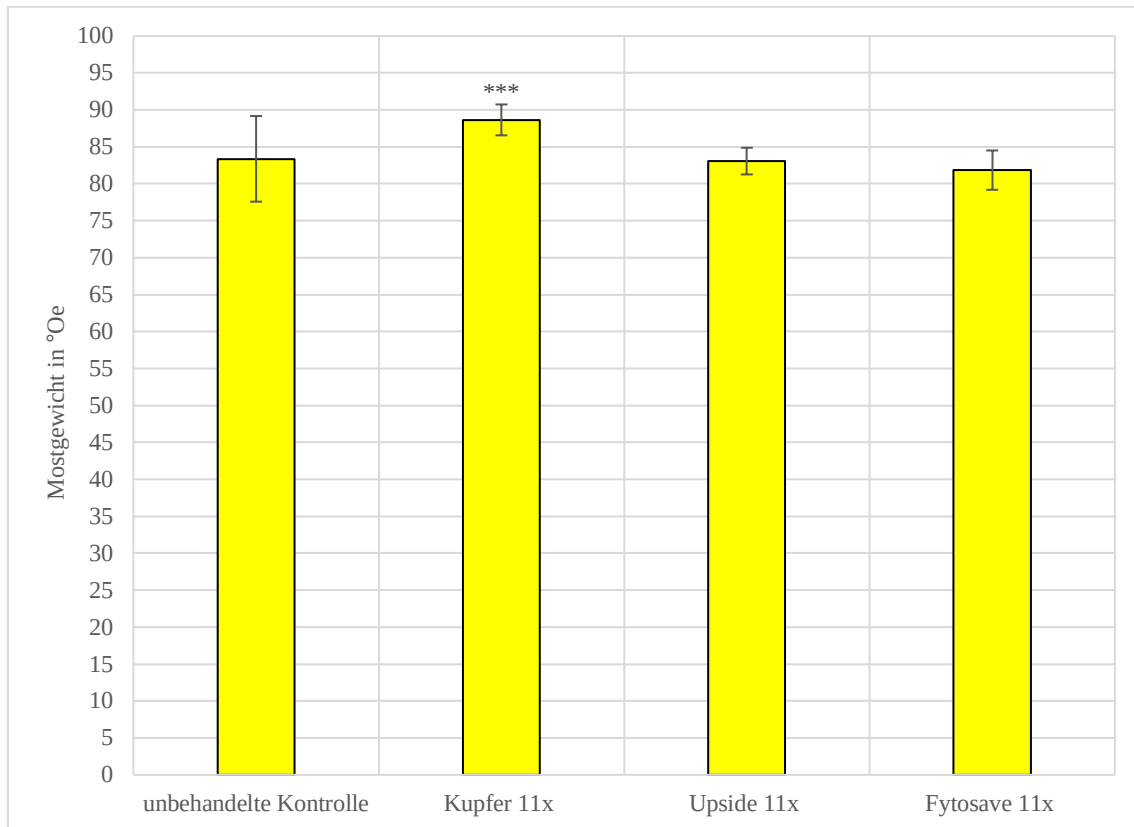


Abbildung 17: Mostgewicht in °Oe bei Sauvignon blanc am 23. September (BBCH: 89) (n = 4, Fehler = $\pm$ SD, * $p < 0,05$ / ** $p < 0,01$ / *** $p < 0,001$)

Im gezeigten Diagramm wurde in der unbehandelten Kontrolle ein Mostgewicht von 83°Oe erreicht. Bei Kupfer 11x waren es 89°Oe und bei Fytosave 11x wurden 83°Oe gemessen. In der Variante Fytosave 11x betrug das Mostgewicht 82°Oe. Bei der Sorte Sauvignon blanc, konnte in der Variante Kupfer 11x ein sehr signifikantes (***) höheres Mostgewicht im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle gemessen werden. Bei den übrigen Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden.

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirksamkeit von Kupfer, Upside® & Fytosave® gegen *P. viticola* an den Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc zu untersuchen, um eine noch nachhaltigere biologische Weinbauproduktion zu fördern, da das Problem in der biologischen Bewirtschaftung von Weinbergen darin besteht, dass hier traditionell kupferhaltige Mittel verwendet werden und diese die einzige wirksame Bekämpfungsmaßnahme gegen *P. viticola* darstellen (Kühne, Friedrich, 2008). Des Weiteren ist Kupfer ein Schwermetall, welches erhebliche negative Auswirkungen auf die mikrobiologische Bodenaktivität hat (Malkomes, 2010). Aus diesem Grund soll diese Arbeit als Grundlage für zukünftige Untersuchungen in diesem Bereich dienen, um das Forschungsthema weiter zu vertiefen und zur Weiterentwicklung nachhaltiger Strategien im Weinbau beizutragen.

4.1. Infektions- und Witterungsverlauf



Abbildung 18: Erste sichtbare Ölflecken an den Blättern von Sauvignon Blanc in der Variante UPSIDE 11x am 05.06.2024 (BBCH 57). Quelle: Autor

Die Bedingungen für Infektionen mit *P. viticola* waren während dem Versuchszeitraum sehr gut. Kontinuierliche Regenfälle und Temperaturen im Sommer um 25°C, prägten das Weinbaujahr 2024 an der luxemburgischen Mosel und stellten den Weinbau vor erhebliche Herausforderungen bei der Bekämpfung von *P. viticola*. In der Woche des 29. Aprils, war die Keimbereitschaft für die Sporen von *P. viticola* erreicht und die Versuchsanlage befand sich im 3-Blatt-Stadium. Die durchschnittliche Temperatur lag bei 12°C, und somit waren die Gegebenheiten für eine Primärinfektion laut Gessler *et al.* erfüllt. Nach den Regenschauern in den folgenden Tagen,

brach diese Primärinfektion anschließend am 03. Mai laut „VitiMeteo“ aus. Zu diesem Zeitpunkt waren die Böden mit ausreichend Wasser gesättigt und die überdurchschnittlich hohen Temperaturen begünstigten einen schnellen Wachstumsschub der Rebe. Somit kam es am 16. Mai zu einer starken Sekundärinfektion wie auch neuen Primärinfektionen mit 231 Gradstunden bei Blattnässe. Der starke Blattzuwachs und die Niederschläge sorgten weiterhin für einen hohen Infektionsdruck. Nach Ablauf der Inkubationszeit

wurden im Versuch die ersten Ölflecken an der Sorte Sauvignon blanc in der Bonitur vom 5. Juni gesichtet (Diskussion, Abb. 18). Ab diesem Zeitpunkt, breitete sich der Befall besonders in den Varianten; Upside 11x und Fytosave 11x schnell aus, so dass man nach 5 Wochen bereits Unterschiede in der Laubwand bei Sauvignon blanc in den Varianten unbehandelte Kontrolle, Upside 11x und Fytosave 11x im Vergleich zu Kupfer 11x sehen konnte. Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei der Sorte Cabernet blanc, auch wenn hier der Befall zu dem gleichen Zeitpunkt wesentlich geringer war als bei der Sorte Sauvignon blanc. Hier zeichnete sich bereits eine Tendenz ab, dass die Kupfer 11x Variante die geringste Befallsstärke an den Blättern zeigte. Besonders kompliziert gestalteten sich die Behandlungen um die Blüte, da die Niederschläge, sowie die niedrigen Temperaturen zu einer hohen Verrieselungsrate führten und sich somit die Blüte über einen längeren Zeitraum erstreckte. Dies erschwerte die Planung und vor allem auch die Durchführung der gezielten Pflanzenschutzstrategie zusätzlich. Wie aus dem Ergebnisteil aus Abbildung 9 zu entnehmen ist, war über die komplette Saison fast jede Woche mit Niederschlägen zu rechnen, was zu einer hohen Luftfeuchtigkeit führte und somit keine Möglichkeit gab, dass sich die Kurve der Befallsstärke in der unbehandelten Kontrolle abflachte. Alles in allem stellte das Jahr ideale Voraussetzungen dar, um im Freilandversuch den Effekt verschiedener Mittel und Rebsorten gegenüber *P. viticola* zu untersuchen.

4.2. Reliabilität des Versuches

Hervorzuheben ist in dieser Arbeit die Verwendung standardisierter Bonitur-Schemata, da sie durch ihre einheitliche Anwendung die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wesentlich erhöht haben. Des Weiteren haben immer die gleichen zuvor geschulten Personen, alle Bonituren in den randomisierten Versuchsblöcken durchgeführt. Durch diese Faktoren konnten Beobachterfehler und subjektive Unterschiede minimiert werden. Es wurde auf mehrfache Wiederholungen pro Variante geachtet. Der Einsatz eines Parzellenspritzgerätes konnte gewährleisten, dass die Mittel auf die Zielfläche der entsprechenden Varianten appliziert werden konnten, und eine Mischung der einzelnen Mittel an der Laubwand vermieden wurde (Lipco®, 2025). Die Wasseraufwandsmenge wie auch der Basisaufwand wurde während des Versuches laut Herstellerangaben und DLR RHEINPFALZ, INST. F. PHYT. an die jeweiligen Behandlungstermine angepasst. Bei den Ergebnissen handelt es sich um Daten aus einem Freilandversuch, die somit praxisrelevant sind und Rückschlüsse auf die Wirkungsdauer und Abwaschbarkeit durch Regen sowie UV-Beständigkeit geben. Bei diesem Versuch handelt es sich jedoch um einen Einjahresversuch. Um belastbarere Aussagen treffen zu können, müssten jedoch die gleichen Mittel an der gleichen Parzelle über mehrere Jahre getestet werden, um langjährige Aussagen tätigen zu können (Wilbois et al., 2010). Des Weiteren müssen die Applikationszeitpunkte der Präparate hinterfragt werden, da die Hersteller von UPSIDE® und FytoSave® eine vorbeugende Anwendung empfehlen. Besonders in regenreichen Jahren wie 2024 gestaltet es sich in der Praxis als besonders schwierig, den optimalen Behandlungszeitpunkt zu treffen. In diesem Zusammenhang wäre es im Versuch interessant gewesen, eine zusätzliche Variante mit phosphoriger Säure (Phosphonate) einzubeziehen, um einen Vergleich zum integrierten Weinbau herzustellen.

4.3. Wirkung der Mittel

In Bezug auf die Wirkung von UPSIDE® und FytoSave® an der Sorte Sauvignon blanc zeigte sich die höchste Befallsstärke sowohl an den Blättern als auch an den Trauben (Ergebnis, Abb. 10 & 12). Bei Sauvignon blanc konnte an den Blättern und Trauben keine signifikante Wirkung dieser Mittel gegen *P. viticola* festgestellt werden. Die einzige und auch beste Wirkung an Blättern als auch an Trauben, zeigte hier die Kupfervariante. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Zoosporen durch die Wirksamkeit von Cu^{2+} -Ionen, die aus dem Spritzmittel in Lösung gehen, geschädigt wurden und somit ein Großteil neuer Infektionen verhindert werden konnte (Mohr et al., 2007). Der Wirkungsgrad betrug an den Blättern 55 % und an den Trauben 25 %. Hier stellt sich die Frage, ob es bei einer nicht PIWI-Sorte bei einem solch hohem Infektionsdruck durch *P. viticola*, ausreichende Behandlungen gab. Bei einem Reinkupfergehalt von 2,5 kg liegt man hier noch unter der in Deutschland zugelassenen jährlichen Höchstmenge von 3 kg/ha. MOHR bestätigt, dass bei hohem Befallsdruck eine Reinkupfermenge von 3 kg/ha pro Jahr notwendig sind, um einen ausreichenden Bekämpfungserfolg zu garantieren (Mohr, 2012). Beim Vergleich mit anderen Studien, wie der von BESRUKOW zeigt sich, dass bei der Sorte Riesling im Jahr 2022 ein Reinkupfereinsatz von 1,5 kg/ha zu einem Wirkungsgrad von 47 % gegen *P. viticola* führte. Dieser erhöhte sich bei 2,0 kg/ha auf 65 % und bei 3,0 kg/ha auf 77 %. Dabei ist zu beachten, dass das beobachtete Schutzniveau von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird, wie z. B. Witterung, Standort, Sortenanfälligkeit, Virulenz des Erregers und Jahrgang, was einen direkten Vergleich erschwert (Besrukow et al., 2024). Dennoch lässt sich die Hypothese ableiten, dass ein vollständiges Ausschöpfen des Kupferkontos (3 kg Reinkupfer/ha) in Kombination mit häufigeren Applikationen und somit geringeren Spritzintervallen den Wirkungsgrad der Kupfervariante bei Sauvignon blanc möglicherweise steigern könnte (Müller, 2019). In diesem Versuch konnte bei einem Wirkungsgrad von lediglich 25 % an den Trauben von Sauvignon blanc (Ergebnis, Abb. 15) dennoch ein Ertrag von 1,22 kg pro Rebstock erzielt werden, was hochgerechnet einem Ertrag von rund 6.100 kg/ha entspricht. Weitere Studien, wie die von BERKELMANN-LÖHNERTZ gehen davon aus, dass bei mittlerem Befallsdruck von *P. viticola* mit Reinkupfermengen von unter 2 kg/ha eine Eindämmung gewährleistet werden kann, es jedoch bei starken Befallsereignissen zu erheblichen Schwächen des Schutzes vor *P. viticola* bei Kupfereinsatz kommen kann. Mit Blick auf

die erzielten Ergebnisse bei Sauvignon blanc an den Mitteln UPSIDE® und FytoSave®, ist zu erwähnen, dass der kupferfreie Pflanzenschutz bei konventionellen Sorten im ökologischen Weinbau weiterhin eine zukünftige Herausforderung bleibt, da sie in Jahren mit vielen Infektionen zu starken Ertragseinbußen führen und besonders Bio-Weingüter sich ein solches Risiko nicht leisten können (Kühne, Friedrich, 2008). Besonders im Rahmen des Qualitäts-Weinbaus, ist an der Sorte Sauvignon blanc die Kupfervariante die einzige Variante, die signifikant höhere Mostgewichte erzielte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die Kontrolle mit 83°Oe und die Kupfervariante mit 89°Oe. Dieser Unterschied lässt sich durch die geringere Befallsstärke an den Blättern erklären, wodurch weniger Blattfläche durch *P. viticola* beschädigt wurde. Somit ist das Blatt/Frucht-Verhältnis höher, was wiederum höhere Photosynthese-Leistung bedeutet und in Folge dessen mehr Zuckereinlagerung und damit Mostgewichtszunahme bedeutet (Müller, Walg, 2013). Des Weiteren gibt es Studien, wie die von BRULÉ die im Jahr 2020 Feldversuche an verschiedenen Rebsorten (Merlot, Cabernet Franc, Pinot Noir) an mehreren unterschiedlichen Standorten in Frankreich durchgeführt haben, um die Wirkung von COS-OGA gegen *P. viticola* zu testen, bei denen die Anlagen zunächst mit Wasser befeuchtet wurden und anschließend mit dem Erreger künstlich inokuliert wurden. Je nach Standort wurden fünf bis acht Applikationen im Abstand von 7–9 Tagen durchgeführt. Die Schutzwirkung wurde 4 Tage nach der letzten Applikation zwischen den Stadien BBCH 73 und 79 bewertet. Die angegebenen Werte stellen den mittleren Schutzgrad aus vier Wiederholungen in drei unabhängigen Versuchen (n = 12) dar. Dabei handelt es sich um den Wirkstoff Chitosan, in Form von COS-OGA. Chitosan, welches eine chemisch modifizierte Form von Chitin, einem natürlichen Bestandteil pilzlicher Zellwände ist. Die Anwendung täuscht der Pflanze eine Pilzinfektion vor und löst dadurch die Aktivierung pflanzlicher Abwehrmechanismen aus (Harm et al., 2025). Im französischen Versuch lag die durchschnittliche Schutzwirkung an den Blättern gegen *P. viticola* bei dem Wirkstoff COS-OGA (Fytosave) bei 15 %. Im Vergleich, die positive Kontrolle mit Kupfer lag hier bei 72 %. An den Trauben war der Wirkungsgrad bei 27 % bei COS-OGA und bei der Kupfer Variante bei 80 %. Zu betonen ist hier, dass die Versuche in unterschiedlichen Weinbergen durchgeführt wurden, in denen jeweils die Krankheitsintensität der unbehandelten Kontrollen stark variierte. Zum Vergleich lag die Befallsstärke der unbehandelten Kontrolle an den Blättern hier bei 21,9 % (Brulé et al.,

2024). Wohingegen die Befallsstärke an den Blättern der unbehandelten Kontrolle in diesem Versuch bei der Sorte Sauvignon blanc bei 55 % lag und einem so eine gute Auskunft über die Infektionsbedingungen im Vergleich gibt. BRULÉ behauptet selbst, dass bei Regenwetter der Wirkstoff weniger wirksam ist, was darauf hindeutet, dass es möglicherweise schnell ausgewaschen wird. Als Empfehlung, wurden nach dem Versuch Behandlungen des Wirkstoffes in Kombination mit zwei kupferbasierten Behandlungen zum Blütezeitpunkt empfohlen, um Pflanzenschutzmittel einzusparen und gleichzeitig einen guten Schutz zu bieten und somit die Nachhaltigkeit im Weinbau zu fördern (Brulé et al., 2024). In dieser Arbeit wurde sich jedoch etwas kritischer mit der Wirkung von FytoSave® befasst. Da das Mittel in einzelner Anwendung keine Wirkung an Blättern und Trauben der Sorte Sauvignon blanc erzielte, bietet es den Winzern in der Praxis bei solch schwierigen Witterungen keine richtige Alternative zur Behandlung von *P. viticola*. Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen von MOLITOR, die in einem Freilandversuch unter künstlicher Inokulation verschiedene Strategien zur Bekämpfung von *P. viticola* untersuchten. Obwohl der Krankheitsdruck in dem Jahr aufgrund der trockenen Witterung während der Vegetationsperiode insgesamt sehr gering war, zeigten sich Unterschiede in der Wirksamkeit der getesteten Varianten. Die Kombination aus Kupfer und FytoSave® erzielte keinen höheren Wirkungsgrad im Vergleich zur durchgehenden Kupferbehandlung allein. Phosphonat-basierte Behandlungen (Phosphorige Säure) hingegen erreichten sehr gute Wirkungsgrade an den Blättern. Auch die Kombination aus Kupfer und Phosphoriger Säure erwies sich als effizient und erzielte gute Wirkungsgrade (Molitor et al., 2022), da Kalium-Phosphonat nachdem es aufgenommen wurde, durch das Xylem Transportsystem der Pflanze in wachsende Blätter und Triebe verlagert wird und somit den Neuzuwachs schützt (Dann, McLeod, 2021). Sehr ähnlich zu FytoSave®, konnte ebenfalls bei UPSIDE® keine Wirkung an Blättern und Trauben an der Sorte Sauvignon blanc gezeigt werden. Ein Vergleich mit der fachlichen Literatur zur weinbaulichen Anwendung gegen *P. viticola* gestaltete sich schwierig, da das Mittel erst seit 2024 neu zugelassen ist und bislang keine publizierten Freilandversuche existieren, wodurch das Mittel UPSIDE® nicht direkt mit Ergebnissen verglichen werden konnte. Jedoch wird es alternativ zum Mittel ROMEO® der Firma Agrauxine verglichen. Die Basis des Mittels bildet der Wirkstoff Cerevisane, das aus den Zellwänden des Hefestammes *Saccharomyces cerevisiae* LAS117 besteht. Im Versuch

von INNEREBNER und ROSCHATT vom Versuchszentrum in Laimburg, wurden in den Jahren 2019 bis 2021 bei den Sorten; Ruländer (Grauburgunder), Merlot und Vernatsch (Trollinger) unterschiedliche Mittel gegen *P. viticola* untersucht. Der Infektionsdruck durch *P. viticola* war insbesondere in den Jahren 2019 und 2020 sehr hoch. Im Fazit des Freilandversuchs ist vorzufinden, dass dieses Mittel ähnlich wie UPSIDE®, pflanzeneigene präventive Abwehrmechanismen gegen *P. viticola* induziert, jedoch keine erhebliche Wirkungssteigerung verursacht. Die Ergebnisse waren derart ernüchternd, dass im Ausblick die grundsätzliche Frage aufgeworfen wurde, ob der Einsatz indirekt wirkender Naturstoffe überhaupt einen relevanten Beitrag zur Bekämpfung von *P. viticola* unter den spezifischen Anbaubedingungen in Südtirol leisten kann (Innerebner, Roschatt, 2025). Eine deutlich wirkungsvollere Alternative zur Reduktion des Kupfereinsatzes im Weinbau, und damit ein Beitrag zu einer nachhaltigeren Produktion, stellen pilzwiderstandsfähige Rebsorten dar (Hofmann, 2014). Am Beispiel von Cabernet blanc wird das Befallsniveau sowie das Einsparpotenzial im folgenden Kapitel erläutert.

4.4. Einfluss der pilzwiderstandsfähigen Sorte Cabernet blanc

Mit dem Resistenzloci Rpv3, besitzt die Sorte Cabernet blanc Resistenzen gegen *P. viticola* (Töpfer, Trapp, 2022). Sowohl bei der Befallsstärke an den Blättern als auch an den Trauben zeigt sich, dass die 11-fachen Applikationen in den Varianten Kupfer, Upside und Fytosave bei der Sorte Cabernet blanc signifikant niedrige Befallsstärken aufweisen als bei der Rebsorte Sauvignon blanc (Anhang, Tab. 11 & Tab. 15). Diese Beobachtung bestätigt die Literatur, dass die sogenannten „PIWIs“, Mehrfachkreuzungen mit nordamerikanischen, asiatischen Wildreben, eine erhöhte Toleranz gegenüber den Mehltauerregern, in diesem Fall *P. viticola* aufweisen (Mohr, 2012). Beim Betrachten der Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben, ist zu beobachten, dass es bei der Sorte Cabernet blanc keinen signifikanten Unterschied bei der Applikationsfrequenz (11-fachen Applikationen & 2-fachen Applikationen) in den Varianten Kupfer und UPSIDE® gibt. Besonders bei der Ertragssicherung der Trauben, kann man bei den beiden Varianten davon ausgehen, dass es in der Praxis, insbesondere im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit, 11 Applikationen nicht realistisch sind, wenn keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu 2 Applikationen festzustellen sind. Auch wenn es ein hoch signifikant geringerer Unterschied der Befallsstärke an den Trauben bei Fytosave 11x zu Fytosave 2x gibt (Anhang, Tab. 17), so zeigt jedoch die Fytosave 11x Variante in

Cabernet blanc den niedrigsten Ertrag pro Rebe der bei 0,70 kg lag. So lässt sich durch die Literatur belegen, dass besonders im biologischen Weinbau die PIWIs von hoher Bedeutung sind, da Winzer dadurch die Spritzintensität verringern können. Das ist sowohl aus ökologischen als auch aus finanziellen Gründen für die Winzer wichtig (Hofmann, 2014). Besonders im Hinblick der Sorte Cabernet blanc, ist zu entnehmen, dass auch hinsichtlich des Ertrages und Mostgewichtes die höchst gemessenen Werte bei den Kupfervarianten lagen. Im Vergleich der beiden Varianten Kupfer 11x und Kupfer 2x, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Anhang, Tab. 20 & 23). In diesem Zusammenhang unterstreicht dies erneut die Aussage von HOFFMANN, dass es aus ökologischer und finanzieller Sicht keinen Sinn ergibt, PIWIs (Cabernet blanc) 11-mal mit Kupfer zu behandeln. Durch den Anbau von PIWIs, lässt sich allgemein sagen, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sich deutlich verringern lässt, jedoch ein kompletter Verzicht auf Pflanzenschutzmittel ist nicht möglich und auch nicht zu empfehlen, da sie keine absoluten Resistenzen besitzen, sondern nur eine erhöhte Toleranz gegenüber den Mehltauerregern (Eisenmann et al., 2016). Ein weiterer Aspekt betrifft die Wirksamkeit von im biologischen Weinbau zugelassenen Pflanzenschutzmitteln gegenüber weiteren Rebkrankheiten. Es wurden Bonituren zur Schwarzfäule an den Trauben durchgeführt (Ergebnisse, Tab. 8), diese wurden aufgrund ihrer geringen Befallsstärke nicht weiter in der Arbeit erläutert. Es gibt jedoch Studien, wie die von STRUMPF in denen die durchschnittlich ausgebrachten Kupfermengen bei pilzwiderstandsfähigen und nicht-pilzwiderstandsfähigen Rebsorten verglichen wurden. Hier konnten jedoch deutliche Unterschiede zwischen den befragten Betrieben der jeweiligen Anbauregionen gezeigt werden. Somit sind unterschiedliche klimatische Bedingungen der Weinbauregionen, sowie das vermehrte Auftreten der Schwarzfäule, insbesondere in der Moselregion, die Ursache eines erhöhten Kupferaufwandes bei pilzwiderstandsfähigen Rebsorten im Vergleich zur Nahe oder Pfalz zu erklären. Doch nicht nur regionale Klimafaktoren spielen eine Rolle, auch das Kleinklima einzelner Lagen, die phytosanitären Maßnahmen im Weinberg sowie betriebsinterne Abläufe haben Einfluss auf die jeweiligen ausgebrachten Kupfermengen (Strumpf et al., 2013). Im Rahmen dieses Versuchs waren in der Umgebung keine aufgegebenen oder nicht mehr ordnungsgemäß bewirtschafteten Weinberge, sogenannte „Drieschen“ vorhanden, die häufige Infektionsquelle für Schwarzfäule sind (Mohr, 2012). Im Versuch konnte gezeigt

werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Applikationsfrequenzen 11 und 2 Anwendungen gab. Dennoch sollte bei den Varianten mit nur zwei Applikationen an Cabernet blanc kritisch hinterfragt werden, ob die Zeitpunkte der Applikationen tatsächlich optimal gewählt wurden. SCHUMACHER konnte zeigen, dass pilzwiderstandsfähige Rebsorten insgesamt eine geringere Anfälligkeit gegenüber *P. viticola* aufweisen als traditionelle Rebsorten. Die Ausprägung der Resistenz variierte jedoch im Verlauf der phänologischen Entwicklung. So zeigte beispielsweise Souvignier gris bis BBCH 75 (Beeren sind erbsengroß) eine vergleichbare Anfälligkeit wie Pinot noir auf. Bei den Sorten Cabernet Cortis und Solaris konnten sogar während ihrer gesamten phänologischen Entwicklung unterschiedliche Resistenzgrade aufgezeigt werden. Die höchste Empfindlichkeit gegenüber des Erregers zeigte sich bei beiden Sorten während der Entwicklung der Blütenstände bis zur Blüte (Schumacher et al., 2024). Die Ergebnisse von SCHUMACHER können zu der Annahme führen, dass alle getesteten PIWIs bis zur Fruchtentwicklung sehr anfällig für *P. viticola* sind. Hier im Versuch erfolgte die erste Behandlung Ende der Blüte (BBCH 69) und die zweite Applikation zu Beginn des Traubenschlusses (BBCH 77). Auffällig ist hierbei, dass die beiden Behandlungstermine relativ nahe beieinander lagen und es keine Behandlung vor der Blüte gab. Dabei gibt es Veröffentlichungen wie die von EISENMANN, die besagen, dass bei der Sorte Cabernet blanc eine frühe Behandlung bei denen sich 5 Blätter entfalten (BBCH 15) als auch die Behandlung während der Blüte für einen Schutz unabdingbar wären (Eisenmann et al., 2016). Besonders die Applikation während der Blüte, bei langgezogenem Blühverlauf und hohem Infektionsdruck sowie die Spritzung in die abgehende Blüte ist von hoher Bedeutung, da mit Beginn des Abwerfens der ersten Blütkekäppchen die jungen Beeren keinen Fungizidbelag enthalten und somit kein Schutz vor einer neuen Infektion mehr gegeben ist (Kortekamp, 2022). Sowohl in der Literatur als auch besonders in den praktischen Empfehlungen, geht hervor, dass durch 2-4 Pflanzenschutzmaßnahmen bei PIWIs, eine Ertrags- als auch Qualitätseinbußen vermieden werden können. Auf einen kompletten Verzicht jeglicher Pflanzenschutzmaßnahmen ist bei PIWIs wie bereits gesagt abzuraten, da dies das Auftreten neuer Pilzstämme ermöglicht und diese den Abwehrmechanismus überwinden (Eisenmann et al., 2021). Aus (Material und Methoden, Tab. 4), lässt sich ein gesamter Reinkupfergehalt von 0,36 kg/ha bei der Kupfer 2x Variante bei Cabernet blanc

errechnen. Bei der Kupfer 11x Variante, liegt die ausgebrachte Menge bei 2,5 kg/ha. Damit liegt man auch hier bei der intensiv behandelten Variante immer noch im zulässigen Bereich wie es von der EU-Vorgesehen ist und im Literaturteil beschrieben wurde. Vergleicht man die beiden Varianten, so konnte mit der 2x-Applikation bei Cabernet blanc rund 85,5% Kupfer im Vergleich zur 11x-Variante bei Sauvignon blanc eingespart werden. Dieses Einsparpotenzial deckt sich mit Angaben aus anderen Studien, wie die von STRUMPF die jeweils von 90% Kupfer Einsparung bei PIWIs im Schnitt berichten (Strumpf et al., 2013). Andere Studien wie die von HARDT liegen unter der Behauptung von STRUMPF und gehen von einem Einsparpotenzial von bis zu 75% aus. Diese Unterschiede sind abhängig von dem standortspezifischen Befallsdruck als auch den jeweiligen PIWI Sorten und deren Resistenzeigenschaften (Hardt et al., 2022). Somit konnte durch die Ergebnisse gezeigt werden, dass man durch PIWIs sowohl hohe Pflanzenschutzmengen als auch die Anzahl an Überfahrten deutlich reduziert werden können. Dies bringt ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich, die zu einer nachhaltigen Weinbauproduktion beitragen. Ob die Präparate wie UPSIDE® oder FytoSave® die Resistenz von PIWIs stärken, lässt sich in dieser Arbeit nicht belegen, da die Befallsstärke an den Trauben bei Cabernet blanc in der unbehandelten Kontrolle einen sehr niedrigen Wert von 13,3% hatte. Somit kann eine kleine absolute Abweichung in den Varianten zu einem verhältnismäßig großen Prozentwert beim Wirkungsgrad führen. Dementsprechend sind die Unterschiede in der Befallsstärke an den Trauben bei Cabernet blanc im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant, jedoch ist der hohe Wirkungsgrad vor allem auf das niedrige Befallsniveau zurückzuführen und erlaubt daher keine belastbare Aussage über eine tatsächliche Resistenzinduktion durch die Präparate. Es ist jedoch erkennbar, dass die Kupfervariante sowohl hinsichtlich der Wirkungsgrade an Blättern und Trauben als auch bei den erzielten Erträgen die besten Ergebnisse lieferte. Des Weiteren haben die Mittel UPSIDE® und FytoSave® wie bereits besprochen bei der Sorte Sauvignon blanc keine Wirkungsgrade hinsichtlich der unbehandelten Kontrolle erzielen konnten. Bei der Befallsstärke an den Trauben der Sorte Cabernet blanc konnten allerdings die beiden Varianten UPSIDE® 2x und FytoSave 2x signifikante Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle erzielen. Sie wiesen zudem hohe Wirkungsgrade auf. UPSIDE 2x erreichte 37,5% und FytoSave® 2x sogar 50%. Diese Wirkungsgrade sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da die Termine der Bonitur der Befallsstärke von

P. viticola an den Trauben vom 05. August 2024 bei BBCH: 77-79 erfasst wurden und erst am 24. September 2024 bei BBCH: 89 bevor die Trauben geerntet wurden die Erträge (in kg) gemessen wurden. Zwar konnten keine signifikant geringeren Erträge im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle festgestellt werden, jedoch zeigt sich eine Tendenz, dass die Erträge bei UPSIDE® 2x und FytoSave® 2x leicht unter denen der unbehandelten Kontrolle lagen. Dies wäre zu erklären, dass es durch leichte Regenfälle und morgendlicher Tau im August in den Weinbergen entlang der luxemburgischen Mosel noch zu späten Infektionen in den Weinbergen kam, und nach der letzten Bonitur vom 05. August 2024 BBCH: 77-79 noch zu späten Infektionen in den Trauben kam. Nach BBCH 75, können Beeren eigentlich nicht mehr direkt durch *P. viticola* befallen werden, da die Beeren zu diesem Zeitpunkt die Spaltöffnungen zu Lenticellen verkorken und somit keine Hyphen mehr eindringen können. Jedoch am Traubengerüst und Stielkissen, bleiben die Spaltöffnungen länger intakt, so dass dort einzelne Infektionen noch bis Reifebeginn BBCH 81 möglich sind und in Folge dessen *P. viticola* in die Beeren einwachsen kann, wodurch Traubenäste verloren gehen können (Mohr, 2012). Des Weiteren kann bei starkem und spätem Auftreten von *P. viticola* die Wirkung von Kontaktfungiziden somit unzureichend sein (Landwirtschaftskammer Niederösterreich, 2025). Dies könnte den leicht geringeren, wenn auch nicht signifikanten, Ertrag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erklären.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Wirksamkeit von Kupfer, UPSIDE® und FytoSave® gegen *P. viticola* an den Rebsorten Cabernet blanc und Sauvignon blanc untersucht. Ziel dieser Untersuchung war es, einen neuen Ansatz für eine nachhaltigere biologische Weinbauproduktion zu entwickeln. Anhand der Ergebnisse sollte die potenzielle Wirkung der beiden Mittel, deren Wirkung nicht auf dem Wirkstoff Kupfer beruht, sondern auf der Aktivierung pflanzeigener Abwehrmechanismen analysiert werden. Die Herangehensweise des Versuchs, war ein Freilandversuch an der luxemburgischen Mosel, in dem im Jahr 2024 die Befallsstärke an den Blättern und Trauben sowie Mostgewicht und der Ertrag mittels Bonituren durchgeführt wurden. Positiv für den Versuch war, dass es in dem Jahr hohe Niederschlagsmengen und optimale Witterungsbedingungen hinsichtlich des Drucks von *P. viticola* gab. Die Ergebnisse zeigten dementsprechend, dass unter den getesteten Mitteln, die Kupfervariante signifikant die beste Wirkung an Blättern und Trauben erzielen konnte. Des Weiteren zeigte sie signifikant die höchsten Erträge sowie Mostgewichte, was vor allem im Hinblick auf die Anforderungen des modernen Weinbaus zur Erzeugung von Qualitätsweinen von wichtigster Bedeutung ist. In Übereinstimmung mit weiteren Studien zeigten UPSIDE® und FytoSave® nur ernüchternde Ergebnisse und stellten keine Alternative zu Kupfer dar. Eine durchaus bessere Perspektive zur Reduzierung von Kupfer, stellt die pilzwiderstandsfähige Rebsorte Cabernet blanc dar. Innerhalb der Kupfervariante, konnten hier zum Vergleich der Sorte Sauvignon blanc 85,5 % Kupfer eingespart werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Arbeit wertvolle Einblicke in die Wirksamkeit dieser drei unterschiedlichen Mittel in Abhängigkeit der beiden Rebsorten Sauvignon blanc sowie der pilzwiderstandsfähigen Rebsorte Cabernet blanc als auch in Abhängigkeit der Anzahl an Pflanzenschutzapplikationen gibt. Solche Untersuchungen sollten in Zukunft weitergeführt werden, da weinbauliche Betriebe vor einer ungewissen Zukunft stehen, geprägt von steigenden Betriebskosten, strengeren Umweltauflagen, den Folgen des Klimawandels, herausfordernden politischen Rahmenbedingungen sowie veränderten Konsumentenbedürfnissen. PIWIs wie beispielsweise Cabernet blanc bieten hierbei eine vielversprechende Möglichkeit, diesen Anforderungen nachhaltiger gerecht zu werden.

Literaturverzeichnis

- Abbott, W. S. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology* **1925**, 18 (2), 265–267. DOI: 10.1093/jee/18.2.265a.
- Abdel Latef, Arafat Abdel Hamed; Mostofa, M. G.; Rahman, M. M.; Abdel-Farid, I. B.; Tran, L.-S. P. Extracts from Yeast and Carrot Roots Enhance Maize Performance under Seawater-Induced Salt Stress by Altering Physio-Biochemical Characteristics of Stressed Plants. *J Plant Growth Regul* **2019**, 38 (3), 966–979. DOI: 10.1007/s00344-018-9906-8.
- Agrios, G. N. *Plant pathology*, 4. ed.; Academ. Press: San Diego, Calif., 2004.
- Arena, M.; Auteri, D.; Barmaz, S.; Brancato, A.; Brocca, D.; Bura, L.; Carrasco Cabrera, L.; Chiusolo, A.; Civitella, C.; Court Marques, D.; Crivellente, F.; Ctverackova, L.; Lentdecker, C. de; Egsmose, M.; Erdos, Z.; Fait, G.; Ferreira, L.; Greco, L.; Ippolito, A.; Istace, F.; Jarrah, S.; Kardassi, D.; Leuschner, R.; Lostia, A.; Lythgo, C.; Magrans, J. O.; Medina, P.; Mineo, D.; Miron, I.; Molnar, T.; Padovani, L.; Parra Morte, J. M.; Pedersen, R.; Reich, H.; Sacchi, A.; Santos, M.; Serafimova, R.; Sharp, R.; Stanek, A.; Streissl, F.; Sturma, J.; Szentes, C.; Tarazona, J.; Terron, A.; Theobald, A.; Vagenende, B.; van Dijk, J.; Villamar-Bouza, L. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance ABE-IT 56 (components of lysate of *Saccharomyces cerevisiae* strain DDSF623). *EFSA journal. European Food Safety Authority* **2018**, 16 (9), e05400. DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5400.
- Becker, A. PIWI Pedia: Piwi Sorten von A bis Z, Teil 1. *Das Deutsche Weinmagazin* [Online], Jan 14, 2023. <https://piwi-international.org/2023/04/piwi-pedia-von-arnold-becker/> (accessed January 2, 2025).
- Besrukow, P.; Will, F.; Berkelmann-Löhnertz, B.; Stoll, M.; Schweiggert, R. Efficacy of using grape cane extracts against *Plasmopara viticola* under field conditions and their impact on the composition of berries and musts of *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. *OENO One* **2024**, 58 (4). DOI: 10.20870/oenone.2024.58.4.8037.
- Bleyer, G.; Kassemeyer, H.-H.; Krause, R.; Viret, O.; Siegfried, W. „VitiMeteo Plasmopara“ – Prognosemodell zur Bekämpfung von *Plasmopara viticola* (Rebenperonospora) im Weinbau. *Gesunde Pflanzen* **2008**, 60 (3), 91–100. DOI: 10.1007/s10343-008-0187-1.

- Brulé, D.; Héloir, M.-C.; Roudaire, T.; Villette, J.; Bonnet, S.; Pascal, Y.; Darblade, B.; Crozier, P.; Hugueney, P.; Coma, V.; Poinssot, B. Increasing vineyard sustainability: innovating a targeted chitosan-derived biocontrol solution to induce grapevine resistance against downy and powdery mildews. *Frontiers in plant science* **2024**, *15*, 1360254. DOI: 10.3389/fpls.2024.1360254.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Kupfer als Pflanzenschutzmittel. <https://www.nap-pflanzenschutz.de/integrierter-pflanzenschutz/pflanzenschutz-im-oekologischen-landbau/kupfer-als-pflanzenschutzmittel> (accessed April 1, 2025).
- Cadoret, A. Les leçons du mildiou en 1930. *Prog. Landwirtschaft. Vitic*, 1931, 95, 187.
- Dann, E.; McLeod, A. Phosphonic acid: a long-standing and versatile crop protectant. *Pest management science* **2021**, *77* (5), 2197–2208. DOI: 10.1002/ps.6156.
- Der Winzer. Lehr- und Arbeitsbuch in zwei Bänden*; Müller, E., Ed.; Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2019.
- Deutsches Weininstitut. Ökologischer Weinanbau. <https://www.deutscheweine.de/weinbau/175/%C3%96kologischer-anbau> (accessed May 15, 2025).
- Diesner, M.-O.; Groß, R.; Helbich, M.; Blepp, M.; Bäuerle, P.; Bunke, D. Kupfer im Bio-Landbau: Hintergrund, Herausforderungen und Handlungsempfehlungen **2014**.
- Dittrich, H. H. *Mikrobiologie des Weines ; 70 Tabellen*, 3., neu bearb. Aufl.; Handbuch der Lebensmitteltechnologie; Ulmer: Stuttgart, 2005.
- Eisenmann, B.; Buchholz, G.; Kortekamp, A.; Wörthmann, M.; Hörsch, S.; Bogs, J. Pilzwiderstandsfähige Rebsorten: Die beste Möglichkeit zur Minimierung der Pflanzenschutzbehandlungen im Weinbau [Online], 2016. https://www.rebschule-freytag.de/files/simpler/download-files/2016_11_Piwi_Info.pdf (accessed May 22, 2025).
- Eisenmann, B.; Wingerter, C.; Buchholz, G.; Gabor, M.; Hörsch, S.; Kortekamp, A.; Kube, M.; Weihbrecht, K.; Bogs, J. Evaluierung der Resistenzeigenschaften neuer pilzwiderstandsfähiger Rebsorten **2021**.
- Franco, R.; Maul, E.; Töpfer, R.; Ganesch, A. Sauvignon blanc: Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof ,Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul, Reinhard Töpfer, Alina Ganesch [Online], Dec 30, 2024. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=10790> (accessed December 30, 2024).

- Fröbel, S.; Zyprian, E. Colonization of Different Grapevine Tissues by *Plasmopara viticola*-A Histological Study. *Frontiers in plant science* **2019**, *10*, 951. DOI: 10.3389/fpls.2019.00951.
- Gessler, C.; Pertot, I.; Perazzolli, M. *Plasmopara viticola*: A review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management. *Phytopathologia Mediterranea* [Online] **2011**, *50* (1), 3–44. https://www.researchgate.net/publication/284805678_Plasmopara_viticola_A_review_of_knowledge_on_downy_mildew_of_grapevine_and_effective_disease_management.
- Gouveia, C.; Santos, R. B.; Paiva-Silva, C.; Buchholz, G. The pathogenicity of *Plasmopara viticola*: a review of evolutionary dynamics, infection strategies and effector molecules. *BMC plant biology* **2024**, *24* (1), 327. DOI: 10.1186/s12870-024-05037-0.
- Grass, G.; Rensing, C.; Solioz, M. Metallic copper as an antimicrobial surface. *Applied and environmental microbiology* **2011**, *77* (5), 1541–1547. DOI: 10.1128/aem.02766-10.
- Grünzel, H. Oosporenbildung bei *Peronospora viticola* de Bary. *Zeitschrift für Pilzkunde* **1961**, 55–62.
- Hardt, C.; Franzen, K.; Fischer, U.; Weber, M.; Bogs, J.; Eisenmann, B.; Dreßler, M.; Freund, C.; Töpfer, R.; Hausmann, L. VITIFIT-Zwischenbericht 2022 **2022**.
- Harm, A.; Cypzirsch, K.; Haack, N.; Mezöfi, L.; Graiss, W.; Krautzer, B.; Gaier, L.; Gassner-Speckmoser, K.; Klatfenegger, C.; Jäger, M. Biowein- und Bioobstbaufibel: Infos aus Praxis, Beratung und Forschung rund um den Biowein- und Bioobstbau **2025**.
- Hassel, A.-V.; Schiller, D.; Seiberling, S.; Theel, C.; Fleßa, S. *Bioökonomie und regionaler Strukturwandel*; Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, 2024.
- Heibertshausen, D. S. 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; Universitätsbibliothek Gießen, Justus Liebig University Giessen, 2009. DOI: 10.22029/jlupub-16983.
- Heldt, H. W.; Piechulla, B. *Pflanzenbiochemie*; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2015.
- Hofmann, U. Biologischer Weinbau, 2014.

- Hörschele, T. Falscher Mehltau im Weinbau - Wildrebenegene sichern den Ertrag und reduzieren den Fungizideinsatz. *Landinfo* [Online], 2019, 42. https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/2019/04_2019/pdf_einzeln/H%C3%B6rschele.pdf?attachment=true (accessed May 18, 2025).
- Hörschele, T. Identifikation und genetische Kartierung neuer Resistenzen gegen *Plasmopara viticola* aus asiatischen und amerikanischen Wildarten; Julius Kühn-Institut, Deutschland, 2021. DOI: 10.5073/20211126-084141.
- Innerebner, G.; Roschatt, C. Mischungspartner von Kupfer zur Wirkungssteigerung der Peronospora-Abwehr. *bstbau Weinbau - Fachmagazin des Südtiroler Beratungsrings*, [Online], Apr 2, 2025, 24–28. <https://bia.unibz.it/esploro/outputs/journalArticle/Mischungspartner-von-Kupfer-zur-Wirkungssteigerung-der/991006590595501241> (accessed April 7, 2025).
- Jänsch, S.; Römbke, J. Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden [Online], Jan 13, 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einsatz-von-kupfer-als-pflanzenschutzmittel> (accessed January 13, 2025).
- Keil, S. Epidemiologische Aspekte der Falschen Mehltauinfektion durch *Plasmopara viticola* an Vitis: Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.); Universität Hohenheim, 2007.
- Kiefer, B.; Riemann, M.; Büche, C.; Kassemeyer, H.-H.; Nick, P. The host guides morphogenesis and stomatal targeting in the grapevine pathogen *Plasmopara viticola*. *Planta* **2002**, 215 (3), 387–393. DOI: 10.1007/s00425-002-0760-2.
- Koledenkova, K.; Esmaeel, Q.; Jacquard, C.; Nowak, J.; Clément, C.; Ait Barka, E. *Plasmopara viticola* the Causal Agent of Downy Mildew of Grapevine: From Its Taxonomy to Disease Management. *Frontiers in microbiology* **2022**, 13, 889472. DOI: 10.3389/fmicb.2022.889472.
- Kortekamp, A. *Pilzkrankheiten. Phytomedizin im Weinbau*, 2022.
- Kühne, Stefan, Friedrich, Britta. *Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategie, Fachgespräch, Berlin-Dahlem, 29. Januar 2008*, 2008. DOI: 10.5073/20141030-120041.

- Landwirtschaftskammer Niederösterreich. Pilzkrankheiten: Peronospora: *Plasmopara viticola*, Falscher Mehltau. <https://noe.lko.at/pilzkrankheiten-peronospora+2400+2733683> (accessed April 8, 2025).
- Lipco®. <https://www.lipco.com/de>. <https://www.lipco.com/de> (accessed April 13, 2025).
- Makau, S. M.; Moumni, M.; Landi, L.; Pirozzi, D.; Sannino, F.; Romanazzi, G. In Vitro Evaluation of Chitosan Hydrochloride and COS (Chito-Oligosaccharides)-OGA (Oligo-Galacturonides) on Phytopathogenic Fungi and Escherichia coli. *Horticulturae* **2023**, 9 (12), 1275. DOI: 10.3390/horticulturae9121275.
- Malkomes, H.-P. Einfluss Kupfer-haltiger anthropogener Einträge auf Bodenmikroorganismen – eine Übersicht. II. Mikrobielle Aktivitäten. 429-443 Pages / Journal für Kulturpflanzen, Vol. 62 No. 12 (2010) [Online] **2010**.
- Miles, T.; Longstroth, M.; Todaro, T. What can be done for late season downy mildew on grapes? *Michigan State University Extension* [Online], Sep 19, 2018. https://www.canr.msu.edu/news/late-season-downy-mildew-on-grapes?utm_source=chatgpt.com (accessed December 28, 2024).
- Mohr, H. D. *Farbatlas Krankheiten. Schädlinge und Nützlinge an der Weinrebe*, 2., überarb. und erw. Aufl.; E. Ulmer: Stuttgart, 2012.
- Mohr, H. D.; Portz, C.; Holz, B.; Noga, G.; Kast, W. K.; Mader, H. Minimierung des Kupfereinsatzes im ökologischen Weinbau unter besonderer Berücksichtigung der Blattbeläge und ihrer Wirkung gegen den Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*) Teil 1: Minimization of copper use in organic viticulture with special emphasis on leaf spray deposits and their effect against downy mildew (*Plasmopara viticola*)– Part 1. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **2007**, 49–58.
- Molitor, D.; Machwitz, M.; Dam, D.; Bossung, C.; Cremer, N.; Junk, J.; Beyer, M.; Pallez, M.; Ronellenfitsch, F.; Schultz, M.; Retzlaff, R.; Gilcher, M.; Mannes, R.; Scherer, K. BioViM - Tätigkeitsbericht 2022: Schaderreger-Monitoring und Ableitung ökologischer und umweltschonender Rebschutzstrategien im Weinbau **2022**.
- Müller, E.; Walg, O. *Laubarbeiten im Weinbau; Rebe & Wein*; Ulmer: Stuttgart (Hohenheim), 2013.

- Petgen, M.; Schwarz, H.-P.; Runkel, M. Sauvignon blanc im Fokus: Die Strategie zum Erfolg! *Der Deutsche Weinmagazin* **2010**, 26–30.
- Pichyangkura, R.; Chadchawan, S. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae* **2015**, 196, 49–65. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.031.
- Ries, R. *Rebsorten selbst bestimmen. Erkundungen im Weinberg*; Manuscriptum: Waltrop, Leipzig, 2010.
- Schumacher, S.; Mertes, C.; Kaltenbach, T.; Bleyer, G.; Fuchs, R. A method for phenotypic evaluation of grapevine resistance in relation to phenological development. *Sci Rep* [Online] **2024**, 14 (1), 915. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-50666-4>.
- Strumpf, T.; Grünwald, M.; Fischer, M.; Ellner, Frank M.; Hoffmann, C.; Kauer, R.; Ulrich, D.; Buchhorn, R. Nutzung von Resistenzmechanismen verschiedener Rebarten als Alternative zum Einsatz von Kupfer im Ökoweinbau **2013**.
- Stützel, T. Evolution und Biodiversität der Pflanzen. https://www.ruhr-uni-bochum.de/biodivpfl/skripte/Sk_32.htm (accessed May 15, 2025).
- Tamm, L. Faszination Bioforschung: Das Immunsystem von Pflanzen anregen: Beitrag zur Medienkonferenz Faszination Bioforschung **2001**.
- Töpfer, R.; Trapp, O. A cool climate perspective on grapevine breeding: climate change and sustainability are driving forces for changing varieties in a traditional market. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* **2022**, 135 (11), 3947–3960. DOI: 10.1007/s00122-022-04077-0.
- Tsai, P.-C.; Araujo, L. D.; Tian, B. Varietal Aromas of Sauvignon Blanc: Impact of Oxidation and Antioxidants Used in Winemaking. *Fermentation* **2022**, 8 (12), 686. DOI: 10.3390/fermentation8120686.
- van Aubel, G.; Cambier, P.; Dieu, M.; van Cutsem, P. Plant immunity induced by COS-OGA elicitor is a cumulative process that involves salicylic acid. *Plant science : an international journal of experimental plant biology* **2016**, 247, 60–70. DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.03.005.
- Wilbois, K.-P.; Schwab, A.; Fischer, H.; Bachinger, J.; Palme, S.; Peters, H.; Dongus, S. Leitfaden für Praxisversuche: Eine Anleitung zur Planung, Durchführung und Auswertung von Praxisversuchen **2010**.

Wong, F. P.; Burr, H. N.; Wilcox, W. F. Heterothallism in *Plasmopara viticola*. *Plant Pathology* **2001**, 50 (4), 427–432. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2001.00573.x.

Anhang

Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc & Sauvignon blanc an den Blättern der Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) auf die Befallsstärke von *P. viticola* vom 06.08.2024

ANOVA

ANOVA - Befall

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Rebsorte	141332.507	1	141332.507	288.045	< .001
Behandlung	491232.096	3	163744.032	333.721	< .001
Rebsorte * Behandlung	9987.006	3	3329.002	6.785	< .001
Residuals	1.566×10 ⁺⁶	3192	490.661		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Befall

Rebsorte	Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Cabernet Blanc	Fytosave 11x	400	40.947	21.515	1.076	0.525
	Kontrolle	400	42.523	24.464	1.223	0.575
	Kupfer 11x	400	11.148	14.032	0.702	1.259
	Upside 11x	400	34.415	19.529	0.976	0.567
Sauvignon Blanc	Fytosave 11x	400	50.130	24.350	1.218	0.486
	Kontrolle	400	54.610	24.363	1.218	0.446
	Kupfer 11x	400	24.139	23.203	1.160	0.961
	Upside 11x	400	53.320	23.682	1.184	0.444

Tabelle 11: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc & Sauvignon blanc auf die Befallsstärke von *P. viticola* an den Blättern vom 06.08.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Rebsorte * Behandlung

		Mean Difference	95% CI for Mean Difference		SE	df	t	Pukey
			Lower	Upper				
Cabernet Blanc Fytosave 11x	Sauvignon Blanc Fytosave 11x	-9.182	-13.933	-4.432	1.566	3192	-5.863	< .001***
	Cabernet Blanc Kontrolle	-1.575	-6.325	3.175	1.566	3192	-1.006	0.974
	Sauvignon Blanc Kontrolle	-13.662	-18.413	-8.912	1.566	3192	-8.723	< .001***
	Cabernet Blanc Kupfer 11x	29.800	25.050	34.550	1.566	3192	19.026	< .001***
	Sauvignon Blanc Kupfer 11x	16.809	12.058	21.559	1.566	3192	10.731	< .001***
	Cabernet Blanc Upside 11x	6.532	1.782	11.283	1.566	3192	4.171	< .001***
Sauvignon Blanc Fytosave 11x	Sauvignon Blanc Upside 11x	-12.372	-17.123	-7.622	1.566	3192	-7.899	< .001***
	Cabernet Blanc Kontrolle	7.607	2.857	12.358	1.566	3192	4.857	< .001***
	Sauvignon Blanc Kontrolle	-4.480	-9.230	0.270	1.566	3192	-2.860	0.081
	Cabernet Blanc Kupfer 11x	38.982	34.232	43.733	1.566	3192	24.888	< .001***
	Sauvignon Blanc Kupfer 11x	25.991	21.241	30.742	1.566	3192	16.594	< .001***
	Cabernet Blanc Upside 11x	15.715	10.965	20.465	1.566	3192	10.033	< .001***
Cabernet Blanc Kontrolle	Sauvignon Blanc Upside 11x	-3.190	-7.940	1.560	1.566	3192	-2.037	0.457
	Sauvignon Blanc Kontrolle	-12.087	-16.838	-7.337	1.566	3192	-7.717	< .001***
	Cabernet Blanc Kupfer 11x	31.375	26.625	36.125	1.566	3192	20.031	< .001***
	Sauvignon Blanc Kupfer 11x	18.384	13.633	23.134	1.566	3192	11.737	< .001***
	Cabernet Blanc Upside 11x	8.108	3.357	12.858	1.566	3192	5.176	< .001***

*** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 8 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Post Hoc Comparisons - Rebsorte * Behandlung

		95% CI for Mean Difference				df	t	Ptukey
		Mean Difference	Lower	Upper	SE			
Sauvignon Blanc Kontrolle	Sauvignon Blanc Upside 11x	-10.797	-15.548	-6.047	1.568	3192	-6.894	< .001***
	Cabemt Blanc Kupfer 11x	43.462	38.712	48.213	1.568	3192	27.748	< .001***
	Sauvignon Blanc Kupfer 11x	30.471	25.721	35.222	1.568	3192	19.454	< .001***
	Cabemt Blanc Upside 11x	20.195	15.445	24.945	1.568	3192	12.893	< .001***
	Sauvignon Blanc Upside 11x	1.290	-3.460	6.040	1.568	3192	0.824	0.992
Cabemt Blanc Kupfer 11x	Sauvignon Blanc Kupfer 11x	-12.991	-17.742	-8.241	1.568	3192	-8.294	< .001***
	Cabemt Blanc Upside 11x	-23.268	-28.018	-18.517	1.568	3192	-14.855	< .001***
	Sauvignon Blanc Upside 11x	-42.172	-46.923	-37.422	1.568	3192	-26.925	< .001***
Sauvignon Blanc Kupfer 11x	Cabemt Blanc Upside 11x	-10.276	-15.027	-5.526	1.568	3192	-6.561	< .001***
	Sauvignon Blanc Upside 11x	-29.181	-33.932	-24.431	1.568	3192	-18.631	< .001***
Cabemt Blanc Upside 11x	Sauvignon Blanc Upside 11x	-18.905	-23.655	-14.155	1.568	3192	-12.070	< .001***

*** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 8 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 12: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x & Fytosave 2x) & Cabernet blanc (Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) an den Blättern auf die Befallsstärke von *P. viticola* vom 06.08.2024

ANOVA

ANOVA - Befall

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behnadlung	351129.191	6	58521.532	140.781	< .001
Residuals	1.161×10 ⁺⁶	2793	415.692		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Befall

Behnadlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	400	40.947	21.515	1.076	0.525
Fytosave 2x	400	44.115	20.700	1.035	0.469
Kontrolle	400	42.523	24.464	1.223	0.575
Kupfer 11x	400	11.148	14.032	0.702	1.259
Kupfer 2x	400	24.949	19.210	0.960	0.770
Upside 11x	400	34.415	19.529	0.976	0.567
Upside 2x	400	41.105	21.741	1.087	0.529

Tabelle 13: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc auf die Befallsstärke von *P. viticola* an den Blättern vom 06.08.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		95% CI for Mean Difference						
		Mean Difference	Lower	Upper	SE	df	t	Ptukey
Fytosave 11x	Fytosave 2x	-3.167	-7.421	1.086	1.442	2793	-2.197	0.297
	Kontrolle	-1.575	-5.829	2.679	1.442	2793	-1.092	0.930
	Kupfer 11x	29.800	25.546	34.054	1.442	2793	20.670	< .001***
	Kupfer 2x	15.999	11.745	20.252	1.442	2793	11.097	< .001***
	Upside 11x	6.532	2.279	10.786	1.442	2793	4.531	< .001***
	Upside 2x	-0.158	-4.411	4.096	1.442	2793	-0.109	1.000
Fytosave 2x	Kontrolle	1.592	-2.661	5.846	1.442	2793	1.105	0.927
	Kupfer 11x	32.968	28.714	37.221	1.442	2793	22.867	< .001***
	Kupfer 2x	19.166	14.913	23.420	1.442	2793	13.294	< .001***
	Upside 11x	9.700	5.446	13.954	1.442	2793	6.728	< .001***
	Upside 2x	3.010	-1.244	7.264	1.442	2793	2.088	0.360
Kontrolle	Kupfer 11x	31.375	27.121	35.629	1.442	2793	21.763	< .001***
	Kupfer 2x	17.574	13.320	21.827	1.442	2793	12.190	< .001***
	Upside 11x	8.108	3.854	12.361	1.442	2793	5.624	< .001***
	Upside 2x	1.418	-2.836	5.671	1.442	2793	0.983	0.958
Kupfer 11x	Kupfer 2x	-13.801	-18.055	-9.548	1.442	2793	-9.573	< .001***
	Upside 11x	-23.268	-27.521	-19.014	1.442	2793	-16.139	< .001***
	Upside 2x	-29.958	-34.211	-25.704	1.442	2793	-20.779	< .001***
Kupfer 2x	Upside 11x	-9.466	-13.720	-5.213	1.442	2793	-6.566	< .001***
	Upside 2x	-16.156	-20.410	-11.903	1.442	2793	-11.206	< .001***
Upside 11x	Upside 2x	-6.690	-10.944	-2.436	1.442	2793	-4.640	< .001***

*** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 7 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 14: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc & Sauvignon blanc an den Trauben der Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) auf die Befallsstärke von *P. viticola* vom 05.08.2024

ANOVA

ANOVA - Befall

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	68278.229	3	22759.410	56.455	< .001
Rebsorte	1.485×10 ⁺⁶	1	1.485×10 ⁺⁶	3682.754	< .001
Behandlung * Rebsorte	18238.667	3	6079.556	15.081	< .001
Residuals	1.287×10 ⁺⁶	3192	403.140		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Befall

Behandlung	Rebsorte	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	Cabernet Blanc	400	13.443	19.135	0.957	1.423
	Sauvignon Blanc	400	59.029	22.781	1.139	0.386
Kontrolle	Cabernet Blanc	400	13.287	14.942	0.747	1.125
	Sauvignon Blanc	400	56.208	26.260	1.313	0.467
Kupfer 11x	Cabernet Blanc	400	6.525	9.684	0.484	1.484
	Sauvignon Blanc	400	42.023	24.593	1.230	0.585
Upside 11x	Cabernet Blanc	400	8.276	10.527	0.526	1.272
	Sauvignon Blanc	400	56.590	24.854	1.243	0.439

Tabelle 15: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc & Sauvignon blanc auf die Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben vom 05.08.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung * Rebsorte

		Mean Difference	95% CI for Mean Difference		SE	df	t	Ptukey
			Lower	Upper				
Fytosave 11x Cabernet Blanc	Kontrolle Cabernet Blanc	0.155	-4.151	4.461	1.420	3192	0.109	1.000
	Kupfer 11x Cabernet Blanc	6.917	2.612	11.223	1.420	3192	4.872	< .001***
	Upside 11x Cabernet Blanc	5.166	0.860	9.472	1.420	3192	3.639	0.007**
	Fytosave 11x Sauvignon Blanc	-45.586	-49.892	-41.280	1.420	3192	-32.109	< .001***
	Kontrolle Sauvignon Blanc	-42.765	-47.071	-38.459	1.420	3192	-30.121	< .001***
	Kupfer 11x Sauvignon Blanc	-28.580	-32.886	-24.274	1.420	3192	-20.130	< .001***
	Upside 11x Sauvignon Blanc	-43.148	-47.453	-38.842	1.420	3192	-30.391	< .001***
Kontrolle Cabernet Blanc	Kupfer 11x Cabernet Blanc	6.762	2.457	11.068	1.420	3192	4.763	< .001***
	Upside 11x Cabernet Blanc	5.011	0.705	9.317	1.420	3192	3.530	0.010*
	Fytosave 11x Sauvignon Blanc	-45.741	-50.047	-41.435	1.420	3192	-32.218	< .001***
	Kontrolle Sauvignon Blanc	-42.920	-47.226	-38.614	1.420	3192	-30.231	< .001***
	Kupfer 11x Sauvignon Blanc	-28.735	-33.041	-24.429	1.420	3192	-20.239	< .001***
	Upside 11x Sauvignon Blanc	-43.303	-47.608	-38.997	1.420	3192	-30.500	< .001***
Kupfer 11x Cabernet Blanc	Upside 11x Cabernet Blanc	-1.751	-6.057	2.555	1.420	3192	-1.233	0.922
	Fytosave 11x Sauvignon Blanc	-52.504	-56.810	-48.198	1.420	3192	-36.981	< .001***
	Kontrolle Sauvignon Blanc	-49.682	-53.988	-45.377	1.420	3192	-34.994	< .001***
	Kupfer 11x	-35.497	-39.803	-31.192	1.420	3192	-25.003	< .001***

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 8 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Post Hoc Comparisons - Behandlung * Rebsorte

		95% CI for Mean Difference						
		Mean Difference	Lower	Upper	SE	df	t	Ptukey
	Sauvignon Blanc							
	Upside 11x Sauvignon Blanc	-50.065	-54.371	-45.759	1.420	3192	-35.263	< .001***
Upside 11x Cabernet Blanc	Fytosave 11x Sauvignon Blanc	-50.753	-55.058	-46.447	1.420	3192	-35.747	< .001***
	Kontrolle Sauvignon Blanc	-47.931	-52.237	-43.625	1.420	3192	-33.760	< .001***
	Kupfer 11x Sauvignon Blanc	-33.746	-38.052	-29.440	1.420	3192	-23.769	< .001***
	Upside 11x Sauvignon Blanc	-48.314	-52.620	-44.008	1.420	3192	-34.030	< .001***
Fytosave 11x Sauvignon Blanc	Kontrolle Sauvignon Blanc	2.821	-1.485	7.127	1.420	3192	1.987	0.491
	Kupfer 11x Sauvignon Blanc	17.006	12.700	21.312	1.420	3192	11.978	< .001***
	Upside 11x Sauvignon Blanc	2.439	-1.867	6.745	1.420	3192	1.718	0.676
Kontrolle Sauvignon Blanc	Kupfer 11x Sauvignon Blanc	14.185	9.879	18.491	1.420	3192	9.991	< .001***
	Upside 11x Sauvignon Blanc	-0.383	-4.688	3.923	1.420	3192	-0.269	1.000
Kupfer 11x Sauvignon Blanc	Upside 11x Sauvignon Blanc	-14.568	-18.873	-10.262	1.420	3192	-10.261	< .001***

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 8 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Vergleiches von Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x & Fytosave 2x) & Cabernet blanc (Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) an den Trauben auf die Befallsstärke von *P. viticola* vom 05.08.2024

ANOVA

ANOVA - Befall

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	25156.256	6	4192.709	28.410	< .001
Residuals	412182.084	2793	147.577		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Befall

Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	400	13.443	19.135	0.957	1.423
Fytosave 2x	400	6.651	8.706	0.435	1.309
Kontrolle	400	13.287	14.942	0.747	1.125
Kupfer 11x	400	6.525	9.684	0.484	1.484
Kupfer 2x	400	5.497	7.775	0.389	1.414
Upside 11x	400	8.276	10.527	0.526	1.272
Upside 2x	400	8.303	10.138	0.507	1.221

Tabelle 17: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test Rebsorte * Behandlungsvarianten (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x & Fytosave 11x) bei Cabernet blanc auf die Befallsstärke von *P. viticola* an den Trauben vom 05.08.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		Mean Difference	95% CI for Mean Difference		SE	df	t	Ptukey
			Lower	Upper				
Fytosave 11x	Fytosave 2x	6.791	4.257	9.326	0.859	2793	7.906	< .001***
	Kontrolle	0.155	-2.379	2.689	0.859	2793	0.180	1.000
	Kupfer 11x	6.918	4.383	9.452	0.859	2793	8.053	< .001***
	Kupfer 2x	7.945	5.411	10.479	0.859	2793	9.249	< .001***
	Upside 11x	5.166	2.632	7.701	0.859	2793	6.014	< .001***
	Upside 2x	5.140	2.606	7.674	0.859	2793	5.984	< .001***
Fytosave 2x	Kontrolle	-6.636	-9.171	-4.102	0.859	2793	-7.726	< .001***
	Kupfer 11x	0.126	-2.408	2.661	0.859	2793	0.147	1.000
	Kupfer 2x	1.154	-1.381	3.688	0.859	2793	1.343	0.831
	Upside 11x	-1.625	-4.159	0.909	0.859	2793	-1.892	0.486
	Upside 2x	-1.651	-4.186	0.883	0.859	2793	-1.922	0.466
Kontrolle	Kupfer 11x	6.762	4.228	9.297	0.859	2793	7.873	< .001***
	Kupfer 2x	7.790	5.256	10.324	0.859	2793	9.069	< .001***
	Upside 11x	5.011	2.477	7.546	0.859	2793	5.834	< .001***
	Upside 2x	4.985	2.451	7.519	0.859	2793	5.803	< .001***
Kupfer 11x	Kupfer 2x	1.028	-1.507	3.562	0.859	2793	1.196	0.896
	Upside 11x	-1.751	-4.286	0.783	0.859	2793	-2.039	0.390
	Upside 2x	-1.778	-4.312	0.757	0.859	2793	-2.069	0.371
Kupfer 2x	Upside 11x	-2.779	-5.313	-0.244	0.859	2793	-3.235	0.021*
	Upside 2x	-2.805	-5.339	-0.271	0.859	2793	-3.265	0.019*
Upside 11x	Upside 2x	-0.026	-2.561	2.508	0.859	2793	-0.031	1.000

* p < .05, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 7 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 18: Ergebnisse der ANOVA, Deskriptiven Auswertung & Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Ertrages bei der Sorte Sauvignon blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 23.09.2024

ANOVA

ANOVA - Ertrag (kg)

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	5.794	3	1.931	21.281	< .001
Residuals	9.621	106	0.091		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Ertrag (kg)

Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	27	0.631	0.170	0.033	0.269
Kontrolle	30	0.647	0.398	0.073	0.616
Kupfer 11x	24	1.220	0.356	0.073	0.292
Upside 11x	29	0.746	0.220	0.041	0.295

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		95% CI for Mean Difference			SE	df	t	P _{Tukey}
		Mean Difference	Lower	Upper				
Fytosave 11x	Kontrolle	-0.016	-0.225	0.193	0.080	106	-0.199	0.997
	Kupfer 11x	-0.589	-0.810	-0.369	0.085	106	-6.972	< .001***
	Upside 11x	-0.115	-0.325	0.096	0.081	106	-1.425	0.487
Kontrolle	Kupfer 11x	-0.573	-0.789	-0.358	0.083	106	-6.949	< .001***
	Upside 11x	-0.099	-0.304	0.106	0.078	106	-1.260	0.590
Kupfer 11x	Upside 11x	0.474	0.257	0.691	0.083	106	5.707	< .001***

*** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 4 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 19: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Ertrages bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024

ANOVA

ANOVA - Befall

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	4.211	6	0.702	7.564	< .001
Residuals	17.537	189	0.093		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Befall

Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	27	0.697	0.198	0.038	0.283
Fytosave 2x	29	0.911	0.201	0.037	0.220
Kontrolle	26	1.057	0.526	0.103	0.498
Kupfer 11x	33	1.164	0.139	0.024	0.120
Kupfer 2x	28	1.110	0.430	0.081	0.387
Upside 11x	26	1.090	0.126	0.025	0.116
Upside 2x	27	0.996	0.308	0.059	0.309

Tabelle 20: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Ertrages bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		Mean Difference	95% CI for Mean Difference		SE	df	t	P _{Tukey}
			Lower	Upper				
Fytosave 11x	Fytosave 2x	-0.213	-0.456	0.030	0.081	189	-2.618	0.126
	Kontrolle	-0.360	-0.609	-0.110	0.084	189	-4.295	< .001***
	Kupfer 11x	-0.466	-0.702	-0.231	0.079	189	-5.898	< .001***
	Kupfer 2x	-0.413	-0.658	-0.168	0.082	189	-5.026	< .001***
	Upside 11x	-0.392	-0.642	-0.143	0.084	189	-4.686	< .001***
	Upside 2x	-0.299	-0.546	-0.051	0.083	189	-3.601	0.007**
Fytosave 2x	Kontrolle	-0.146	-0.391	0.099	0.082	189	-1.777	0.565
	Kupfer 11x	-0.253	-0.484	-0.022	0.078	189	-3.262	0.022*
	Kupfer 2x	-0.200	-0.440	0.041	0.081	189	-2.474	0.175
	Upside 11x	-0.179	-0.424	0.066	0.082	189	-2.175	0.314
	Upside 2x	-0.085	-0.328	0.158	0.081	189	-1.046	0.942
Kontrolle	Kupfer 11x	-0.107	-0.345	0.131	0.080	189	-1.336	0.834
	Kupfer 2x	-0.053	-0.301	0.194	0.083	189	-0.644	0.995
	Upside 11x	-0.033	-0.284	0.219	0.084	189	-0.387	1.000
	Upside 2x	0.061	-0.188	0.310	0.084	189	0.729	0.991
	Kupfer 11x	Kupfer 2x	0.053	-0.180	0.287	0.078	189	0.681
	Upside 11x	0.074	-0.164	0.312	0.080	189	0.927	0.968
	Upside 2x	0.168	-0.068	0.403	0.079	189	2.122	0.344
Kupfer 2x	Upside 11x	0.021	-0.227	0.268	0.083	189	0.250	1.000
	Upside 2x	0.114	-0.130	0.359	0.082	189	1.393	0.805
Upside 11x	Upside 2x	0.094	-0.156	0.343	0.084	189	1.119	0.922

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 7 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 21: Ergebnisse der ANOVA, Deskriptiven Auswertung & Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Mostgewichtes bei der Sorte Sauvignon blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 23.09.2024

ANOVA

ANOVA - Mostgewicht in °Oe

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	1071.409	3	357.136	8.497	< .001
Residuals	4455.430	106	42.032		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Mostgewicht in °Oe

Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	27	82.037	4.478	0.862	0.055
Kontrolle	30	81.313	10.925	1.995	0.134
Kupfer 11x	24	89.517	2.903	0.593	0.032
Upside 11x	29	83.007	3.155	0.586	0.038

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		95% CI for Mean Difference			SE	df	t	P _{tukey}
		Mean Difference	Lower	Upper				
Fytosave 11x	Kontrolle	0.724	-3.766	5.213	1.720	106	0.421	0.975
	Kupfer 11x	-7.480	-12.227	-2.732	1.819	106	-4.112	< .001***
	Upside 11x	-0.970	-5.496	3.556	1.734	106	-0.559	0.944
Kontrolle	Kupfer 11x	-8.203	-12.838	-3.569	1.776	106	-4.620	< .001***
	Upside 11x	-1.694	-6.101	2.713	1.688	106	-1.003	0.748
Kupfer 11x	Upside 11x	6.510	1.840	11.180	1.789	106	3.639	0.002**

** p < .01, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 4 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Tabelle 22: Ergebnisse der ANOVA & Deskriptiven Auswertung des Mostgewichts bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024

ANOVA

ANOVA - Mostgewicht in °Oe

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Behandlung	3093.506	6	515.584	22.354	< .001
Residuals	4359.184	189	23.064		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives

Descriptives - Mostgewicht in °Oe

Behandlung	N	Mean	SD	SE	Coefficient of variation
Fytosave 11x	27	78.541	2.866	0.552	0.036
Fytosave 2x	29	76.703	2.409	0.447	0.031
Kontrolle	26	77.954	6.975	1.368	0.089
Kupfer 11x	33	85.206	5.934	1.033	0.070
Kupfer 2x	28	83.339	4.732	0.894	0.057
Upside 11x	26	73.773	3.943	0.773	0.053
Upside 2x	27	75.152	4.987	0.960	0.066

Tabelle 23: Ergebnisse des Tukey-HSD-Post-Hoc-Test des Mostgewichts bei der Sorte Cabernet blanc (unbehandelte Kontrolle, Kupfer 2x, Upside 2x, Fytosave 2x, Kupfer 11x, Upside 11x, Fytosave 11x) vom 24.09.2024

Post Hoc Tests

Standard (HSD)

Post Hoc Comparisons - Behandlung

		95% CI for Mean Difference						
		Mean Difference	Lower	Upper	SE	df	t	Ptukey
Fytosave 11x	Fytosave 2x	1.837	-1.991	5.665	1.284	189	1.431	0.785
	Kontrolle	0.587	-3.346	4.520	1.320	189	0.445	0.999
	Kupfer 11x	-6.665	-10.380	-2.951	1.246	189	-5.348	< .001***
	Kupfer 2x	-4.799	-8.659	-0.938	1.295	189	-3.704	0.005**
	Upside 11x	4.768	0.835	8.701	1.320	189	3.613	0.007**
	Upside 2x	3.389	-0.507	7.284	1.307	189	2.593	0.134
Fytosave 2x	Kontrolle	-1.250	-5.116	2.615	1.297	189	-0.964	0.961
	Kupfer 11x	-8.503	-12.146	-4.859	1.222	189	-6.956	< .001***
	Kupfer 2x	-6.636	-10.428	-2.844	1.272	189	-5.215	< .001***
	Upside 11x	2.930	-0.935	6.796	1.297	189	2.259	0.270
	Upside 2x	1.552	-2.276	5.379	1.284	189	1.208	0.890
Kontrolle	Kupfer 11x	-7.252	-11.006	-3.499	1.259	189	-5.759	< .001***
	Kupfer 2x	-5.385	-9.284	-1.487	1.308	189	-4.117	0.001**
	Upside 11x	4.181	0.211	8.151	1.332	189	3.139	0.032*
	Upside 2x	2.802	-1.131	6.735	1.320	189	2.123	0.343
	Kupfer 11x	Kupfer 2x	1.867	-1.811	5.544	1.234	189	1.513
	Upside 11x	11.433	7.680	15.186	1.259	189	9.078	< .001***
	Upside 2x	10.054	6.340	13.769	1.246	189	8.068	< .001***
Kupfer 2x	Upside 11x	9.566	5.668	13.464	1.308	189	7.314	< .001***
	Upside 2x	8.187	4.327	12.048	1.295	189	6.321	< .001***
Upside 11x	Upside 2x	-1.379	-5.312	2.554	1.320	189	-1.045	0.943

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Note. P-value and confidence intervals adjusted for comparing a family of 7 estimates (confidence intervals corrected using the tukey method).

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Felix Weyer, die vorliegende Bachelorarbeit „Wirksamkeit von Kupfer, UPSIDE® & FytoSave® gegen *Plasmopara viticola* an den Rebsorten Cabernet blanc & Sauvignon blanc“ selbständig angefertigt zu haben. Ich habe keine unzulässige Hilfe in Anspruch genommen.

Ich habe ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken oder Quellen entnommen wurden, habe ich unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Dies gilt auch für bildliche Darstellungen oder Erzeugnisse auf Basis von Künstlicher Intelligenz.

Die Zulässigkeit oder Unzulässigkeit von Anwendungen auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI) als Hilfsmittel ist mit der/dem Erstbegutachtenden abgestimmt. Die Dokumentation der verwendeten KI-Anwendungen sowie die Art der Kenntlichmachung von Ergebnissen, die ich unter Verwendung von Hilfsmitteln auf KI-Basis erstellt und in die vorliegende Arbeit übernommen habe, ist ebenfalls mit der/dem Erstbegutachtenden abgestimmt.

Ich bin in vollem Umfang für den Inhalt und die Qualität meiner Arbeit verantwortlich. Dies gilt auch für eingebundene Ergebnisse aus KI-Anwendungen.

Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen. Darüber hinaus versichere ich, dass die von mir eingereichte Fassung in Papierform mit der elektronischen Version übereinstimmt.

Mir ist bewusst, dass jeder Verstoß gegen die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis geahndet wird. Ich nehme zur Kenntnis, dass diese Arbeit mit Hilfe einer Software auf Plagiate oder nicht angegebene Hilfsmittel überprüft und für Prüfungszwecke gespeichert werden kann.

Ehnen, den 23.05.2025

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Weyer', is written over a horizontal line.