



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture  
et du Développement rural

Institut viti-vinicole

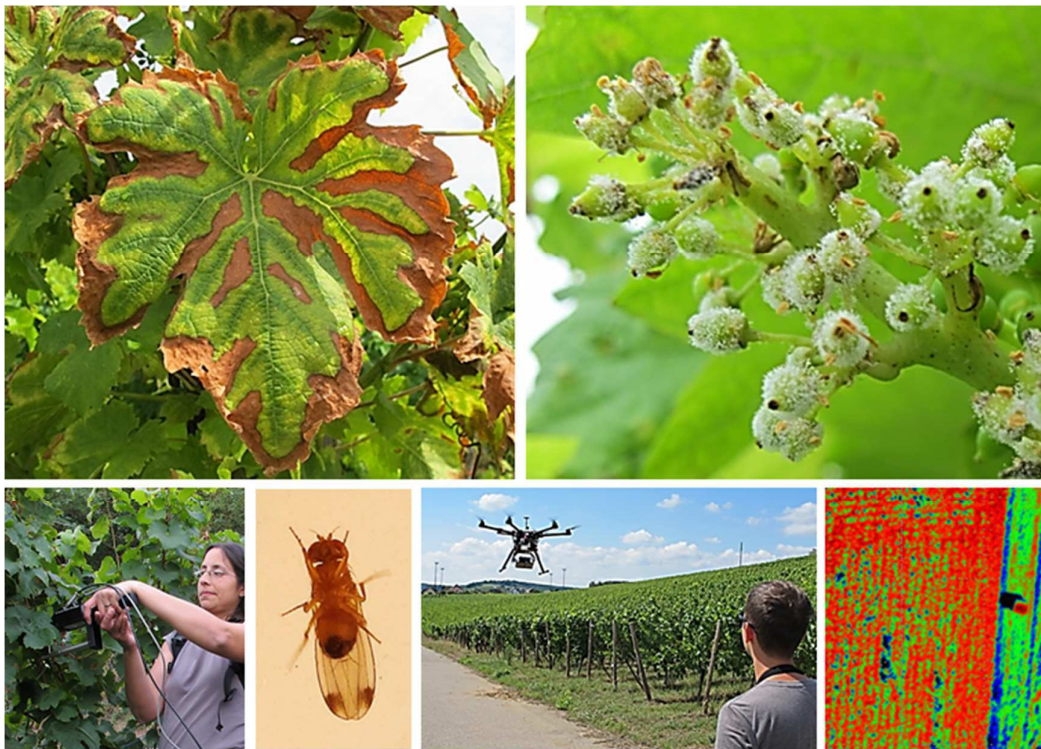
LUXEMBOURG  
INSTITUTE OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY



# Tätigkeitsbericht 2021

## BioViM

Schaderreger-Monitoring und Ableitung ökologischer und umweltschonender Rebschutzstrategien im Weinbau



Berichtszeitraum: 1. Januar 2021 – 31. Dezember 2021

Mit Beiträgen von Daniel Molitor, Miriam Machwitz, Doriane Dam, Christian Bossung, Noelle Cremer, Jürgen Junk und Marco Beyer

Unter Mitwirkung von Marine Pallez, Franz Ronellenfitch, Mareike Schultz, Rebecca Retzlaff, Mario Gilcher, Robert Mannes und Katrin Scherer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>4</b>
2.1	Versuchsflächen	4
2.2	Pflanzenschutzmittel und sonstige Testsubstanzen	5
2.3	Versuchsaufbau	6
2.3.1	Versuch L Monitoring <i>Scaphoideus titanus</i>	6
2.3.2	Versuch R Monitoring <i>Drosophila suzukii</i>	7
2.3.3	<i>Drosophila suzukii</i> – maintien d'une population dans un incubateur et expérimentations	8
2.3.4	Versuch T Bekämpfung <i>Drosophila suzukii</i>	8
2.3.5	Versuch Y Fernerkundliche Erkennung der Peronospora	9
2.3.6	Versuch Ya Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Integrierten Weinbau	12
2.3.7	Versuch AA Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke	13
2.3.8	Erfassung des Bestandsklima mittels mikro-meteorologischer Messungen mit dem Schwerpunkt Blattnässe	13
2.4	Auswertung	15
2.4.1	Monitoring <i>S. titanus</i>	15
2.4.2	Befallsbonituren Falscher Mehltau	16
2.4.3	Erfassung des Fluges und der Eiablage durch <i>Drosophila suzukii</i>	16
2.4.4	Bonituren in den Freilandversuchen zur Bekämpfung der Kirschessigfliege	17
2.4.5	Fernerkundliche Verfahren zur Befallsdifferenzierung im Versuch Y	17
2.4.6	Monitoring der Esca-symptomatischen Stöcke im Versuch AA	27
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE UND DISKUSSION</b>	<b>28</b>
3.1	Versuch L Monitoring <i>Scaphoideus titanus</i>	28
3.1.1	Fangzahlen	28
3.2	Surveillance des activités de vol et de ponte de <i>Drosophila suzukii</i>	28
3.3	Expériences de lutte contre <i>Drosophila suzukii</i>	31
3.3.1	Essais de produits naturels contre <i>D. suzukii</i> au vignoble	31
3.3.2	Etude de la dynamique de population de <i>Drosophila suzukii</i> et efficacité du contrôle par des poudres minérales avec un focus sur la protection des raisins	33
3.4	Versuch Y Fernerkundliche Erkennung der Peronospora	34
3.4.1	Befallsverlauf an den Blättern	34
3.4.2	Befallsverlauf an den Trauben	35

	II	
3.4.3	Ergebnisse der fernerkundlichen Untersuchungen	35
<b>3.5</b>	<b>Versuch Ya Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Integrierten Weinbau</b>	<b>49</b>
3.5.1	Befallsverlauf an den Blättern	49
3.5.2	Befallsverlauf an den Trauben	50
<b>3.6</b>	<b>Versuch AA Monitoring symptomatischer Esca-Stöcke</b>	<b>50</b>
3.6.1	Ergebnisse der Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke	50
<b>3.7</b>	<b>Bestandsklima in den verschiedenen Erziehungssystemen</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>ZWISCHENFAZIT</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b>	<b>59</b>
7.1	Phänologische Entwicklung 2021	59
7.2	Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode 2021	60
7.4	Teilnahme an sonstigen Veranstaltungen	61
7.5	Veröffentlichungen	64
7.5.1	Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen (2021)	64

# 1 Einleitung

Das Projekt BioViM2 (*Suivi des ravageurs et développement de strategies de protection des cultures respectueuses de l'environnement en viticulture*) ist eine Kooperation zwischen dem Weinbauinstitut (IVV) und dem Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) unter Einbindung der Winzer der Luxemburger Mosel. Das Projekt wird durch das IVV im Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und ländliche Entwicklung gefördert.

Die Produktion qualitativ hochwertiger Weine unter reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz stellt eine besondere Herausforderung dar, weil viele andere Maßnahmen der Schaderregerbekämpfung, wie sie in der Landwirtschaft eingesetzt werden (beispielsweise Fruchtfolgen oder kurzfristige Sortenwechsel), aufgrund des dauerhaften Charakters der Weinkultur nicht genutzt werden können.

Die EU-Direktive 2009/128 fordert im Rahmen der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz alle Pflanzenschutzmaßnahmen standort-, kultur- und situationsbezogen durchzuführen und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu beschränken. Nationale Aktionspläne zur Reduzierung der PSM-Anwendung sollen erarbeitet werden. Das Projekt BioViM2 trägt insbesondere zur Umsetzung der Teile der Gesetze, Verordnungen und Pläne bei, die wissenschaftliche Methoden oder Konzepte erfordern. Hier werden folgende Ziele verfolgt:

1. Minimierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau;
2. Sicherung von Ertrag und Produktqualität;
3. Minimierung der Risiken für Mensch und Natur.

Im Folgenden werden die Untersuchungen des Versuchsjahres 2021 dargestellt. Das Jahr 2021 war teilweise durch die Maßnahmen zur Eindämmung des Virus Covid-19 geprägt. Zahlreiche Versammlungen wurden online durchgeführt. Um konsistente Daten im Vergleich zu 2020 zu haben sowie um das Risiko eventueller Dienstreiseverbote für die Uni Trier zu minimieren, wurde im Arbeitspaket 2 (Versuch zur Erfassung von *Peronospora* mittels Fernerkundung) in 2021 zusätzlich zu der Multispektralkamera mit der Hyperspektralkamera Headwall Nano geflogen. Eine Neuerung in den europäischen Richtlinien zur Erteilung einer Aufstiegs Genehmigung für Drohnen führte zu Unklarheit bzgl. der Flugerlaubnis. Für die Drohne des LIST konnte letztlich eine mündliche Ausnahmegenehmigung erteilt werden. Die Uni Trier erwarb eine neue Drohne, die aufgrund des geringeren Gewichts (<2kg) kein erweitertes Genehmigungsverfahren braucht. Letztlich konnten die saisongebundenen Arbeiten ohne Verzögerungen durchgeführt werden. Allerdings war es aufgrund des

regnerischen Wetters während der gesamten Saison nur eingeschränkt möglich, trockene und wolkenfreie Flugtage zu finden. Zudem breitete sich *Peronospora* rasch aus, so dass schließlich an drei Flugterminen Daten von dieser Saison erhoben werden konnten.

Die Öffentlichkeitsarbeit fand im Jahr 2021 zur Vermeidung von Ansteckungen vorwiegend in Form von Schrift und Bild statt. Im Berichtszeitraum erschienene Veröffentlichungen sind im Anhang zu finden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsflächen

Alle Feldversuche wurden auf Flächen des IVV (Tab. 1) in Remich oder in Weinbergen von Partnerwinzern (Monitoring *Scaphoideus titanus*; Monitoring *Drosophila suzukii*) entlang der luxemburgischen Mosel durchgeführt.

**Tab.1: Beschreibung der Versuchsflächen am IVV.**

Versuch	Ort	Rebsorte	Unterlage	Pflanzjahr
W, Y	Remich	Pinot gris	SO4	1994
W, X	Remich	Riesling	SO4	1994
T	Remich	P. noir précoce	SO4	1999
		Cabaret noir	SO4	2014

Die Bewirtschaftung der Weinberge am IVV erfolgte – abgesehen von den Versuchsfragestellungen – in betriebsüblicher Weise. Eine Grundabdeckung gegenüber den weinbaulichen Hauptschaderregern *Plasmopara viticola* und *Erysiphe necator* erfolgte vom Boden in Form von Schlepper-gezogenen Sprühgeräten. Hierbei wurden überwiegend Pflanzenschutzmittel des ökologischen Anbaus sowie Phosphorige Säure verwendet. Zur Bekämpfung des Traubenwicklers kam in allen Versuchspartzellen die Pheromon-Verwirr-Methode zum Einsatz.

## 2.2 Pflanzenschutzmittel und sonstige Testsubstanzen

Folgende Pflanzenschutzmittel und sonstige Testsubstanzen kamen (außerhalb der Grundabdeckung) in den Versuchen zum Einsatz (Tab. 2):

**Tab. 2: Verwendete Pflanzenschutzmittel und sonstige Testsubstanzen.**

Handelsname	Wirkstoff(e) / Zusammensetzung	Wirkstoffgehalt	Zulassungsinhaber / Vertrieb / Entwickler
Carboliq	Calcium Carbonat	900 g/kg	Ets Monseu S.A.
Cutisan	Kaolin	Mind. 990 g/kg	Biofa AG
Flint	Trifloxystrobin	500 g/kg	Bayer Crop Science
Folpan 500 SC	Folpet	500 g/l	ADAMA
Fytosave	COS-OGA	12,5 g/l	GOWAN
Kocide Opti	Kupferhydroxid	300 g/kg Kupfer	Spiess-Urania Chemicals GmbH
Kusabi	Pyriofenone	300 g/l	Belchim Crop Protection
Luna Experience	Fluopyram Tebuconazol	200 g/l 200 g/l	Bayer Crop Science
Microthiol	Schwefel	800 g/kg	UPL Europe Ltd.
Mildicut	Cyazofamid	25 g/l	Belchim Crop Protection
Mycosin Vin	Schwefelsaure Tonerde		Biofa AG
Nissodium	Cyflufenamid	50 g/l	Certis Europe B.V.
Profiler	Fluopicolide Fosetyl-Al	44,4 g/kg 666,7 g/kg	Bayer Crop Science
Prevint	Amectocradin Dimethomorph	300 g/l 225 g/l	BASF Belgium Coordination Center Comm.V.
Prüfmittel Neu 1143 F	Pelargonsäure	67,6 g/l	W. Neudorff GmbH KG
Sanvino	Amisulbrom Folpet	50 g/kg 500 g/kg	ADAMA Deutschland GmbH
Sercadis	Fluxapyroxad	300 g/l	BASF Agricultural Solutions
Teldor	Fenhexamid	500 g/kg	Bayer CropScience AG
Topaz	Penconazol	100 g/l	Syngenta Crop Protection NV
Valiant Flash	Cymoxanil Folpet Fosetyl-Aluminium	40 g/kg 250 g/kg 500 g/kg	Bayer CropScience SA
Veriphos	Kaliumphosphat	755 g/l	Luxembourg Industries LTD
Vincare	Folpet Benthiavalicarb	500 g/kg 17,5 g/kg	Spiess-Urania Chemicals GmbH
Vitisan	Kaliumhydrogen- carbonat	994,9 g/kg	Biofa AG
Zorvec Zelavin	Oxathiapiprolin	100 g/l	CORTEVA agriscience



## 2.3 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden als vollständig randomisierte Blockanlagen angelegt. Jedes Versuchsglied (VG) wurde vierfach wiederholt. Die Versuchsglieder in den einzelnen Versuchen sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

### 2.3.1 Versuch L Monitoring *Scaphoideus titanus*

Zur Überprüfung eines potentiellen Auftretens des Vektors der Flavescence dorée, *Scaphoideus titanus*, im Luxemburger Weinbau wurde während der Saison 2021, wie bereits 2013 bis 2020, ein Monitoring mit Gelbfallen an vier Standorten durchgeführt (Tab. 3).

**Tab. 3: Standorte des *S. titanus* Monitorings 2021.**

Standort	Koordinaten
A Wellenstein	49,528 N; 6,347 W
B Remich-IVV	49,545 N; 6,354 W
C Ehnen	49,602 N; 6,396 W
D Ahn	49,628 N; 6,420 W

Die Auswahl der Standorte erfolgte entweder aufgrund ihrer Position in klimatisch begünstigten Weinbergen (Standorte A, C, D), in der Nähe von Rebschulen (Standorte A, B) bzw. entlang einer Hauptverkehrsverbindung (Standort C).

Die Gelbfallen („Gelbtafel Profi PK“, Hermann Meyer KG, Rellingen, Deutschland) wurden am 19.07.2021 horizontal in der Höhe der Traubenzone installiert (Abb. 1)



**Abbildung 1: Gelbfallen zur Überwachung des Fluges von *S. titanus*.**

### 2.3.2 Versuch R Monitoring *Drosophila suzukii*

Zur Überwachung des Flugs und der Eiablage durch die Kirchessigfliege, *Drosophila suzukii*, welche im Jahr 2014 erstmalig zu parzellenweise starken Schäden im Gebiet geführt hat, erfolgte im Jahr 2021 ein Monitoring in verschiedenen Rebsorten am Standort Remich (49,54 N; 6,35 W) (Tab. 4).

**Tab. 4: Parzellen im Monitoring zum Flug und zur Eiablage durch *Drosophila suzukii* im Jahr 2021.**

Parzelle	Gemarkung (Koordinaten)	Standort/Sorte
1	Remich	Pinotin
2	Remich	Efeu
3	Remich	Brombeeren
4	Remich	Pinot noir précoce
16	Remich	Pinot noir (130)
17	Remich	Pinot noir (109)
18	Remich	Cabaret noir

Zur Überwachung der Flugaktivität wurden Becherfallen der Firma Riga (Ellikon an der Thur, Schweiz) verwendet (Abb. 2).



**Abbildung 2: Riga-Becherfalle zur Überwachung der Flugaktivität von *Drosophila suzukii*.**

Während der Monate August und September wurden die Fallen wöchentlich ausgetauscht und die Fangzahlen erfasst.



### 2.3.3 **Drosophila suzukii – maintien d'une population dans un incubateur et expérimentations**

La méthode de maintenance de la population dans un incubateur a été décrite dans le rapport de l'année 2020.

Les protocoles pour les expérimentations en laboratoire et les essais menés en vignoble ont été décrits dans un article scientifique soumis à publication et disponible en annexe de ce rapport.

### 2.3.4 **Versuch T Bekämpfung Drosophila suzukii**

Zur Bekämpfung der Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) wurden zwei Versuche in den Versuchsfeldern des IVV angelegt.

In der Rebsorte Pinotin wurde ein Versuch zur repellenten Wirkung von Kaolin (zwei verschiedene Produkte) und Calcium Carbonat durchgeführt.

Folgende Versuchsglieder wurden realisiert (Tab. 5):

**Tab. 5: Versuchsglieder im Versuch T (Versuchsjahr 2021).**

VG	Spritzfolge
1	unbehandelte Kontrolle
2	Kaolin Cutisan
3	Calcium Carbonat CaCO <sub>3</sub>
4	Kaolin Surround

In den Versuchsgliedern 2, 3 und 4 wurde am 25.08., 03.09. und 16.09. eine beidseitige Applikation der Prüfmittel durchgeführt. Die Applikation erfolgte mittels Akku-Rückenspritze der Firma Solo Kleinmotoren GmbH vom Typ Akku 416, ausgestattet mit Injektorflachstrahldüsen der Firma Agrotop (Typ Albus AVI 80). Behandelt wurde die ganze Laubwand. Die Anwendungskonzentration betrug 2%.

### 2.3.5 Versuch Y Fernerkundliche Erkennung der Peronospora

In Versuch Y wurden (i) verschiedene Strategien zur Kontrolle des Falschen Mehltaus in der Rebsorte Pinot gris überprüft (Tab. 6), sowie (ii) fernerkundliche Verfahren zur Differenzierung des Befallsgrades am Reblaub getestet.

**Tab. 6: Versuchsglieder im Versuch Y (Versuchsjahr 2021).**

VG	Strategie	
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inokulation
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inokulation; 08.06.2021
3	integriert	künstliche Inokulation; 08.06.2021
4	Kupfer	künstliche Inokulation; 08.06.2021
5	Phosphorige Säure	künstliche Inokulation; 08.06.2021
6	Kupfer + Phosphorige S.	künstliche Inokulation; 08.06.2021
7	Kupfer + Phosphorige S. bis BBCH 69	künstliche Inokulation; 08.06.2021
8	Kupfer + Fytosave	künstliche Inokulation; 08.06.2021

Folgende Pflanzenschutzmaßnahmen wurden im Versuchsjahr 2021 durchgeführt (Tab. 7):

**Tab. 7: Spritzplan Versuch Y (Versuchsjahr 2021). Darstellung: Mannes, IVV.**

		1. Spritzung	2. Spritzung	3. Spritzung	4. Spritzung	5. Spritzung	6. Spritzung
		6-Blatt 08/06/2021	Blühbeginn 21/06/2021	Schrotkorngröße 02/07/2021	Erbsengröße 16/07/2021	Ende Traubenschluss 30/07/2021	Reifebeginn 09/08/2021
Oidium	1	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero							
Oidium	2	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero							
Oidium	3	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Folpan 0,7 kg/ha	Folpan 1,0 kg/ha	Zorvec Zelavin 320 ml/ha	Profler WG 2,6 kg/ha	Vincare WG 2,0 kg/ha	Folpan 80 WG 1,6 kg/ha
Oidium	4	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Kocide Opti 0,8 kg/ha	Kocide Opti 1,3 kg/ha	Kocide Opti 1,2 kg/ha	Kocide Opti 1,2 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha
Oidium	5	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Veriphos 2,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,5 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha
Oidium	6	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Veriphos 2,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,5 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha	Veriphos 3,0 L/ha
Oidium	7	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Kocide Opti 0,8 kg/ha	Kocide Opti 1,3 kg/ha	Kocide Opti 1,2 kg/ha	Kocide Opti 1,2 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha
Oidium	8	Microthiol 4,8 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
Pero		Fytosave 0,75 L/ha	Fytosave 1,8 L/ha	Fytosave 2,0 L/ha	Kocide Opti 1,2 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha	Kocide Opti 1,0 kg/ha

Die künstliche Inokulation ( $10^4$ - $10^5$  Sporangien / ml) wurde am 08.06.2021 durchgeführt. Die Applikationen erfolgten mittels des Parzellenspritzgeräts des IVV.

Für eine Schätzung des Befallsgrades waren zwei Kamerasysteme vorgesehen: (1) eine einfache multispektrale Kamera (Micasense RedEdge bzw. neu in 2021: DJI P4) mit fünf spektralen Bändern im Sichtbaren, RedEdge sowie im nahen Infrarotbereich und (2) eine Thermalkamera (Teax Thermal Capture Fusion Zoom). Für eine Weiterführung der Datenreihe

von 2020 sowie zur Risikominimierung von möglichen Covid-19 Beschränkungen, wurde zusätzlich mit der Headwall Nano geflogen. Abbildung 3 zeigt die drei Kameras.



**Abbildung 3: Die drei eingesetzten Kameras im Vergleich. Links die Headwall Nano, Hyperspektralkamera, Mitte, die Teax Thermal Capture Fusion Zoom, Thermalkamera und rechts, die fünf-Band Kamera P4 Multispectral**

Anders als in den vorangegangenen Jahren und wie bereits in 2020, wurde nicht im festgelegten zweiwöchigen Rhythmus geflogen, sondern vielmehr bedarfsorientiert. Im Detail bedeutet das, dass es einen Flug direkt nach der Innokulation gab und im weiteren Verlauf entsprechend der Ausbreitung von Peronospora. Während keine Ausbreitung beobachtet werden konnte, fanden entsprechend keine Befliegungen statt. In dieser Saison mussten geplante Flugtermine wegen anhaltendem Regen, Wind und wechselhafter Bewölkung wiederholt verschoben werden.



**Abbildung 3: Referenzmessungen der Panels**

Parallel zu jedem Flug fanden Referenzmessungen am Boden statt. Hierfür wurden 2021 neue Referenzpanele verwendet, deren Oberfläche mit spezieller Farbe aus der Raumfahrt (weiss – schwarz in 9 Graustufen) lackiert wurden und eine gleichbleibende Reflexion in alle Richtungen aufweisen. Diese Paneele und ein Spectralon-Panel wurden wie im vorangegangenen Jahr mit einem Feldspektrometer (Spectral Evolution) für die radiometrische Korrektur Bilddaten eingemessen (Abb. 3). Zusätzlich wurden wie im Jahr 2020 mit Alufolie überzogenen Marker eingesetzt, die am Ende von jedem Versuchsplot, links, rechts und in der Mitte der Versuchsreihen ausgelegt wurden. Insbesondere für die kontrastschwächeren Thermalaufnahmen dienen diese Marker zur besseren Orientierung und Plot-Erkennung im Bild.

Neben radiometrischen Panelen wurden Paneele eingesetzt, die der Korrektur der Lagegenauigkeit dienen (Abb. 4). Die Vorlage der Muster stammt aus der Agisoft Metashape Software und wurden auf 60x60 cm große Holzplatten geklebt. Die spezifischen Muster werden bei jedem Flug exakt an die gleiche Stelle gelegt sowie neben die radiometrischen

Panele, so dass eine automatisierte Erkennung und Korrektur der Lagegenauigkeit erfolgen kann (siehe 2.4.5.2).



Abbildung 4: Panele zur automatisierten Erkennung und Korrektur der Lagegenauigkeit

### 2.3.6 Versuch Ya Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Integrierten Weinbau

In Versuch Ya wurden verschiedene Strategien zur Kontrolle des Falschen Mehltaus durch dreimaligen Block-Einsatz verschiedener Pflanzenschutzmittel in der Phase der höchsten Anfälligkeit in der Rebsorte Pinot gris verglichen (Tab. 8).

Tab. 8: Versuchsglieder im Versuch Y (Versuchsjahr 2021).

VG	Strategie	
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inokulation
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inokulation; 08.06.2021
3	Folpan 80 WG	künstliche Inokulation; 08.06.2021
4	Vincare	künstliche Inokulation; 08.06.2021
5	Prevint	künstliche Inokulation; 08.06.2021
6	Mildicut	künstliche Inokulation; 08.06.2021
7	Sanvino	künstliche Inokulation; 08.06.2021
8	Profiler	künstliche Inokulation; 08.06.2021
9	Valiant Flash	künstliche Inokulation; 08.06.2021
10	Zorvec Zelavin	künstliche Inokulation; 08.06.2021

Folgende Pflanzenschutzmaßnahmen wurden im Versuchsjahr 2021 durchgeführt (Tab. 9):

**Tab. 9: Spritzplan Versuch Y (Versuchsjahr 2021). Darstellung: Mannes, IVV.**

	1. Spritzung	2. Spritzung	3. Spritzung	4. Spritzung	5. Spritzung	6. Spritzung
	6-Blatt	Blühbeginn	Schrotkorngröße	Erbsengröße	Ende Traubenschluss	Reifebeginn
	08/06/2021	21/06/2021	02/07/2021	16/07/2021	30/07/2021	09/08/2021
1	Microthiol 4,5 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
2	Microthiol 4,5 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha	Microthiol 6,0 kg/ha
3	Folpan 0,6 kg/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Folpan 1,0 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,2 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
4	Vincare 0,75 kg/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Vincare 1,25 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Vincare 1,5 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
5	Prevint 0,6 L/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Prevint 1,2 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Prevint 1,4 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
6	Mildicut 1,5 L/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Mildicut 2,5 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Mildicut 3,0 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
7	Sanvino 0,56 kg/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Sanvino 0,94 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Sanvino 1,125 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
8	Profilier 1,125 kg/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Profilier 1,875 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Profilier 2,25 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
9	Valiant Flash 3,0 kg/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Valiant Flash 3,0 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Valiant Flash 3,0 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha
10	Zorvec Zelavin 0,12 L/ha Microthiol 4,5 kg/ha	Zorvec Zelavin 0,24 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Zorvec Zelavin 0,32 L/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,4 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha	Folpan 1,6 kg/ha Microthiol 6,0 kg/ha

Die künstliche Inokulation ( $10^4$ - $10^5$  Sporangien / ml) wurde am 08.06.2021 durchgeführt. Die Applikationen erfolgten mittels des Parzellenspritzgeräts des IVV.

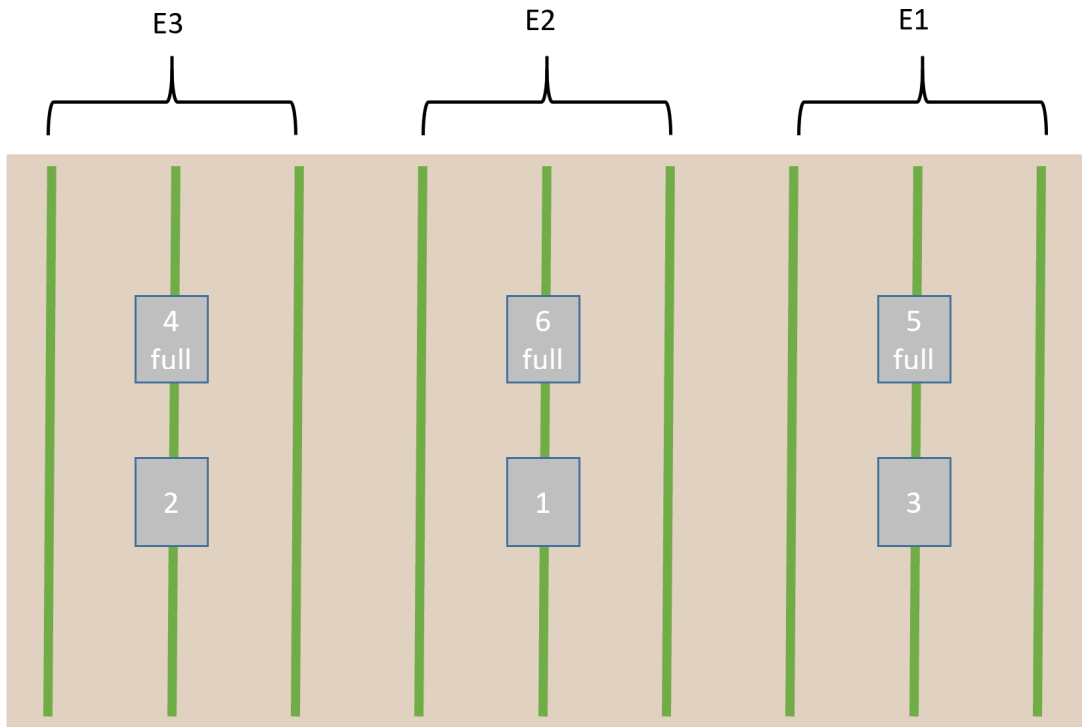
### 2.3.7 Versuch AA Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke

Ziel des Versuchs AA ist die Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke in den Weinbergen im Bereich „Berg“ des IVV in Remich. Hierzu erfolgt seit dem Jahr 2017 jährlich nach Reifebeginn eine Bonitur der Einzelstöcke.

### 2.3.8 Erfassung des Bestandsklima mittels mikro-meteorologischer Messungen mit dem Schwerpunkt Blattnässe

Zur Erfassung des Bestandsklimas mit dem Schwerpunkt Blattnässe wurden zu Beginn des Jahres 2020 sechs meteorologische Stationen in den Versuchsfeldern installiert. In den verschiedenen Erziehungssystemen (E3 = Minimalschnitt im Spalier, E2 = Spaliererziehung, Entblätterung der Traubenzone, E1 = Spaliererziehung, ohne Entblätterung der Traubenzone) wurden jeweils zwei meteorologische Stationen installiert (Abbildung 6).





**Abbildung 6: Verteilung der meteorologischen Stationen in den verschiedenen Erziehungssystemen. Die mit „full“ gekennzeichneten Stationen erfassen zusätzlich zu der Blattnässe, Lufttemperatur und relativer Feuchte noch die Globalstrahlung im Bestand, sowie die Windrichtung und Geschwindigkeit über dem Bestand. E3 = Minimalschnitt im Spalier, E2 = Spaliererziehung, Entblätterung der Traubenzone, E1 = Spaliererziehung, ohne Entblätterung der Traubenzone.**

Pro Erziehungssystem gibt es eine Master Station, die die Parameter Lufttemperatur, relative Feuchte (im Bestand), Globalstrahlung (im Bestand), sowie Windrichtung und Geschwindigkeit (über dem Bestand) erfasst (Abbildung 7 links). Des Weiteren wurden in drei verschiedenen Höhen (unterhalb der Laubwand, in der Laubwand, sowie über dem Bestand) fünf Blattnässesensoren installiert. In den beiden unteren Messhöhen (unterhalb und in der Laubwand) wurde jeweils ein Blattnässesensor in Richtung der Laubwand und einer von der Laubwand weg gerichtet installiert. Über dem Bestand wurde nur ein einzelner Blattnässesensor pro Station installiert. Die Ausrichtung der Blattnässesensoren in Bezug auf Neigung wurde bei allen Stationen gleich vorgenommen. Die zweite Station in dem jeweiligen Erziehungssystem erfasst nur die Blattnässe (analoge Anordnung der fünf Sensoren), Lufttemperatur und relative Feuchte (Abbildung 7 rechts). Alle Stationen sind mit Datenloggern (CRX1000 der Firma Campbell Scientific) zur kontinuierlichen Datenaufzeichnung ausgestattet, die Stromversorgung erfolgt mittels Akkus. Die zeitliche Auflösung der Messwerte beträgt eine Minute.



**Abbildung 7: Voll ausgestattete Station (links) mit zusätzlichem Globalstrahlungsgeber und 2D Wind Sonic, sowie einfache Station (rechts) zur Erfassung der Blattnässe, Lufttemperatur und relativen Feuchte im Bestand.**

Bei der Auswahl der Blattnässesensoren wurde das gleiche Modell wie an der ASTA Station gewählt, um Unterschiede, die durch verschiedenen Sensoren und Messkonzepte entstehen, ausschliessen zu können. Es handelt sich um kapazitiv messende Fühler, die schwach auf relative Feuchte und stark auf kondensierende Nässe reagieren. Die Blattnässesensoren nach Hoffmann werden seit 1990 in verschiedenen Messnetzen wie z.B. DLR Rehinland Pfalz oder LFL Bayern eingesetzt. Es handelt sich um neu angeschaffte Sensoren. Somit kann eine unterschiedliche Alterung weitgehend ausgeschlossen werden.

## 2.4 Auswertung

### 2.4.1 Monitoring *S. titanus*

Die Gelbfallen wurden an allen Standorten im zweiwöchentlichen Abstand ersetzt und eine Bestimmung der gefangenen Arten durchgeführt (Abb. 8).

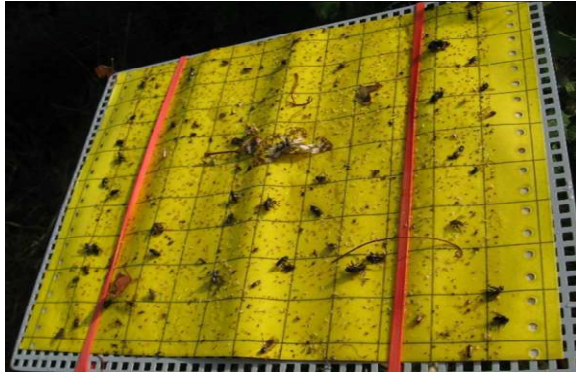


Abbildung 8: Gelbfalle vom Standort Wellenstein.

#### 2.4.2 Befallsbonituren Falscher Mehltau

Bonituren zur Erfassung des Befalls durch den Falschen Mehltau in den Versuchen Y und Ya erfolgte gemäß dem für *Botrytis cinerea* beschriebenen Siebenklassen-Bonitur-Schema zu verschiedenen Zeitpunkten im Laufe der Vegetationsperiode an Blättern sowie Trauben. In diesem Bericht werden lediglich die Ergebnisse der letzten Bonitur angegeben. Pro Parzelle wurden 100 Blätter bzw. Trauben begutachtet.

In Versuch Y erfolgte die Bonitur des Blattbefalls durch den Falschen Mehltau im etwa 7-tägigen Rhythmus (je nach Entwicklung des Befalls) jeweils am Termin der fernerkundlichen Messungen aus der Luft.

#### 2.4.3 Erfassung des Fluges und der Eiablage durch *Drosophila suzukii*

Die Auswertung der Fallenfänge erfolgte getrennt nach männlichen und weiblichen Kirschessigfliegen mittels Binokular (Abb. 9).



Abbildung 9: Männliche (links) und weibliche (rechts) Kirschessigfliege.

Die Bonitur der Eiablage erfolgte an jeweils 50 Einzelbeeren pro Parzelle, welche aus ca. 15 im Weinberg entnommenen Traubenteilen stammten. Mittels Binokulars wurden die Einzelbeeren von allen Seiten untersucht und die Anzahl der abgelegten Kirschessigfliegen-Eier erfasst (Abb. 10).



**Abbildung 10: Bonituren der Eiablage und des Larvenbesatzes unter dem Binokular.**

#### **2.4.4 Bonituren in den Freilandversuchen zur Bekämpfung der Kirschessigfliege**

Pro Versuchsglied und Wiederholung wurde in beiden Versuchen eine Riga-Becherfalle in der Traubenzone befestigt und diese wöchentlich ausgezählt und ersetzt. Weiterhin wurden in beiden Versuchen wöchentlich 15 Traubenteile entnommen und an 50 Beeren die Eiablage erfasst. Die Auswertung der Fangzahlen und der Eiablage erfolgte wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben.

#### **2.4.5 Fernerkundliche Verfahren zur Befallsdifferenzierung im Versuch Y**






Im Folgenden werden die erhobenen Fernerkundungsdaten und deren Vorprozessierung beschrieben.

##### **2.4.5.1 Drohnengestützte Messungen**

In der Saison 2021 wurde mit drei Kamerasystemen geflogen. Dabei wurden mit der Headwall Nano und der Teax Nadir-Aufnahmen (senkrecht von oben) akquiriert und mit der DJI-P4 Kamera der Uni Trier wurden sowohl Nadir als auch Schrägaufnahmen erhoben.

Die Definition der Wolkensituation wird in Tabelle 10 dargestellt. Die Wolkenbedingungen werden in fünf Klassen angegeben, um eventuelle Einflüsse der Wolkenbedingungen auf die Ergebnisse analysieren zu können.

**Tab. 10: Beschreibung der Wetterbedingungen zu den Flugterminen**













Wetterbedingung	Beschreibung	Symbol
Sonnig	Himmel ist auch im grösseren Umfeld wolkenfrei, beste Flugbedingungen	
Leicht bewölkt	Leichte oder dichtere Bewölkung im näheren Umfeld, Weinberg kann bei sonnigen Bedingungen befliegen werden, jedoch sind leichte Qualitätsverluste möglich	
Bewölkt	Schwere und dichte Bewölkung in und um das Untersuchungsgebiet, Datenqualität wird nachteilig beeinflusst,	
Leichte Cirrus	Schwache Cirrus-Wolken im Umfeld des Weinbergs, nur geringer Einfluss auf Datenqualität zu erwarten.	
Dichte Cirrus	Viele und dichte Cirrus-Wolken, auch sichtbar während des Überfluges, Datenqualität beeinträchtigt.	

Die folgende Tabelle 11 gibt einen Überblick über alle Befliegungen der 5 Versuchsjahre und die Einstrahlungsbedingungen während der Flüge:





Tab. 11 (fortgesetzt)

YYYYMMDD	Tag	Wetter	Boden	Lufttemp 2m	BBCH	Symptomklasse						
						0	5	10	25	50	75	100
2020						0	5	10	25	50	75	100
20200514 (nad, Nano+Teax)	T0											
20200526 (nad, Nano+Teax)	T1		trocken		55-57							
20200608 (nad, Nano+Teax)	T2		trocken		65							
20200624 (nad, Nano+Teax+MicaSense)	T3		trocken		75							
20200701 (nad, Nano+Teax)	T4											
20200707 (nad, Nano+Teax+MicaSense)	T5		trocken									
20200722 (nad, Nano+Teax+MicaSense)	T6				79							
20200730 (nad, Nano+Teax)	T7		trocken									
20200812 (nad, Nano+Teax)	T8		trocken									
2021						0	5	10	25	50	75	100
20210707 (nad. Nano + Teax (14:45 Uhr) + DJI P4)	T0		feucht	14:45: 23°C	73 - 75							
20210719 (nad. Nano + Teax (13:35 Uhr) + DJI P4)	T1		feucht	13:35: 25°C	75 - 77							
20210811 (nad. Nano + Teax (14:35 Uhr) + DJI P4)	T2			14:35: 25°C								

Aufgrund der schwierigen Wetterbedingungen 2021 mit häufig auftretender dichter Bewölkung, hoher Cirrus-Bewölkung oder Regen, konnten 2021 nur 3 Flüge mit den Drohnen erfolgreich durchgeführt werden (Tabelle 11). Für eine optimale Datengrundlage spielt neben dem Aufnahmewinkel auch die Sonneneinstrahlung eine wesentliche Rolle, um maximale Energie und minimalen Schatteneinfluss zu gewährleisten. Folglich wurden jeweils die Befliegungen pro Feldtag jeweils bei maximalem Sonnenstand gegen 13.00 Uhr MESZ im Nadir-Modus und Thermaldaten bei möglichst hohen Temperaturen und maximale Kontraste zu bekommen. Wobei hierbei immer ein Kompromiss zwischen der Wettervorhersage bzw. der vorhergesagten Wolkenentwicklung und dem Sonnenstand gefunden werden musste. Atmosphärische Einflüsse und verschiedene Sonnenstände wurden durch Referenzmessungen am Boden korrigiert.

## 2.4.5.2 Datenverarbeitung und Analysen

### Headwall – Nano Daten:

Die Headwall – Nano ist ein Zeilenscanner, der in Flugrichtung das Untersuchungsgebiet zeilenweise aufnimmt. Diese Daten müssen einer umfangreichen Vorprozessierung unterzogen werden, damit sie geometrisch und radiometrisch ausgewertet werden können. Hier konnten Verbesserungen in der Prozessierungskette und der photogrammetrischen Qualität erzielt werden. Die resultierende Lagegenauigkeit ist nun deutlich präziser. Danach wurden die Daten radiometrisch mittels der am Boden gemessenen Spektren der Referenzpanele mit der *Empirical Line Correction* korrigiert. Dabei wurden die *in situ* Messungen vom 19. Juli 2021 in Kombination mit den im jeweiligen Bild extrahierten Panels verwendet, um alle Zeitpunkte auf eine Referenz zu kalibrieren und keine Beleuchtungseffekte zwischen den Zeitpunkten zu haben. Dies gewährleistet eine kombinierte Auswertung und Modellbildung von mehreren Zeitpunkten.

Ebenfalls wurden in Zusammenarbeit mit der Uni Trier die Prozessierungsketten für die Multispektralkameras (Micasense und DJI-P4) erweitert und verbessert, so dass große Teile automatisiert werden konnten. Dies erlaubt eine schnellere Auswertung der Daten bis hin zur Erstellung von Regressionsmodellen der Bild- mit den Boniturdaten. Die Prozessierungskette beinhaltet folgende Schritte (Abb. 11):

- (1) Einlesen der Bilder, Umrechnung von DN's (digital number) in Radianzen und Korrekturen von sensorspezifischen Effekten (gemäß Herstellerangaben)
- (2) Korrektur von Gradienteneffekten. Hierzu gehören sensorspezifische Reiheneffekte, radiometrisch Kalibrierung, Einfluss der Beleuchtungszeit und Vignettierungseffekte.
- (3) Korrektur von linsenspezifischen Vignettierungseffekten und Verzerrungen. Vignettierungseffekte zeigen sich durch reduzierte Helligkeiten zu den Bildrändern im Vergleich zur Bildmitte. Diese Korrekturen finden ebenfalls gemäß Herstellerangaben statt.
- (4) Umrechnung der Radianzen in Reflektanzen mit Hilfe von automatisierter Erkennung der Panele und Anwendung der *Empirical Line Correction*
- (5) Erstellung eines Orthomosaiks mit absoluter geometrischer Lagegenauigkeit mit Hilfe der Referenzpanele
- (6) Berechnung einer 3D Höhenmaske zur Ausmaskierung des Hintergrunds (Zwischenbegrünung, Boden)
- (7) Berechnung verschiedener Vegetationsindizes (NDVI, CIG, CIRE, NDRE2, DMI1, DMI2) und Einlesen der Boniturdaten für die automatisierte Erstellung von Regressionsmodellen

Der gesamte Code der automatisierten Prozessierungskette befindet sich kommentiert im Github.

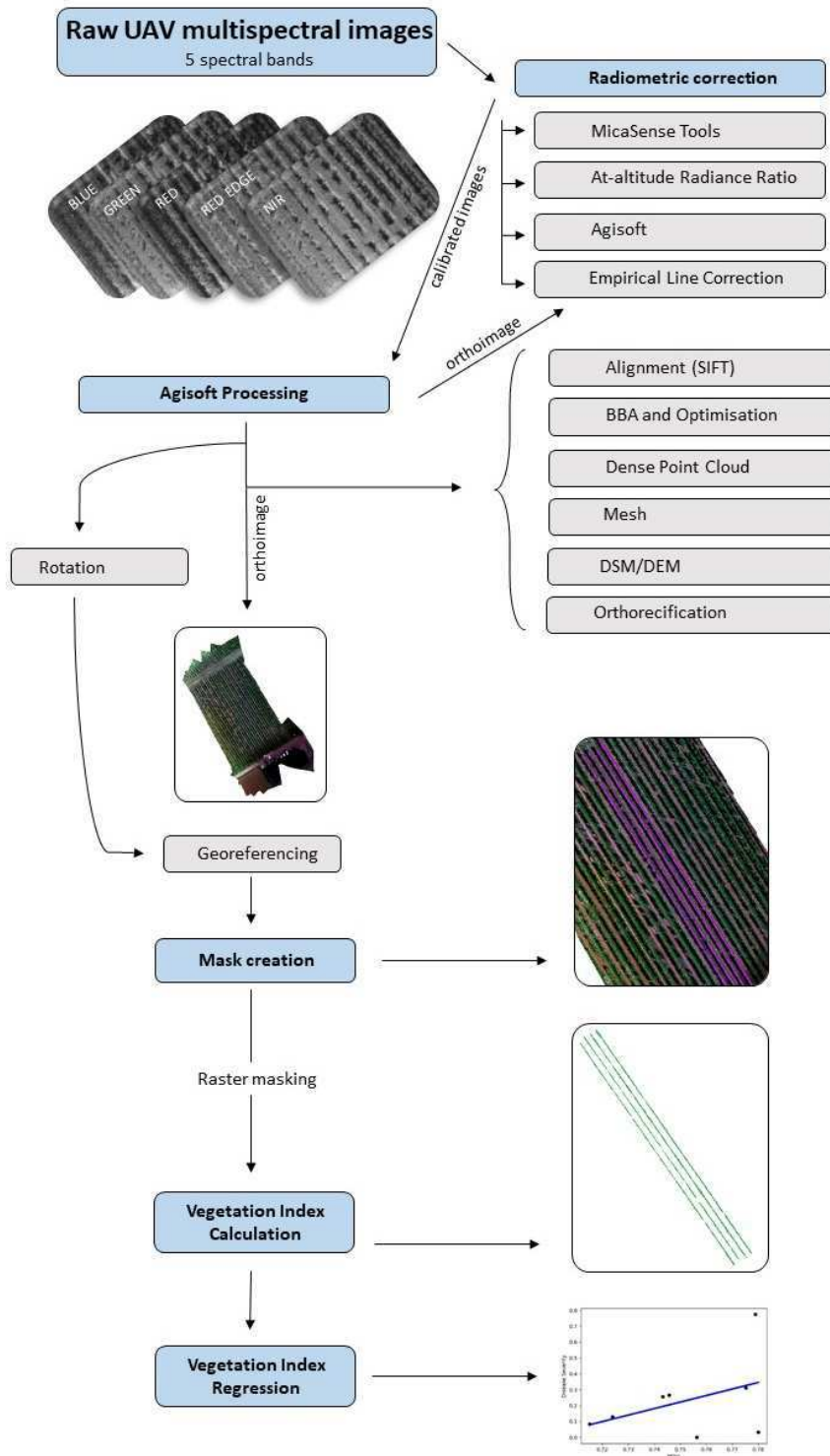
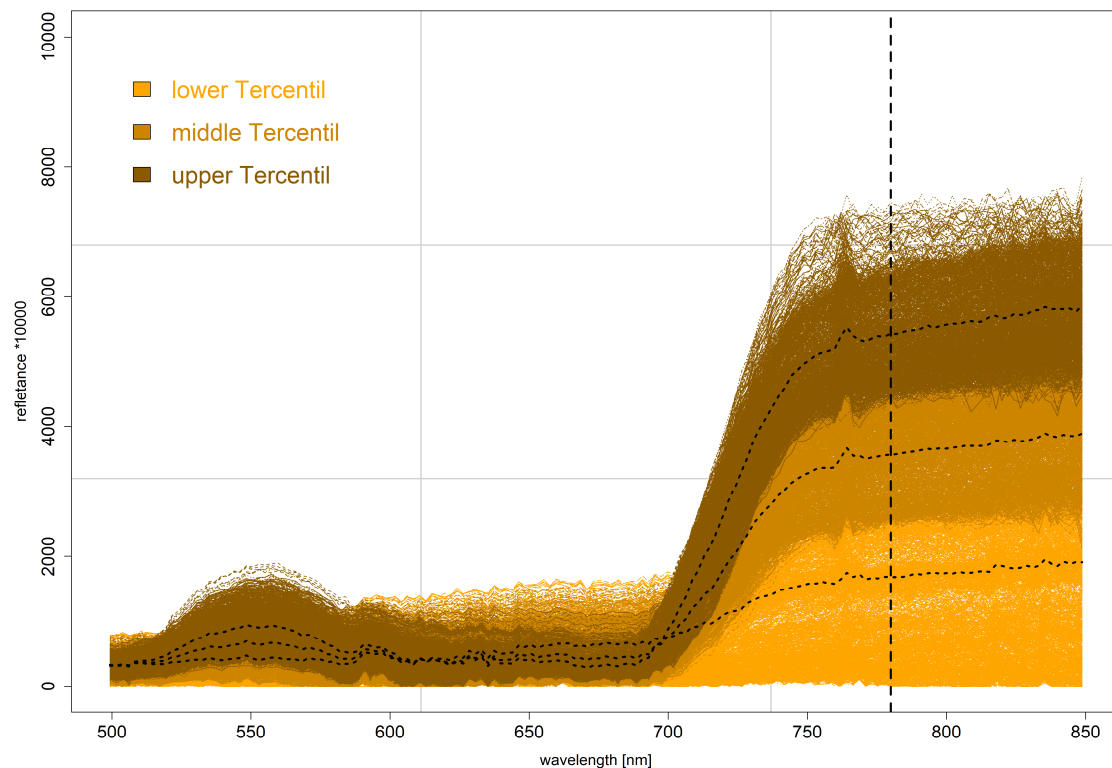


Abbildung 11: Einzelschritte der automatisierten Prozessierungskette von den Rohdaten bis zu der Erstellung von Regressionsmodellen

Die oben beschriebenen Entwicklungen von verbesserten geometrischen Genauigkeiten der Nano Daten als auch die Erstellung von 3D Weinmasken mit Hilfe der DJI-P4 Daten erlaubten in 2021 eine Ausmaskierung der Reben anhand der beschriebenen Weinmaske. Die ausmaskierten Daten wurden im Anschluss noch mit einer Maske basierend auf einer Maximum Likelihood Klassifikation (MLC) kombiniert, um leichte Verschiebungen und daraus resultierende Boden und Schattenpixel in den ROIs zu korrigieren. Dies erlaubt eine bessere und schnellere Trennung von Wein und Hintergrund.

Die bereits beschriebenen ausgelegten Alumarker waren gut im Bild sichtbar und konnten die Extraktion der jeweiligen Plots erheblich vereinfachen und die Genauigkeit erhöhen. Die Plots im Bild wurden digitalisiert und extrahiert, um sie im Anschluss auszuwerten.

In diesem Jahr wurden erstmals die Spektren entsprechend ihrer Helligkeit stratifiziert. Hintergrund dabei ist die Annahme, dass sich im Bild für jeden Plot sowohl sonnenbeschienene als auch beschattete Pixel befinden, die gleichermaßen in die Berechnungen der Statistiken mit eingehen und deren Unterschied ggf. die Information der Symptome verwässern. Sonnenbeschienene Pixel reflektieren mehr Energie und enthalten demnach auch mehr Information in ihrer spektralen Signatur als die beschatteten Pixel. Daher wurde basierend auf einem Band im Nahen-Infrarot Plateau (780 nm) eine Stratifizierung mittels der Tercentile, die den Wertebereich der Reflexionswerte in drei gleich große Teile teilen, vorgenommen. Damit wurde eine Aufteilung in beschattete, intermediäre und beleuchtete Pixel gebildet und für jede dieser 3 Teile wurden im Anschluss die Statistiken (Mittelwert, Median, Standardabweichung) berechnet. Abbildung 12 verdeutlicht das an einem Beispiel eines einzelnen Plots, die schwarz gestrichelten Linien markieren den Mittelwert jeder Klasse, die vertikale Linie das Band auf dem die Tercentile berechnet wurden. Hier wird deutlich, dass sich die drei Mittelwerte vor allem im Bereich des sichtbaren Lichts (VIS, im Bereich des „Green Peak“) und auf dem NIR Plateau und Red Edge unterscheiden. Folglich lassen sich kleinere Veränderungen, die beispielsweise durch Krankheitsstress ausgelöst werden, deutlich in den Werten der Terzentile erkennen im Vergleich zum Mittelwert aller Pixel.



**Abbildung 12: Stratifizierung der Plots anhand ihrer Helligkeit**

### Teax - Daten

Thermaldaten wurden immer am selben Tag wie die Hyperspektraldaten mit Hilfe der Teax Thermal Capture Fusion Zoom aufgenommen. Thermaldaten sind im Vergleich zu Daten aus dem sichtbaren oder Infrarot-Bereich deutlich kontrastärmer und wirken unscharf. Daher ist auch ihre Vorverarbeitung deutlich aufwendiger. Die Daten wurden mit Hilfe der Software Agisoft Metashape mosaikiert und die Maske aus den DJI-P4 Daten wurden ebenfalls auf diesen Datensatz angewandt. Anschließend wurde eine Normalisierung durchgeführt, um den Einfluss der Lufttemperatur sowie Effekte durch beispielsweise Windverwirbelungen zu minimieren. Hierfür wurde der Crop Water Stress Index -CWSI berechnet (s.u. CWSI).

Allerdings war die Qualität der Thermaldaten 2021 aufgrund von Wolkeneinfluss nicht sehr hoch. Die Berechnungen und Neuentwicklungen von diesem Jahr wurden daher auch auf die Daten von 2020 angewandt und hier u.a. in den Ergebnissen dargestellt.

## **Methoden zur Auswertung der Befallstärke**

### **Partial Least Squared Regression:**

Die Partial Least Squared Regression (PLSR) ist ein multivariates statistisches Verfahren, das eine große Anzahl von co-linearen Variablen auf wenige nicht korrelierte unabhängige latente Variablen reduziert und die Varianz zwischen den beiden Matrizen X und Y dabei maximiert (Wold et al. 2001). In der vorliegenden Studie repräsentiert die latente Variable die Strukturinformationen, die in den Reflexionsmessungen (X) enthalten sind, um die abhängige Variable (Y) bzw. den Befallsgrad vorherzusagen. Der Vorteil der PLSR ist die Reduktion eines großen Merkmalsraums auf wenige latente Faktoren (Udelhoven et al. 2013), was insbesondere bei Hyperspektraldaten mit einem hohen Grad an Autokorrelation einen wesentlichen Vorteil bietet.

### **Vegetationsindices:**

Wie auch in den vergangenen Jahren wurden eine Reihe etablierter Vegetationsindices berechnet und für die Schätzung der Befallsstärke getestet. Die Auswahl der Indizes berücksichtigt zwei Merkmale. Es wurden zum einen Indizes gewählt, die besonders sensitiv auf Pigmentveränderungen und andere biochemische Prozesse im Blatt reagieren. Hierzu zählt beispielsweise der PRI (Photochemical Reflection Index), der sensitiv für photosynthetische Aktivität bzw. die Lichtnutzungseffizienz ist oder auch der Chlorophyll Index. Diese Indizes sind besonders für ein frühes Stadium der Krankheit geeignet, wenn erste Symptome in Form von Chlorosen und anderen Pigmentänderungen auftreten. Zum anderen wurden auch Indizes berücksichtigt, die insbesondere für die Blattmasse, den LAI (Leaf Area Index), sensitiv sind. Diese Indizes sind v.a. für einen stärkeren Befall geeignet, wenn die Reben aufgrund von Peronospora Blätter verlieren. Hierzu zählen z.B der NDVI oder der NDRE2. Bei Auswertungen der letzten Jahre hatte sich bereits bestätigt, dass diese Indizes für einen hohe Befall gut geeignet sind.

### **Crop Water Stress Index- CWSI**

Der CWSI wurde entwickelt, um Trockenstress auf landwirtschaftlichen Flächen fernerkundlich zu bestimmen. Aufgrund seiner Sensitivität für Transpiration ist der CWSI auch geeignet, um krankheitsinduzierten Stress zu detektieren, welcher sich häufig ebenfalls auf die Transpiration der Pflanze auswirkt. Er basiert auf der Annahme des linearen Zusammenhangs von Wasserstress und Wasserdampfdefizit  $CWSI = 1 - (ET_{act}/ET_{pot})$  (Jackson et al. 1981). Eine theoretische Bestimmung der CWSI verlangt eine der Modellierung Evapotranspiration und setzt umfangreiche Messung voraus (Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, aerodynamische und Vegetationswiderstände etc).



**Tab. 12: Auswahl bereits publizierter Indizes, die zur Erfassung von Peronospora nützlich sein könnten**

Index	Gleichung	Anwendung/Referenz
NDVI -Normalized difference vegetation index (Rouse et al. 1973.)	$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Erkennung von grüner Vegetation aufgrund der Reflexionseigenschaften von Chlorophyll und Mesophyll
Chlorophyll index (Rouse et al., 1973) red edge	$CI_{red\ edge} = (R_{780} / R_{710}) - 1$	Quantifizierung des Chlorophylls (Gitelson et al., 2003)
Red edge inflection point	$REIP = 700 + 40((R_{670} + R_{780})/2 - R_{700}) / (R_{740} - R_{700})$	Bestimmung des Maximums des sog. Red Edge Inflection points, der sensitiv für den Chlorophyllgehalt ist (Herrmann et al., 2010)
Chl -Chlorophyll index	$ChI = (R_{570} - R_{700}) / (R_{515} - R_{700})$	Quantifizierung des Chlorophylls (Yu et al., 2014)
PRI -Photochemical reflection index	$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$	Photosynthetische Aktivität und Lichtnutzungseffizienz basierend auf dem Xanthophyllgehalt (Gamon et al., 1992)
NDRE	$NDRE = (R_{865} - R_{740}) - (R_{865} + R_{740})$	Ähnlich zu NDVI, aber unter Nutzung des NIR und RedEdges (Gitelson and Merzylak, 1994)
NDRE 2	$NDRE2 = (R_{740} - R_{665}) / (R_{740} + R_{665})$	Ähnlich zu NDVI, aber unter Berücksichtigung des RedEdge (Barnes et al. 2000)
Downy mildew index 1	$DMI_1 = (R_{682}) / (R_{800})$	Kontrolliertes Experiment zur Entwicklung verschiedener Indizes zur Bestimmung von frühem Peronospora Befall (Oerke et al., 2016)
Downy mildew index 2	$DMI_2 = (R_{550} - R_{680}) / (R_{550} + R_{680})$	

Eine vereinfachte Form ist der bildbasierte CWSI. Hierbei werden Referenzziele im Bild benötigt, die einmal wassergesättigt und einmal trocken (= ohne Transpiration) sind. Alternativ kann man auch die 5% wärmsten und 5% kältesten Pixel extrahieren, um die Referenzen  $T_{wet}$  und  $T_{dry}$  zu bestimmen. Der CWSI wird dann für jedes Pixel ( $T_c$ = Temperatur canopy) wie folgt berechnet:

$$CWSI = (T_c - T_{wet}) / (T_{dry} - T_{wet}).$$

Aufgrund des bereits beschriebenen Wolkeneinflusses auf die Thermaldaten in 2021, wurden die Daten von 2020 genutzt, um den CWSI zu berechnen und auszuwerten.

### Schätzung der Blattpigmente und Bestimmung der informativsten Wellenlängen

In diesem Jahr wurde erstmals die in Matlab implementierte ARTMO MLRA (Machine Learning Regression Algorithms) Toolbox (v1.26) eingesetzt. Mit ihr wurden zwei Analysen durchgeführt: (1) Die Bestimmung der informationsreichsten Wellenlängen für die Schätzung des Peronospora Befallsgrades (2) die Modellierung von Pigmenten (Chlorophyll, Carotinoide, braune Blattstrukturen) mit Hilfe von Strahlungstransfermodellen (Prosail-PRO). Für eine operationelle Anwendung ist die Bestimmung der wichtigsten Wellenlängen hilfreich, da große Flächen nicht mit einem (drohnengestützten) hyperspektralen Sensor in kurzer Zeit überflogen

werden können und die Daten nicht zeitnah verfügbar sind. Ein Multispektralsystem mit wenigen aber klar definierten Bändern (z.B. durch spektrale Filter) könnte daher zukünftig eine Alternative zu einem hyperspektralen Sensor darstellen.

### **Random Forest**

Um alle Indizes und Variablen kombinieren zu können und um ihre Bedeutung für die Schätzung des Befallsgrades bestimmen zu können, wurde ein RandomForest berechnet. Mit Hilfe der Importance Ausgabe können die Eingangsparameter nach Wichtigkeit für das Modell gelistet werden.

#### **2.4.6 Monitoring der Esca-symptomatischen Stöcke im Versuch AA**

Im September 2021 wurden die Weinberge im Bereich „Berg“ hinsichtlich (i) Symptomen durch den Esca-Komplex sowie (ii) Fehlstöcken visuell bonitiert und kartographisch dokumentiert. Es erfolgte wie in den beiden Vorjahren eine Differenzierung der symptomatischen Stöcke in folgende Befallsklassen:

- 0 Symptomfrei
- 1 Apoplexie (plötzliches Absterben)
- 2 Blattsymptome (Tigerstreifen)
  - a) leichte Symptome
  - b) mittlere Symptome
  - c) starke Symptome
- 3 Beerensymptome („black measles“)
  - a) leichte Symptome
  - b) mittlere Symptome
  - c) starke Symptome
- X Fehlstock

Die fernerkundliche Auswertung der Versuchsfläche erfolgt im Projekt „MonESCA“.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Versuch L Monitoring *Scaphoideus titanus*

##### 3.1.1 Fangzahlen

**Tab. 13: Fangzahlen von *S. titanus* im Rahmen des Monitorings entlang der Luxemburger Mosel im Jahr 2021.**

Standort	02.08.	16.08.	30.08.	13.09.	27.09.
A Wellenstein	-	-	-	-	-
B Remich-IVV	-	-	-	-	-
C Ehnen	-	-	-	-	-
D Ahn	-	-	-	-	-

Im Jahr 2021 konnte, wie in den acht vorangegangenen Jahren, an keinem der Monitoring-Standorte das Auftreten des Vektors der Flavescence dorée beobachtet werden (Tab. 13). Allerdings wurde vom Julius-Kühn Institut in Deutschland im April 2021 eine Probe aus dem September 2020 aus Rheinland-Pfalz positiv auf Flavescence dorée getestet (Kaminiski 2021).

#### 3.2 Surveillance des activités de vol et de ponte de *Drosophila suzukii*

La surveillance des activités de vol et de ponte de *D. suzukii* a commencé fin août 2021. La surveillance se concentre sur une variété à maturation précoce (Pinot noir) et deux à maturation plus tardive (Pinotin et Cabaret noir) ainsi que des plantes hôtes non cultivées telles que le lierre et un mûrier. Dès la première date d'observation, des mouches ont été piégées dans toutes les variétés étudiées. Concernant les parcelles de vigne, une augmentation de l'activité de *D. suzukii* a été observée jusqu'au 07.09 avant un palier ou une diminution du nombre de captures jusqu'au 21.09. Le nombre de mouches piégées ré-augmente ensuite jusqu'au 28.09 pour la variété Cabaret noir ou jusqu'au 05.10 pour le cépage Pinotin. Seule la variété Pinot noir (109) a connu une augmentation régulière du nombre de mouches jusqu'à atteindre un maximum le 21.09 puis commencer à diminuer. Concernant le piège situé dans le lierre, il suit les mêmes évolutions que ceux dans les vignes avec un nombre de mouches comptées légèrement plus faible. Enfin, dans le mûrier, une augmentation du nombre de mouches est observée la première semaine avec un maximum atteint le 07.09 puis une

diminution jusqu'au 21.09 avant une ré-augmentation. C'est le piège dans lequel le nombre le plus important de mouches est capturé sur l'ensemble de la saison (Tab. 14).

Concernant l'activité de ponte, des œufs ont été trouvés seulement dans les variétés les plus tardives. La variété Pinotin présentait des œufs dans les 4 dernières semaines d'observation. La variété Cabaret noir présentait un œuf la semaine du 31.08 puis un nombre croissant d'œufs ont été observés depuis le 21.09 au 05.10 (Tab. 14). Pour ces deux variétés, une très importante activité de ponte a été observée juste avant la récolte avec plus de 30 œufs dénombrés le 05.10. Les deux cultivars de Pinot noir étudiés n'ont pas subi d'activité de ponte.

**Tab. 14 : Nombre de mouches *D. sukuzii* capturées dans les pièges (Ds. Fem pour les femelles et Ds. Male pour les males), nombre d'œufs dénombrés dans 50 baies individuelles et degré de maturité des baies pour les différents sites de surveillance en 2021.**

Localité	Variété	25.08.2021-31.08.2021				31.08.2021-07.09.2021				07.09.2021-14.09.2021			
		Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe	Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe	Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe
Remich	Pinotin	1	0	0	60	7	0	0	63	8	1	1	61
Remich	Lierre	1	0	x	x	5	0	x	x	7	2	x	x
Remich	Mûrier	5	0	x	x	12	19	x	x	12	6	x	x
Remich	Pinot noir précoce	5	2	0	73	9	7	1	84	8	5	6	93
Remich	Pinot noir (130)	2	1	0	64	3	2	0	71	9	6	0	75
Remich	Pinot noir (109)	3	0	0	64	8	3	0	67	12	5	0	73
Remich	Cabaret noir	1	4	1	68	11	1	0	69	8	4	0	82

Localité	Variété	14.09.2021-21.09.2021				21.09.2021-28.09.2021				28.09.2021-05.10.2021			
		Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe	Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe	Ds. Fem	Ds. Male	#Oeufs	°Oe
Remich	Pinotin	4	4	2	78	12	3	12	81	13	6	34	74
Remich	Lierre	5	0	x	x	12	2	x	x	12	4	x	x
Remich	Mûrier	2	4	x	x	10	12	x	x	13	8	x	x
Remich	Pinot noir précoce	6	5	4	94	5	8	x	x	x	x	x	x
Remich	Pinot noir (130)	0	0	0	82	6	1	x	x	x	x	x	x
Remich	Pinot noir (109)	10	10	0	76	5	7	x	x	x	x	x	x
Remich	Cabaret noir	6	5	1	87	12	13	5	91	0	2	32	98

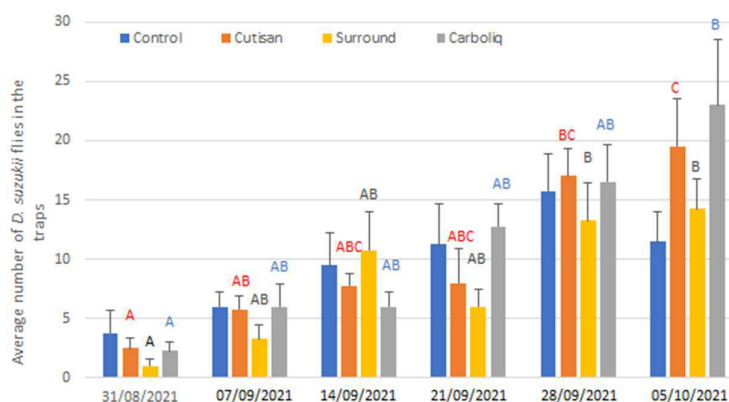
### 3.3 Expériences de lutte contre *Drosophila suzukii*

#### 3.3.1 Essais de produits naturels contre *D. suzukii* au vignoble

Dès la première observation, des mouches *D. suzukii* ont été identifiées dans les pièges. De manière générale, l'activité des mouches a augmenté sur toute la période de piégeage (Tab. 15). Afin de déterminer l'effet du traitement sur la présence de *D. suzukii* dans le vignoble, des analyses de variances ont été effectuées (ANOVA à 1 et 2 facteurs). Quand chaque date est étudiée indépendamment, le traitement n'a pas d'effet sur le nombre de mouches piégées, démontrant l'absence d'effet répulsif des traitements. Quand chaque traitement est étudié indépendamment, on observe des différences significatives dans le nombre de mouches comptées avec plus de mouches piégées le 28.09 et le 05.10 que le 31.08. (Abb. 13). Après cet essai et contrairement à l'année passée, on ne peut conclure à un quelconque effet répulsif des produits testés contre *D. suzukii*.

**Tab. 15:** Nombre d'individus de *D. suzukii* piégés dans l'expérience T. Moyennes de 4 répétitions.

Stratégie	Nombre moyen de mouches <i>D. suzukii</i> capturées par piège					
	25.08- 31.08	31.08- 07.09	07.09- 14.09	14.09- 21.09	21.09- 28.09	28.09- 05.10
Contrôle non traité	3.75	6.00	9.50	11.25	15.75	11.50
Kaolin Cutisan 2%	2.50	5.75	7.75	8.00	17.00	19.50
Kaolin Surround 2%	1.00	3.25	10.75	6.00	13.25	14.25
CaCO <sub>3</sub> 2%	2.25	6.00	6.00	12.75	16.50	23.00



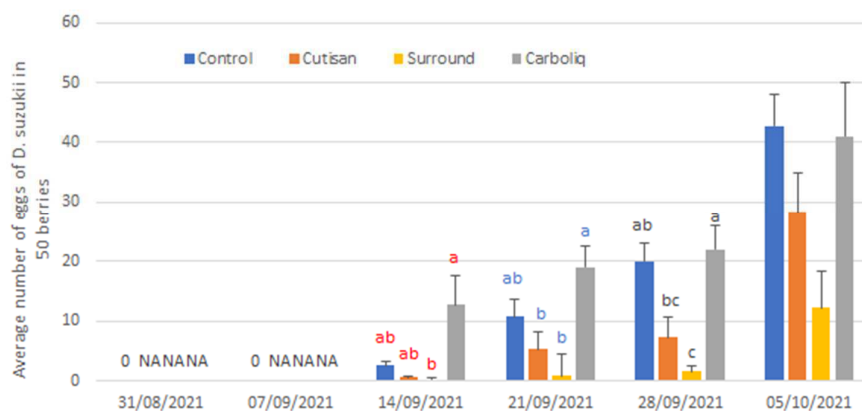
**Abbildung 13:** Histogramme de la moyenne des *D. suzukii* piégées en fonction de la date d'observation et du traitement. Les barres verticales représentent l'écart type. Les lettres différentes montrent des différences significatives pour chaque traitement en fonction de la date (Rouge : Cutisan; Noir : Surround ; Bleu : Carbolig).



Concernant l'activité de ponte des mouches *D. suzukii*, des œufs ont été observés dans tous les traitements. Dans toutes les modalités, les premiers œufs ont été trouvés le 14.09 et leur nombre a augmenté chaque semaine jusqu'à la récolte avec la valeur la plus élevée le 05.10 (Tab. 16). Statistiquement, seul le Surround a eu un effet significatif sur le nombre d'œufs présents le 28.09. Les produits Cutisan et Surround présentent des activités de ponte inférieures à celle présente dans le contrôle mais cette différence n'est pas statistiquement significative. Au contraire, le produit Carboliq sera légèrement attractif avec une activité de ponte dans les baies traitées comparable ou supérieure à celle du contrôle. A chaque date étudiée, les baies traitées avec le Surround présentent significativement moins d'œufs que celles traitées avec le Carboliq. La forte augmentation du nombre d'œufs observée pour le 28.09 et le 05.10 peut s'expliquer par la diminution des traitements avec le temps, la dernière application ayant été réalisée le 16.09 (Abb. 17). De manière générale, Surround semble le produit le plus intéressant contre l'activité de ponte de *D. suzukii*.

**Tab. 16: Nombre d'œufs dénombrés dans 50 baies dans l'expérience T . Moyennes de 4 répétitions.**

Stratégie	Nombre d'œufs de <i>D. suzukii</i> comptés dans 50 baies					
	25.08-31.08	31.08-07.09	07.09-14.09	14.09-21.09	21.09-28.09	28.09-05.10
Contrôle non traité	0	0	2.50	10.75	20.00	42.75
Kaolin Cutisan 2%	NA	NA	0.50	5.25	7.25	28.25
Kaolin Surround 2%	NA	NA	0.25	0.75	1.50	12.25
CaCO <sub>3</sub> 2%	NA	NA	12.75	19.00	22.00	41.00



**Abbildung 17: Histogramme de la moyenne (4 répétitions) des œufs comptés dans 50 baies en fonction de la date d'observation et du traitement. Les barres verticales représentent l'écart type. Les lettres différentes montrent des différences significatives pour date (Rouge : 14.09 ; Bleu : 21.09 ; Noir : 28.09).**

### **3.3.2 Etude de la dynamique de population de *Drosophila suzukii* et efficacité du contrôle par des poudres minérales avec un focus sur la protection des raisins**

L'espèce invasive *Drosophila suzukii* menace la production de baies. Ces mouches sont principalement contrôlées grâce à l'application de produits chimiques, qui sont associés à des préoccupations pour les consommateurs et l'environnement. Ici, nous avons testé l'efficacité de poudres minérales en laboratoire et en vignoble. De plus, les dynamiques de la population ont été étudiées dans un vignoble et ses alentours. Les produits Cutisan et Surround, à base de kaolin, et le produit Carboliq, constitué de  $\text{CaCO}_3$ , n'ont montré aucun effet répulsif ou insecticide sur des mouches *D. suzukii* adultes dans des essais en laboratoire avec des concentrations jusqu'à 2% (w/v). Cutisan et Surround, ont significativement réduit le nombre d'œufs observés dans les baies (-41.9% et -49.3% respectivement) alors que le Carboliq n'a eu aucun effet sur la ponte en conditions de laboratoire. Le traitement Surround a significativement réduit le nombre de mouches piégées le 09.09.2020 dans un vignoble expérimental. Selon la date d'observation et le traitement, entre 59 et 84% des mouches dans les pièges étaient des femelles. Le nombre d'œufs dénombrés dans les baies traitées avec du Carboliq au vignoble était toujours supérieur à celui des baies "contrôles" mais cette différence n'était pas significative. Les modalités traitées avec le Cutisan ou le Surround au vignoble ont présenté une activité de ponte comparable ou inférieure à celle du contrôle mais cette différence n'a été significative que le 24.09.2020. Au vignoble, septembre est le mois où le nombre le plus important de mouches a été piégé et des mois hivernaux jusqu'en juillet, une diminution de la population est observée. Dans les années épidémiques, la combinaison température-humidité avant un pic de population était plutôt stable avec une faible humidité associée à une haute température et vice-versa. Dans les années non-épidémiques, l'humidité fluctuait plus que dans les années épidémiques et les températures étaient plus faibles avant les pics de population. L'effet de la radiation globale sur le maximum de population semble mineur.

### 3.4 Versuch Y Fernerkundliche Erkennung der Peronospora

#### 3.4.1 Befallsverlauf an den Blättern

Tab. 17: Befallsstärken (in %) des Falschen Mehltaus an den Blättern im Verlauf des Jahres im Versuch Y im Jahr 2021.

VG	Strategie	Infektionstyp	28.06.	07.07.	19.07.	04.08.	11.08.
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inok	0,06	0,55	3,81	23,84	35,74
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inok	0,00	0,32	3,40	21,37	35,05
3	integriert	künstliche Inok	0,03	0,03	0,85	3,09	4,26
4	Kupfer	künstliche Inok	0,09	0,68	3,37	5,75	4,73
5	Phosphorige Säure	künstliche Inok	0,02	0,15	0,76	11,75	24,91
6	Kupfer + Phosphorige Säure	künstliche Inok	0,04	0,12	1,04	5,40	6,94
7	Kupfer + Phosphorige S. bis BBCH 69	künstliche Inok	0,00	0,15	0,89	6,92	9,65
8	Kupfer + Fytosave	künstliche Inok	0,05	0,29	2,93	8,99	10,22

Erste Blattsymptome wurden am 28.06 beobachtet. In der Folge kam es zu einem kontinuierlichen Befallsanstieg. Am letzten Boniturtermin wurden Befallsstärken am Blatt zwischen 4,3 (VG 3) und 35,7% (VG 1) erfasst (Tab. 17).

Am letzten Boniturtermin (11.08.2021) wurden folgende Wirkungsgrade in Bezug auf das Versuchsglied 2 erzielt: 88 (VG 3), 86 (VG 4), 29 (VG 5), 80 (VG 6), 72 (VG 7) und 71 % (VG 8). D.h. die Variante des integrierten Weinbaus sowie die Variante mit durchgehender Kupfer-Behandlung zeigten sehr gute Wirkungsgrade an den Blättern. Während an den frühen Terminen der alleinige Einsatz der Phosphoriger Säure gute Wirkungsgrade an den Blättern zeigte, vielen diese zum Ende hin deutlich ab. Der Zusatz von Phosphoriger Säure oder Fytosave verbesserte am letzten Boniturtermin nicht den Wirkungsgrad des alleinigen Kupfer-Einsatzes (Tab. 18).

Die angestrebte Variabilität innerhalb des Versuchsfeldes stellte sich im Jahr 2021 ein. Am letzten Boniturtermin wurden in den 32 Plots Befallsstärken zwischen 3,3 und 46,8% erfasst.

### 3.4.2 Befallsverlauf an den Trauben

Tab. 18: Befallsstärken (in %) des Falschen Mehltaus an den Trauben im Verlauf des Jahres im Versuch Y im Jahr 2021.

VG	Strategie	Infektionstyp	03.08.	16.08.
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inok	27.2	55.62
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inok	26.5	59.41
3	integriert	künstliche Inok	1.7	0.87
4	Kupfer	künstliche Inok	13.0	22.11
5	Phosphorige Säure	künstliche Inok	13.5	41.86
6	Kupfer + Phosphorige Säure	künstliche Inok	8.0	31.08
7	Kupfer + Phosphorige S. bis BBCH 69	künstliche Inok	5.5	25.47
8	Kupfer + Fytosave	künstliche Inok	13.2	34.19

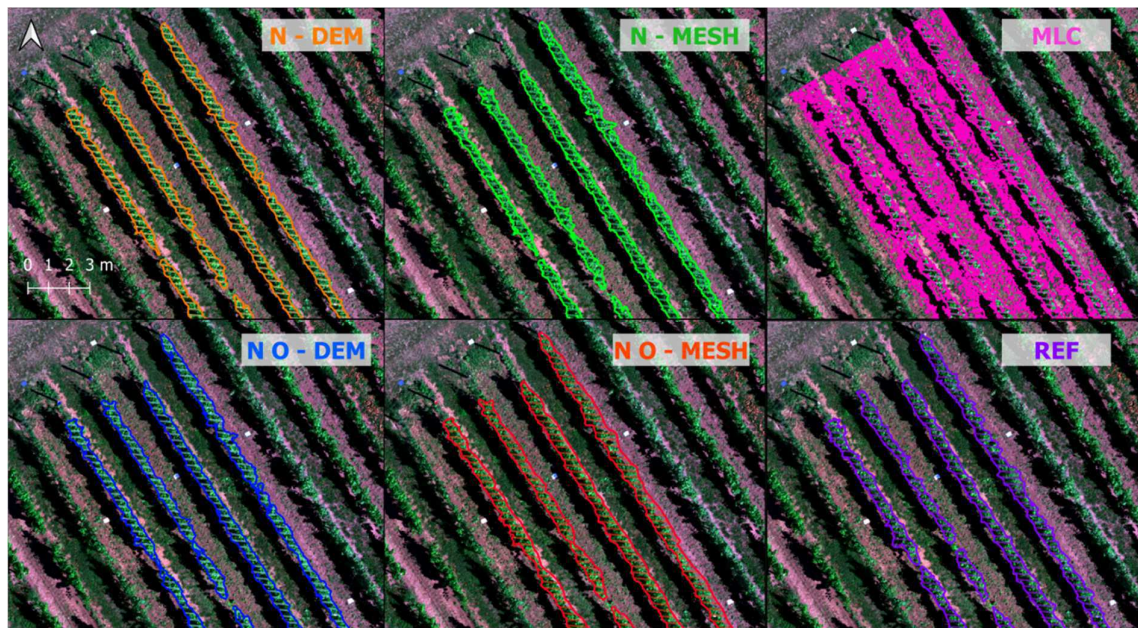
Aufgrund des starken, relativ spät eintretenden Traubenbefalls in Jahr 2021 wurde an zwei Terminen im August zusätzlich eine Bonitur an den Trauben durchgeführt. Am letzten Boniturtermin (16.08.) wurden Befallsstärken an den Trauben zwischen 0,9 (VG 3) und 59,4% (VG 2) erfasst (Tab. ). An diesem Termin wurden folgende Wirkungsgrade in Bezug auf das Versuchsglied 2 erzielt: 99 (VG 3), 63 (VG 4), 30 (VG 5), 48 (VG 6), 57 (VG 7) und 42% (VG 8). D.h. die Variante des integrierten Weinbaus konnte Traubenbefall fast vollständig verhindern. Der durchgehende Kupfer-Einsatz erzielte den höchsten Wirkungsgrad der übrigen Versuchsglieder. Jedoch lag dieser mit 63% niedriger als an den Blättern. Der alleinige Einsatz der Phosphoriger Säure fiel wie an den Blättern zum späten Boniturtermin hin hinsichtlich seines Wirkungsgrades deutlich ab. Der Zusatz von Phosphoriger Säure verbesserte den Wirkungsgrad des alleinigen Kupfer-Einsatzes tendenziell am ersten Boniturtermin jedoch nicht mehr am letzten Boniturtermin (Tab. 18).

### 3.4.3 Ergebnisse der fernerkundlichen Untersuchungen

Erstellung der Maske mit Hilfe von 3-Modellen:

In den vergangenen Jahren wurde der Hintergrund mit Hilfe einer Klassifikation (MLC) in Schatten, Boden, Zwischenbegrünung und Wein ausmaskiert. Zusätzlich wurden die Plots von Hand gezogen, um Fehlklassifikationen zu eliminieren. 3D Modelle konnten aber mit den Nanodaten (Zeilenscanner) nicht erstellt werden. Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse der neuen Maske, die auf 3D-Modellen der DJI-P4 basieren. Hierbei wurden verschiedene Methoden getestet (N = nur Nadirdaten, N O = Nadir- und Schrägaufnahmen, DEM = Oberflächenmodell

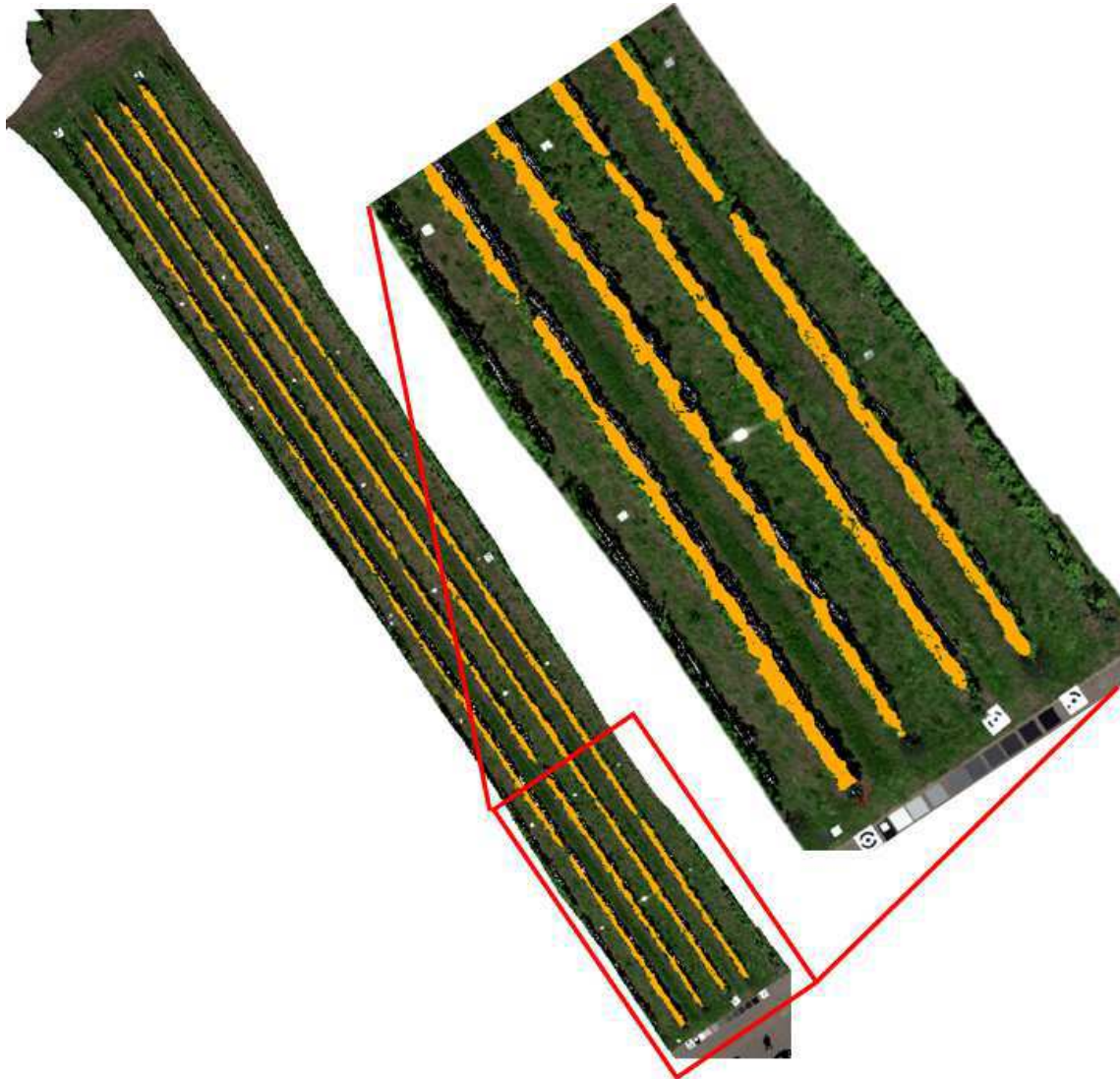
(= Vegetationshöhe) aus Agisoft, Mesh = Meshfunktion aus Agisoft). Verglichen wurden die Ergebnisse mit einer von Hand gezogenen Referenz. Die MLC Maske zeigt hierbei die schlechtesten Ergebnisse, da insbesondere viel Zwischenbegrünung als Wein klassifiziert wurde. Die entspricht auch den Erfahrungen der letzten Jahre, in denen viel manuelle Nachkorrektur nötig war. Alle anderen Masken unterscheiden sich nur wenig in ihren Genauigkeiten. Die Gesamtgenauigkeit, bezogen auf „falsch“ und „nicht“ klassifiziert liegt bei allen Masken zwischen 84 und 86%. Nur bezogen auf „falsch klassifiziert“ zeigten die Nadirdaten mit beiden Agisoftfunktionen (DEM und Mesh) die höchsten Genauigkeiten mit 96%, so dass diese Methoden die erste Wahl für die Erstellung zukünftiger Masken wären.



**Abbildung 18: Vergleich von verschiedenen Masken zur Ausmaskierung des Hintergrunds**

Wie bereits erläutert, konnten auch bei den Nanodaten deutliche Verbesserungen bei der geometrischen Korrektur erzielt werden, so dass die oben beschriebene Maske auf diesen Datensatz angewandt werden konnte. Abbildung 19 zeigt das Ergebnis der überlagerten Maske in einer Echtfarbdarstellung. Eine sehr gute Übereinstimmung der Maske mit den Reben kann verzeichnet werden. Ebenfalls können die neuen radiometrischen Panels, die neuen geometrischen Panels sowie die Alumarker im Bild erkannt werden.





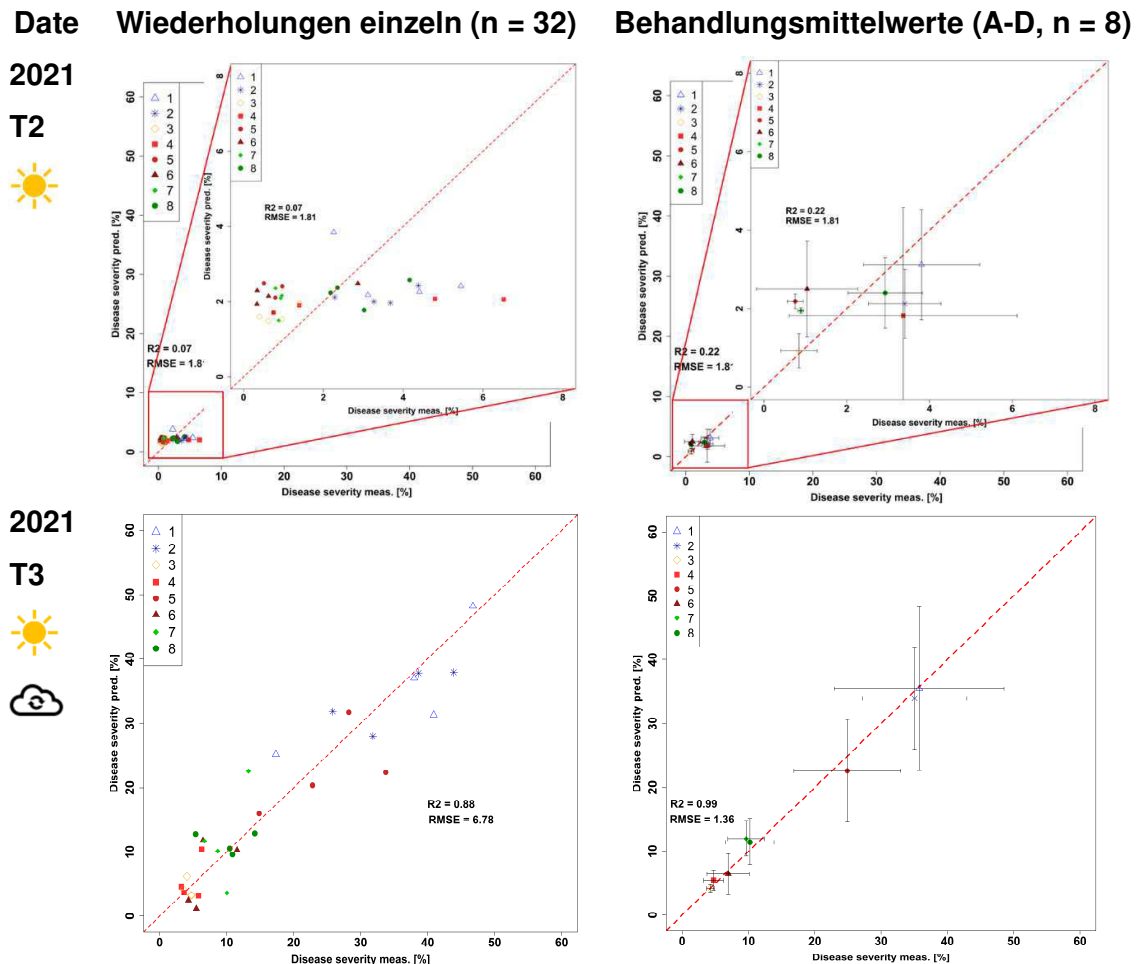
**Abbildung 19: Anwendung der 3D – Höhenmaske auf die Nano-Bilddaten.**

Ergebnisse der PLSR Modellierung mit Daten der Headwall-Nano:

Die PLSR Modelle wurden basierend auf 216 Spektralbändern (499 nm – 978 nm) der Headwall Nano aufgebaut. Die Spektralbänder zwischen 399 – 498 nm (45 Spektralkanäle), genauso wie die Bänder zwischen 979 – 1000 nm (10 Bänder) wurden aufgrund ihres hohen Signal-to-Noise Verhältnis nicht in die Analyse miteinbezogen. Die PLSR – Modelle, die sich auf ein einzelnes Datum beschränken, sind einer Leave-One-Out Kreuzvalidierung (LOO-CV) unterzogen. Eine Vorhersage war aufgrund der geringen Anzahl an Flugterminen in diesem Jahr nicht möglich.

PLSR Modelle wurden zu den jeweiligen Zeitpunkten erstellt. Zum einen gingen alle Plots einzeln (n=32) in die Modellerstellung ein. Zum anderen wurden über die vier Wiederholungen

A-D gemittelten Befallsgrade jedes Treatments erstellt und die zugehörigen gemittelten Spektren zur Berechnung der PLSR genutzt ( $n=8$ ). Beide Ergebnisse für den jeweiligen Untersuchungstag sind in Abbildung 20 dargestellt.



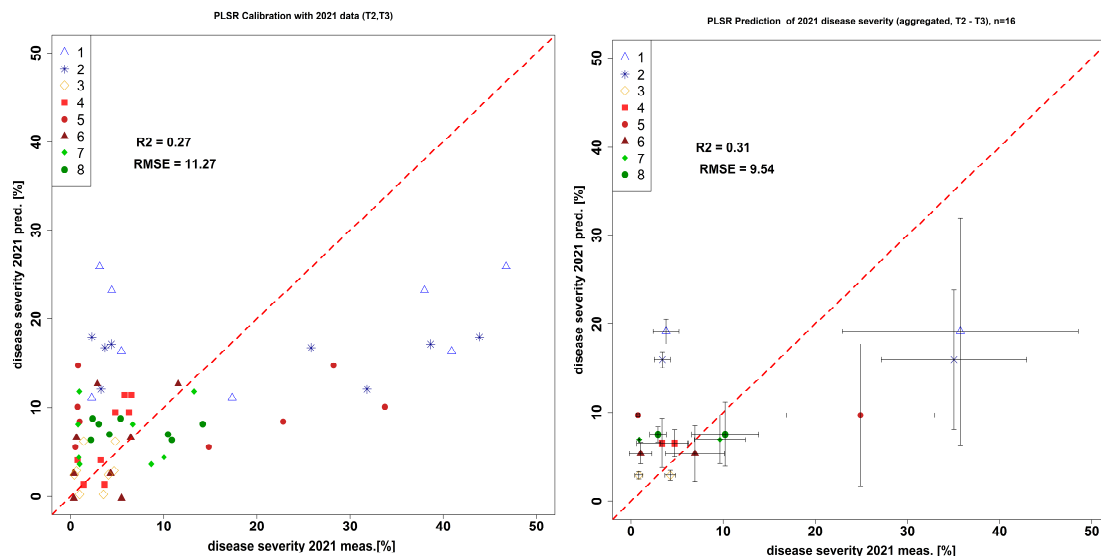
**Abbildung 20: Übersicht der PLSR-Modelle bezogen auf den Befliegungstermin und den dort auftretenden Befallsgrad. Links sind die Modelle der einzelnen Plots dargestellt, auf der rechten Seite die Mittelwerte der vier Wiederholungen (A-D) mit Fehlerbalken, die die Standardabweichung der Bonitur in x,y Richtung um den Mittelwert der jeweiligen Treatments darstellen.**

In diesem Jahr konnten aufgrund der Wettersituation sowie der sehr schnellen Ausbreitung von *Peronospora* nur drei Flüge erfolgreich durchgeführt werden, wobei es erst am zweiten Flugtag (19.7.) eine leichte Ausbreitung (bis 5%) von *Peronospora* beobachtet werden konnte. Das PLSR Modell mit allen 32 Versuchsgliedern vom 19. Juli 2021 lässt keinen Zusammenhang zwischen den spektralen Signaturen und den Boniturdaten erkennen ( $R^2 = 0.07$ ). Wie auch im letzten Jahr, konnte durch die Mittelwertbildung über die Wiederholungen eine Verbesserung des Modells erreicht werden ( $R^2 = 0.22$ ,  $RMSE = 1.81$ ).



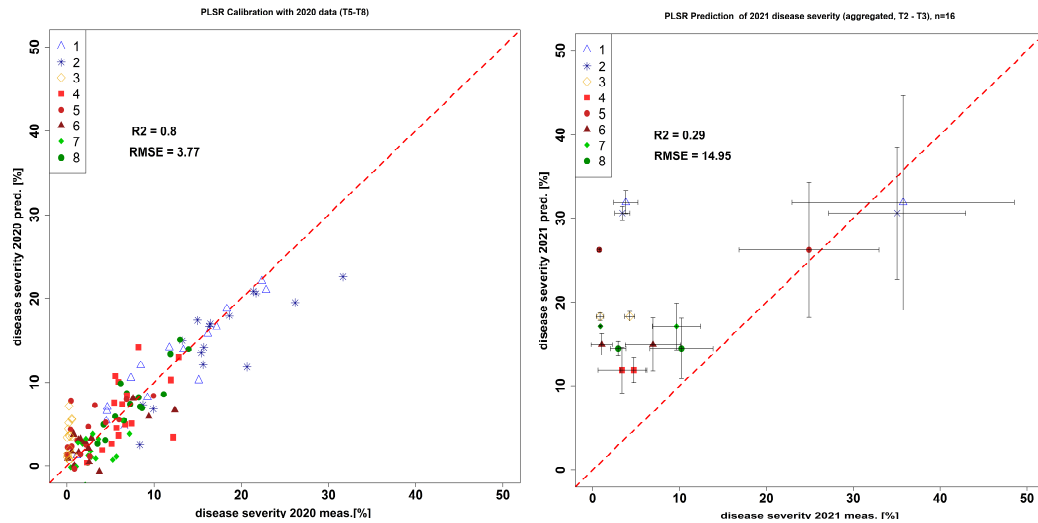
Der Flugtag vom 11. August 2021 war bereits durch einen hohen Peronospera Befall gekennzeichnet (bis 50%). Sowohl das PLSR Modell der Einzelwerte ( $R^2 = 0.88$ ,  $RMSE = 6.78$ ), wie auch das Modell der über die Wiederholungen aggregierten Befallsgrade ( $R^2 = 0.99$ ,  $RMSE = 1.36$ ) weisen gute Zusammenhänge auf.

Darüber hinaus wurde ein PLSR Modell aus den Einzelwerten von T2 und T3 ( $n=64$ ) zusammengenommen erstellt, um die gemittelten Befallsgrade 2021 beider Zeitpunkte zu schätzen (Abbildung 21). Hierbei wurden allerdings die niedrigen Werte über- und die hohen Werte unterschätzt. Leichter Wolkeneinfluss, die sehr niedrigen Befallsgrade am 19.7. sowie große Unterschiede in der Phänologie können mögliche Gründe hierfür sein.



**Abbildung 21: PLSR Modell der Einzelwerte T2 und T3 zur Schätzung des Befallsgrades (links) und Übertragung auf die gemittelten Befallsgrade zum Zeitpunkt T2 und T3. Die Fehlerbalken symbolisieren die Standardabweichung der Bonitur in x,y Richtung vom jeweiligen Mittelwert.**

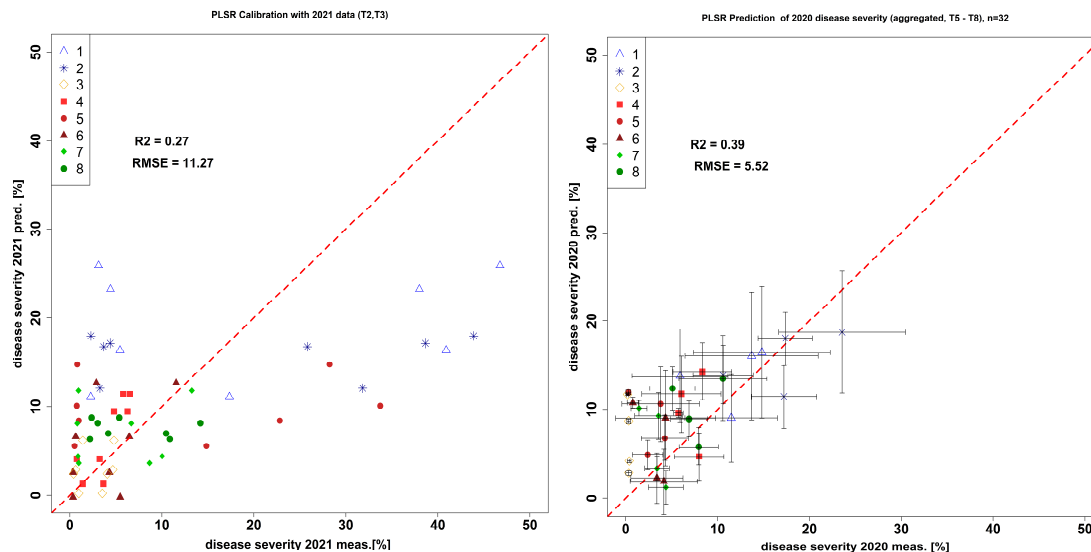
Um die Übertragbarkeit der Modelle aus dem Jahr 2020 auf 2021 zu analysieren wurde ein Modell mit den Daten von 2020 (T5-T8) erstellt, um eine Vorhersage auf die mittleren Befallsgrade 2021 zu erhalten. Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse des Modells (links 2020) und der Vorhersage, der unabhängigen Daten (rechts 2021).



**Abbildung 22: PLSR Modell basierend auf den Einzelwerten des Peronospora-Befalls zu den Zeitpunkten T5 – T8 (n=128) im Jahr 2020 und zur Schätzung des gemittelten Befallsgrades der Zeitpunkte T2 und T3 (n=16) im Jahr 2021. Die Fehlerbalken symbolisieren die Standardabweichung der Bonitur in x,y Richtung vom jeweiligen Mittelwert.**

Interessant dabei ist, dass das Modell die Strukturen, die auch 2021 in der Kalibration zwischen T2 und T3 sichtbar werden, abbilden kann. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass der Wertebereich der Befallsgrade 2020 niedriger ist als 2021, so dass das Modell außerhalb seines Kalibrationsbereiches Werte schätzt bzw. extrapoliert.

Ebenfalls wurde ein Modell basierend auf den Daten von 2021 berechnet, um die Befallsgrade von 2020 zu schätzen. Das PLSR Modell deckt in diesem Fall den gesamten Wertebereich der gemessenen Befallsgrade ab (Abb. 23).



**Abbildung 23: PLSR Modell der Einzelwerte 2021 (links) zur Schätzung der gemittelten Befallsgrade 2020 (T5-T8). Die Fehlerbalken symbolisieren die Standardabweichung der Bonitur in x,y Richtung vom jeweiligen Mittelwert.**

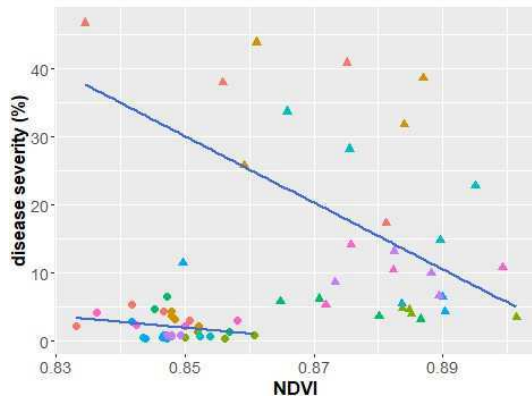
#### Ergebnisse der Vegetationsindizes mit Daten der Headwall-Nano

Im Folgenden werden nur die Ergebnisse der fünf Vegetationsindizes genauer beschrieben, die die besten Ergebnisse gezeigt hatten. Dies waren (1) der NDVI, der eher für die Bestandsstruktur sensitiv ist, (2) der PRI, der schon in den vergangenen Jahren insbesondere bei den Leaf Clip Messungen gut abgeschnitten hatte und eher die photosynthetische Aktivität berücksichtigt, (3) der NDRE, der den NIR und RedEdge Bereich berücksichtigt, der sowohl sensitiv für Chlorophyll ist, aber auch von der Bestandsstruktur beeinflusst wird, (4) der NDRE2, der Wellenlängen im rot und im RedEdge nutzt und (5) der Chl, ein Chlorophyll-Index, der insbesondere die Chlorophyllpigmente in Relation zum Infrarotplateau (700 nm) berücksichtigt, und somit auch Bestandsinformation integriert.

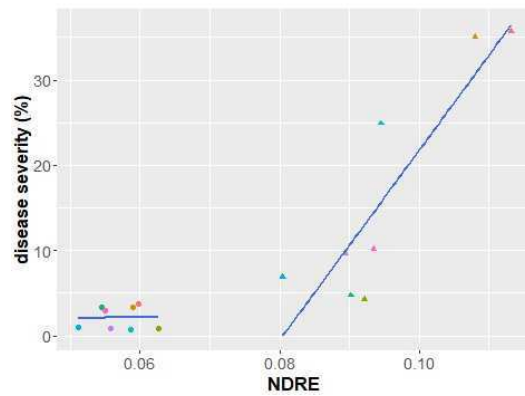
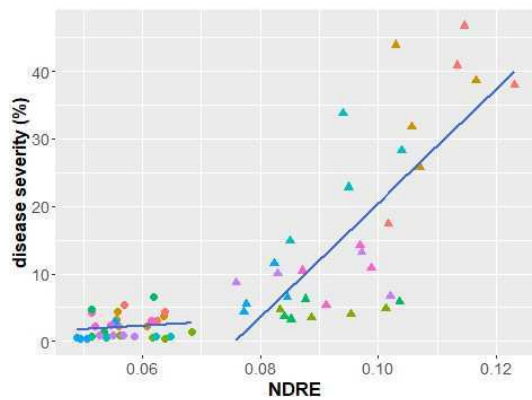
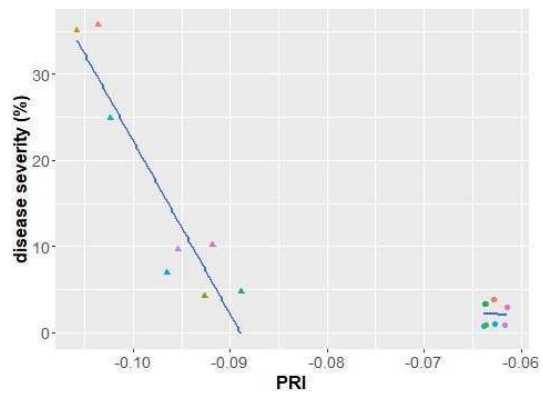
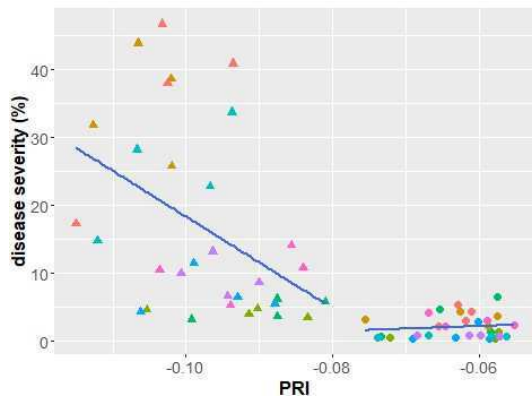
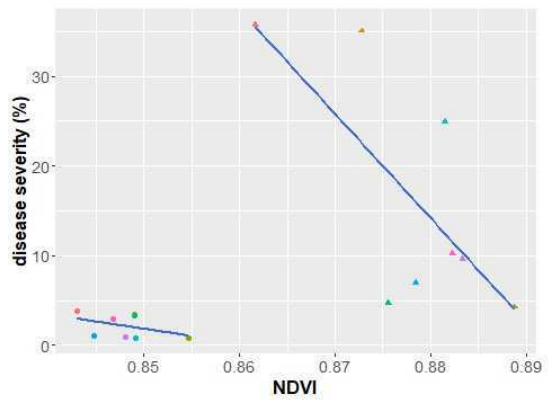
**Tab. 19: Überblick über R2 und RMSEs der verschiedenen Korrelationen zwischen Befallsstärke und Vegetationsindizes im Jahr 2021.**

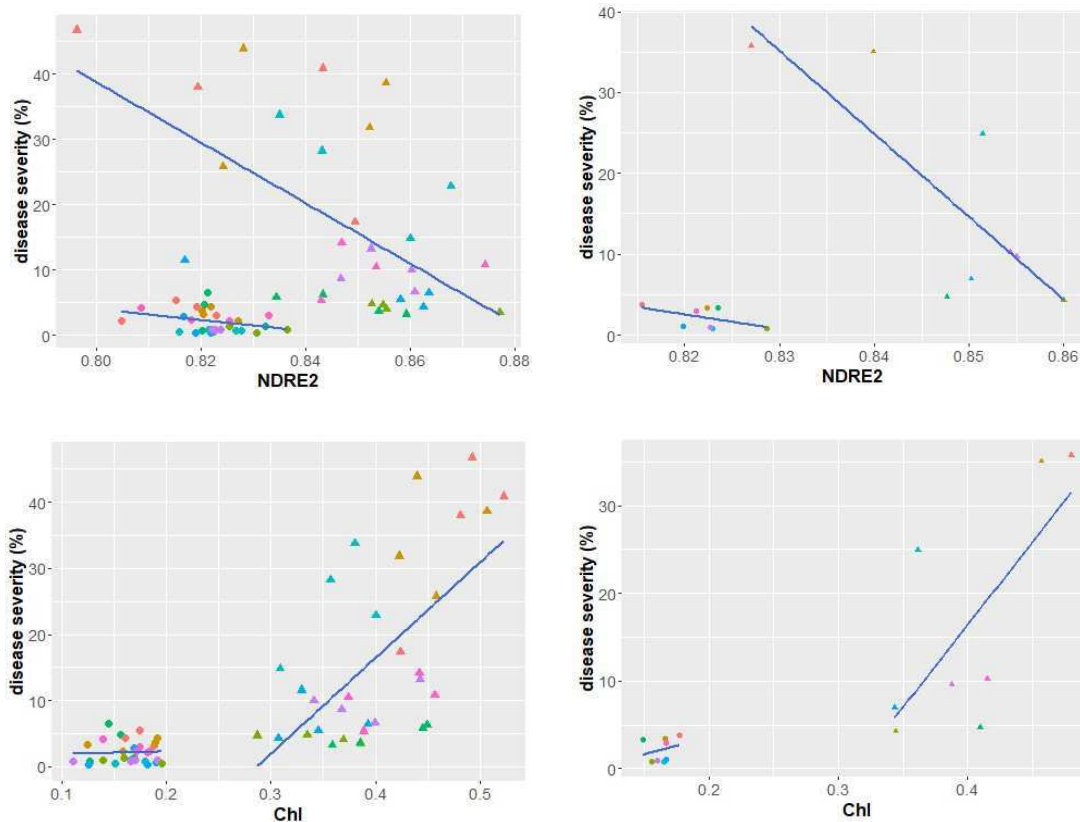
	T2 – 2021-07-19		T3 – 2021-08-11	
Index	R2	RMSE	R2	RMSE
NDVI	0.09	1.60	0.27	11.71
PRI	0.02	1.66	0.19	12.30
NDRE	0.02	1.66	<b>0.55</b>	<b>9.13</b>
NDRE2	<b>0.10</b>	<b>1.59</b>	0.33	11.18
Chl	0.00	1.67	0.39	10.67

Einzelwerte (n=32)



Aggregierte Befallsgrade (disease severity)





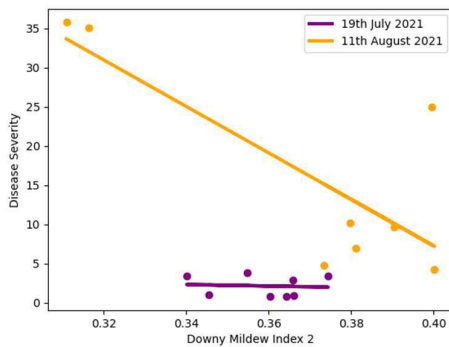
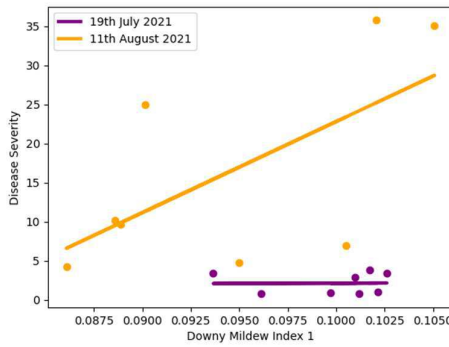
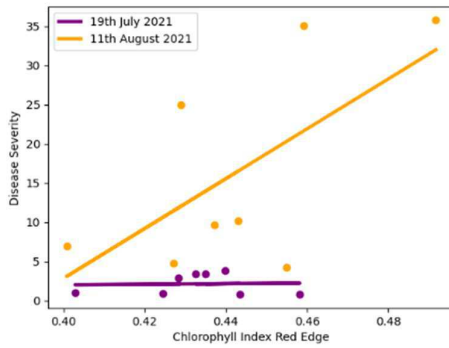
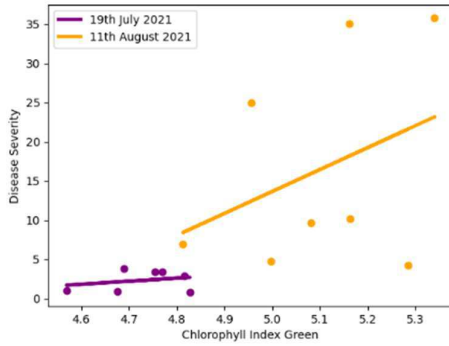
**Abbildung 24: Übersicht des Zusammenhanges der jeweiligen Indizes zu jedem Befliegungszeitpunkt 2021 basierend auf den Einzelwerten (links) und den über die Wiederholungen A-D gemittelten Werten (rechts)**

Alle Indizes zeigen sehr deutliche Unterschiede zwischen den beiden Zeitpunkten trotz einer einheitlichen radiometrischen Korrektur (Abb. 24). Dies lässt sich einen starken Einfluss der Phänologie erklären, insbesondere da die Flüge 3,5 Wochen auseinanderlagen. Auch die Ausmaskierung des Hintergrunds könnte eine Rolle spielen, da die Maske für jeden Zeitpunkt einzeln erstellt wird. Falls bei einem Zeitpunkt weniger Hintergrund ausmaskiert wird als bei einem anderen, kommt es zu Einflüssen auf die spektrale Signatur. Auch hier spielt die Phänologie wiederum eine wichtige Rolle, da der Hintergrund bei einem lichter Blattbestand deutlich schwieriger ausmaskiert werden kann als ein geschlossener, dichter Bestand.

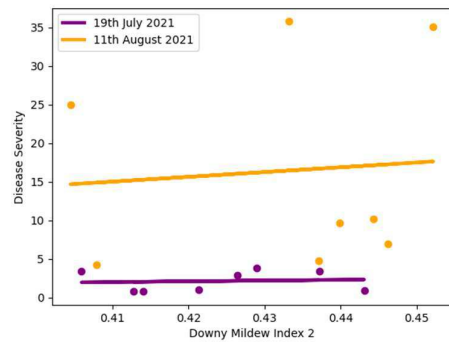
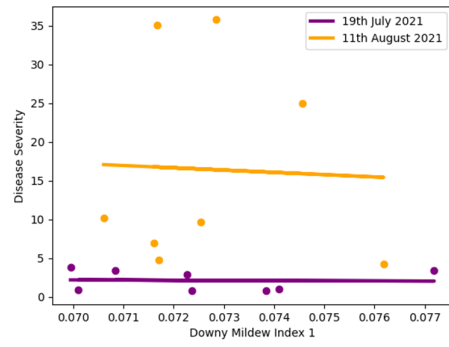
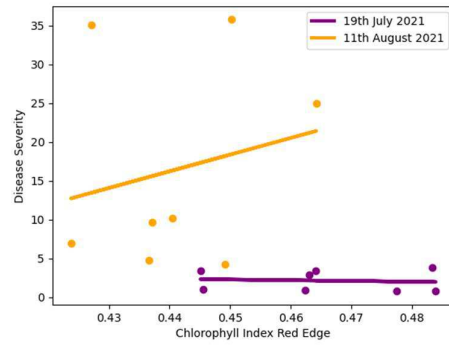
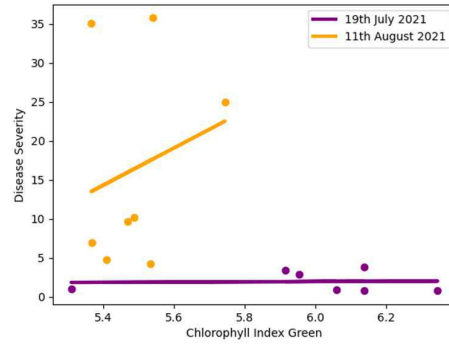
#### **Automatisierte Auswertung der DJI-P4 Daten**

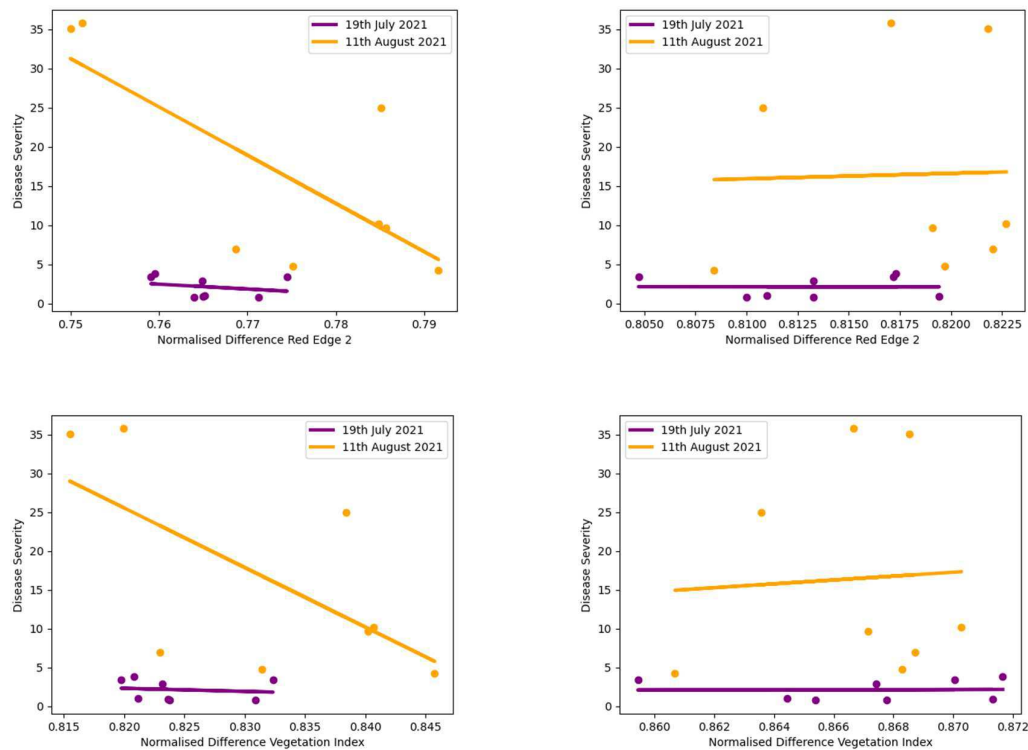
Wie beschrieben, wurden mit Hilfe der DJI-P4 Kamera multispektrale Daten erhoben und automatisch prozessiert. Mit dieser Kamera wurden sowohl Nadir- als auch Schrägaufnahmen gemacht. Aufgrund der geringeren Anzahl an spektralen Bändern sowie der spektralen Breite, können nicht die gleichen Indizes wie oben für die Nano Daten berechnet werden.

### Nadir



### Schrägaufnahmen





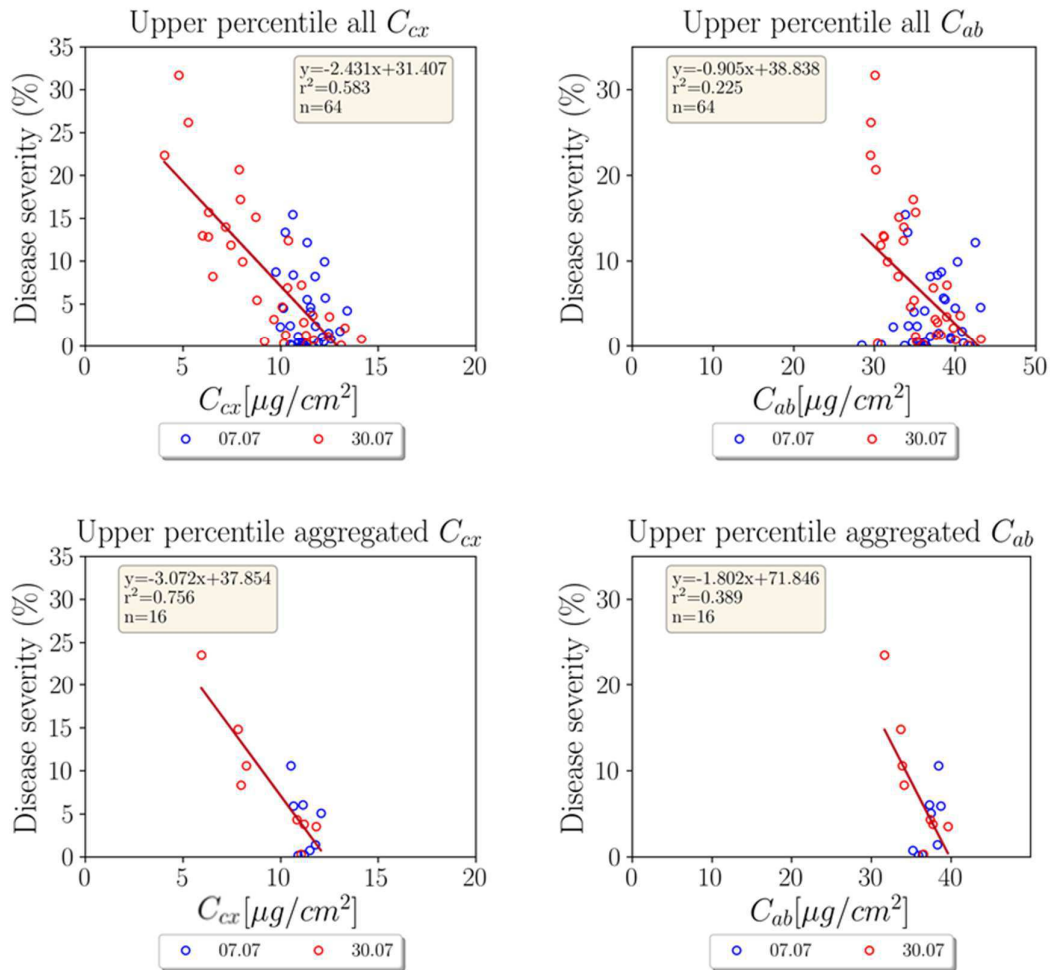
**Abbildung 25: Zusammenhang zwischen den Vegetationsindizes basierend auf den DJI-P4 Daten mit der Befallsstärke (links Nadirdaten, rechts Schrägaufnahmen).**

Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse der aggregierten Nadiraufnahmen sowie der Schrägaufnahmen. Bei der Nadiraufnahmen konnten die besten Ergebnisse mit dem DownyMildewIndex2 ( $R^2=0.62$ ) sowie dem NDRE2 ( $R^2=0.55$ ) erzielt werden. Für die Schrägaufnahmen hingegen gab es für alle Indizes und Daten keine guten Ergebnisse, was auf einen erhöhten Einfluss von Hintergrund sowie BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) Effekte erklärt werden kann.

### Modellierung der Pigmente:

Mit Hilfe einer Modellinvertierung des Strahlungstransfermodells Prosail-D wurde der Carotinoid-Gehalt ( $C_{cx}$ ) und Chlorophyllgehalt ( $C_{ab}$ ) geschätzt. Zwei Zeitpunkte (07.07.20 und 30.07.20) wurden für diese Schätzungen kombiniert und zeigen dabei kein Clusterverhalten (Abb. 26). Dies bestätigt die Annahme, dass Strahlungstransfermodelle unabhängiger von Phänologie und somit Raum und Zeit sind als statistische Modelle. Sowohl die Carotinoid- als auch Chlorophyllkonzentration nehmen bei steigendem Befall ab.





**Abbildung 26: Schätzung des Carotinoidgehalts (C<sub>cx</sub>, links) und Chlorophyllgehalts (C<sub>ab</sub>, rechts) mit Hilfe einer Prosail-Invertierung für zwei Zeitpunkte in 2020 (07.07.20 und 30.07.20). Die oberen Plots zeigen die Einzelwerte und die unteren die aggregierten Werte der vier Wiederholungen.**

Die Modellergebnisse können auch auf Bilddaten angewandt werden. Abbildung 27 zeigt dabei beispielhaft vier Plots mit starken Unterschieden in der Befallstärke, insbesondere für den späteren Termin am 30.07.20. Für diesen Termin lässt sich auch in der Schätzung der Pigmente eine Reduktion der Konzentration für stark befallene Plots erkennen, wie beispielsweise der Plot mit einer Befallstärke von 31,67%. Allerdings ist der Hintergrund stark abgebildet, da für 2020 noch keine 3D-Maske angewandt werden konnte. Die Ergebnisse sind jedoch sehr vielversprechend und werden im nächsten Jahr weiterverfolgt.

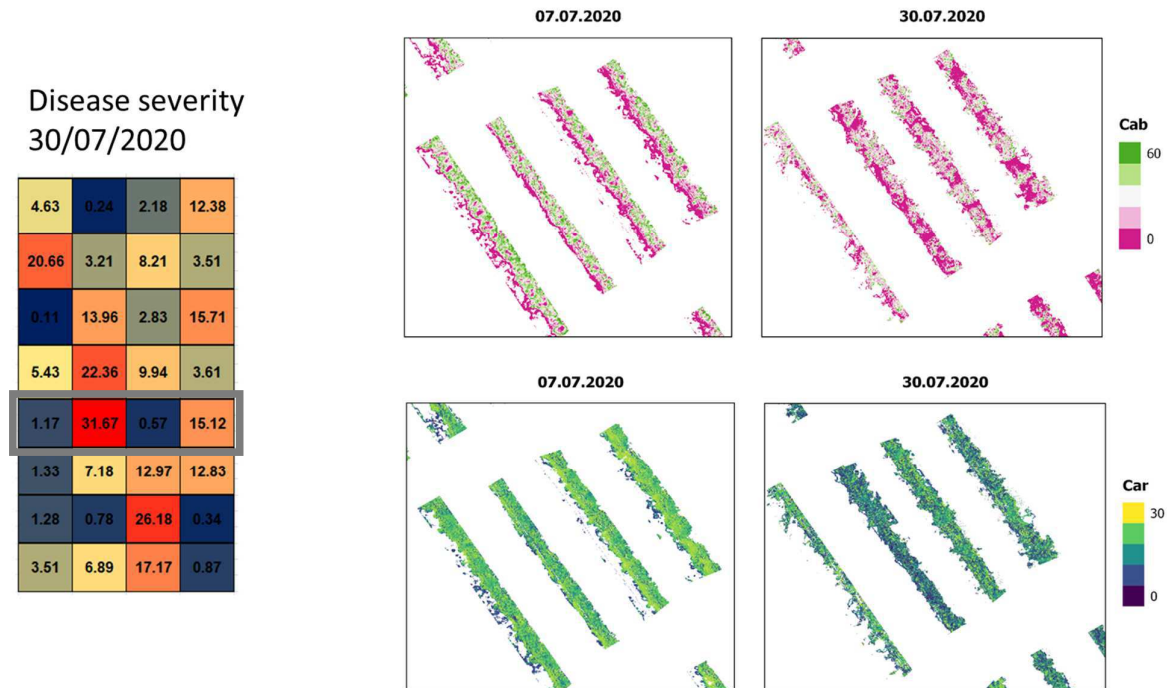
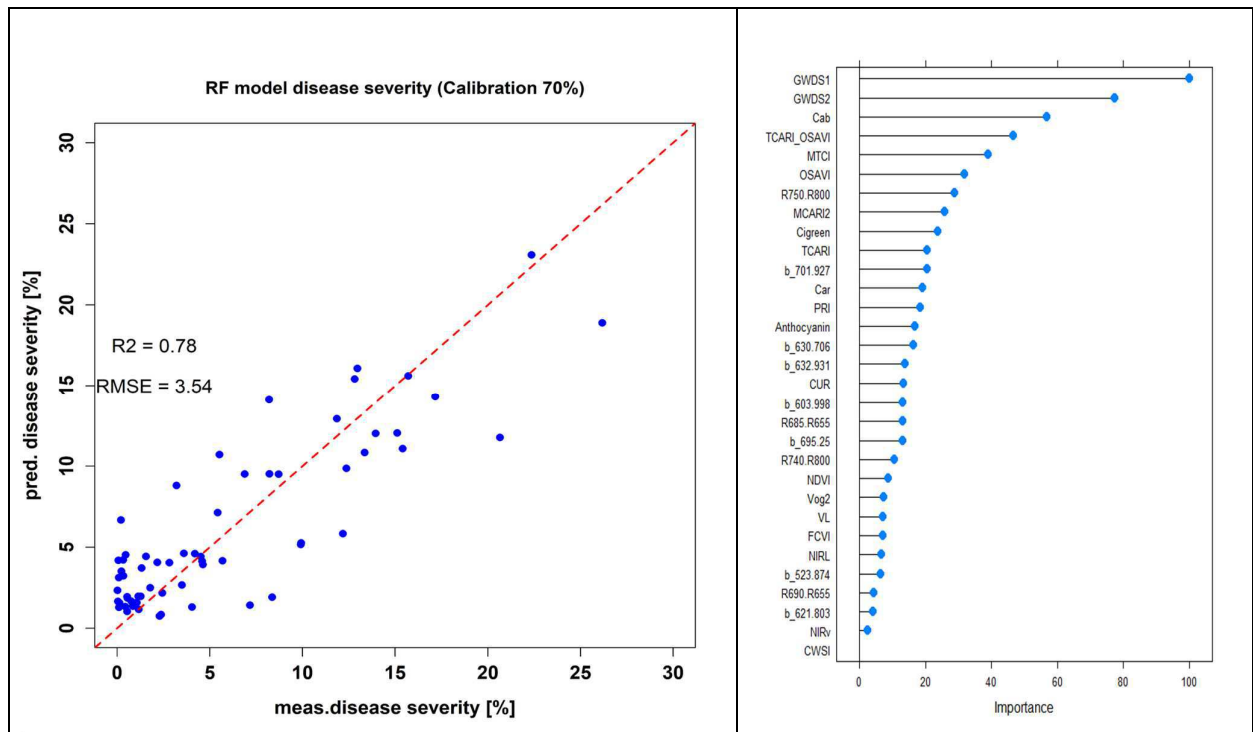


Abbildung 27: Schätzung des Carotinoid- (unten) und Chlorophyllgehalts (oben) auf Pixelebene und im Vergleich die Boniturdaten für den 30.07 (links).

### Schätzung des Befallsgrades mit Hilfe eines Random Forest und aller berechneten Parameter:

Abschließend wurden mit allen berechneten Indizes, Pigmenten, den informationsreichsten Bänder sowie dem CWSI für die beiden Zeitpunkte 07.07.20 und 30.07.20 ein Random Forest erstellt. Dabei wurden 70% der Daten für den Modellaufbau genutzt und mit 30% wurde das Modell validiert. Dabei kann auch die *Importance* für jeden Parameter angegeben werden, der eine Aussage über seine Wichtigkeit für das Modell trifft (Abb. 28). Der Random Forest Ansatz schätzt die Befallsstärke für die unabhängigen Daten sehr gut mit einem Fehler von 3,5%. Der Importance Plot zeigt, dass verschiedenen Vegetationsindizes sowie der Chlorophyllgehalt besonders wichtig für die Schätzung der Befallsstärke sind. Der CWSI geht allerdings als letztes mit sehr geringer Wichtigkeit ein. Das kann zum einen an den kontrastarmen Daten liegen, die insbesondere schon durch leichte Windverwirbelungen während der Aufnahme gestört werden können. Zum anderen können auch geometrische Ungenauigkeiten und Schwierigkeiten beim Ausmaskieren des Hintergrunds verantwortlich sein, was bei den Thermaldaten nochmals deutlich schwieriger ist als bei den Nanodaten. Hier werden noch weitere Verbesserungsversuche im nächsten Projektjahr folgen.



**Abbildung 28:** Rechts: Validierung des Random Forest, der mit allen verfügbaren Parametern erstellt wurde (Indizes, Pigmente, die informationsreichsten Bänder sowie dem CWSI für die beiden Zeitpunkte 07.07.20 und 30.07.20); Links: *Importance Plot* des Random Forest, der alle Eingangsparameter nach Wichtigkeit für die Modellerstellung sortiert.

### 3.5 Versuch Ya Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Integrierten Weinbau

#### 3.5.1 Befallsverlauf an den Blättern

Tab. 20: Befallsstärken (in %) des Falschen Mehltaus an den Blättern im Verlauf des Jahres im Versuch Ya im Jahr 2021.

VG	Strategie	Infektionstyp	07.07.	19.07.	03.08.
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inok	0,36	4,69	29,81
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inok	0,60	5,73	34,14
3	Folpan 80 WG	künstliche Inok	0,32	1,34	17,08
4	Vincare 3x	künstliche Inok	0,13	0,60	10,95
5	Prevint 3x	künstliche Inok	0,19	0,35	10,44
6	Mildicut 3x	künstliche Inok	0,22	0,88	9,51
7	Sanvino 3x	künstliche Inok	0,08	1,87	13,75
8	Profler 3x	künstliche Inok	0,03	0,08	5,90
9	Valiant Flash 3x	künstliche Inok	0,07	0,32	9,55
10	Zorvec Zelavin 3x	künstliche Inok	0,15	0,31	2,99

Am letzten Boniturtermin (03.08.2021) wurden folgende Wirkungsgrade an den Blättern in Bezug auf das Versuchsglied 2 erzielt: 50 (Folpan), 68 (Vincare), 69 (Prevint), 72 (Mildicut), 60 (Sanvino), 83 (Profler), 72 (Valiant Flash) und 91 % (Zorvec Zelavin). D.h. das Kontaktmittel Folpan zeigte den geringsten Wirkungsgrad, Zorvec Zelavin den den höchsten und alle anderen Produkte lagen in ihrem Wirkungsgrad dazwischen (Tab.20).

### 3.5.2 Befallsverlauf an den Trauben

Tab. 21: Befallsstärken (in %) des Falschen Mehltaus an den Trauben im Verlauf des Jahres im Versuch Ya im Jahr 2021.

VG	Strategie	Infektionstyp	03.08.	16.08.
1	unbehandelte Kontrolle	ohne künstliche Inok	30,57	58,66
2	unbehandelte Kontrolle	künstliche Inok	40,61	64,37
3	Folpan 80 WG	künstliche Inok	10,83	31,55
4	Vincare 3x	künstliche Inok	2,69	16,11
5	Prevint 3x	künstliche Inok	3,01	11,50
6	Mildicut 3x	künstliche Inok	5,82	13,22
7	Sanvino 3x	künstliche Inok	5,18	10,01
8	Profiler 3x	künstliche Inok	1,03	7,34
9	Valiant Flash 3x	künstliche Inok	0,86	9,47
10	Zorvec Zelavin 3x	künstliche Inok	0,13	0,21

Am letzten Boniturtermin (16.08.) wurden Befallsstärken an den Trauben zwischen 0,21 (VG 3) und 64% (VG 2) erfasst (Tab. 21). An diesem Termin wurden folgende Wirkungsgrade in Bezug auf das Versuchsglied 2 erzielt: 51 (Folpan), 75 (Vincare), 82 (Prevint), 79 (Mildicut), 84 (Sanvino), 89 (Profiler), 85 (Valiant Flash) und 99,7 % (Zorvec Zelavin). D.h. das Kontaktmittel Folpan zeigte den geringsten Wirkungsgrad, Zorvec Zelavin den den höchsten und alle anderen Produkte lagen in ihrem Wirkungsgrad dazwischen. Zorvec Zelavin konnte Traubenbefall fast komplett verhindern (Tab. 21).

## 3.6 Versuch AA Monitoring symptomatischer Esca-Stöcke

### 3.6.1 Ergebnisse der Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke

Die Bonitur auf Symptome des Esca-Komplexes erfolgte am 20.09.2021.

Insgesamt wurden 7503 Rebstöcke erfasst. Von diesen zeigten 65,8% (4936) keine Symptome des Esca-Komplexes, 21,1% (1580) waren abgestorben oder nicht mehr existent und 13,2% (987) waren symptomatisch. Von diesen symptomatischen Stöcken zeigten 10% eine Apoplexie, 58% Blattsymptome und 56% Beerensymptome.

Die räumliche Verteilung ist aus Abb. 29 ersichtlich.

0	Ertragsstock
1	Apoplexie
2a	Blatt leicht
2b	Blatt mittel
2c	Blatt stark
3a	Trauben leicht
3b	Traube mittel
3c	Traube stark
x	Fehlstock

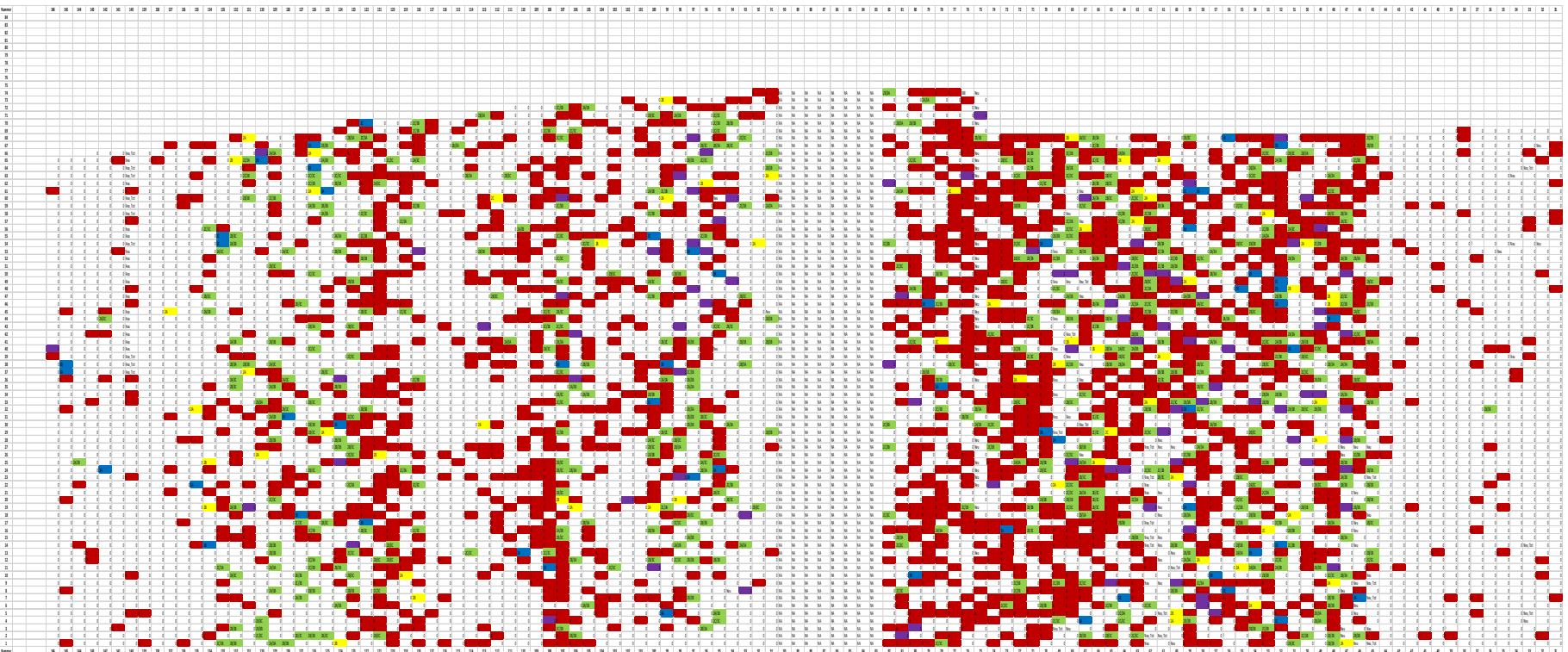


Abbildung 29: Räumliche Verteilung der Rebstöcke mit Blattsyptomen des Escra-Komplexes und Fehlstöcken (rot) in der Rebanlage „Berg“ des IVV. Erfassung am 20.09.2021.

Die vergleichenden Analysen Entwicklung der symptomatischen Stöcke in den Jahren 2017 bis 2021 ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen. Diese Ergebnisse sowie der Ergebnisse fernerkundlicher Untersuchungen zur Erfassung des Esca-Befalls werden im Rahmen des Projektes MonESCA kommuniziert.

### 3.7 Bestandsklima in den verschiedenen Erziehungssystemen

Zwischen den Weinreben des Weinberges entwickelt sich in Abhängigkeit von der Pflanzdichte, der jeweiligen Böden, sowie der Erziehungsart der Reben ein bodennahes Bestandsklima, das im Vergleich mit dem übergeordneten Makroklima eine höhere Variabilität aufweist. Vor allem bei autochthonen Wetterlagen (Windstille und Strahlungswetter) kann es von der Witterung des weiteren Umfeldes beträchtlich abweichen.

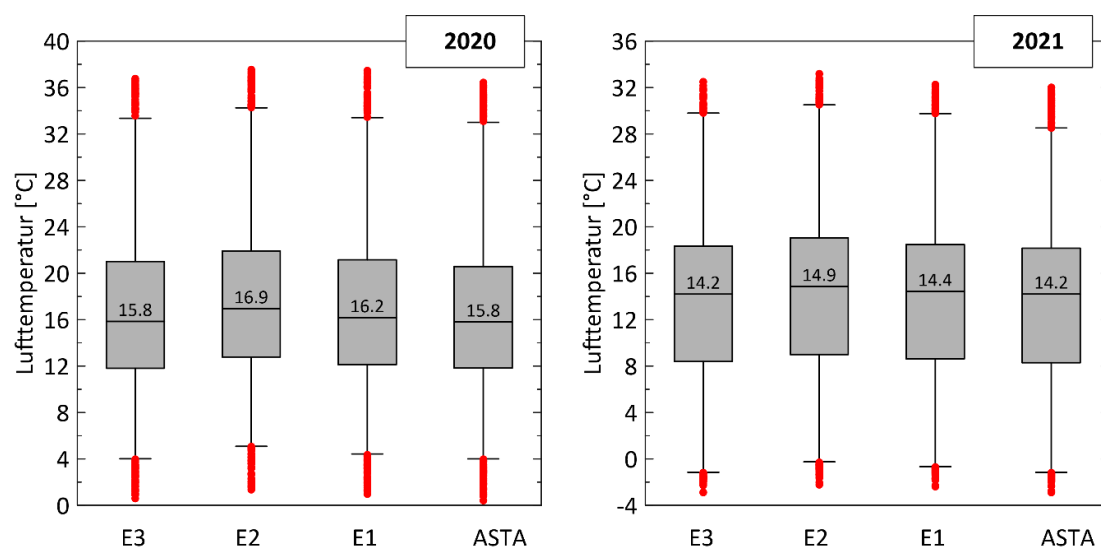
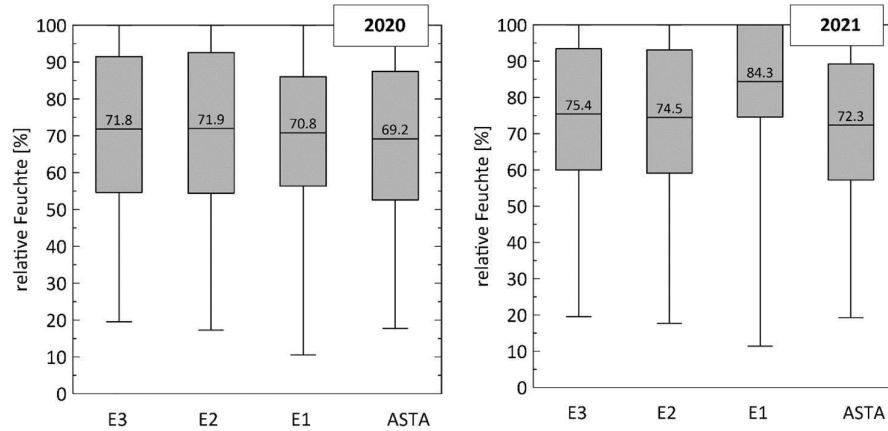


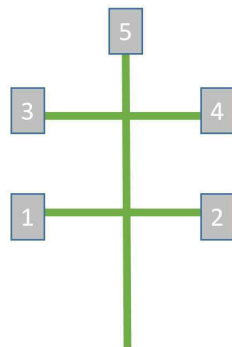
Abbildung 30: Boxplots der Lufttemperaturen während des Messzeitraum 2020 links (8.5.2020-5.11.2020), sowie 2021 rechts (13.3.2021-16.8.2020); Whiskers = 1 und 99 Perzentil.



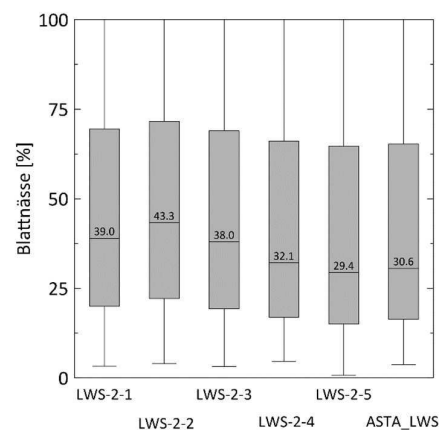


**Abbildung 31: Boxplots der relativen Feuchte während des Messzeitraum 2020 links (8.5.2020-5.11.2020), sowie 2021 rechts (13.3.2021-16.8.2020); Whiskers = Minimum und Maximum.**

So können je nach Erziehungsart in einem Weinberg die bodennahen Lufttemperaturen um 3° C bis 5° C über denen des Umfeldes außerhalb des Rebbestandes liegen. Je nach vorherrschender Witterung kann auch die Luftfeuchtigkeit im Rebbestand um einige Prozent höher als in der Umgebung liegen. Die Boxplots in den Abbildungen 30 und 31 zeigen die Lufttemperaturen, sowie die relative Feuchte in den unterschiedlichen Erziehungsarten E1, E2, E3 (vgl. Abbildung 6) mit der freistehenden automatischen Wetterstation der ASTA. Jede der automatischen Wetterstationen wurde mit jeweils fünf Blattnässesensoren ausgestattet, deren Anordnung in Abbildung 32 dargestellt ist.

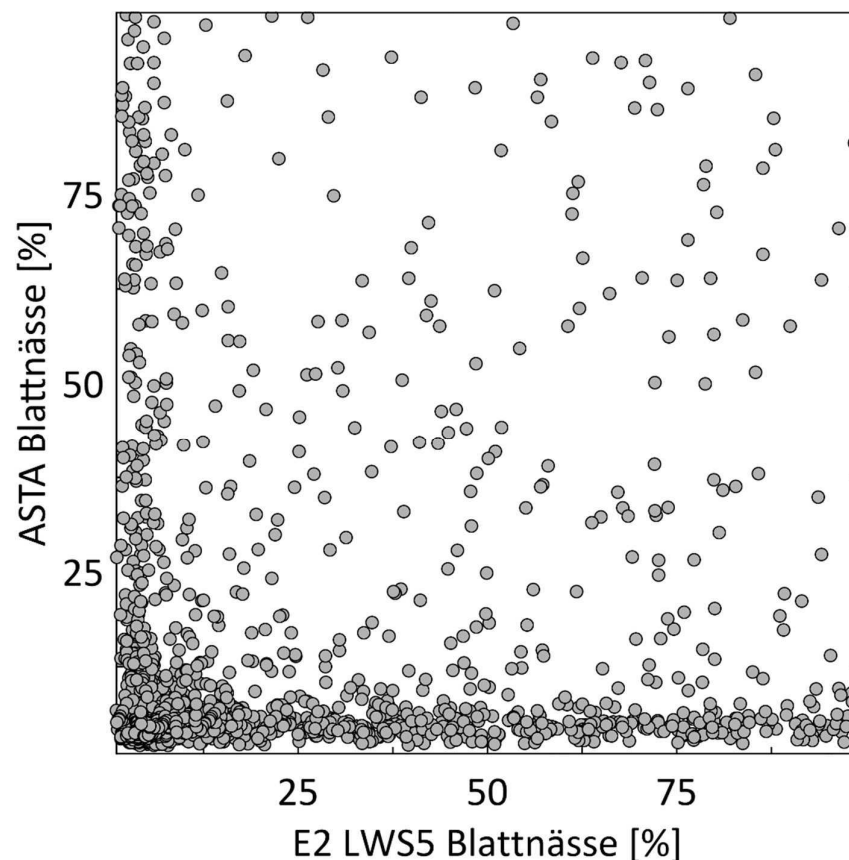


**Abbildung 32: Anordnung der Blattnässesensoren an den automatischen Wetterstationen.**



**Abbildung 33: Boxplots der Blattnässesensoren LWS1 bis LWS5 in Prozent während des Messzeitraum 2021 (13.3.2021-16.8.2020); Whiskers = Minimum und Maximum für die Erziehungsart E2.**

Die Boxplots in Abbildung 33 zeigen die Unterschiede zwischen den 5 Blattnässesensoren LWS1 bis LWS5 in der Erziehungsart E2 im Vergleich zu den Messwerten der ASTA Station. Im Mittel zeigen die unterhalb der Laubwand installierten Sensoren leicht höhere Werte der Blattnässe, während der Sensor LWS5 oberhalb der Laubwand im Mittel sehr ähnliche Werte im Vergleich zu der ASTA Station liefert. Die Form der Boxplot weisen jedoch schon auf eine relativ hohe Variabilität der zugrundeliegenden Daten hin. Dies bestätigt das Scatterplot in Abbildung 34. Die Messwerte in einer stündlichen Auflösung zeigen keinerlei Zusammenhang zwischen den Blattnässewerten der freistehenden ASTA Station sowie den Messungen im direkten Bestand.



**Abbildung 34: Scatterplot der stündlichen Blattnässewerte während des Messzeitraum 2021 (13.3.2021-16.8.2020) des LWS Sensors 5 und der ASTA Station.**

Im weiteren Verlauf des Projektes wird analysiert werden *i)* ob bei höherer zeitlicher Aggregation der Messwerte ein besserer Zusammenhang zu erkennen ist, *ii)* ob mittels nicht linearer Methoden ein Zusammenhang abgebildet werden kann, sowie *iii)* ob die Messwerte des Blattnässe im Bestand eine genauere Vorhersage der Krankheiten im Bestand ermöglicht.

## 4 Zwischenfazit

Das seit 2013 durchgeführte **Scaphoideus titanus-Monitoring** lieferte keinerlei Hinweise auf das Vorkommen des Vektors der Flavescence dorée im Luxemburger Weinbauggebiet. Um die Voraussetzungen zur Beantragung einer Flavescence dorée-Schutzzone für Luxemburg zu erfüllen, wird das Monitoring in den Folgejahren fortgeführt.

Le **monitoring** de *D. suzukii* a montré une activité de vol importante en septembre 2020 et des pontes concentrées sur les variétés tardives et plus particulièrement Pinotin. Concernant les essais de lutte contre *D. suzukii* avec des produits naturels, des expérimentations ont été menées en laboratoire et dans le vignoble. Au laboratoire, les produits Surround et Cutisan ont permis la diminution de l'activité de ponte mais n'ont pas eu d'effet répulsif. Le produit CaCO<sub>3</sub> n'a pas aucun effet sur *D. suzukii*. Au vignoble, aucun produit testé n'a eu d'effet sur l'activité de ponte. Concernant l'activité de vol, Surround a un effet répulsif significatif, Cutisan un léger effet répulsif et le CaCO<sub>3</sub> un effet légèrement attractif.

Im Versuch zur **fernerkundlichen Erkennung des Peronospora-Befalls** wurde im Versuchsjahr 2021 ein hohes Befallsniveau erreicht – sowohl an den Blättern als auch an den Trauben. Hierbei zeigte die Variante des integrierten Weinbaus gute Wirkungsgrade. Aufgrund des recht späten Befallsaufbaus waren die Wirkungsgrade der Phosphorigen Säure (sowohl solo als auch in Kombination) in diesem Jahr gering.

Wie 2017 und 2018 und 2020 stellte sich die angestrebte Variabilität innerhalb des Versuchsfeldes ein, so dass die Grundlage für die Kalibrierung eines Befallsstärken-Modells anhand der fernerkundlichen Daten gegeben war.

Mithilfe der hyperspektralen Nano-Daten und einem multivariaten statistischen Verfahren, der PLSR, konnten sehr gute Zusammenhänge für die einzelnen Versuchstage zwischen den Fernerkundungsdaten und dem Befallsgrad beobachtet werden. Wie auch die letzten Jahre waren insbesondere die sehr niedrigen Werte eher schwierig und zeigten eine starke Streuung. Aufgrund der schlechten Wetterlage und des sehr raschen Ausbreitens des Peronospora-Befalls konnten nur zwei auswertbare Flugtage durchgeführt werden und hier zeigte nur einer einen deutlichen Befall. Dafür wurden in diesem Jahr große Fortschritte bei der Automatisierung erzielt. Die Auswertung der Multispektraldaten erfolgt fast vollständig automatisch. Die Prozessierung der Nanodaten konnte auch deutlich verbessert werden so dass die Lagegenauigkeit eine Kombination von verschiedenen Datensätzen erlaubt.

Neben der Automatisierung wurden neue Methoden getestet. So wurde aus den Thermaldaten der CWSI berechnet und mit der Invertierung von Strahlungstransfermodellen wurden

Pigmentgehalte (Chlorophyll, Carotinoide, braune Blattbestandteile) geschätzt. Beide Datensätze wurden wiederum mit *machine learning* Algorithmen analysiert, um die Befallsstärke zu schätzen. Diese Ansätze sind unabhängig von Phänologie und daher besser geeignet, um sie räumlich und zeitlich zu übertragen, was durch die vielversprechenden Ergebnisse bestätigt wurde.

Der Versuch **Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Integrierten Weinbau** brachte im Jahr 2021 aufgrund des hohen Befallsdruckes interessante Ergebnisse. Während das Kontaktmittel Folpan bei durchgehendem Einsatz nur Wirkungsgrade von rund 50% an Blättern und Trauben erzielte, waren alle übrigen getesteten Produkte bei dreimaligem Einsatz in der Phase der höchsten Anfälligkeit an beiden Organen wirksamer. Als effizientestes Präparat stellte sich Zorvec Zelavin heraus, welches Traubenbefall nahezu komplett verhindern konnte.

Die Erfassung der **Esca**-symptomatischen Rebstöcke im Weinberg „Berg“ des IVV zeigte, dass deren Anzahl relativ hoch ist und über alle Sorten hinweg durchschnittlich 13% (2021) erreicht. Weiterhin ist zu vermuten, dass ein großer Anteil der „Fehlstöcke“, welche 21% (2021) der Gesamtpflanzenzahl ausmachen, in den letzten Jahren an den Folgen des Esca-Komplexes abgestorben ist. Zwischen den Erfassungen 2017 und 2021 ist der Anteil abgestorbener Reben von 14 auf 21% angestiegen. Generell wurden starke Rebsortenunterschiede deutlich. Die vergleichenden Analysen der symptomatischen Stöcke in den Jahren 2017 bis 2021 ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen. Die Ergebnisse werden im Rahmen des Projektes MonESCA kommuniziert.

In den nächsten Jahren soll dieser Weinberg im Rahmen des MonESCA Projektes weiterhin intensiv untersucht werden, um eine weitere Ausweitung des Anteils symptomatischer Reben sowie spontane Genesungen zu erfassen und mögliche Befallsmuster zu erkennen.

Die Erfassung des Bestandsklimas mittels mikrometeorologischer Messungen wird in 2022 fortgesetzt. Des Weiteren erfolgt der Vergleich der Blattnässemessungen im Bestand mit den Messwerten der ASTA Station am IVV mit dem Ziel eine Transferfunktion zu erstellen. Diese ermöglicht eine realistischere Darstellung des Eingangsparameters Blattnäse in verschiedenen Schadmodellen für z.B. Pilzinfektionen.

## 5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Institut Viti-Vinicole für die finanzielle Unterstützung, die Bereitstellung der Versuchsflächen sowie die Mithilfe bei der Durchführung der Untersuchungen im Weinberg, im Labor und im Keller. Weiterhin gilt ein besonderer Dank Sophie Römer, Mareike Schultz, Christopher Simon, Robert Mannes, Serge Fischer, Serge Garidel, Paul Zahlen, Jeff Lafleur, Joelle Koch, Heidi Litjens, Doriane Dam und Marine Pallez-Barthel für die Mitarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche. Michael Eickermann sei für die Unterstützung der entomologischen Bestimmungen im Rahmen des *S. titanus* Monitorings sowie für die Beratung bei der Methoden-Entwicklung für das Kirschessigfliegen-Monitoring und die -Bekämpfungsversuche gedankt. Weiterhin danken wir allen Winzern, die ihre Weinberge für die Monitoring-Programme zur Verfügung gestellt haben.

## 6 Literaturverzeichnis

- BELLAMY, D. E., SISTERTON, M. S. & WALSE, S. S. 2013. Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *PLoS ONE*, 8, e61227.
- GAMON, J. A., PEÑUELAS, J. & FIELD, C. B. 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90059-S](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90059-S).
- GITELSSON, A., MERZYLAK, M. N., 1994. Spectral Reflectance Changes Associated with Autumn Senescence of *Aesculus Hippocastanum* L. and *Acer Platanoides* L. Leaves. Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation. *Journal of Plant Physiology* 143(3):286–92. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81633-0](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81633-0)
- GITELSON, A. A., GRITZ, Y. & MERZLYAK, M. N. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, 160, 271-282.
- HERRMANN, I., PIMSTEIN, A., KARNIELI, A., COHEN, Y., ALCHANATIS, V. & BONFIL, D. J. 2010. Assessment of leaf area index by the red-edge inflection point derived from venus bands. *Hyperspectral 2010 Workshop*.
- IPACH, R., HUBER, B., HOFMANN, H. & BAUS, O. 2005. *Richtlinie zur Prüfung von Wachstumsregulatoren zur Auflockerung der Traubenstruktur und zur Vermeidung von Fäulnis an Trauben. Outline for an EPPO-guideline.*
- JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J.; PINTER, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17, 1133–1138.
- KAMINSKI, K. 2021. First presence (confirmed) of Grapevine flavescence dorée phytoplasma in GERMANY (RHEINLAND-PFALZ). Notification of the presence of a pest to the comission and other member states, Outbreak No. 1280. 2021-01-04.
- LORENZ, D. H., EICHHORN, K. W., BLEIHOLDER, H., KLOSE, R., MEIER, U. & WEBER, E. 1995. Phenological growth stages of the grapevine, *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*. Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1, 100-103.
- OERKE, E.-C., HERZOG, K. & TÖPFER, R. 2016. Hyperspectral phenotyping of the reaction of grapevine genotypes to *Plasmopara viticola*. *Journal of Experimental Botany*, doi:10.1093/jxb/erw318.
- RETZLAFF, R., MOLITOR, D., BEHR, M., BOSSUNG, C., ROCK, G., HOFFMANN, L., EVERS, D. & UDELHOVEN, T. 2015. UAS-based multi-angular remote sensing of the effects of soil management strategies on grapevine. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 49, 85-102.
- ROUSE, J. W., HASS, R. H., SCHELL, J. A. & DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 309-317.
- UDELHOVEN, T., DELFOSSE, P., BOSSUNG, C., RONELLENFITSCH, F., MAYER, F., SCHLERF, M., MACHWITZ, M. & HOFFMANN, L. 2013. Retrieving the Bioenergy Potential from Maize Crops Using Hyperspectral Remote Sensing. *Remote Sensing* 5(1):254–73.
- VLACH, J. 2013. Identifying *Drosophila suzukii*. <https://www.oregon.gov/ODA/shared/Documents/Publications/IPPM/SpottedWingDrosophilaIDKey.pdf>.
- WOLD, S., SJÖSTRÖM, M., ERIKSSON, L. 2001. PLS-Regression: A Basic Tool of Chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 58, 109-130
- YU, K., LENZ-WIEDEMANN, V., CHEN, X. & BARETH, G. 2014. Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, 58-77.

## 7 Anhang

### 7.1 Phänologische Entwicklung 2021

Tab A1: Daten des Erreichens der phänologischen Entwicklungsstadien gemäß BBCH-Code (Lorenz et al., 1995) in den Versuchsfeldern im Jahr 2021.

BBCH	Riesling Remich Klon 3	Rivaner Remich Klon 22	Elbling Zelle 77	Gewürz- traminer Klon 312	Pinot blanc Klon 54	Auxerrois Klon 7	S. blanc Remich Klon 376	Pinot gris Remich Klon 7	Chardonna y Remich Klon Colmar 96	Merlot Remich	Pinot noir Remich Klon Freiburg L13
01	01-Apr	31-Mar	05-Apr	05-Apr	01-Apr	07-Apr	07-Apr	01-Apr	26-Mar	01-Apr	31-Mar
03	10-Apr	07-Apr	10-Apr	10-Apr	07-Apr	14-Apr	19-Apr	10-Apr	01-Apr	22-Apr	07-Apr
5	27-Apr	15-Apr	13-Apr	28-Apr	22-Apr	27-Apr	28-Apr	29-Apr	10-Apr	28-Apr	19-Apr
07	01-May	29-Apr	24-Apr	02-May	30-Apr	01-May	01-May	02-May	15-Apr	02-May	01-May
09	03-May	02-May	30-Apr	08-May	02-May	03-May	03-May	06-May	28-Apr	06-May	02-May
11	09-May	08-May	04-May	16-May	08-May	10-May	09-May	10-May	03-May	10-May	08-May
12	16-May	12-May	08-May	20-May	12-May	13-May	13-May	18-May	08-May	16-May	11-May
13	22-May	18-May	10-May	24-May	18-May	18-May	19-May	22-May	18-May	22-May	18-May
14	28-May	24-May	16-May	30-May	25-May	25-May	28-May	29-May	18-May	30-May	24-May
15	01-Jun	31-May	25-May	03-Jun	30-May	30-May	02-Jun	03-Jun	26-May	02-Jun	31-May
16	04-Jun	03-Jun	29-May	05-Jun	04-Jun	01-Jun	05-Jun	05-Jun	30-May	05-Jun	04-Jun
17	05-Jun	05-Jun	01-Jun	07-Jun	06-Jun	05-Jun	07-Jun	07-Jun	02-Jun	07-Jun	06-Jun
18	07-Jun	07-Jun	05-Jun	09-Jun	08-Jun	07-Jun	09-Jun	09-Jun	05-Jun	09-Jun	08-Jun
19	09-Jun	10-Jun	07-Jun	11-Jun	10-Jun	09-Jun	11-Jun	11-Jun	07-Jun	10-Jun	10-Jun
53	05-Jun	05-Jun	01-Jun	05-Jun	05-Jun	03-Jun	06-Jun	05-Jun	04-Jun	05-Jun	05-Jun
55	08-Jun	08-Jun	05-Jun	08-Jun	08-Jun	07-Jun	09-Jun	08-Jun	06-Jun	08-Jun	08-Jun
57	15-Jun	15-Jun	12-Jun	19-Jun	18-Jun	15-Jun	19-Jun	18-Jun	12-Jun	14-Jun	16-Jun
61	19-Jun	18-Jun	18-Jun	20-Jun	19-Jun	19-Jun	21-Jun	19-Jun	16-Jun	19-Jun	18-Jun
63	20-Jun	19-Jun	19-Jun	21-Jun	20-Jun	20-Jun	24-Jun	20-Jun	18-Jun	20-Jun	19-Jun
65	22-Jun	20-Jun	20-Jun	25-Jun	21-Jun	21-Jun	25-Jun	21-Jun	19-Jun	21-Jun	20-Jun
68	25-Jun	22-Jun	22-Jun	26-Jun	25-Jun	25-Jun	26-Jun	25-Jun	20-Jun	24-Jun	21-Jun
69	26-Jun	24-Jun	24-Jun	27-Jun	26-Jun	27-Jun	27-Jun	26-Jun	22-Jun	25-Jun	23-Jun
71	27-Jun	26-Jun	25-Jun	29-Jun	27-Jun	29-Jun	28-Jun	27-Jun	24-Jun	27-Jun	25-Jun
73	30-Jun	29-Jun	27-Jun	01-Jul	29-Jun	02-Jul	02-Jul	30-Jun	27-Jun	01-Jul	28-Jun
75	17-Jul	10-Jul	17-Jul	17-Jul	14-Jul	17-Jul	18-Jul	09-Jul	12-Jul	10-Jul	12-Jul
77	19-Jul	31-Jul	21-Jul	23-Jul	19-Jul	24-Jul	24-Jul	18-Jul	24-Jul	01-Aug	26-Jul
79	28-Jul	10-Aug	29-Jul	31-Jul	01-Aug	03-Aug	05-Aug	26-Jul	03-Aug	29-Aug	09-Aug
81	26-Aug	11-Aug	24-Aug	21-Aug	23-Aug	21-Aug	22-Aug	21-Aug	21-Aug	30-Aug	15-Aug
83	30-Aug	16-Aug	27-Aug	26-Aug	26-Aug	23-Aug	26-Aug	27-Aug	23-Aug	03-Sep	21-Aug
85	03-Sep	21-Aug	30-Aug	29-Aug	28-Aug	28-Aug	28-Aug	30-Aug	27-Aug	07-Sep	24-Aug
89	22-Sep	08-Sep	29-Sep	08-Sep	08-Sep	08-Sep	06-Sep	08-Sep	01-Sep	13-Sep	08-Sep



## 7.2 Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode 2021

Tab. A2: Tagesmitteltemperaturen ( $t_m$ ) sowie Tagesniederschläge (N) im Zeitraum 01. April bis 30. September 2021 an der Wetterstation Remich (Quelle: agrimeteo.lu).

Tag	Monat											
	April		Mai		Juni		Juli		August		September	
	$t_m$ (°C)	N (mm)	$t_m$ (°C)	N (mm)	$t_m$ (°C)	N (mm)	$t_m$ (°C)	N (mm)	$t_m$ (°C)	N (mm)	$t_m$ (°C)	N (mm)
1	14,6	0,0	8,4	0,0	18,1	0,0	14,8	0,7	16,3	0,1	15,7	0,1
2	7,7	0,0	7,7	0,0	18,9	0,0	16,5	4,9	16,0	6,1	16,9	0,0
3	7,4	0,0	8,0	0,0	19,8	3,7	19,3	0,1	15,4	11,4	18,2	0,0
4	6,5	0,0	9,1	4,7	19,5	0,7	17,5	11,5	17,0	0,9	18,2	0,1
5	2,6	2,2	6,7	2,6	16,3	0,8	17,5	8,0	17,7	0,1	18,7	0,0
6	1,0	1,0	6,0	8,3	15,9	0,0	17,7	13,6	17,4	2,6	19,2	0,0
7	2,0	0,6	8,0	0,3	17,4	0,0	18,1	0,1	17,8	0,0	19,7	0,0
8	3,5	0,0	10,7	0,0	19,4	0,0	15,8	7,5	16,1	0,6	20,3	0,0
9	8,1	0,6	18,6	0,0	20,4	0,0	17,2	0,9	16,8	0,0	18,6	14,2
10	8,7	14,1	15,5	0,4	21,1	0,0	18,1	1,6	17,6	0,2	18,6	1,6
11	6,2	16,2	12,0	2,5	22,0	0,0	17,6	0,5	19,7	0,0	18,0	1,5
12	3,9	1,0	12,1	0,3	19,6	0,0	17,6	0,0	20,8	0,0	15,4	0,3
13	3,7	0,0	10,4	0,0	18,4	0,0	16,4	17,6	21,6	0,0	17,5	0,0
14	3,4	0,0	11,0	3,9	20,4	0,0	15,6	70,3	20,7	0,0	17,2	0,0
15	3,9	0,0	9,8	8,3	22,2	0,0	17,9	1,2	20,9	0,0	18,6	6,6
16	4,6	0,0	11,1	14,6	24,0	0,0	18,3	0,4	16,1	1,3	15,9	0,5
17	7,8	0,0	10,7	9,9	24,8	0,0	19,6	0,3	13,2	1,6	14,5	0,2
18	8,8	0,0	9,9	6,2	25,1	0,0	21,0	0,0	16,3	1,1	15,0	0,2
19	8,6	1,3	9,8	2,0	24,6	1,2	20,3	0,0	17,7	0,5	15,3	0,0
20	9,8	0,4	11,9	0,8	21,6	5,3	18,7	0,0	17,4	0,1	15,4	2,8
21	11,4	0,0	13,2	2,0	20,5	0,1	19,3	0,0	19,2	3,0	13,5	0,0
22	9,2	0,0	10,3	5,1	15,4	1,6	19,9	0,0	18,0	1,0	12,3	0,0
23	9,5	0,0	11,4	0,3	18,1	8,4	20,9	0,0	17,8	5,2	13,5	0,3
24	10,9	0,0	10,2	12,3	15,7	17,2	18,5	23,9	16,8	0,0	14,3	0,0
25	9,7	0,0	9,1	7,7	17,4	1,4	18,0	14,1	16,4	0,0	14,9	1,7
26	9,8	0,0	9,8	11,8	18,4	0,3	18,7	0,7	15,0	0,0	15,6	0,5
27	10,8	0,0	10,8	0,6	20,7	1,2	16,8	27,2	14,5	0,7	15,2	2,3
28	11,4	0,0	12,9	0,5	21,1	0,6	17,5	1,1	14,3	3,8	12,9	0,7
29	10,2	0,0	15,0	0,0	16,8	15,6	17,5	0,2	14,8	1,3	10,6	3,8
30	6,8	0,0	15,6	0,0	14,2	8,4	18,1	0,2	16,3	0,6	9,3	0,3
31			16,3	0,0			17,3	0,0	15,3	0,1		

## 7.4 Teilnahme an sonstigen Veranstaltungen

Die Weinbergsbegehung fand am 16/09/2021 ab 15:00h auf den Flächen des Weinbauinstitutes in Remich statt.



Die Mitarbeiter des LIST stellen verschiedene Aspekte des Projektes wie Ergebnisse zur Bekämpfung der Kirschessigfliege, aktuelle Neuigkeiten aus ausgewählten Feldversuchen sowie den Einsatz von Methoden der Fernerkundung im Weinbau vor.

## Vortrag beim EARSeL Symposium:



### Assessment Of Downey Mildew Disease Severity On Grapevine Using Different Hyperspectral UAV Data Including a Comparison Of Nadir And Oblique Observations

Miriam Machwitz<sup>1</sup>, Christian Bossung<sup>1</sup>, Rebecca Retzlaff<sup>2</sup>, Krittiya Pimkotr<sup>2</sup>, Steffen Günster<sup>2</sup>, Daniel Molitor<sup>1</sup>, Doriane Dam<sup>1</sup>, Mareike Schultz<sup>3</sup>, Franz Ronellenfitsch<sup>1</sup>, Martin Schlerf<sup>1</sup>, Marco Beyer<sup>1</sup>  
 1: LIST, Luxembourg; 2: University of Trier, Germany; 3: Institute Viti Vinicole, Luxembourg

Downy mildew caused by *Plasmopara viticola* (Berk & Curtis) is a widespread fungal disease in viticulture with high economic impact. Especially in temperate humid areas, the disease often occurs with very high intensity and the European cultivars (*Vitis vinifera*) are particularly susceptible. Remote sensing based detection of downy mildew may support variable rate applications of fungicides or the definition of risk zones. Furthermore, remote sensing techniques can help analysing the success of different treatments or the degree of tolerance of cultivars with a reduced susceptibility towards downy mildew on experimental sites. However, very high spatial resolution is necessary for this application. Nadir UAV (Unmanned Aerial Vehicles) images have shown to provide less information than side-looking imagery because of the row structures in vineyards (Retzlaff et al. 2016). Thus, side looking UAV images seem a promising option for a deep insight into the vine canopy with very high spatial resolution. The suitability of hyperspectral data to detect downy mildew symptoms was shown in a greenhouse experiment at leaf level by Oerke et al. (2016). In the presented study, the detection of different disease levels was tested at the canopy level using hyperspectral UAV data acquired in four years with two different sensors and in nadir and oblique mode. In an experimental vineyard, plants of the cultivar Pinot Gris inoculated with a downy mildew sporangia suspension. Six different treatments plus two controls (inoculated and non-inoculated) were tested with four repetitions. The degree of symptom development was assessed at least every two weeks. Single leaves were categorized and for each plot the average disease severity was calculated based on the rating of two times 50 leaves. Seven classes of disease severity were defined (0%, 1-5%, 6-10%, 11-25%, 26-50%, 51-75%, 76-100%), in accordance to EPPO guideline PP1/17. Hyperspectral UAV data were acquired using a GAMAYA OXI VNIR-40 sensor in nadir and off-nadir direction for 2017-2019 and using the Headwall Nano-Hyperspec sensor in nadir direction in 2020. The UAV data were radiometrically corrected using an empirical line correction and geometrically corrected with a high geometric (1-2 cm) accuracy. The masking of the background was an essential part of the pre-processing as dry grass from the interrow ground parts is spectrally very similar to the downy mildew symptoms. Vegetation indices and statistical methods (PLSR) were used to estimate the disease severity. The models of single dates were calibrated and validated based on leave-one-out calibrations. Furthermore, models from two combined dates have been used to predict the disease severity of assessments 2 weeks in advance. The comparison of nadir and oblique data showed that the use of oblique data needs to fulfil certain requirements. Beside the very workintense pre-processing, the canopy needs to be very dense to avoid additional negative influence from the background vegetation. If this is the case, oblique data can increase the possibility to detect downy mildew symptoms in the canopy. For less dense canopies, occurring in dry summer, the results are less reliable for oblique data. The infection severity could be estimated with an RMSE of 0.3-4% disease level in case of data obtained with Headwall Nano. Predictions of disease severity two weeks in advance could be achieved with an accuracies of RMSE=5%. Average disease severities per plot of >20% disease severity

were detected with high reliability, however if the disease severities were lower than 5%, the uncertainties increased. Also, the field assessment protocols can be a limitation for the detection of very low average disease severities. Traditional disease assessment protocols applied on the ground were not designed for remote sensing applications. Disease categories that are sufficiently precise for characterizing for instance cultivar differences may be too coarse as reference for an approach where precision shall be maximised. Similar results could be achieved by the analysis of vegetation indices. The correlation coefficient was between 0.62 and 0.74 for the chlorophyll index and the Photochemical Reflectance Index (PRI), if the average disease severity was higher than 20%. Otherwise, it decreased to 0.18-0.41. Downy mildew symptoms are detectable with hyperspectral data at canopy level. The structural influences and the standardised field protocols limit the detection of lower infection rates and only more severe disease severity levels (>20%) can be identified reliably.

## 7.5 Veröffentlichungen

### 7.5.1 Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen (2021)

Dam D, Molitor D, Schultz M, Beyer M (2021): *Drosophila suzukii* population dynamics and control efficiency of mineral dusts with a focus on grape protection. Journal of Applied Entomology, eingereicht.

Schäfer J., Friedel M., Molitor D., Stoll M. (2021): Semi-minimal-pruned hedge (SMPH) as a climate change adaptation strategy: Impact of different yield regulation approaches on vegetative and generative development, maturity progress and grape quality in Riesling. Applied Sciences 11: 3304. DOI: 10.3390/app11083304.

Veröffentlichungen hängen diesem Bericht an.

## ***Drosophila suzukii* population dynamics and control efficiency of mineral dusts with a focus on grape protection**

Short Title: *D. suzukii* population dynamics and control

Doriane Dam<sup>1</sup>, Daniel Molitor<sup>1</sup>, Mareike Schultz<sup>2</sup>, Marco Beyer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Environmental Research and Innovation Department, Agro-Environmental Systems, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

<sup>2</sup> Institut Viti-vinicole (IVV), Section Viticulture, 8, rue Nic. Kieffer, L-5551 Remich, Luxembourg

Acknowledgements: We thank Anna Sophie Roemer, Marine Pallez-Barthel, Christopher Simon, Lisa Vesque, Bianca Biewers and Rached Ben Nasr for their excellent technical assistance, Robert Mannes (Institut Viti-Vinicole) for supporting the planning of the monitoring and field trials, Lindsey Auguin for the language editing and the Luxembourgish Ministry of Agriculture, Viticulture and Rural Development for financially supporting the BioViM and BioViM2 projects.

### **Abstract**

The invasive pest *Drosophila suzukii* is threatening berry production. It is mainly managed via chemical control, which is associated with consumer and environmental concerns. Here, we tested the efficiency of mineral dusts under field and laboratory conditions. Furthermore, population dynamics were studied in a vineyard and its surroundings. The kaolin products Cutisan and Surround®, as well as the CaCO<sub>3</sub> product Carboliq had neither insecticidal nor repellent effects on *Drosophila suzukii* adults in laboratory choice tests with grapes at concentrations of up to 2% (w/v). Cutisan and Surround® significantly reduced the number of deposited eggs (-41.9% and -49.3%, respectively) while Carboliq had no effect on the oviposition under laboratory conditions. The Surround® treatment significantly reduced the number of flies trapped on 09/09/2020 at a test vineyard. Depending on the assessment date and treatment, between 59 and 84% of the flies in the bait traps were females. The number of



eggs found in fruit treated with Carbolig in the field was higher at each assessment date than in the control but this difference was not statistically significant. Cutisan and Surround® applications in the field showed an equivalent or lower average number of eggs compared to the control but this difference was only significant on 24/09/2020. The highest number of *D. suzukii* adults was observed around September in the field and a decline of the population occurred in the winter months until July. In epidemic years, temperature - humidity - combinations prior to population peaks were quite stable with low humidity being associated with a high temperature and *vice-versa*. In non-epidemic years, humidity fluctuated more than in epidemic years and temperatures were lower before population peaks. The effect of global radiation on population maxima seemed to be minor.

**Keywords:** calcium carbonate, kaolin, invasive pest, pest control, spotted wing drosophila, viticulture

## Introduction

The spotted wing fruit fly *Drosophila suzukii* (Matsumura) is native to Southeast Asia and was first observed in the USA, Italy and Spain in 2008. Since then, *D. suzukii* has been spreading north- and eastwards (Asplen et al., 2015), reaching Luxembourg in 2014, where it inflicted damage on red wine cultivars after a very mild winter (Schultz & Molitor, 2016). Female flies can pierce soft fruit skins with a serrated ovipositor and deposit eggs inside the fruit. The developing larvae feed on the fruit tissue, rendering the infested fruit useless for direct sale and processing. *D. suzukii* can propagate on a wide range of host plants, including apricot, fig, plum, raspberry, strawberry and sweet cherry (Cini, Ioratti and Anfora, 2012). Grapes are not the most suitable host for *D. suzukii* and their susceptibility depends on the cultivar (Bellamy, Sisterson and Walse, 2013; Mazzetto, Lessio, Giacosa, Rolle and Alma, 2020), but even minor infestation can promote the development of sour rot (Ioriatti et al., 2018), which negatively affects the quality of the grape.

The management of *D. suzukii* relies on the application of synthetic insecticides (pyrethroids, organophosphates, carbamates and spinosyns) (Van Timmeren, Mota-Sanchez, Wise and Isaacs,



2018) and cultural measures (sanitation, covering the crops with nets, shortening the period of harvest) (Haye et al., 2016). However, chemical control can have some negative side effects on natural enemies of the pest (Lee et al., 2019) or induce the development of insecticide resistance (e.g. Gress and Zalom, 2019: resistance to Spinosad). Laboratory and field studies have shown that biological control by predators, parasitoids and entomopathogens can successfully diminish *D. suzukii* populations but their efficacy in the field still needs to be enhanced (Lee et al., 2019). In the European Union, integrated pest management is mandatory (EC 128/2009; Linder and Kehrl, 2019) but the efficiency of the insecticides currently authorized against other pests is still being investigated (Jarausch, Muller, Gramm and Hoffmann, 2017). The recent use of insecticides on *D. suzukii* was based on the exceptional permission of selected products. The strong preference of *D. suzukii* for ripe fruit leaves little time for pesticide degradation before harvest if synthetic insecticides are used for protecting the crop, resulting in a strong interest in controlling this pest by methods other than synthetic pesticides. Here we studied the effect of mineral dusts on *D. suzukii*. Tests were undertaken on two types of kaolin, an inert mineral whose efficiency against various vineyard pests has already been established (Linder et al., 2020), as well as one calcium carbonate product:

- Cutisan, composed of ultrapure and finely ground kaolin, usually employed to prevent sunburn
- Surround®, composed of calcined kaolin, registered as an insecticide for various fruit pests in France and Switzerland
- Carboliq is a solution composed of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), a common chemical compound of rocks and is usually used as soil conditioner in agriculture in order to increase the pH of acidic soils. Its insecticidal activity is under investigation (Cahenzli, Strack and Daniel, 2018; Strack, Cahenzli and Daniel, 2017).

Environmental conditions strongly affect the population dynamics and therefore the need for control actions. Temperature influences the survival, development time, adult life span and reproduction success under laboratory and field conditions (Winkler, Jung, Kleinhenz and Racca,

2020). The optimum temperature range for the survival of adult flies is between 10 and 33°C. Outside of this range, the survival rates decrease. Pupae are most resistant to heat events, while adults tend to migrate to more suitable habitats under extreme environmental conditions. However, at temperatures higher than 30°C, the oviposition success is limited due to a reduced maturity of female ovaries and a lower sperm production of the males. The rate of adults developing from eggs is high (more than 60%) between 13 and 30°C, but the duration of the process strongly varies in this temperature range (Winkler et al. 2020). Less data is available on the impact of relative humidity on the *D. suzukii* population dynamics even though it has been recognized that a high relative humidity is, in general, favourable (Winkler et al., 2020). In laboratory experiments, increased relative humidity positively affected the life span and reproduction (Winkler et al., 2020). Guédot, Avanesyan and Hietala-Henschell (2018) found that the maximum humidity in raspberry orchards was an important factor for the proportional abundance of both males and females in summer. No data was found on the effect of global radiation on the population dynamics. Environmental conditions favouring or suppressing the abundance of *D. suzukii* in vines are largely unknown, so far. These data are of particular interest since they could help predict the *D. suzukii* population dynamics, especially during grape maturation, and allow an adapted pest management.

The objectives of the present study were (1) to test the efficacy of selected mineral dusts versus *D. suzukii* in grapes and (2) to enhance our understanding of the environmental conditions that promote *D. suzukii* population growth in vineyards.

## **Materials and Methods**

### ***Laboratory experiments***

*Collection and rearing.* The *D. suzukii* colony was initiated in 2017 with flies which emerged from blackberries and grapes harvested in the experimental vineyards of the Institut Vitivinicole (Remich, Luxembourg, 6.35551 E, 49.54545 N). Every year since then, the population has been augmented with new flies collected in the same field. Only the flies clearly identified

under a binocular microscope, such as *D. suzukii* (following the dichotomous identification key of Vlach (2010)) were used to initiate and extend the population. Flies were reared in a climatic chamber at 20°C at 60% relative humidity over a 16:8 L:D photoperiod cycle (Climatic chamber model KBWF-240, Binder GmbH, Tuttlingen Germany; cage model BugDorm (30 x 30 x 30 cm), MegaView Science Co., Ltd., Taiwan). Flies were provided with pollen (approximately 5 mg of uncontaminated residual pollen from the study of Beyer et al. (2018) per week) and fruits (around 80 g per week of grapes, raspberries, blueberries or blackberries previously frozen) as a food source and oviposition support, as well as with a tissue strip (2 x 4 cm) soaking water from a water supply into the rearing room.

*Test of mineral dusts.* The insecticidal and the repellent activities, as well as the effect of Cutisan (Biofa GmbH, Münsingen, Germany), Surround® (Stähler, Zofingen, Switzerland) and Carboliq (Monseu S.A., Lavaux – Ste – Anne, Belgium) on oviposition were studied using transparent Y-tubes (base: 6.5 cm long and 2.2 cm of inner diameter, arm: 10 cm long and 3 cm of inner diameter; VWR, Leuven, Belgium) and grapes. Commercial red table grapes purchased from local supermarkets were used for the experiments. The “Crimson Seedless” cultivar was used for the Cutisan and Carboliq trials and the “Flame Seedless” cultivar for the Surround® trials. Prior to experimentation, grape clusters were divided into individual berries with a conserved pedicel and frozen at -20°C for at least 48h and defrosted 24h before the experiment. Only macroscopically sound individual berries were used. Individual berries were sorted according to their mass and attributed to different groups in order to achieve a comparable average fruit mass of both treated and untreated berries in containers in the Y-tubes (Fig. 1). Berries were treated with Cutisan, Surround® or Carboliq dissolved in distilled water and applied to grapes at a final concentration of 2% (w/v) using a hand-sprayer. The control grapes were sprayed with distilled water. For each treatment, the grapes were sprayed three times, with a 1-hour drying period under an airflow between each spray, to ensure complete temporary wetting of the berries by each product. Each group of three berries was held in a container (180 cm<sup>3</sup> flask, Greiner Bio-One International GmbH, Fickenhausen,

Deutschland) depicted either as “control” or “treated” and was attached to the Y-tubes with parafilm. In the control and treated containers, a small plastic cap (2.2 cm of diameter, 1.2 cm deep, Eppendorf AG, Aarschot, Belgium) containing cotton tissue imbibed with a 10% sucrose solution was installed as the food source. 20 female and 10 male individuals, aged between 14 and 20 days, were used in each replicate. The flies were caught with an exhauster and introduced into the Y-tube at its base, which was then sealed with a mesh tissue. The experiments were run under constant temperature (24°C) and lighting conditions. After 48h, the position (base of the Y-tube, control or treated container) and the status (alive or dead) of each fly was recorded and the number of eggs laid in the berries was counted under a binocular microscope. Each product was tested with six biological replicates. The Y-tube and the containers were cleaned with unscented soap and rinsed once with ethanol after each experiment.

#### ***Test of mineral dusts in the vineyard***

*Field trial.* Field trials were carried out in 2020 at the Institut Viti-vinicole in two rows of the red *Vitis vinifera* cultivar Pinotin. The vineyard was planted in 2011 and grapevines grafted on SO4 rootstocks were trained in a vertical shoot positioning system with an inter-row distance of 2 m and an inter-plant distance of 1 m. The soil was covered by permanent greening. A randomized complete block design consisting of four replicates with six vines per plot was established. Regular treatments against Downy Mildew and Powdery Mildew took place in the entire vineyard until 03/08/2020. Cutisan, Surround® and Carboliq were applied at 2% (w/v) diluted in water using a backpack-sprayer (Solo Akku 416, Solo Kleinmotoren GmbH, Sindelfingen, Germany) equipped with injector nozzles (Albuz AVI 80, Agrotop Spray Technology, Obertraubling, Germany) (Molitor et al., 2018b). The cluster zone of the plants was sprayed until runoff. All treatments were sprayed in the same hour and the application was repeated every 10 to 14 days unless a heavy rain event occurred. In 2020, the first applications of Cutisan and Surround® were done before veraison (BBCH stage 81 according to Lorenz et al. (1995)) on 19/08/2020 and repeated on 02/09/2020 and 14/09/2020. Due to frequent rain

events, no further treatments were done before harvest on 30/09/2020. Concerning the Carbolig, only two applications were done on 19/08/2020 and 02/09/2020 due to a supply delay. The untreated control plots were not treated with any of the tested substances on any of the application dates.

The flies were monitored in the trial with Riga cup traps (Ellikon an der Thur, Switzerland). One trap was installed in each experimental plot on 26/08/2020 and the traps were replaced with new traps weekly. The number of *D. suzukii* flies was assessed with a binocular microscope and males and females were separated. Approximately eight clusters were randomly picked in each replicate and berries were destemmed manually. To determine the oviposition activity, fifty berries per replicate were randomly chosen and the *D. suzukii* eggs were counted under binocular microscopes. Finally, all berries were crushed and the sugar content of the solution was measured in the Oechsle degree ( $^{\circ}$  Oe) using a refractometer (RHB-32ATC, Huake Instruments Co. Ltd, Lirenfuzone, China) (Molitor et al., 2018a). The abundance of the flies and their oviposition activity were assessed weekly between veraison (BBCH stage 85) and harvest time. In 2020, the assessments took place on 02/09/2020, 09/02/2020, 16/09/2020, 24/09/2020 and 30/09/2020. On 02/09/2020, due to the absence of eggs in the control, the treated berries were not assessed for eggs.

### ***Monitoring of the Drosophila suzukii population***

*Monitoring.* The monitoring of *D. suzukii* was realized in the experimental vineyards of the Institut Viti-vinicole in Remich over six consecutive years between 2015 and 2020. Cup traps from Riga (Ellikon an der Thur, Switzerland) were used. Traps were installed at three locations: the experimental vineyard described above (cultivar Pinotin), a *Hedera helix* bush at the edge of the vineyard and a hedgerow primarily consisting of wild blackberry bushes (*Rubus fruticosus*) (Fig. 2). The content of the traps was sampled weekly from the veraison of the cultivar Pinotin (BBCH 85 (Lorenz et al., 1995)) to harvest and every 2 weeks during the rest of

the year. The *D. suzukii* individuals were identified under a binocular microscope and males and females were distinguished.

*Meteorological data.* Weather data were recorded by a weather station of the national agricultural administration ASTA (Administration des Services Techniques de l'Agriculture) located in direct proximity of the traps (Fig. 2). Data can be retrieved via the website agrimeteo.lu (station Remich). Hourly data for air temperature (2m above the ground), humidity and global radiation were downloaded from the weather station.

### ***Statistical analysis***

All data were analysed with the software package R (version 4.0.2) (R Core Team, 2020), and the tests were conducted at a significance level of 0.05. Normality was assessed using Shapiro-Wilk tests and homogeneity of variance was evaluated using either Fisher-Snedecor or Bartlett tests when more than two samples were considered. Graphs were built either with the software package R (version 4.0.2), Microsoft Excel (version 1908) or SigmaPlot (version 13.0).

*Laboratory experiments.* To study the insecticidal activity and the repellence of the products, ANOVAs were performed when data followed normal distribution and Kruskal-Wallis tests when this was not the case. Whenever more than 2 samples were compared and the Kruskal-Wallis-test detected a significant difference, Dunn tests were computed to identify the significant differences between each pair. To study the effect on oviposition, comparisons were processed with Wilcoxon tests due to the non-normality of the data.

*Field trial.* The effect of the treatment on the number of flies caught was tested by ANOVA following Tukey tests. Means were compared between females and males with Student's t tests when normal distribution was followed or Wilcoxon tests when this was not the case. The effect of the treatment on oviposition was studied using Kruskal-Wallis tests followed by a Dunn test.

*Population dynamics and abiotic parameters.* Humidity – temperature combinations and humidity – global radiation combinations were plotted starting at the highest population peak observed per season in the Pinotin trap and ending 600 h before the peak. In years with major damage, more than

1100 flies were found in the three traps per annum, while less than 400 flies were found per annum in weak years. Years were therefore classified as either epidemic when more than 400 flies were found per annum within the three traps or non-epidemic years when less than 400 flies were found. Based upon this criterion, 2015, 2016, 2017 and 2020 were epidemic years, while 2018 and 2019 were not. Weather data were smoothed before plotting using the running average method in the software package Sigmaplot version 13.0 (Systat Software GmbH, Erkrath, Germany) with a sampling proportion of 0.1 and a polynomial degree of 1.

## Results

### ***Testing the effects of Cutisan, Surround® and Carboliq under laboratory conditions***

*Insecticidal effect.* The mortality of the flies was not significantly different between the flies in the control arm of the Y-tubes, the arms containing treated fruit and base of the Y-tube for all treatments studied (Cutisan  $P=0.874$ , Surround®  $P=0.283$ , Carboliq  $P=0.597$ ).

*Repellent effect of the mineral dusts.* The products tested had no effect on the attractivity of the grape berries. A comparable number of flies, irrespective of their sex, was recorded in the control and treated arms (females: Cutisan  $P=1.000$  ; Surround®  $P=0.261$  ; Carboliq  $P=1.000$  and males: Cutisan  $P=0.993$  ; Surround®  $P=0.666$  ; Carboliq  $P=0.992$ ) while both were significantly higher than the number of flies in the base of the Y-tube.

*Effect on the oviposition:* Cutisan and Surround® applications significantly reduced the number of eggs laid compared to the control ( $P=0.040$  and  $P=0.029$ ) with reductions of 41.9% and 49.3% respectively. The Carboliq treatment had no effect on the oviposition ( $P=0.946$ ) (Fig. 3).

### ***Testing the effects of Cutisan, Surround® and Carboliq under field conditions***

*Abundance of flies.* The average number of flies caught per trap and per week was 6 at the beginning of September, increasing to 39 by 09/09/2020 and then declining to 1 by the end of the month (Fig. 4). On 02/09/2020, 24/09/2020 and 30/09/2020, no difference between the



treatments was observed in the average number of flies caught. The Cutisan treatment did not significantly reduce the number of flies compared to the control (09/09/2020  $P=0.065$ ; 16/09/2020  $P=1.000$ ). The Surround® treatment significantly reduced the number of flies trapped on 09/09/2020 ( $P=0.018$ , -30.6% compared with the control) while no significant differences were found on 16/09/2020 ( $P=0.386$ ). In the Carboliq-treated vines, more flies were caught than in the control at all dates assessed, but the difference was not significant (02/09/2020  $P=0.878$ ; 09/09/2020  $P=0.150$ ; 16/09/2020  $P=0.991$ ). However, the Carboliq treatment could not be assessed on the two last dates due to a supply delay. Significantly more flies were caught in Carboliq treated plots than in those treated with Surround®, with a difference of 43.8% on 09/09/2020 ( $P<0.0001$ ) and of 52.7% on 16/09/2020 ( $P=0.038$ ).

Generally, more female flies were caught in the traps than male flies (Fig. 5). This difference was significant for all treatments on 09/09/2020 (Control  $P<0.0001$ ; Cutisan  $P=0.028$ ; Surround®  $P=0.011$ ; Carboliq  $P<0.0001$ ) where between 75 and 84% of *D. suzukii* adults caught were females. On 16/09/2020, in Cutisan, Surround® and Carboliq traps, females represented 71 to 84% of the *D. suzukii* catches ( $P=0.006$ ,  $P=0.026$ ,  $P=0.001$ , respectively) and for Surround® on 24/09/2020, females represented 59% of the *D. suzukii* catches ( $P=0.021$ ).

*Effect of the treatments on oviposition.* In this paragraph, the number of eggs given corresponds to the average number of eggs counted in 50 berries in each of the four replicates for each treatment. In the control, the number of eggs increased between 02/09/2020 and 24/09/2020, from 0 to 3 eggs on average, before a decrease on 30/09/2020 with an average of 0.75. In Cutisan-treated berries, eggs were found on 09/09/2020 and 30/09/2020 with an average of 0.5 eggs. In berries treated with Surround®, eggs were found only on 09/09/2020 with an average of 0.25 eggs. Cutisan and Surround®-treated berries showed a comparable or lower average number of eggs compared to the control but this difference was only significant on 24/09/2020 (Cutisan  $P=0.031$  and Surround®  $P=0.031$ ) where both products had an efficiency of 100%. In Carboliq-treated berries, on 09/09/2020 and 16/09/2020, the

average number of eggs observed was 2 and 2.75, respectively (Fig. 6). At each assessment date, Carboliq-treated berries showed more eggs than the control.

There was no relationship between sugar content (expressed as °Oe) and the number of eggs in the berries irrespective of the treatment (Control  $R^2 = 0.11$  ; Cutisan  $R^2 = 0.035$  ; Surround®  $R^2 = 0.0925$  ; Carboliq  $R^2 = 0.0021$ ).

### **Monitoring**

The highest number of *D. suzukii* adults was observed in the trap located in the blackberry hedgerow followed by the trap located close to *Hedera helix* fruit and the trap in the Pinotin vineyard (Fig. 7). Many flies were caught in 2015, 2016, 2017 and 2020, while few flies were caught in 2018 and 2019 (Fig. 7). Generally, the first flies were caught in the blackberry hedgerow trap between late-June and mid-August. The last flies were trapped between January and early February of the following year except in 2015-2016 where flies were caught continuously from the end of June 2015 to the end of May 2016 in the blackberry hedgerow trap. The population peak occurred in September most of the years.

### **Effect of environmental conditions on the annual population dynamics**

In epidemic years, the temperature and humidity conditions were quite stable before the population outbreak with high humidity correlated with low temperatures and *vice versa* (Fig. 8). At 100 h and 600 h before the population peak, comparable levels of humidity and temperature combinations are observed while at around 300 h, the lowest humidity and highest temperature combination was noted. In non-epidemic years, humidity fluctuated more than in epidemic years and temperatures were lower before population peaks (Fig. 8). Approximately 300 h before the population peak, a clear drop of humidity and temperature values was observed for non-epidemic years; this was absent in epidemic years (Fig. 8).

In epidemic years, the humidity and global radiation combinations were rather stable from 600 h to 400 h before the epidemic peak with high humidity correlated to a low global radiation and low humidity to medium global radiation. Between 400 h and 300 h before the pest outbreak,

the lowest humidity was associated with higher global radiation. From 300 h before the annual population peak was reached, lower global radiation was associated with lower humidity (Fig. 9). In non-epidemic years, the relation between humidity and global radiation was relatively stable in the 600 h before the highest population peak. Between 600 h and 300 h, high global radiation was associated with low humidity and *vice versa*. Around 300 h before the annual population peak, a clear drop of the values of global radiation was noted compared to the level previously observed. From this point to the pest outbreak, relatively high global radiation was associated with low humidity without reaching the high level of global radiation noted earlier (Fig. 9). Below 50% of relative humidity, global radiation followed a contrary evolution in epidemic years compared to non-epidemic ones. Indeed, in years with a high number of flies, global radiation is low then strongly increased for a few hours and decreased again before the population peak, while in years with low numbers of flies, global radiation was generally high and just showed a minor drop (Fig. 9).

## Discussion

*Effect of mineral dusts on D. suzukii oviposition on grapes.* The laboratory trials have shown that the products Cutisan and Surround® could reduce *D. suzukii* oviposition in grape berries by 41.9% and 49.3%, respectively. On the other hand, Carbolig had no effect on oviposition under laboratory conditions. In the literature, no information on the effect of Cutisan on *D. suzukii* has been found while Cahenzli et al. (2018) and Strack et al. (2017) showed that Surround® and CaCO<sub>3</sub>, the main component of Carbolig, reduced the oviposition in treated blueberry in laboratory trials with reductions of the number of deposited eggs of 86.4% and 80.5%, respectively (Strack et al., 2017). On the contrary, Pérez-Guerrero and Molina (2016) did not observe an effect on oviposition of Surround® on blueberries. The differences between these studies might be explained by the variation of experimental conditions, indeed, Blouquy et al. (2021) demonstrated that sex, age, duration of the experiment and the number of individuals tested per dose can have an effect on the outcome of an experiment. In the field

trial, the reduction of the number of eggs deposited in grapes was only partially validated. Indeed, the generally low number of eggs counted in the control and treated berries hardly allowed conclusions to be drawn on an effect of the products tested on the egg deposition by *D. suzukii*. Only on 24/09/2020 did Cutisan and Surround® have a significant effect on oviposition with a complete protection. In Swiss vineyards, Linder et al. (2020) found that Surround® (2% w/v) significantly reduced *D. suzukii* oviposition with preventive and curative efficiencies of 67.4% and 50.3%, respectively. As already shown in other publications (Jarausch et al., 2017; Pavlova, Dahlmann, Hauck and Reineke, 2017), testing insecticides against *D. suzukii* in the laboratory and in the vineyard can be quite challenging due to the variability of grape cultivar susceptibility, the low damage observed regardless of pest infestation and the difficulty of determining the effect of the product on the oviposition and on larval development. In 2018 and 2019, we tested Cutisan and Carboliq in a neighbouring vineyard planted with the “Cabaret Noir” cultivar in comparable conditions, but the low infestation and the absence of oviposition did not allow us to draw conclusions on the effect of the products.

*Effects of mineral dusts on mortality and abundance of D. suzukii.* None of the Cutisan, Surround® and Carboliq products had an insecticidal effect on *D. suzukii*, an outcome supported by previous studies (Pérez-Guerrero & Molina, 2016; Strack et al., 2017). In laboratory trials, no repellence of the products was observed. However, in the field, some differences in the abundance of flies counted in the traps were found between the treatments. Cutisan and Surround® had a slightly lower number of flies caught compared to the control but this difference was only significant for Surround® on 09/09/2020. On the contrary, the trap catches of *D. suzukii* were slightly higher in the Carboliq replicates than in the control ones. The difference was significant between Surround® and Carboliq with less flies caught in the first treatment than in the second on 09/09/2020 and 16/09/2020.

*Conclusion on mineral dusts.* Surround® has shown its efficiency against *D. suzukii* in laboratory and field trials either by reducing the number of eggs laid in grape berries or by reducing the number of flies around treated vines. Furthermore, as shown by Linder et al.

(2020), Surround® had no effect on the wine quality nor the parasitoids and predatory mites, leading to the conclusion that it could be an interesting treatment for *D. suzukii* in vineyards.

*D. suzukii* monitoring. The monitoring of *D. suzukii* showed that the pest was present every year in Luxembourg vineyards and surroundings. A winter decline of the population has been observed in most years, but the period of decline varied between January and March. *D. suzukii* catches restarted again in July. The population peak occurred in September, and in epidemic years (2015, 2016, 2017) a second peak was observed between November and December before a decrease of trap captures. Briem et al. (2018) observed a similar activity pattern for *D. suzukii* adults in southwest Germany, however in our study, in epidemic years, a high number of flies were caught in the trap located in the Pinotin vineyard late in autumn despite the absence of grapes. Rossi-Stacconi et al. (2016) showed a sharper and earlier winter drop from the end of December in the north of Italy. The lure used in the traps and the type of insecticides applied (Hamby, Bolda, Sheehan and Zalom, 2014), as well as winter weather and particularly temperatures (Thistlewood et al., 2018) have an effect on the period of winter decrease of the *D. suzukii* population and can explain the slight differences observed between the studies. During the trial, significantly more females than males were caught. The sex ratios deviating from 1:1 (male : female) in *D. suzukii* adults was observed in several studies (Briem et al., 2018; Rossi-Stacconi et al., 2016). However, our results contrast with the observations of Briem et al. (2018) who found a higher number of males during summer and autumn. These differences might be explained by the use of different types of traps and baits and their possible variation of attractivity depending on the resources available and their abundance (Rossi-Stacconi et al., 2016; Swoboda-Bhattarai et al., 2017). Wong et al. (2018) also showed in cage and greenhouse experiments that the feeding status, mating status and ovipositional status affect the capture rates of females in bait traps with fermentation odours. Other studies also raised concerns about the use of bait traps to monitor the population of *D. suzukii*. First, the difficulty of estimating the absolute density of the population based on trap captures: Hampton

et al. (2014) showed that only 10-30% of the flies visiting the traps actually drowned and according to Kirkpatrick, Gut and Miller (2018), in a cherry orchard, when one individual is caught, 192 flies are actually present for an area of 2.7 ha. Second, the correlation between the number of captures and the fruit infestation is weak, not allowing a clear conclusion about the necessity of taking control measures. Finally, the low specificity of the lures makes the identification of flies difficult and time-consuming (Burrack et al., 2015; Cloonan, Abraham, Angeli, Syed and Rodriguez-Saona, 2018).

*Effect of abiotic factors on D. suzukii population dynamic.* The humidity – temperature combinations in the 600h before a *D. suzukii* outbreak were different between epidemic and non-epidemic years showing the importance of these abiotic parameters for the population dynamics of this pest. On the contrary, the humidity – global radiation combinations were rather similar, particularly close to the maximum catches observed, showing that global radiation has only a minor effect. Guédot et al. (2018) found that the combination of maximum humidity and maximum temperature explained most of the variability of the *D. suzukii* population in a two-year monitoring in Wisconsin and Thistlewood et al. (2018) concluded that low humidity was negatively correlated to a high population in Western Canada. Leach, Van Timmeren, Wetzell and Isaacs (2019) identified temperature as the main factor determining abundance and flies' activity in a region where humidity was not a limiting factor. As described by Winkler et al. (2020), many topics still need to be investigated in order to clearly understand the population dynamics of *D. suzukii*.

### **Conflict of interest**

The authors declare that they have no conflict of interest.

### **Author contribution**

Marco Beyer, Daniel Molitor and Mareike Schultz planned the research. Mareike Schultz and Doriane Dam conducted the experiment and contributed material. Doriane Dam and Marco

Beyer analysed data and conducted statistical analyses. Marco Beyer and Daniel Molitor secured funding. All authors participated in the writing and reading of the manuscript and approved it.

### Data availability statement

The data that support the findings of this study are openly available at zenodo at <https://doi.org/10.5281/zenodo.5081721>. The weather data used for plotting the Figures 8 and 9 can be downloaded at <https://www.agrimeteo.lu/> (location Remich).

### References

- Asplen, M. K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D.-S., Chu, D., Daane, K. M., Gibert, P., Gutierrez, A. P., Hoelmer, K. A., Hutchison, W. D., Isaacs, R., Jiang, Z.-L., Kárpáti, Z., Kimura, M. T., Pascual, M., Philips, C. R., Plantamp, C., Ponti, L., Véték, G., ... Desneux, N. (2015). Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, *88*(3), 469–494. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0681-z>
- Bellamy, D. E., Sisterson, M. S., & Walse, S. S. (2013). Quantifying host potentials: indexing postharvest fresh fruits for spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*. *PLoS ONE*, *8*(4), e61227. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061227>
- Beyer, M., Lenouvel, A., Guignard, C., Eickermann, M., Clermont, A., Kraus, F., & Hoffmann, L. (2018). Pesticide residue profiles in bee bread and pollen samples and the survival of honeybee colonies - a case study from Luxembourg. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3187-4>
- Blouquy, L., Mottet, C., Olivares, J., Plantamp, C., Siegwart, M., & Barrès, B. (2021). How varying parameters impact insecticide resistance bioassay: An example on the worldwide invasive pest *Drosophila suzukii*. *PLOS ONE*, *16*(3), e0247756. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247756>
- Briem, F., Dominic, A., Golla, B., Hoffmann, C., Englert, C., Herz, A., & Vogt, H. (2018). Explorative Data Analysis of *Drosophila suzukii* Trap Catches from a Seven-Year Monitoring Program in Southwest Germany. *Insects*, *9*(4), 125. <https://doi.org/10.3390/insects9040125>
- Burrack, H. J., Asplen, M., Bahder, L., Collins, J., Drummond, F. A., Guedot, C., Isaacs, R., Johnson, D., Blanton, A., Lee, J. C., Loeb, G., Rodriguez-Saona, C., van Timmeren, S., Walsh, D., & McPhie, D. R. (2015). Multistate Comparison of Attractants for Monitoring *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Blueberries and Caneberries. *Environmental Entomology*, *44*(3), 704–712. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv022>
- Cahenzli, F., Strack, T., & Daniel, C. (2018). Screening of 25 different natural crop protection products against *Drosophila suzukii*. *Journal of Applied Entomology*, *142*(6), 563–577. <https://doi.org/10.1111/jen.12510>
- Cini, A., Ioriatti, C., & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, *65*, 12.
- Cloonan, K. R., Abraham, J., Angeli, S., Syed, Z., & Rodriguez-Saona, C. (2018). Advances in the Chemical Ecology of the Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) and its Applications. *Journal of Chemical Ecology*, *44*(10), 922–939. <https://doi.org/10.1007/s10886-018-1000-y>



- Gress, B. E., & Zalom, F. G. (2019). Identification and risk assessment of spinosad resistance in a California population of *Drosophila suzukii*. *Pest Management Science*, 75(5), 1270–1276. <https://doi.org/10.1002/ps.5240>
- Guédot, C., Avanesyan, A., & Hietala-Henschell, K. (2018). Effect of Temperature and Humidity on the Seasonal Phenology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Wisconsin. *Environmental Entomology*, 47(6), 1365–1375. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy159>
- Hamby, K. A., Bolda, M. P., Sheehan, M. E., & Zalom, F. G. (2014). Seasonal Monitoring for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in California Commercial Raspberries. *Environmental Entomology*, 43(4), 1008–1018. <https://doi.org/10.1603/EN13245>
- Hampton, E., Koski, C., Barsoian, O., Faubert, H., Cowles, R. S., & Alm, S. R. (2014). Use of Early Ripening Cultivars to Avoid Infestation and Mass Trapping to Manage *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in *Vaccinium corymbosum* (Ericales: Ericaceae). *Journal of Economic Entomology*, 107(5), 1849–1857. <https://doi.org/10.1603/EC14232>
- Haye, T., Girod, P., Cuthbertson, A. G. S., Wang, X. G., Daane, K. M., Hoelmer, K. A., Baroffio, C., Zhang, J. P., & Desneux, N. (2016). Current SWD IPM tactics and their practical implementation in fruit crops across different regions around the world. *Journal of Pest Science*, 89(3), 643–651. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0737-8>
- Ioriatti, C., Guzzon, R., Anfora, G., Ghidoni, F., Mazzoni, V., Villegas, T. R., Dalton, D. T., & Walton, V. M. (2018). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Contributes to the Development of Sour Rot in Grape. *Journal of Economic Entomology*, 111(1), 283–292. <https://doi.org/10.1093/jee/tox292>
- Jarausch, B., Müller, T., Gramm, T., & Hoffmann, C. (2017). Comparative evaluation of insecticide efficacy tests against *Drosophila suzukii* on grape berries in laboratory, semi-field and field trials. *VITIS - Journal of Grapevine Research*, 133-140 Pages. <https://doi.org/10.5073/VITIS.2017.56.133-140>
- Kirkpatrick, D. M., Gut, L. J., & Miller, J. R. (2018). Estimating Monitoring Trap Plume Reach and Trapping Area for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Michigan Tart Cherry. *Journal of Economic Entomology*, 111(3), 1285–1289. <https://doi.org/10.1093/jee/toy062>
- Leach, H., Van Timmeren, S., Wetzel, W., & Isaacs, R. (2019). Predicting Within- and Between-Year Variation in Activity of the Invasive Spotted Wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) in a Temperate Region. *Environmental Entomology*, 48(5), 1223–1233. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz101>
- Lee, J. C., Wang, X., Daane, K. M., Hoelmer, K. A., Isaacs, R., Sial, A. A., & Walton, V. M. (2019). Biological Control of Spotted-Wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae)—Current and Pending Tactics. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 10.
- Linder, C., & Kehrl, P. (2019). *Agroscope Fiche Technique: Recommandations Drosophila suzukii en viticulture*. [https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/production-vegetale/protection-vegetaux/drosophila-suzukii/publications/fiches\\_techniques\\_drosophila\\_suzukii.html](https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/production-vegetale/protection-vegetaux/drosophila-suzukii/publications/fiches_techniques_drosophila_suzukii.html)
- Linder, C., Kehrl, P., & Kuske, S. (2017). *Agroscope Fiche Technique: Drosophila suzukii en viticulture Recommandations 2017*.
- Linder, C., Rösti, J., Lorenzini, F., Deneulin, P., Badertscher, R., & Kehrl, P. (2020). Efficacy of kaolin treatments against *Drosophila suzukii* and their impact on the composition and taste of processed wines. *VITIS - Journal of Grapevine Research*, 49-52 Pages. <https://doi.org/10.5073/VITIS.2020.59.49-52>
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Phenological growth stages of the grapevine, *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*. Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1.
- Mazzetto, F., Lessio, F., Giacosa, S., Rolle, L., & Alma, A. (2020). Relationships between *Drosophila suzukii* and grapevine in North-western Italy: seasonal presence and cultivar susceptibility. *Bulletin of Insectology*, 73(1), 10.

- Molitor, D., Biewers, B., Junglen, M., Schultz, M., Clementi, P., Permesang, G., Regnery, D., Porten, M., Herzog, K., Hoffmann, L., Beyer, M., & Berkelmann-Löhnertz, B. (2018). Multi-annual comparisons demonstrate differences in the bunch rot susceptibility of nine *Vitis vinifera* L. "Riesling" clones. *VITIS - Journal of Grapevine Research*, 17-25 Pages. <https://doi.org/10.5073/VITIS.2018.57.17-25>
- Molitor, D., Schultz, M., Friedrich, B., Viret, O., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2018). Efficacy of fenhexamid treatments against *Botrytis cinerea* in grapevine as affected by time of application and meteorological conditions. *Crop Protection*, 110, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.03.007>
- Pavlova, A. K., Dahlmann, M., Hauck, M., & Reineke, A. (2017). Laboratory Bioassays with Three Different Substrates to Test the Efficacy of Insecticides against Various Stages of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Insect Science*, 17(1), 6.
- Pérez-Guerrero, S., & Molina, J. M. (2016). Short communication: Laboratory approach to the use of sulphur and kaolin as preventive control against *Drosophila suzukii*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(2), e10SC01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016142-8592>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>
- Rossi-Stacconi, M. V., Kaur, R., Mazzoni, V., Ometto, L., Grassi, A., Gottardello, A., Rota-Stabelli, O., & Anfora, G. (2016). Multiple lines of evidence for reproductive winter diapause in the invasive pest *Drosophila suzukii*: useful clues for control strategies. *Journal of Pest Science*, 89(3), 689–700. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0753-8>
- Schultz, M., & Molitor, D. D. (2016). Die Kirschessigfliege - eine neue Herausforderung für den Luxemburger Weinbau. *Lëtzebuenger Beien-Zeitung*, 127, 354–359.
- Strack, T., Cahenzli, F., & Daniel, C. (2017). *Kaolin, lime and rock to control Drosophila suzukii*. Eco.fruit - International Conference on Organic Fruit Growing.
- Swoboda-Bhattarai, K. A., McPhie, D. R., & Burrack, H. J. (2017). Reproductive Status of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Females Influences Attraction to Fermentation-Based Baits and Ripe Fruits. *Journal of Economic Entomology*, 110(4), 1648–1652. <https://doi.org/10.1093/jee/tox150>
- Thistlewood, H. M. A., Gill, P., Beers, E. H., Shearer, P. W., Walsh, D. B., Rozema, B. M., Acheampong, S., Castagnoli, S., Yee, W. L., Smytheman, P., & Whitener, A. B. (2018). Spatial Analysis of Seasonal Dynamics and Overwintering of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in the Okanagan-Columbia Basin, 2010–2014. *Environmental Entomology*, 47(2), 221–232. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx178>
- Van Timmeren, S., Mota-Sanchez, D., Wise, J. C., & Isaacs, R. (2018). Baseline susceptibility of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*) to four key insecticide classes: Spotted wing *Drosophila* baseline susceptibility. *Pest Management Science*, 74(1), 78–87. <https://doi.org/10.1002/ps.4702>
- Vlach, J. (2010). *Identifying Drosophila suzukii*. Oregon department of Agriculture. <https://www.oregon.gov/oda/shared/documents/publications/ippm/spottedwingdrosophilaidkey.pdf>
- Winkler, A., Jung, J., Kleinhenz, B., & Racca, P. (2020). A review on temperature and humidity effects on *Drosophila suzukii* population dynamics. *Agricultural and Forest Entomology*, 22(3), 179–192. <https://doi.org/10.1111/afe.12381>
- Wong, J. S., Wallingford, A. K., Loeb, G. M., & Lee, J. C. (2018). Physiological status of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) affects their response to attractive odours. *Journal of Applied Entomology*, 142(5), 473–482. <https://doi.org/10.1111/jen.12497>

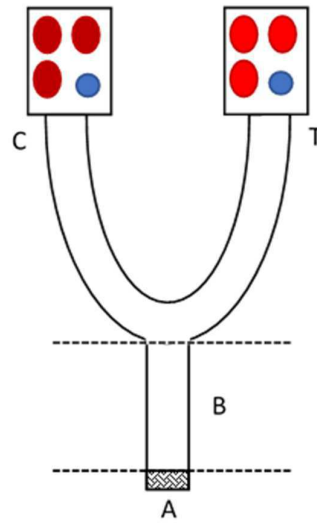


Figure 1: Schema of the experimental set up. A: Entry of the flies, closed with a mesh tissue during the experiment. B: Base of the Y-tube. C: Control arm and container. T: Treated arm and container. Blue circle: small cap containing the sucrose solution. Drawing not to scale

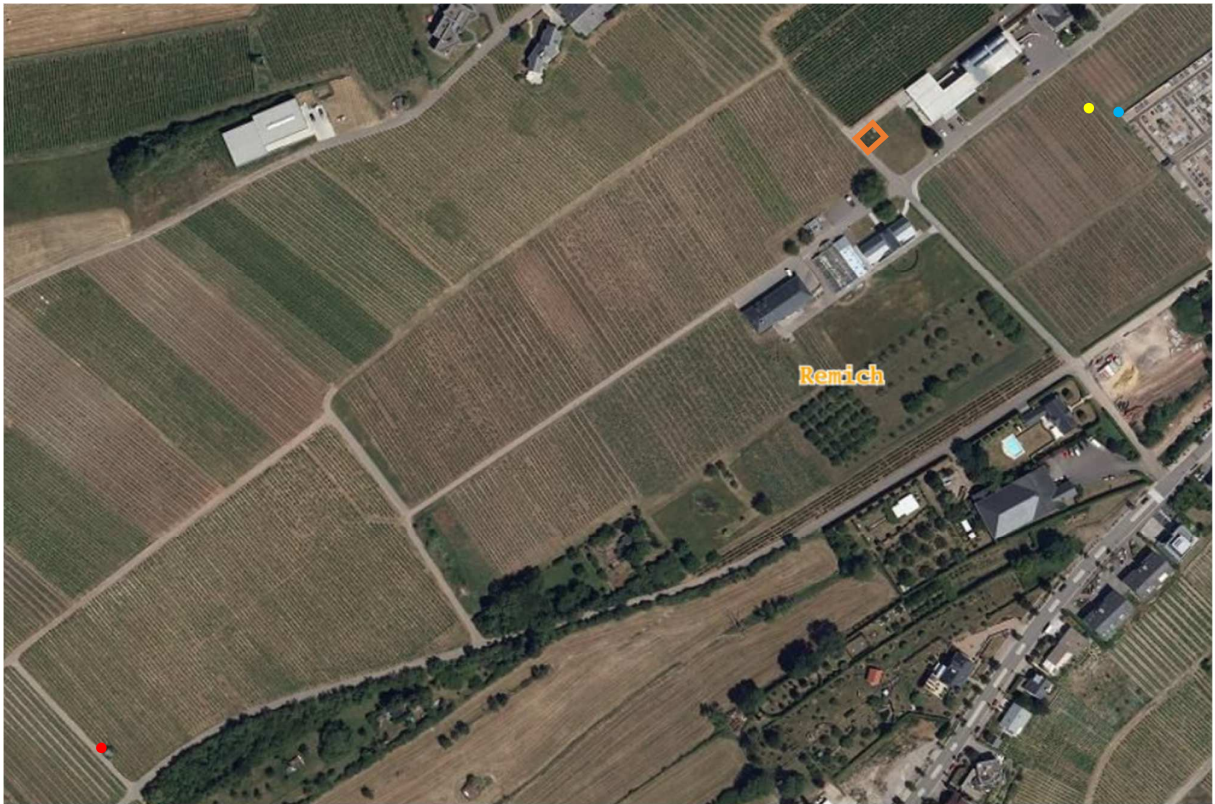


Figure 2: Position of the traps in Remich. Pinotin: yellow mark, *Hedera helix* bush: blue mark and blackberry hedgerow: red mark. Meteorological station: orange square. The aerial image is publicly available at <https://map.geoportail.lu>.

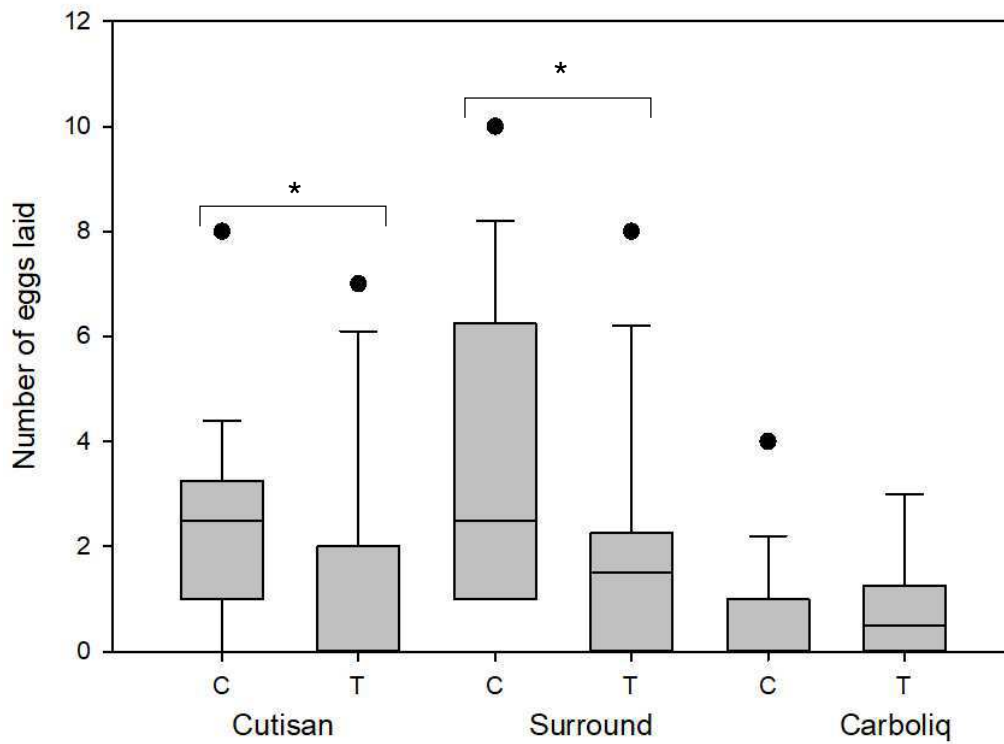


Figure 3: Boxplot of the number of eggs laid on control (C) and treated (T) berries for each treatment (6 replicates). Carbolig represent the Calcium carbonate solution. \* Significant difference between control and treatment ( $\alpha=0.05$ )

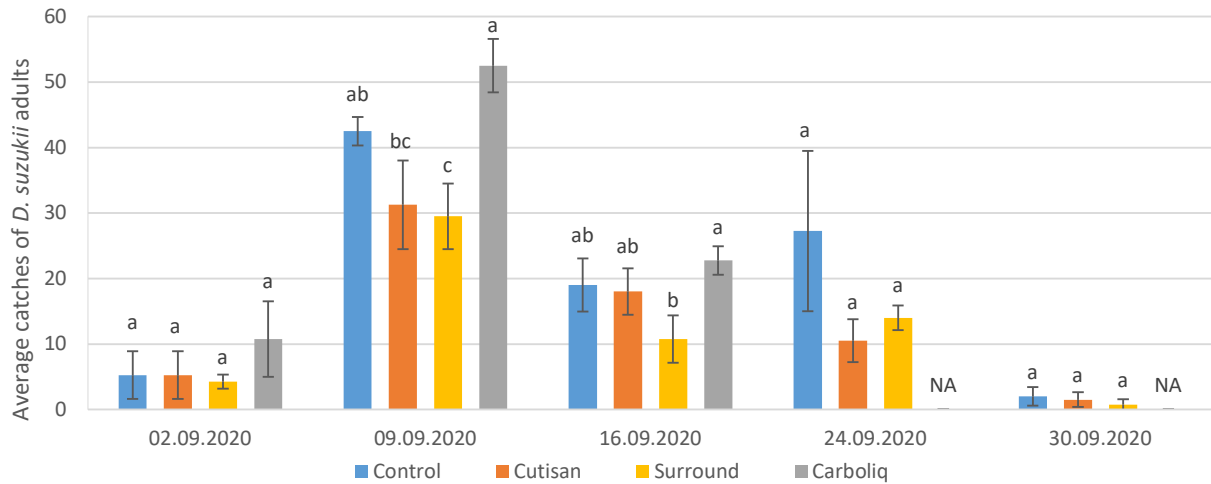


Figure 4: Time course of *Drosophila suzukii* individuals trapped at Remich, Luxembourg in a vineyard, where four treatments (control, Cutisan, Surround® and Carbolig) were applied. Each mean represents the average number of flies caught in the four traps for each treatment. Letters represent TukeyHSD post-hoc results, different letters signifying statistically significant differences.



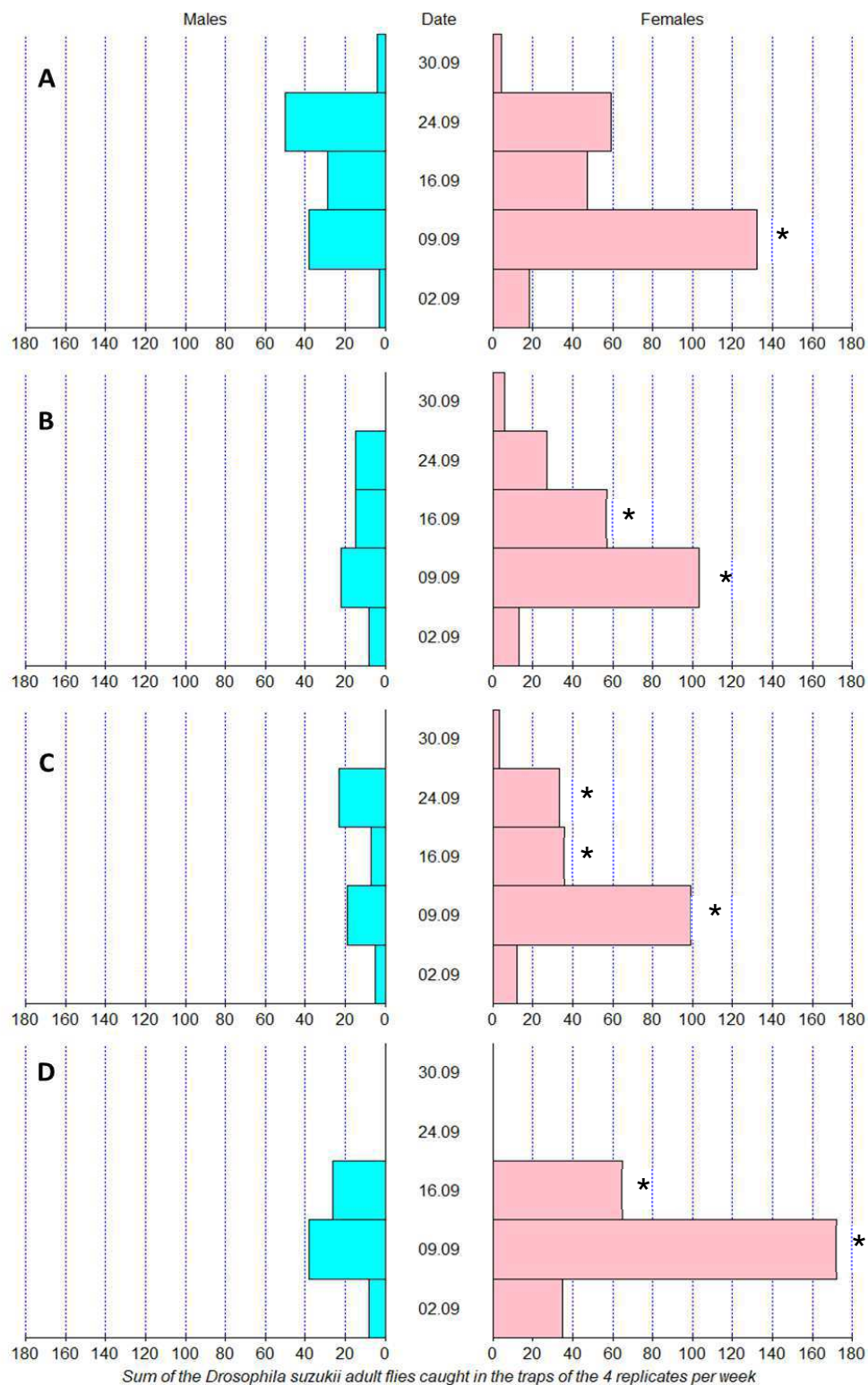


Figure 5: Sum of male and female adults of *Drosophila suzukii* that were trapped in the season 2020 by treatment. (A) Control. (B) Cutisan. (C) Surround®. (D) Carboliq. \* significant differences between males and females ( $\alpha=0.05$ ).



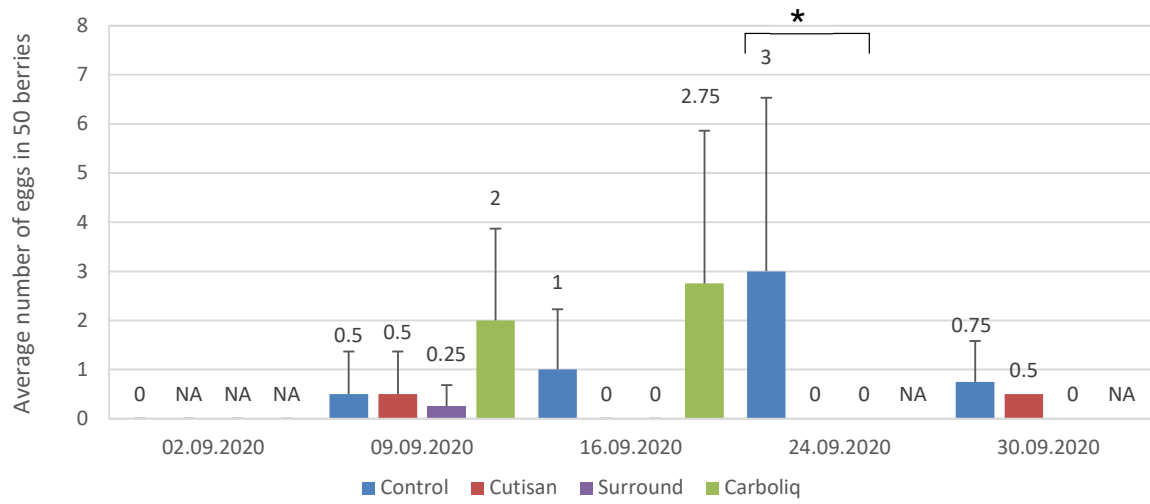


Figure 6: Average number of eggs observed in 50 berries depending on the assessment date and the treatment. \* significant difference ( $\alpha=0.05$ ).

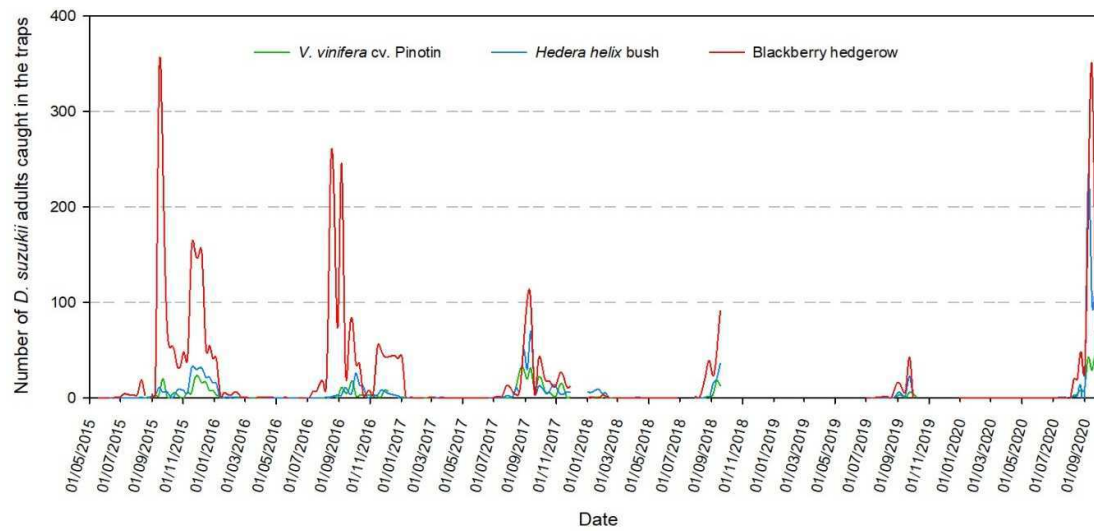


Figure 7: Time course of the number of *Drosophila suzukii* adults trapped between May 2015 and November 2020. Traps were placed in a vineyard (cultivar Pinotin), close to a cemetery with multiple potential host fruits including *Hedera helix* and in a hedgerow primarily consisting of Blackberry (*Rubus fruticosus*).

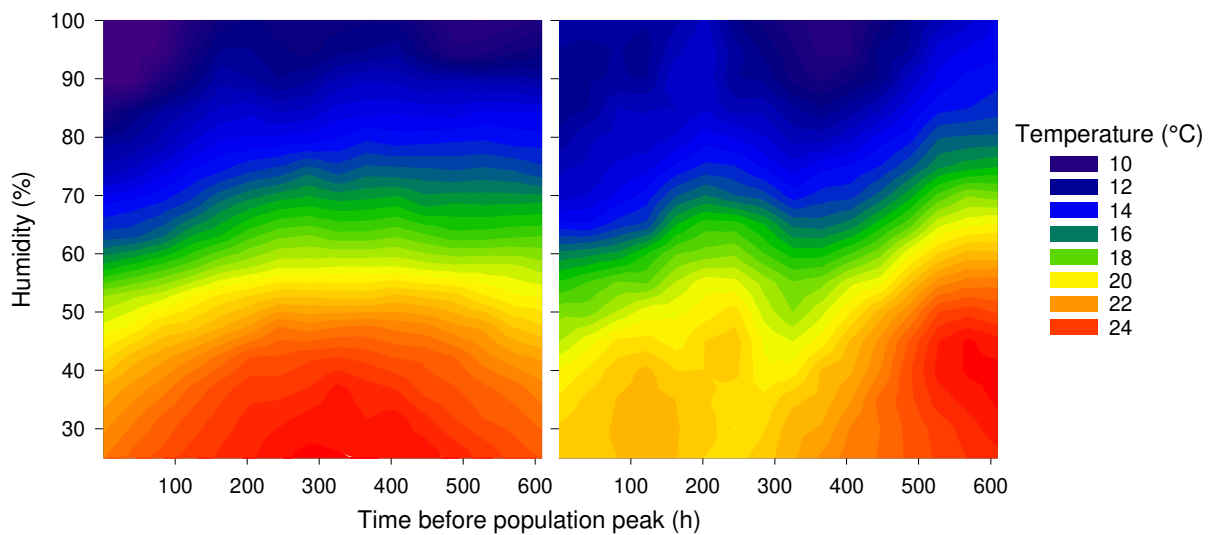


Figure 8: Humidity-temperature combinations before population peaks were observed in the Pinotin trap in epidemic years (left) and non-epidemic years (right). Running average, Sampling proportion = 0.1, Polynomial degree = 1, Bandwidth method = nearest neighbours.

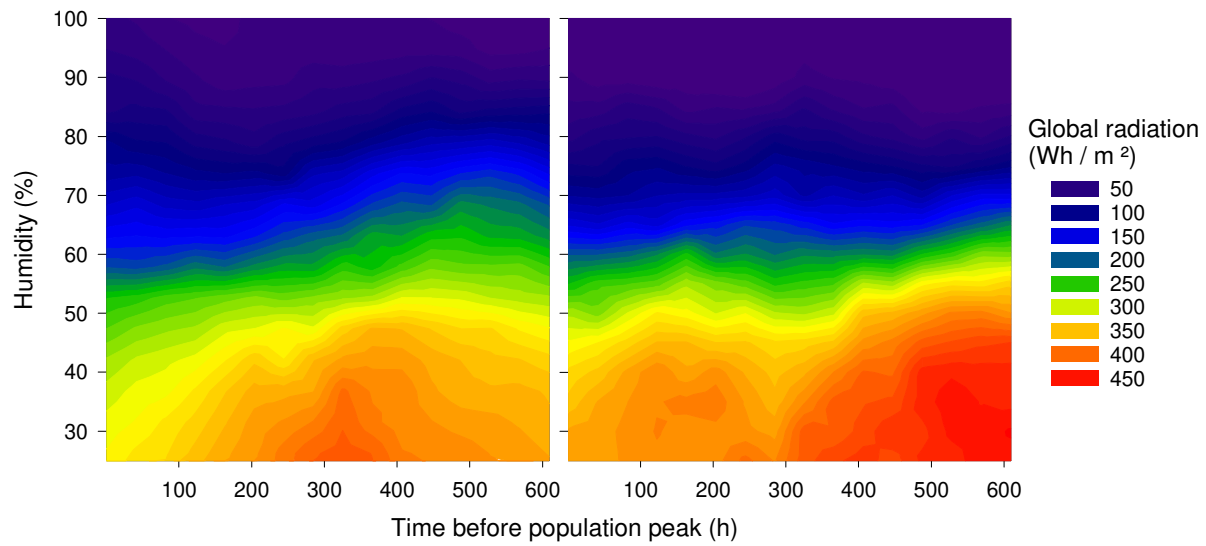


Figure 9: Humidity-global radiation combinations before population peaks were observed in the Pinotin trap in epidemic years (left) and non-epidemic years (right). Running average, Sampling proportion = 0.1, Polynomial degree = 1, Bandwidth method = nearest neighbours.

## Figure legends

Figure 1: Schema of the experimental set up. A: Entry of the flies, sealed with a mesh tissue during the experiment. B: Base of the Y-tube. C: Control arm and container. T: Treated arm and container. Blue circle: small cap containing the sucrose solution. Drawing not to scale.

Figure 2: Position of the traps in Remich. Pinotin: yellow mark, *Hedera helix* bush: blue mark and blackberry hedgerow: red mark. Meteorological station: orange square.

Figure 3: Boxplot of the number of eggs laid on control (C) and treated (T) berries for each treatment (6 replicates). \* Significant difference between control and treatment ( $\alpha=0.05$ ).

Figure 4: Time course of *Drosophila suzukii* individuals trapped at Remich, Luxembourg in a vineyard, where four treatments (control, Cutisan, Surround® and Carboliq) were applied. Each mean represents the average number of flies caught in the four traps for each treatment. Letters represent TukeyHSD post-hoc results, different letters signify statistically significant differences.

Figure 5: Sum of male and female adults of *Drosophila suzukii* that were trapped in the season 2020 by treatment. (A) Control. (B) Cutisan. (C) Surround®. (D) Carboliq. \* Significant difference between males and females ( $\alpha=0.05$ ).

Figure 6: Average number of eggs observed in 50 berries depending on the assessment date and the treatment.

Figure 7: Time course of the number of *Drosophila suzukii* adults trapped between May 2015 and October 2020. Traps were placed in a vineyard (Pinotin cultivar), in a *Hedera helix* bush and in a hedgerow primarily consisting of blackberries (*Rubus fruticosus*).

Figure 8: Humidity-temperature combinations before population peaks were observed in the Pinotin trap in epidemic years (left) and non-epidemic years (right). Running average, Sampling proportion = 0.1, Polynomial degree = 1, Bandwidth method = nearest neighbours.

Figure 9: Humidity-global radiation combinations before population peaks were observed in the Pinotin trap in epidemic years (left) and non-epidemic years (right). Running average, Sampling proportion = 0.1, Polynomial degree = 1, Bandwidth method = nearest neighbours.

Article

# Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) as a Climate Change Adaptation Strategy: Impact of Different Yield Regulation Approaches on Vegetative and Generative Development, Maturity Progress and Grape Quality in Riesling

Jan Schäfer <sup>1,\*</sup>, Matthias Friedel <sup>1</sup> , Daniel Molitor <sup>2</sup>  and Manfred Stoll <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of General and Organic Viticulture, Hochschule Geisenheim University, Von-Lade-Strasse 1, 65366 Geisenheim, Germany; matthias.friedel@hs-gm.de (M.F.); manfred.stoll@hs-gm.de (M.S.)

<sup>2</sup> Environmental Research and Innovation (ERIN) Department, Luxembourg Institute of Science and Technology, LIST, 41, rue du Brill, 4422 Belvaux, Luxembourg; daniel.molitor@list.lu

\* Correspondence: jan.schaefer@hs-gm.de; Tel.: +49-6722-502-161

**Abstract:** The training system Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) blends features of traditional Vertical Shoot Positioning-type (VSP) trellising systems with the concept of minimal pruning. While saving labor, this training system results in relatively high crop load and a poor leaf area to fruit weight-ratio (LFR), and thus, needs to be able to ripen grapes in a cool to moderate climate. For these reasons the impact of yield regulation strategies, including (i) shoot thinning (Darwin-Rotor), (ii) biotechnological thinning (Gibberellic acid), and (iii) bunch thinning (harvest machine) were trialed in a three year study at Geisenheim, Germany between 2017 and 2019 using Riesling (*Vitis vinifera* L.). The average yield per vine in SMPH ( $5.34 \pm 1.10$  kg) was 61.1% higher with a narrower LFR ( $14.01 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), compared with VSP ( $3.32 \pm 1.02$  kg, LFR:  $16.99 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ). The yield was successfully reduced and LFR simultaneously increased with shoot thinning ( $-33.1\%$ , LFR:  $19.04 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), biotechnological thinning ( $-18.3\%$ , LFR:  $16.69 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) and bunch thinning ( $-37.3\%$ , LFR:  $21.49 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Ripening was delayed in SMPH. On average, two maturity thresholds ( $14.1^\circ\text{Brix}$  and  $18.2^\circ\text{Brix}$ ) were achieved 129 GDD (seven days according to the recorded daily mean temperatures, respectively) and 269 GDD (16 days) later in non-thinned SMPH, compared to VSP. All thinning treatments accelerated maturity progress ranging from 27 GDD (two days) to 58 GDD (three days) for  $14.1^\circ\text{Brix}$  and 59 GDD (three days) to 105 GDD (six days) for  $18.2^\circ\text{Brix}$ . Apart from immediate benefits on the economic efficiency, the adaption of the leaf area to fruit weight ratio using SMPH holds high potential to, (i) produce grapes targeting specific wine profiles and/or (ii) reducing the velocity of ripening under conditions of climatic change.

**Keywords:** SMPH; training systems; climate change; crop thinning; maturity progress; maturity delay; velocity of ripening; primary fruit components



**Citation:** Schäfer, J.; Friedel, M.; Molitor, D.; Stoll, M. Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) as a Climate Change Adaptation Strategy: Impact of Different Yield Regulation Approaches on Vegetative and Generative Development, Maturity Progress and Grape Quality in Riesling. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 3304. <https://doi.org/10.3390/app11083304>

Received: 5 March 2021

Accepted: 29 March 2021

Published: 7 April 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Modern viticulture is challenged from various sides. On the one hand, labor shortages and a trend towards larger winery sizes create the demand for increased mechanization and automatization of vineyard and winery tasks. On the other hand, climate change threatens traditional forms of viticulture. A general tendency in German viticulture was reported by Stock et al. [1] and indicates a northbound shift of viticultural areas, as well as an ascent to higher elevations and an acceleration of all phenological phases due to increasing temperatures. Jones et al. [2] predict a global average increase in growing season temperature of  $2^\circ\text{C}$  during the first half of the 21st century with different magnitude for specific wine regions, i.e., a possible shift into another climate maturity type. Changes in average season temperature (Northern Hemisphere: Apr-Oct; Southern Hemisphere: Oct-Apr) show a high variability but seem to be less pronounced in cool climate regions,



i.e., Rhine valley showing an average warming of 1.51 °C [2]. Generally, phenological stages, such as bud break, flowering and veraison are projected to occur earlier in the year in European viticulture [3,4]. Duchêne and Schneider [5] report an earlier bud break, which might increase the risk of spring frost damages in grapevines in some regions. Flowering is projected to occur 15 days earlier by mid of the 21st century and 30 days until the end of 21st century in Bordeaux [6]. Moreover, temperature increases have already advanced the onset of ripening since the 1980's and are expected to advance veraison up to 30 days in the future European viticulture (2041–2070) under the predicted conditions of climate change [3]. Duchêne et al. [7] report that future ripening of grapes could occur under higher temperatures due to earlier veraison. An earlier ripening period will expose the ripening grapes to higher temperatures [4], and lead to a higher degree of alcohol, a lower concentration of organic acids, especially malic acid, and to changes in the aroma composition of wines [8]. This may ultimately impact on the typicality of regional wine profiles. The earlier onset of ripening will also lead to an increased pressure of fungal infections by *Botrytis cinerea* or other pathogens during the ripening phase. Optimum temperature for *B. cinerea* infection has been reported at 20.8 °C [9], well-above the temperature prevailing during grape ripening in cool to moderate climates. Several approaches have been proposed to counteract these climate change-related effects. The spraying of buds with oil or the painting of stems with white chalk has been reported to delay bud break [10]. Late pruning [11] and double pruning have been described to delay phenological development and delay ripening [12–14]. Moreover, the application of anti-transpirant agents to the canopy has also been shown to be successful in delaying phenological development and sugar accumulation in the grapes [15]. Boettcher et al. [16] delayed ripening by pre-veraison auxin applications on bunches. The manipulation of leaf area to fruit weight-ratio has been tested at various phenological stages. Whereas, leaf removal, prior to flowering, reduced the yield, and hence, promoted sugar accumulation [17], leaf removal after flowering, and after veraison [18,19], delayed ripening substantially. Another way to modify leaf area to fruit weight-ratio, and thus, delay ripening is through the vine training system. The grapevine training system, known as Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) has first been described by Intrieri et al. [20]. Whereas, machine pruned systems, trained to a VSP-type trellis, have been reported much earlier under the name of hedge pruning or box pruning [21]. SMPH is a vine training system, which blends features of traditional VSP-type trellising systems with the concept of minimal pruning. Vines are mechanically pruned in winter to a hedge shape of the trellis system using a normal grapevine hedger saving approximately 60 to 70 labor hours per hectare. Compared to cane pruning, SMPH has a much higher bud load and shoot number per meter of canopy [20]. The yield in SMPH is higher compared to VSP and consists of a higher number of loose bunches with a lower number of berries and a lower berry weight [20]. While, Intrieri et al. [20] found no differences in sugar accumulation between VSP and SMPH, experiments in cool to moderate climates like Germany, Luxembourg or Austria have shown that the onset of ripening, as well as maturity are delayed in SMPH trained grapevines [22]. The fact that ripening is delayed and bunches are less compact in SMPH, compared to VSP, makes the system suitable in counteracting the increased infection pressure by *B. cinerea* and the loss of grape quality due to warm conditions during the ripening phase. While, the system has been well-established in central European viticulture practice, there is a lack of experimentation with this system concerning long-term yield stability and vine capacity overload, potentially leading to a loss of product quality and yield breakdown [22–24].

The aim of this study was to investigate different crop thinning strategies in SMPH training system and the impact on (i) phenological development, (ii) maturity progress, as well as on (iii) long-term yield stability and hence grape quality. Two mechanical and one biotechnological thinning strategies were considered. Moreover, the potential of the training system SMPH to counteract the challenges of climate change were investigated and compared to the widely spread training system VSP. In this context, the central research

question was whether SMPH is an adequate strategy in postponing the harvest date, while maintaining fruit quality and wine profile under changing climatic conditions.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Experimental Vineyard Design and Thinning Treatments

All experiments were performed with Riesling (*Vitis vinifera* L.) grafted on SO4 rootstock in a vineyard site located at the Rheingau region (Germany: 49°59'30.8" N, 7°56'54.1" E) and managed by Hochschule Geisenheim University (HGU) between 2017 and 2019. The vineyard was planted in 1998 with an inter and intra row distance of 2 m × 1.2 m (vine density: 4167 vines/ha) and a row azimuth of 160°. Conversion to Semi-Minimal-Pruned Hedge training system was conducted in 2012. Three different thinning treatments were investigated considering two mechanical and one biotechnological thinning strategy. Mechanical shoot thinning was applied using the Darwin-Rotor (SMPH ST; Fruit Tec Maschinenbau, Markdorf, Germany) with horizontally rotating strings. Additionally, a second mechanical thinning strategy, which pursued bunch thinning, was performed with a harvest machine (SMPH BT; Grapeliner SF200, ERO, Niederkumbd, Germany) at berry pea size (E-L number 31; [25]). As biotechnological thinning strategy, the plant growth regulator Gibberellic acid (SMPH GA; Gibb 3, Plantan GmbH Buchholz i. d. Nordheide, Germany) was applied at a concentration of 50 ppm during flowering (E-L number 21). The treatments were established in three replicates, each represented by one row (field repetition). All three thinning treatments were compared to standard practice in VSP and a SMPH non-thinned control. Thinning treatments and annual adjustments are presented in Table 1.

**Table 1.** Mechanical and biotechnological thinning treatments and corresponding thinning adjustments for cv. Riesling in SMPH between the years 2017 and 2019.

Parameters Treatment abbreviations	Mechanical			Biotechnological			
	Darwin-Rotor SMPH ST	Harvest machine SMPH BT		Gibberellic acid SMPH GA			
Thinning target (organ)	Shoots	Bunches		Inflorescences/Blossom			
Time	2–3 leaves separated	Pea size stage of fruit development		Flowering, 30% caps off			
Phenological stage (E-L number)	9	31		21			
Thinning target (intensity)	40–50%	40–50%		50 ppm			
Application	East side of canopy	Both sides of canopy		Both sides of canopy			
Adjustments	2017–2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Hydraulic oil [L]	20	-		-			
Mechanical thinning frequency [beats min <sup>-1</sup> ]	-	380	355	365	-		
Velocity [km h <sup>-1</sup> ]	4	3		4			

### 2.2. Phenological Monitoring and Assessment of Phenological Progress Curves

Phenological development was monitored bi-weekly using the modified E-L system of Coombe [25] until pre-veraison (E-L number: 33). Fifty-one organs per field replicate were considered for the determination of the E-L number. Phenological progress was modelled by curve fitting of sigmoidal function type  $f(a,b,w,x): y = a / (1 + e^{-((x-w)/b)})$  according to Molitor et al. [22] to empiric data of phenological monitoring. Whereas,  $y$  represents the E-L number,  $a$  is the maximum of the curve,  $x$  indicates the growing degree day,  $w$  is the inflection point and  $b$  describes the slope factor of the curve in the inflection point. The cumulative growing degree days (GDD) were calculated according to Parker et al. [26] with a base temperature of 0 °C starting on 1st of March. Phenological differences in days were obtained by determining the day of the year (DOY) for each treatment in the seasons respectively at which calculated GDD for reaching full bloom (E-L number: 23) and pre-veraison (E-L number: 33) were reached.

### 2.3. Vegetative and Generative Parameters

The vegetative and generative parameters were assessed during growing season 2018 and 2019.

#### 2.3.1. Number of Shoots, Shoot Length, Shoot Diameter and Leaf Area per Shoot

Shoot number was counted for one linear meter of canopy per field replicate. Shoot length was analyzed on twelve randomly sampled shoots post trimming. Diameter was measured with a caliper above the first node. For the evaluation of leaf area per shoot, twelve shoots were randomly sampled from both sides of the canopy. Leaf area was measured in the laboratory using a leaf area meter (LI-3100C Area Meter, LI-COR<sup>®</sup> Inc., Nebraska, NE, USA).

#### 2.3.2. Number of Nodes, Budburst Rate and Inflorescences per Shoot

The number of nodes were counted on one-year old canes for one meter of linear canopy per field replicate. Count inflorescences per shoot was obtained by the quotient of inflorescences per meter and shoots per linear meter of canopy prior to flowering. Budburst rate was calculated from the quotient of shoots and nodes per linear meter.

### 2.4. Leaf Area and Leaf Area to Fruit Weight-Ratio

An indirect measure of leaf area (LA) was determined by non-destructive measurements of the leaf area index (LAI) using the LAI-2200 Plant Canopy Analyzer (PCA; LAI-2200, LI-COR<sup>®</sup> Inc., Nebraska, NE, USA). Measurements were conducted frequently during growing season between 2017 and 2019. The LAI of three transects per treatment was measured using protocol SFC (sensor facing the canopy with eight B-readings). Readings were recorded along a diagonal transect including eight vines on each side at sunset. A physical cap was used to limit the azimuthal field-of-view to 45°. The conversion of LAI to LA per meter canopy was conducted using the empirical calibration equation ( $y = 1.1684x - 0.1809$ ) according to Doering et al. [27] for same canopy architecture. For the determination of leaf area to fruit weight-ratio (LFR) LA per meter canopy was obtained at beginning of August. Fruit weight per vine was determined at harvest and converted into fruit weight per linear meter canopy. Due to sour rot infections in 2017, LFR was assessed by gravimetric analysis of manual harvested bunches and leaves (without petioles) of three linear meter of canopy for each treatment. Leaf area per gram leaves was calculated by the quotient of measured LA (LI-3100C Area Meter, LI-COR<sup>®</sup> Inc., Nebraska, NE, USA) and leaf weight of approximately 10% sampled leaves. Finally, the leaf area per meter was extrapolated with leaf area per gram leaves and total weight of leaves per meter.

### 2.5. Assessment of Maturity Progress

Maturity monitoring was conducted bi-weekly on a 100-berry sample taken from all field replicates randomly from both sides of the canopy starting at veraison until harvest. Berries were crushed and pressed for five minutes at one bar with a sample press (Longarone 85, Tafec, Norderstedt, Germany). The juice was clarified by centrifugation (5430R, Eppendorf, Hamburg, Germany) for 5 min at 7830 rpm and analyzed by FT-MIR spectroscopy. Maturity progress was modelled by curve fitting of sigmoidal function type  $f(a,b,x,w): y = a/(1 + e^{-((x-w)/b)})$  according to Molitor et al. [22] to empiric data of maturity monitoring. Whereas,  $y$  represents °Brix,  $a$  is the maximum of the curve,  $x$  indicates the growing degree day,  $w$  is the inflection point and  $b$  describes the slope factor of the curve in the inflection point. The cumulative growing degree days (GDD) were calculated according to Parker et al. [26] with a base temperature of 0 °C starting on 1st of March. Differences in maturity progress between the treatments were determined by the differences in calculated GDD for reaching the legal threshold of °Brix for quality categories of quality wine of origin (Riesling: 14.1 °Brix) and cabinet wine (Riesling: 18.2 °Brix) in the Rheingau wine region, Germany, respectively. Maturity differences in days were obtained by determining the day of the year (DOY) for each treatment in the season respectively at which GDD for

corresponding brix thresholds were achieved. The concentration of primary amino-acids was determined according to the N-OPA procedure of Dukes and Butzke [28].

### 2.6. Bunch Architecture

Six bunches per field replicate were randomly sampled from both sides of the canopy prior to harvest. Bunch weight, rachis weight and total berry weight (manually removal from rachis) was determined by weighing with precision scale (2100 G LCD, Satorius). Single berry weight was calculated by total berry weight per bunch divided by number of berries per bunch. Rachis to bunch weight-ratio was determined to describe bunch compactness.

### 2.7. *Botrytis cinerea* Monitoring

Monitoring for *B. cinerea* severity and incidence was conducted during ripening period in 2017, and prior to harvest in 2017 and 2019. No data could be obtained in 2018 due to missing disease infections. For each field replicate, 100 bunches from both sides of the canopy were observed randomly. Data was recorded in percent using the European Plant Protection Organization (EPPO) guideline PP1/17, which classifies visually observed disease severities in seven classes (0%, 1–5%, 6–10%, 11–25%, 26–50%, 51–75%, 76–100%).

### 2.8. Quantification of Yield and Analytical Parameters

Harvest was conducted by harvest machine in all treatments. In 2017, selective manual harvest had to be conducted in VSP, due to sour rot infection. Yield was determined without rachis weight. Harvest dates were scheduled by technical maturity and grape sanitary status. Grapes were harvested in bins and quantified for each field replicate and treatment separately by weighing. Yield per vine was calculated by dividing the total yield by the number of vines of each field replicate. Yield per hectare was then extrapolated considering the planting density. Grape juice was clarified by centrifugation (5430R, Eppendorf, Hamburg, Germany) for 5 min. at 7830 rpm and analyzed by FT-MIR spectroscopy.

### 2.9. Statistical Analysis and Data Visualization

Statistical analysis and data visualization were conducted with open source software R and JASP. Assumption checks for data normal distribution of residuals was evaluated with Shapiro-Wilk Test. Homogeneity of variances was tested according to Levene's Test (center = median). In case of normal distribution and homogeneity of variances a two-factorial (treatment and vintage) ANOVA was applied followed by Tukey HSD test ( $\alpha = 0.05$ ) for pairwise comparisons. Non-parametric Kruskal-Wallis Test was applied for one-factorial and Scheirer Ray Hare-Test for two-factorial analysis to data that were not normally distributed and/or homogenous. Statistically significant differences between the treatments were evaluated with Dunn's pairwise comparisons using R package FSA [29]. For correlations between empiric data and calculated data of phenology and maturity progress, Pearson's coefficient of correlation was determined. Principal component analysis (PCA) was done with R package stats and princomp function on autoscaled data. Percentage data of *B. cinerea* evaluation was subjected to arcsine transformation prior to statistical analysis. Budburst rate was evaluated with a generalized linear model and poisson regression.

## 3. Results

### 3.1. Vegetative and Generative Parameters

The SMPH training system was generally characterized by higher nodes and shoot number, but shorter shoot length, as well as less inflorescences and lower leaf area per shoot compared to VSP (Table 2). The average number of nodes was 20 times higher in SMPH resulting in 10 times higher number of shoots per meter, due to a significantly lower bud burst-rate compared to VSP (Table 2). Due to the high number of shoots per

meter of canopy in SMPH, the average shoot length was only a quarter, compared to VSP trained vines with 36% lower shoot diameter, 87% lower leaf area per shoot and one third as much inflorescences per meter canopy. Across three seasons average number of shoots per meter were reduced by 31.8% by means of shoot thinning resulting in an increase in shoot length (+35%), leaf area per shoot (+50%), and thus, leaf area to fruit weight-ratio. Although all thinning treatments did not significantly affect shoot length, leaf area per shoot and number of inflorescences, increasing values referred to the non-thinned SMPH were observed (Table 2). Given the higher shoot number in SMPH, average leaf area per meter of canopy before trimming was 1.6 to 2.0 times higher compared to VSP (Table 2). Growth was enhanced by Gibberellic acid and bunch thinning treatments due to a lower crop load in subsequent vintages, compared to SMPH, resulting in a higher leaf area (LA) during the growing period of 2018 and 2019 (Figure S1). The average LA was 78.4% higher in SMPH, 83.2% in SMPH GA, 100.6% in SMPH BT and 58.1% in SMPH ST compared to VSP (Table 2). The effect of trimming on LA was higher for SMPH training system. Average LA reduction ranged from  $-30.2\%$  ( $\pm 4.1$ ) for SMPH ST,  $-33.2\%$  ( $\pm 1.8$ ) for SMPH,  $-37.2\%$  ( $\pm 5.7$ ) for SMPH GA and  $-38.0\%$  ( $\pm 3.2$ ) for SMPH BT, while LA in VSP was reduced by  $13.7\%$  ( $\pm 6.2$ ) in VSP. Trimming minimized the discrepancy in LA between the two training systems. The average LA in SMPH after trimming was only 1.3 to 1.4 times higher than in VSP (Table 2).

**Table 2.** Mean values and standard deviation ( $\pm$ SD) of vegetative and generative parameters of cv. Riesling trained in VSP and SMPH training system with shoot thinning (SMPH ST), biotechnological thinning (SMPH GA) and bunch thinning (SMPH BT) across the years 2017–2019. Different letters between the treatments indicate significant differences.

Parameter	Treatment					p-Values		
	VSP	SMPH	SMPH GA	SMPH BT	SMPH ST	Vintage	Treatment	Vintage * Treatment
Nodes per meter	17.65 b $\pm$ 2.57	360.61 a $\pm$ 75.76	399.89 a $\pm$ 102.52	374.83 a $\pm$ 87.15	350.72 a $\pm$ 89.93	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.007$
Shoots per meter	17.98 c $\pm$ 2.76	181.17 a $\pm$ 13.81	177.11 a $\pm$ 23.70	182.50 a $\pm$ 31.09	123.56 b $\pm$ 14.49	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Shoot length [cm]	137.90 a $\pm$ 7.05	32.81 b $\pm$ 9.93	36.26 b $\pm$ 7.49	38.02 b $\pm$ 10.27	44.31 b $\pm$ 7.02	$p = 0.335$	$p < 0.001$	$p = 0.796$
Inflorescences per shoot	1.89 a $\pm$ 0.53	0.59 b $\pm$ 0.12	0.52 b $\pm$ 0.13	0.65 b $\pm$ 0.19	0.75 b $\pm$ 0.18	$p = 0.351$	$p = 0.002$	$p = 0.405$
Inflorescences per meter	32.78 b $\pm$ 3.61	109.17 a $\pm$ 25.50	98.94 a $\pm$ 30.68	120.06 a $\pm$ 25.94	94.17 a $\pm$ 31.40	$p = 0.997$	$p < 0.001$	$p = 0.668$
Bud burst rate [%]	101.91 a $\pm$ 7.03	51.30 bc $\pm$ 14.92	44.29 c $\pm$ 13.86	48.69 b $\pm$ 17.46	64.14 b $\pm$ 9.71	$p = 0.348$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Leaf area per shoot [cm <sup>2</sup> ]	4284.31 a $\pm$ 389.94	548.31 b $\pm$ 110.94	554.63 b $\pm$ 171.34	642.91 b $\pm$ 137.13	824.83 b $\pm$ 321.03	$p = 0.728$	$p < 0.001$	$p = 0.097$
LA/m canopy [m <sup>2</sup> ] before trimming	4.89 c $\pm$ 0.60	8.72 ab $\pm$ 1.61	8.96 ab $\pm$ 1.43	9.81 a $\pm$ 1.10	7.73 b $\pm$ 1.28	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.570$
LA/m canopy [m <sup>2</sup> ] after trimming	4.22 c $\pm$ 0.30	5.83 ab $\pm$ 0.85	5.63 ab $\pm$ 0.50	6.08 a $\pm$ 0.54	5.39 b $\pm$ 0.65	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.545$
Leaf area to fruit weight-ratio [cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ]	16.99 bc $\pm$ 4.82	14.01 c $\pm$ 3.35	16.69 bc $\pm$ 6.48	21.49 a $\pm$ 4.24	19.04 ab $\pm$ 3.76	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p = 0.003$

### 3.2. Leaf Area to Fruit Weight-Ratio

A narrower leaf area to fruit weight-ratio (LFR) was observed in 2017 and 2019 for SMPH compared to VSP (Figure S2). Although, statistically significant differences were not detected between the two training systems. All thinning treatments led to a wider LFR compared to SMPH with exception of SMPH GA in 2017 (Figure S2). These observations were significant in 2018 for bunch thinning treatment ( $p = 0.002$ ). Across three vintages, both mechanical thinning strategies showed a significant wider LFR referred to SMPH. Moreover, a significant higher LFR was achieved with SMPH BT, compared to VSP (Table 2). Biotechnological thinning with Gibberellic acid did not significantly affect LFR.

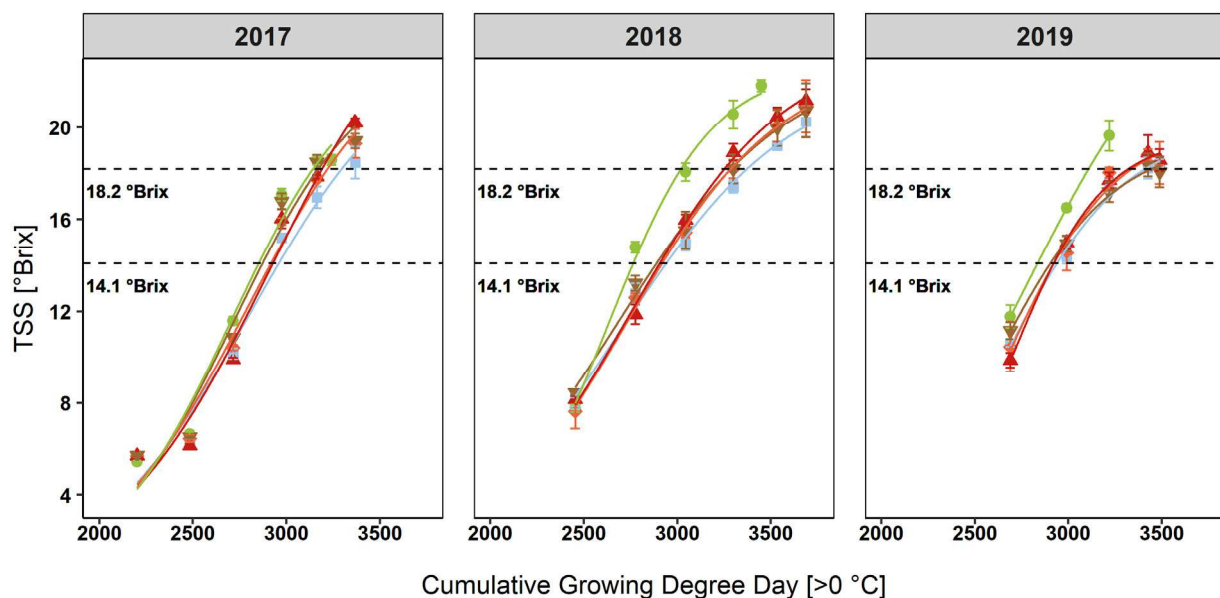


### 3.3. Phenology

Full bloom occurred after 1197 GDD (DOY 159) and pre-veraison (E-L number 33) was reached after 2112 GDD (DOY 203) on average between 2017 and 2019 in VSP training system (Table S1). SMPH showed a delay of 41 GDD (2 days) for reaching full bloom and 93 GDD (4 days) pre-veraison. In both mechanical thinning treatments full bloom occurred earlier than in SMPH. The delay to VSP decreased to 28 GDD (1 day) with bunch thinning and 32 GDD (1 day) with shoot thinning. Pre-veraison, a delay of 35 GDD (2 days) was determined with biotechnological thinning compared to the non-thinned SMPH. Pre-veraison was calculated the earliest of all SMPH treatments with SMPH ST (2193 GDD) and the delay to VSP was reduced to 81 GDD (4 days). Mechanical bunch thinning slowed down phenological development resulting in a delay about 139 GDD (6 days) at pre-veraison. The results of GDD and DOY are presented for full bloom and pre-veraison (Table S1).

### 3.4. Maturity Progress

VSP showed a faster velocity of ripening compared to all SMPH treatments (Figure 1) resulting in a higher brix value at a given GDD. Through all thinning treatments, maturity progress was accelerated and the delay in ripening reduced.



**Figure 1.** Maturity progress and thresholds of two German wine categories (14.1 °Brix and 18.2 °Brix): Total soluble solids (TSS) plotted against cumulative growing degree days in Vertical Shoot Positioning (VSP ●) and Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) training system with non-thinned control (SMPH ■), shoot thinning (SMPH ST ▼), biotechnological thinning (SMPH GA ◆) and bunch thinning using a harvester (SMPH BT ▲) of cv. Riesling between 2017 and 2019. Shapes indicate empirical observed data, lines represent calculated progress according to sigmoidal equation type  $y = a / (1 + e^{-((x-w)/b)})$ . Error bars are representing  $\pm$ SD.

On average VSP required 2818 GDD (DOY 236) reaching the legal threshold of TSS (Riesling: 14.1 °Brix) for the category of quality wine of origin at Rheingau valley (Table S2). For the SMPH, a delay of 129 GDD (7 days) was determined. Whereas, thinning accelerated maturity progress. Across three vintages the delay to VSP was reduced to 71 GDD (3 days) by shoot thinning, 101 GDD (5 days) by bunch thinning and 102 (5 days) by biotechnological thinning. Reducing yield caused an earlier ripening (14.1 °Brix) in SMPH ST (58 GDD; 3 days), SMPH BT (28 GDD; 2 days) and SMPH GA (27 GDD; 2 days) compared to non-thinned SMPH.

The threshold of TSS for the category of cabinet wine quality (Riesling: 18.2 °Brix) was reached on average 269 GDD (16 days) later in SMPH (3358 GDD; DOY 268) compared

to VSP (3089 GDD; DOY 251) (Table S2). Across three vintages, the delay to VSP was reduced to 164 GDD (10 days) by bunch thinning, 191 GDD (12 days) by biotechnological thinning and 210 GDD (13 days) using shoot thinning. Compared to the non-thinned SMPH 18.2 °Brix was reached earlier in SMPH BT (105 GDD; 6 days), SMPH GA (78 GDD; 4 days) and SMPH ST (59 GDD; 3 days).

GDD and DOY for both wine categories (14.1 °Brix and 18.2 °Brix) and all treatments as well as years respectively are presented in Table S2.

#### 3.4.1. Maturity at Harvest of VSP

Since maturity was reached earlier in VSP, ripening parameters were recorded for all treatments shortly prior to harvest of VSP. At this time values of TSS, reducing sugar and extract were significantly lower in SMPH than in VSP (Table S3). All means of thinning increased TSS, reducing sugars and extract significantly, but concentrations were still significantly lower compared to values of VSP. Compared to VSP, mean value of reducing sugar across three seasons was 14.5% lower in SMPH, while thinning increased sugar concentration about 4.8% in SMPH ST, 5.7% in SMPH GA and 6.6% in SMPH BT, compared to SMPH. No significant difference in total acidity (TA) was determined between all SMPH treatments and VSP, but on average, higher values were observed for SMPH and SMPH GA. While, SMPH BT and SMPH ST showed lower mean values compared to VSP. TA was significantly decreased by bunch and shoot thinning (−7.2% and −7.5%) compared to SMPH. A significant difference between the two training systems was detected for tartaric acid, with 10% higher values in SMPH, 7% in SMPH BT and 5% in SMPH GA. Compared to VSP, lower values of malic acid were determined for SMPH GA (−2.5%), SMPH (−3.8%), SMPH ST (−10.4%) and SMPH BT (−14.6%). These observations were significant for SMPH BT and SMPH ST while SMPH GA did not significantly differ, compared to VSP. N-OPA concentration was significantly lower to VSP in all SMPH treatments except for bunch thinning.

#### 3.4.2. Maturity at Harvest of VSP and SMPH

As harvest occurred later in SMPH training system, maturity parameters were analyzed right before harvest on a hundred-berry sample for each training system separately. Berry composition of SMPH treatments was analyzed 9 days (2017), 19 days (2018) and 20 days (2019) later than in VSP training system. Across three seasons significantly lower values for reducing sugars (−5.6%), extract (−5.3%) and °Brix (−4.9%) was detected in SMPH, compared to VSP. All three thinning treatments increased respective values to a level of VSP (Table S4). Bunch thinning increased sugar concentration (+6%), followed by biotechnological thinning (+3.2%) and shoot thinning (+2.3%). Compared to VSP, higher values of tartaric acid (+4.6%) and significantly lower values of malic acid (−23.1%) were determined for SMPH, resulting in a significantly lower total acidity (TA). Compared to SMPH, the thinning treatments SMPH GA and SMPH ST showed lower values for malic and tartaric acid and hence lower values for TA across three seasons. SMPH BT decreased malic acid by 18% compared to SMPH and 37% compared to VSP resulting in a significantly lower total acidity. By extending the ripening period in SMPH training system, pH-value did not differ and thinning showed no impact. On average across three seasons, no significant difference in N-OPA concentration was detected between all treatments right before harvest. However, a higher assimilable nitrogen concentration (+12% N-OPA referred to VSP and SMPH) was observed with bunch thinning.

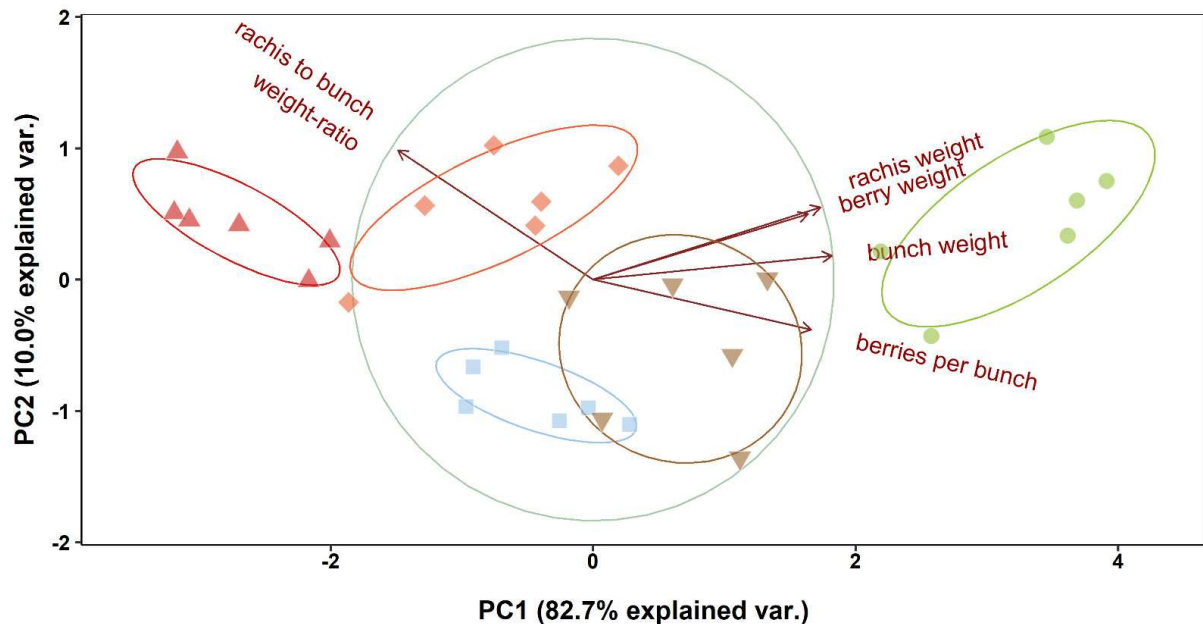
### 3.5. Bunch Architecture and *Botrytis cinerea* Susceptibility

#### 3.5.1. Bunch Architecture

VSP was related to higher values for rachis weight, single berry weight and more berries per bunch, and hence, higher bunch weights, compared to SMPH training system (Figure 2). Shoot thinning increased bunch weight, while bunch thinning showed the opposite effect. Gibberellic acid and bunch thinning treatments were characterized by a



higher rachis to bunch weight-ratio with smaller single berry weights, and thus, a looser bunch architecture was obtained. Whereas, shoot thinning resulted in a more compact bunch architecture.



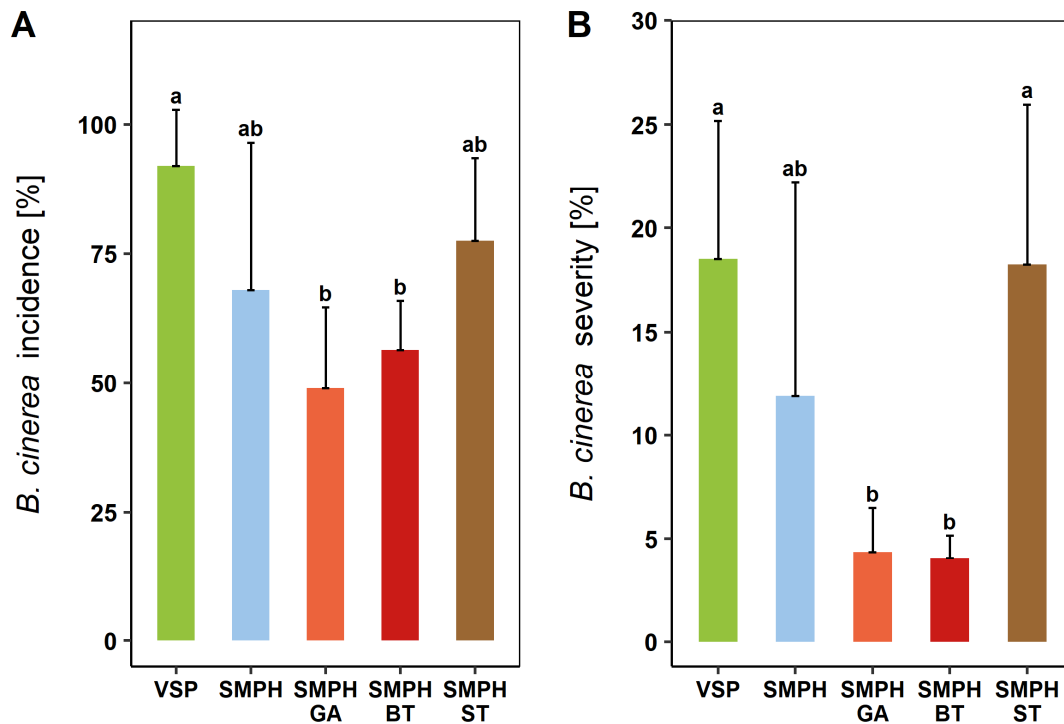
**Figure 2.** PCA-Biplot of bunch architecture for cv. Riesling trained in Vertical Shoot Positioning (VSP ●) and Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) with non-thinned control (SMPH ■), shoot thinning (SMPH ST ▼), biotechnological thinning (SMPH GA ◆) and bunch thinning using a harvester (SMPH BT ▲). Length and distance of arrows within correlation circle represent correlation to principle components and between variables respectively. Data was recorded prior to harvest in 2018 and 2019.

On average, a 35.1% lower single berry weight was recorded for SMPH, compared to VSP. Berry weight increased about 10% by means of shoot and biotechnological thinning and decreased about 27.4% with bunch thinning compared to SMPH. A significantly lower rachis weight was detected for all SMPH treatments compared to VSP ( $p < 0.001$ ). Across two seasons rachis weight in SMPH was significantly lower (−51.4%), compared to VSP. Through shoot thinning rachis weight significantly increased by 35.6%, compared to SMPH. An increased rachis weight was observed in SMPH GA (+23.5%) while rachis weight decreased in SMPH BT (−18.4%), but not significantly. On average, 30.2% less berries per bunch were recorded for SMPH compared to VSP. Berries per bunch decreased in SMPH GA (−13.5%) and SMPH BT (−27.5%), but increased with SMPH ST (22%) referred to SMPH. Compared to VSP a significant lower bunch weight was detected for all SMPH treatments ( $p < 0.001$ ). Average bunch weight in SMPH was significantly lower (−54.3%) compared to VSP. In terms of SMPH BT, bunch weight significantly decreased about 44.1% and increased about 33.4% with SMPH ST compared to SMPH. SMPH GA and SMPH BT increased rachis to bunch weight-ratio by 26.0% (6.25%,  $\pm 0.41$ ) and 45.9% (7.23%,  $\pm 0.39$ ) respectively compared to SMPH and 33.83%, to 54.89%, respectively compared to VSP ( $p < 0.001$ ). To validate the rachis to bunch weight-ratio as a parameter for bunch compactness, the coefficient for determination of rachis to bunch weight-ratio and *B. cinerea* infections in SMPH training system was determined in 2019 with  $R^2 = 0.67$  for severity and  $R^2 = 0.86$  for incidence ( $n = 12$ ).

### 3.5.2. *Botrytis cinerea* Susceptibility during Ripening

In 2017, an incidence for *B. cinerea* of 92.0% with a severity of 18.5% was detected for VSP at harvest (Figure 3). At the same time SMPH training system showed a 24.0% lower incidence with 6.6% lower severity. By means of thinning using Gibberellic acid *B. cinerea*

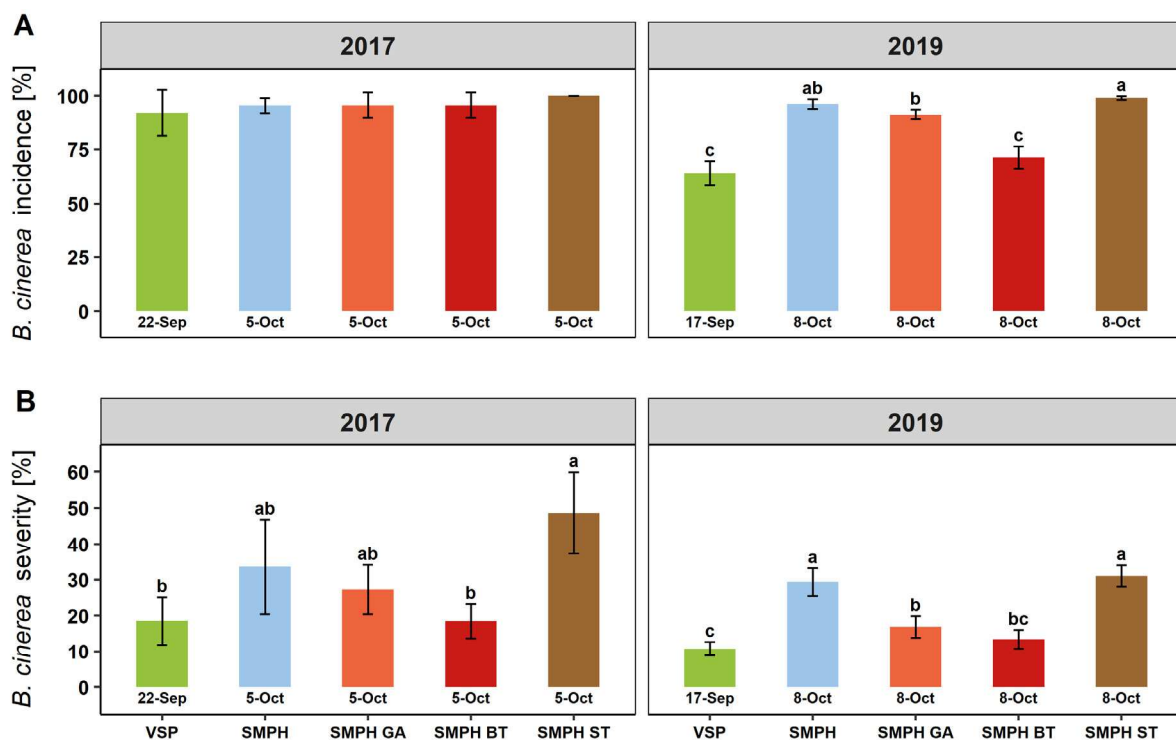
incidence and severity decreased about 19.0%, and 7.6%, respectively, compared to the non-thinned SMPH. Similar values for susceptibility could be observed for bunch thinning. The incidence of *B. cinerea* increased by 9.5% and severity by 6.4% in SMPH ST compared to SMPH. At the time of *B. cinerea* evaluation maturity was advanced in VSP (18.58 °Brix,  $\pm 0.21$ ) and SMPH ST (18.49 °Brix,  $\pm 0.31$ ). Whereas, maturity was delayed in SMPH BT (17.85 °Brix,  $\pm 0.08$ ), SMPH GA (17.75 °Brix,  $\pm 0.11$ ) and SMPH (16.96 °Brix,  $\pm 0.47$ ).



**Figure 3.** Mean values of incidence (A) and severity (B) of *Botrytis cinerea* infections [%] for cv. Riesling trained in Vertical Shoot Positioning (VSP ■) and Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) with non-thinned control (SMPH ■), shoot thinning (SMPH ST ■), biotechnological thinning (SMPH GA ■) and bunch thinning using a harvester (SMPH BT ■) during ripening progress on 22nd of September in 2017. Different letters indicate statistically significant differences between the treatments with  $p = 0.017$  for incidence and  $p = 0.008$  for severity. Error bars are representing  $\pm$ SD.

### 3.5.3. *Botrytis cinerea* Incidence and Severity at Harvest

As harvest in SMPH training system occurred later than in VSP, *B. cinerea* infections were assessed 13 days later in 2017 and 21 days later in 2019. Generally, high *B. cinerea* infections occurred in 2017. At the postponed harvest date, incidence was higher in SMPH training system than in VSP. In SMPH BT incidence was significantly reduced, but did not show the differences with VSP at a postponed harvest date of three weeks in 2019 (Figure 4A). On average, no significant differences in incidence were detected between all SMPH treatments and VSP at harvest except for SMPH ST ( $p = 0.005$ ). Shoot thinning had a 21.5% higher incidence compared to VSP and 3.6% compared to SMPH. *B. cinerea* incidence decreased about 2.5% in SMPH GA and 12.5% using SMPH BT.



**Figure 4.** Mean values of incidence (A) and severity (B) of *Botrytis cinerea* infections [%] for cv. Riesling trained in Vertical Shoot Positioning (VSP ■) and Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) with non-thinned control (SMPH ■), shoot thinning (SMPH ST ■), biotechnological thinning (SMPH GA ■) and bunch thinning using a harvester (SMPH BT ■) at harvest in season 2017 and 2019. Evaluation for SMPH was conducted 13 days later than for VSP in 2017 and 21 days later in 2019. Different letters within vintages indicate statistically significant differences between the treatments. Incidence: 2017:  $p = 0.146$ , 2019:  $p < 0.001$ . Severity: 2017:  $p = 0.002$ , 2019:  $p < 0.001$ . Error bars are representing  $\pm$ SD.

At the later harvest date, *B. cinerea* severity was higher in SMPH training system compared to VSP in 2017 and 2019. SMPH BT and SMPH GA decreased severity in both years. Whereas, SMPH ST increased severity (Figure 4B). Average severity was significantly higher in SMPH and SMPH ST compared to VSP at the postponed harvest dates across 2017 and 2019. SMPH GA and SMPH BT did not differ significantly from VSP. *B. cinerea* severity decreased by 9.4% using SMPH GA and 15.6% in SMPH BT whereas SMPH ST increased severity by 8.4%, compared to SMPH. Significant differences to SMPH were determined for SMPH BT ( $p < 0.001$ ).

### 3.6. Crop Level, Thinning Performance and Grape Juice Composition

#### 3.6.1. Crop Level

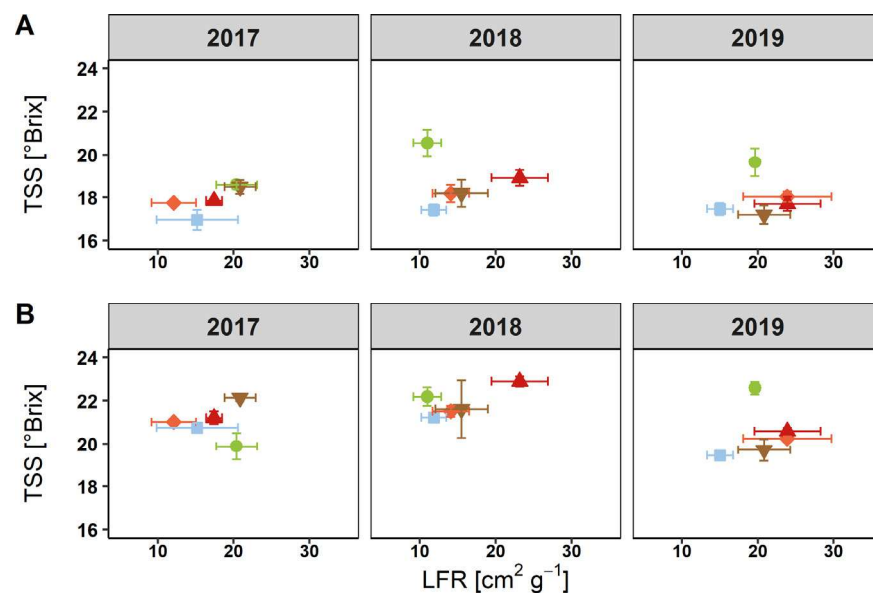
Across three years, VSP training system had the lowest yield of all treatments. On average, crop load in SMPH was about 61% higher compared to VSP (Table 3). Compared to SMPH, in SMPH ST, SMPH GA and SMPH BT yield was reduced by 33.1%, 18.3% and 37.3% respectively. Best thinning performance was observed for SMPH ST and SMPH BT between 2017 and 2019. On average, both treatments reduced yield to a crop load level of VSP. As crop level did alternate annually (alternate bearing), interaction effects in vintage and treatment occurred for almost all grape juice parameters. Effect of alternate bearing was examined by coefficient of variation between 2017 and 2019, which was highest for SMPH GA (37%), SMPH ST (36%) and VSP (34%). Lowest coefficient of variation was calculated for SMPH and SMPH BT (22%) and hence showed less alternate bearing (Table S5).

**Table 3.** Mean values and standard deviation (SD) of cv. Riesling grape juice parameters in VSP and SMPH training system with different thinning treatments across the years 2017–2019 ( $\pm$ SD). Different letters between the treatments indicate significant differences.

Parameter	Treatment					p-Values		
	VSP	SMPH	SMPH GA	SMPH BT	SMPH ST	Vintage	Treatment	Vintage * Treatment
Yield [t ha <sup>-1</sup> ]	13.82 c $\pm$ 4.25	22.27 a $\pm$ 4.60	18.19 b $\pm$ 6.24	13.96 c $\pm$ 2.80	14.89 c $\pm$ 5.22	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001
Yield per vine [kg]	3.32 c $\pm$ 1.02	5.34 a $\pm$ 1.10	4.37 b $\pm$ 1.50	3.35 c $\pm$ 0.67	3.57 c $\pm$ 1.25	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001
Total soluble solids [°Brix]	21.56 $\pm$ 1.33	20.48 $\pm$ 0.81	21.02 $\pm$ 0.55	21.57 $\pm$ 1.05	21.16 $\pm$ 1.32	<i>p</i> = 0.001	<i>p</i> = 0.295	<i>p</i> = 0.011
Reducing sugars [g L <sup>-1</sup> ]	210.31 $\pm$ 15.72	198.02 $\pm$ 8.57	204.44 $\pm$ 5.99	210.86 $\pm$ 11.61	206.06 $\pm$ 14.97	<i>p</i> = 0.002	<i>p</i> = 0.263	<i>p</i> = 0.008
Extract [g L <sup>-1</sup> ]	234.23 $\pm$ 15.38	221.76 $\pm$ 9.43	227.98 $\pm$ 6.30	234.37 $\pm$ 12.11	229.59 $\pm$ 15.25	<i>p</i> = 0.001	<i>p</i> = 0.295	<i>p</i> = 0.011
Total acidity [g L <sup>-1</sup> ]	12.43 $\pm$ 3.55	10.53 $\pm$ 2.53	10.64 $\pm$ 2.99	9.68 $\pm$ 2.75	10.27 $\pm$ 2.92	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> = 0.491	<i>p</i> = 0.999
Tartaric acid [g L <sup>-1</sup> ]	6.49 a $\pm$ 1.94	6.11 b $\pm$ 1.13	5.85 c $\pm$ 1.28	5.78 c $\pm$ 1.04	5.98 bc $\pm$ 1.18	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001
Malic acid [g L <sup>-1</sup> ]	6.38 $\pm$ 2.30	5.02 $\pm$ 2.08	5.33 $\pm$ 2.19	4.61 $\pm$ 2.03	4.99 $\pm$ 2.22	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> = 0.298	<i>p</i> = 0.9996
Tartaric to Malic ratio	1.09 $\pm$ 0.29	1.42 $\pm$ 0.68	1.24 $\pm$ 0.48	1.47 $\pm$ 0.64	1.41 $\pm$ 0.66	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> = 0.533	<i>p</i> = 0.576
TSS to TA ratio	1.90 d $\pm$ 0.66	2.03 c $\pm$ 0.43	2.11 bc $\pm$ 0.55	2.40 a $\pm$ 0.70	2.19 b $\pm$ 0.53	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> < 0.001
pH-value	3.08 $\pm$ 0.23	3.09 $\pm$ 0.08	3.05 $\pm$ 0.09	3.11 $\pm$ 0.09	3.17 $\pm$ 0.10	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> = 0.206	<i>p</i> = 0.024
N-OPA [mg L <sup>-1</sup> ]	93.11 b $\pm$ 28.02	92.11 b $\pm$ 11.87	94.88 ab $\pm$ 11.62	103.56 a $\pm$ 12.09	93.22 b $\pm$ 8.48	<i>p</i> < 0.001	<i>p</i> = 0.0108	<i>p</i> < 0.001

### 3.6.2. Grape Juice Composition

Even though the ripening period was extended in SMPH training systems compared to VSP, TSS did not differ significantly between the two training systems in 2017 and 2018 (Figure 5B). Due to persistent precipitation during the extended ripening period of SMPH in 2019, significant lower TSS were detected compared with VSP. A negative correlation between °Brix and yield was determined among the SMPH treatments with correlation coefficients  $-0.92$  (2017),  $-0.79$  (2018) and  $-0.65$  (2019), and hence, resulting in higher TSS with thinning. Significant higher Brix values compared to SMPH were found in 2017 for SMPH ST and in 2019 for SMPH BT ( $p < 0.001$ ). Nevertheless, on average across three vintages, no significant differences in TSS (°Brix) were found, and reducing sugar and extract at harvest occurred between the two training systems and all thinning treatments (Table 3). Lowest values for sugar concentration was observed for SMPH, which was 5.8% lower than in VSP. Compared to the non-thinned SMPH sugar concentration increased about 3.2% in SMPH GA, 4.1% in SMPH ST and 6.5% in SMPH BT thinning treatment. Across three vintages a lower total acidity (TA) compared to VSP was recorded for SMPH ( $-15.3\%$ ). Shoot thinning as well as bunch thinning seem to decrease TA, ranging from  $-2.5\%$  and  $-8.1\%$  respectively while SMPH GA showed no notable differences referred to the non-thinned SMPH. On average, tartaric acid concentrations were significantly lower in SMPH ( $-5.8\%$ ), SMPH ST ( $-7.9\%$ ), SMPH GA ( $-9.8\%$ ) and SMPH BT ( $-11\%$ ). The later harvest date in SMPH training system resulted in similar mean values for N-OPA at a simultaneously higher crop level, compared with VSP. When bunch thinning caused the same crop level compared to VSP the N-OPA concentration increased significantly (12.4%).



**Figure 5.** Total soluble solids (TSS) during ripening period (A) and at harvest (B) in relation to leaf area to fruit weight-ratio ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) for cv. Riesling trained in Vertical Shoot Positioning (VSP ●) and Semi-Minimal-Pruned Hedge (SMPH) with non-thinned control (SMPH ■), shoot thinning (SMPH ST ▼), biotechnological thinning (SMPH GA ♦) and bunch thinning using a harvester (SMPH BT ▲) in the years 2017–2019. Error bars are representing  $\pm$ SD.

#### 4. Discussion

The aim of the present study was to evaluate the SMPH training system and thinning approaches as potential adaptation strategies for climate change in a cool-to-moderate climatic region. In addition to their benefits in complete viticultural mechanization, vines grown in SMPH training system have been reported to display several features that might benefit wine quality under global warming [22,24,30]. These include a delay of phenological stages, and thus, ripening in cooler periods, and an improved bunch architecture, both contributing to a reduced *B. cinerea* susceptibility of ripening grape bunches. In addition, ripening under moderate climate conditions may help preserve the typicity of terroir wines, originating from cool to moderate climatic regions, as significantly high temperatures negatively impact organic acids [2,31], and particularly varietal aroma compounds of cv. Riesling [32,33].

##### 4.1. Vegetative and Generative Development

Despite the physiologically self-regulating bud burst mechanism in SMPH [20], growth of SMPH vines was elevated, due to a high bud load, resulting in more shoots. Hence, more bunches and a higher total leaf area per meter of row. This confirmed the results of previous studies under warm and moderate climate conditions [20,22]. Intrieri et al. [20] detected a lower bud burst rate in SMPH, ranging from 49% to 62% depending on canopy height, which is in agreement with our results. Sprays with gibberellic acid led to decreased bud fertility, and consequently, less inflorescences in minimal pruning trials of Weyand et al. [34]. Although a trend to a lower bud fertility (data not shown), a lower bud burst rate and less inflorescences were observed in SMPH GA, we could not confirm these results statistically. Conversely, SMPH ST seemed to increase bud burst rate, but SMPH BT did not affect bud burst.

Generally, the development of the total leaf area in SMPH was earlier, compared to VSP, due to the higher amount of shoots and wider distribution across the entire trellis system. This needs to be considered in the plant protection strategy, e.g., via an adaptation of the pesticide dose per ha, since the target leaf area and the total number of bunches were higher in SMPH, compared to VSP. SMPH showed a higher overall photosynthetic

capacity [20], and higher yield, which increased water consumption through transpiration. Since the risk of dry summers increase under future climate change scenarios [5], irrigation might be considered in SMPH as drought related leaf abscission was observed in 2018.

Average total leaf area as well as leaf area per shoot was increased in SMPH BT in subsequent vintages, indicating that yield reduction by bunch thinning improved growth. Shoot thinning induced a growth compensation effect. While, total leaf area after shoot thinning was 20% to 32% lower, compared to SMPH in May 2018, and 2019 respectively, only marginal differences were detected in August (−2% to −3%). The observed growth compensation effect using SMPH ST increased primary shoot length, shoot diameter, bunch weight and leaf area per shoot, which is in accordance with findings of Naor et al. [35]. The first trimming event drastically reduced total leaf area in SMPH with considerable effect on source-sink relation, i.e., LFR. Usually, a LFR of 16 to 22 cm<sup>2</sup> g<sup>−1</sup> is required to ripen grapes in cooler climates of Germany, whereas a LFR of 8–12 cm<sup>2</sup> g<sup>−1</sup> is appropriate for warmer climates [36]. Our results revealed, that LFRs obtained with SMPH (ranging from 11.8 to 15.2 cm<sup>2</sup> g<sup>−1</sup>) were sufficient to achieve the legal threshold of different wine categories of quality wine of origin for cv. Riesling at delayed harvest dates.

In the trials of Parker et al. [37], as in the present study, yield reduction elevated LFRs in all thinning treatments and accelerated maturity progress. Since SMPH ST reduced both, shoots, as well as inflorescences, and bunch weight increased, the higher leaf area per shoot has contributed to an elevated LFR. We conclude that the delayed ripening in SMPH is predominantly caused by the reduction in leaves (source) as yield (sink) remained high in SMPH. These findings are in line with several authors [38,39] who delayed ripening with different canopy sizes. Therefore, altering the extent of trimming, and hence, manipulating LFR via leaf area reduction might be an additional measure to affect maturity progress in SMPH.

#### 4.2. Phenological Development and Maturity Progress

Projections of Stock et al. [1] forecast an earlier bud break (−11 days), begin of flowering (−11 days) and veraison (−3 days) for the 2050s at Geisenheim, Germany compared to the 1990s. Our long-term phenological data (not shown) for cv. Riesling trained in VSP indicates an earlier bud break (−6 days; DOY 111), full bloom (−7 days; DOY 163) and veraison (−8 days; DOY 223) on average over the last 20 years (2001–2020) compared to the period 1991 to 2000. In the present study, full bloom occurred 4 days (DOY 159) earlier in VSP compared to the average between 2001 and 2020, which confirmed the projections in Stock et al. [1]. In contrast, SMPH treatments delayed full bloom by 1 to 2 days, showing a slight trend for advanced phenological development with mechanical thinning treatments (i.e., SMPH ST and SMPH BT).

The delay in maturity progress was more evident. For all SMPH treatments a delay in ripening was observed compared to VSP, which is in accordance with other cool-climate studies on SMPH [22]. On average, we observed a delay in attaining specific TSS levels (14.2 °Brix and 18.1 °Brix) between seven days to 16 days in SMPH, compared to VSP. Similarly, Zheng et al. [40] delayed a target TSS of 22 °Brix by 17 days with minimal pruning. The determined delay in ripening with SMPH might compensate (at least partly) the observed and projected earlier maturation period under warmer condition [4], which was caused by climate change. Negative temperature-based impacts on fruit composition, i.e., low acidity, high alcohol [2,41] and detrimental TDN (1,1,6-trimethyl,2-dihydronaphtalene) concentrations [32,33,42,43], highlight the importance in shifting veraison and ripening to a period with moderate temperatures to preserve wine typicity. While TSS do not directly represent wine typicity, the present results demonstrate the suitability of SMPH as one potential part of a climate change adaptation strategy. Analyses on sensorial wine profiles of wines vinified, based on the present trials, are ongoing and will be published in an additional paper.

The harvest was conducted 10 days (2017), 20 days (2018) and 22 days (2019) later in SMPH, compared to VSP with the goal to yield similar juice TSS. As discussed earlier,



the delayed sugar accumulation seems to be related to the elevated yield level, increased biomass production and lower LFR in SMPH training system compared to VSP. The fact that all thinning treatments effectively accelerated ripening within SMPH strengthens this hypothesis. Although the response of SMPH sugar accumulation to yield level was nearly linear in 2017 and 2018 and based on the manipulation of LFR, the ratio of LFR to Brix was lower in VSP in the dry season of 2018 (Figure 5A), indicating a more efficient carbohydrate assimilation.

#### 4.3. Bunch Architecture and *Botrytis cinerea* Susceptibility

Bunch architecture plays an important role in controlling bunch rot diseases, and in particular, *B. cinerea*. Several studies report a higher susceptibility of compact clusters to bunch rot [22,23,44]. Since berries in compact bunches are densely packed and cuticular membrane thickness decreases, while berry growth is ongoing [45], the bunch rot risk increased as *B. cinerea* susceptibility was found to be negatively correlated with the impedance of berry cuticle and its waxes [46]. Therefore, a loose bunch architecture is one of the mayor preventive measures in viticulture to reduce *B. cinerea* susceptibility and hence maintain grape quality. Several viticultural management strategies, including delayed winter pruning [11], late first shoot topping [47], bunch-zone defoliation [48,49] or application of Gibberellic acid [50] are known to reduce bunch compactness and enhance resistance against bunch rot. In this study, SMPH indicates a lower rachis weight, lower single berry weight and less berries per bunch, resulting in a lower bunch weight compared to VSP, and thereby confirming previous studies of Intrieri et al. [20]. Moreover, Molitor et al. [22] observed a lower bunch density index (i.e., less compact bunches) in SMPH compared to VSP. In this study, a higher ratio of rachis weight to bunch weight was correlated with a lower *B. cinerea* susceptibility in SMPH training system, and thus, considered as an index for bunch compactness. Relying on this index differences in bunch compactness was not significant between VSP, SMPH and SMPH ST. Whereas, SMPH BT and SMPH GA resulted in less compact bunches.

Thinning treatments modified the bunch architecture. The smallest berries were found in SMPH BT. During bunch thinning, larger berries were selectively removed from the bunches and a slower berry growth was observed during the onset of growth stage III (data not shown), leading to a substantial reduction of berry size at harvest. We assume that this might be due to a shock related reduction of growth processes caused by the mechanical forces during bunch thinning using a harvester. SMPH BT increased the rachis to bunch weight-ratio due to smaller and less berries per bunch, and thus, led to a looser bunch architecture.

The increased berry size in SMPH GA and SMPH ST can be explained by the yield component compensation principle: SMPH GA had larger berries than SMPH due to reduced berry number per bunch at equal bunch numbers per meter of canopy, which is in accordance with results of Hed et al. [50,51] and Weyand and Schultz [34]. SMPH ST, with a significantly reduced bunch number (i.e., shoot), compared to SMPH, had a greater number and larger berries per bunch, confirming the results of Wang et al. [52]. In their study, the magnitude of the berry size compensation effect (16%) was larger than in our study (10%), which might be explained by the fact that the vines in the present trial were not irrigated, or by the generally lower shoot number in their trial. SMPH also affected the kinetics of bunch rot infection. Bunch rot infection occurred earlier in VSP compared to SMPH, possibly due to a slower ripening and improved bunch architecture in SMPH as mentioned earlier. When harvest was conducted in VSP, bunch rot infection was significantly elevated, compared to SMPH.

These differences disappeared or were even reversed, when *B. cinerea* incidence and severity were compared at commercial harvest in 2017 and 2019 (no *B. cinerea* infections occurred in 2018). This might be related to a longer period between veraison and harvest in all SMPH treatments compared to VSP, in which initial *B. cinerea* infections had more time and GDD to spread. While, Kraus et al. [23] found a higher average humidity in



SMPH canopy compared to VSP, we did not detect differences in relative humidity between the non-defoliated bunch zone of VSP and the canopy of SMPH during ripening from 15 August to the harvesting of VSP. However, relative humidity increased by approximately 10% points within the SMPH canopy in the extended ripening period of SMPH compared to the ripening period of VSP (Table S6). These changes in relative humidity might explain higher *B. cinerea* infections with SMPH at delayed harvest dates, since maturity levels did not differ significantly.

Thinning treatments that led to an additional improvement of bunch architecture (i.e., SMPH GA, likewise in the trials of Hed et al. [50], and SMPH BT) led to a deceleration of *B. cinerea* infection. This effect was most evident with SMPH BT. In contrast, shoot thinning (SMPH ST) led to an accelerated *B. cinerea* infection, compared with SMPH, probably due to an advanced maturity level and more compact bunches.

#### 4.4. Alternate Bearing and Thinning Performance

Excessive yields in minimal pruning systems have been reported to cause severe losses in yield in the subsequent vintage [53,54]. Intriery et al. [54] concluded that excessive yield, and an insufficient effective leaf area during bud induction and differentiation in the previous season, contribute to low bud fruitfulness. Therefore, crop thinning in SMPH is strongly recommended to avoid losses and extreme variability in fruit quality, caused by excessive yield and seasonal yield fluctuations (alternate bearing), which occurs especially in the first two seasons after conversion from VSP to SMPH [4,30,53,55]. In previous studies, Friedel et al. [30] observed cultivar-dependent alternate bearing effects in SMPH. While, high coefficients of variation (CV) for yield were determined with the fungus-tolerant cv. Regent and cv. Rondo within the first three years after conversion from VSP to SMPH (Schäfer et al. *unpublished*), cv. Riesling was less affected by alternate bearing. Moreover, the trials revealed that the general effect of alternate bearing is less pronounced within cv. Riesling trained in SMPH than trained in VSP, confirming the results in the present study. In contrast, data obtained from a study on SMPH by Molitor et al. [4] indicates more pronounced alternate bearing with cv. Pinot blanc trained in SMPH compared to VSP, which matches the results for cv. Regent and cv. Rondo of Friedel et al. [30]. Both investigations demonstrated that mechanical bunch thinning in the seasons after conversion to SMPH is an appropriate strategy to minimize quality losses through alternate bearing.

Nevertheless, in the present study, all thinning strategies successfully and efficiently reduced yield, accelerated ripening and increased TSS, confirming the commonly known yield/quality relationship. Mechanical shoot thinning with Darwin-rotor is a new yield reduction strategy for SMPH and was first investigated for viticulture in the present study. Our trials demonstrated good performance of SMPH ST, in terms of yield reduction. However, since the application is conducted long before fruit set, it is difficult to predict the desired thinning extent and crop level. Moreover, it has to be considered that early shoot thinning with SMPH ST led to compensation effects, which might increase the risk of bunch rot.

#### 4.5. Grape Juice Composition at Harvest

Jones et al. [2] modeled an optimum growing season average temperature for high quality white wines, originating from Rhine Valley of 15.6 °C. The average growing season temperature at Geisenheim across the vintages 2017 to 2019 (16.7 °C) exceeded the optimum temperatures by 1.1 °C. Similarly, projections made by Duchêne et al. [7] forecast an increase in temperature during ripening by 1 °C in the period 2010 to 2040, and even by 6.3 °C in the period 2073 to 2099, compared to years with favorable sugar accumulation for cv. Riesling between 1976–2008 in Alsace, France. However, high average daily temperatures were recorded in the bunch zone of VSP (2018: 19.2 °C; 2019: 19 °C) and in the canopy of SMPH (2018: 19.4 °C; 2019: 19.1 °C) during ripening period of VSP beginning from 15th of August until 19th and 17th of September in 2018 and 2019 respectively (Table S6). Although leaves shaded bunch zone of VSP and data logger were positioned approximately 30 cm higher

in the SMPH canopy, temperature differences were marginal higher in SMPH (+0.1 °C to +0.2 °C). Interestingly, average temperatures in the extended ripening period of SMPH (2018: 24th of September–10th of October; 2019: 18th of September–9th of October.) were 6.5 °C (2018) to 7.1 °C (2019) lower, revealing that ripening at least partly occurred under moderate temperatures in SMPH. Nevertheless, VSP and SMPH yielded comparable TSS concentration, while commercial harvest was conducted 10 days (2017), 20 days (2018) and 22 days (2019) later in SMPH, compared to VSP.

All thinning treatments increased grape juice sugar accumulation during ripening, but the treatment effects were not as clear in the harvested juice. This may be due to the fact that *B. cinerea* incidence and severity differed among treatments in 2017 and 2019. In 2018, where no bunch rot was observed, grape juice TSS in SMPH were linearly correlated to yield, with SMPH BT increasing TSS by about 1.7 °Brix at 47.6% yield reduction, compared to SMPH. The grape juice of SMPH trained vines generally showed a higher TSS to TA ratio than that of VSP trained vines, and a higher tartaric to malic acid ratio. High TSS to TA ratios were determined by Kliewer and Dokoozlian [56] in high cropping table grapes of Thompson Seedless cultivar. Moreover, Parker et al. [37] concluded that higher TSS to TA ratios in the presence of higher yield was due to a lower TA relative to a target TSS during ripening. Since tartaric acid and malic acid accumulation is dependent on carbon sources as well as glucose [57], lower TA could be explained by limited carbon sources (leaves) in response to trimming and/or leaf removal after fruit set. Assuming that TSS accumulation is not affected by leaf removal, due to a compensation response, resulting in an increase in photosynthetic activity and mobilization of reserve carbohydrates [17,58], TSS to TA ratio is consequently increased. Conversely, Parker et al. [37,38] found decreased TSS to TA ratios by manipulating leaf area to fruit weight ratio through leaf and crop removal, as well as lower canopy height (−30% to −60%), predominantly caused by reduced TSS accumulation. The higher tartaric to malic acid ratio in SMPH may be explained by the higher light exposure of SMPH bunches, which increased the berry temperature, leading to an accelerated respiration of malic acid, as well as smaller berry size, which intrinsically led to an elevated tartaric to malic acid ratio in Riesling [58]. Low concentrations of malate were also related to low water status pre-veraison by Matthews and Anderson [59]. Presuming that water use is higher in SMPH, due to a significantly higher leaf area, and thus, higher transpiration by leaves compared to VSP, tartaric to malic acid ratio might be further negatively impacted through lower malic acid concentration caused by water deficit under warmer/hot climate conditions, as observed in vintage 2018 and 2019. At the beginning of ripeness measurements in SMPH BT showed higher tartaric and lower malic concentration, and hence, a higher tartaric to malic acid ratio compared to all other treatments. This was probably due to reduced photosynthesis activity after thinning. N-OPA was unaffected by training system but increased by SMPH BT, indicating that SMPH does not negatively affect N-supply of the grapes.

## 5. Conclusions

The results of this study showed that SMPH provides several approaches to counteract the challenges of climate change in moderate climate regions with sufficient water availability. If weather conditions are not considered a risk factor, the date of harvest can be postponed about three weeks while still maintaining analytical grape parameters on a comparable level, as in VSP. Full bloom and pre-veraison occurred later in SMPH compared to VSP, and ripening was slower. Depending on the targeted wine profile, SMPH under several thinning practices provided the opportunity to, either achieve lower TSS with a higher degree of organic acids, or postpone the date of harvest by maintaining grape quality compared to VSP. In terms of thinning measures in SMPH, maturity progress can be accelerated, leading to an increase in TSS and a decrease in bunch rot susceptibility. Under changing climatic conditions, effective thinning measures to reduce crop load and increase TSS might need to be reconsidered.

**Supplementary Materials:** The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/app11083304/s1>: Figure S1: Development of leaf area, Figure S2: Leaf area to fruit weight-ratio, Table S1: Phenological timings and treatment deviation, Table S2: Ripening timings and treatment deviation for target TSS, Table S3: Maturity parameters during ripening, Table S4: Maturity parameters at harvest, Table S5: Yield parameters, Table S6: Microclimate.

**Author Contributions:** Conceptualization, J.S., M.F., M.S.; methodology, J.S., M.F. and M.S.; formal analysis, J.S., M.F.; investigation, J.S., M.F.; resources, J.S., M.F., M.S., D.M.; data curation, J.S. and M.F.; writing—original draft preparation, J.S., M.F., M.S., D.M.; writing—review and editing, J.S., M.F., M.S., D.M.; visualization, J.S.; supervision, M.S. and D.M.; project administration, J.S., M.F. and M.S.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** The German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) funded this research.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** We acknowledge the financial support by the BMBF (Federal Ministry of Education and Research) of the project NoViSys [Novel viticulture systems for sustainable production and products project; number 031A349G]. Furthermore, we acknowledge the technical and laboratory team of the Department of General and Organic Viticulture and the Department of Beverage Technology of Geisenheim University for their indispensable help in conducting the experiments and supporting the analyses.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Stock, M.; Badeck, F.; Gerstengarbe, F.-W.; Hoppmann, D.; Kartschall, T.; Oesterle, H.; Werner, P.C.; Wodinski, M. *Perspectives of the Climatic Change until 2050 for the Viticulture in Germany (Climate 2050): Final Report of the FDW Project—Climate 2050*, 106th ed.; Gerstengarbe, F.-W., Ed.; Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK): Potsdam, Germany, 2007.
2. Jones, G.V.; White, M.A.; Cooper, O.R.; Storchmann, K. Climate change and global wine quality. *Clim. Chang.* **2005**, *73*, 319–343. [[CrossRef](#)]
3. Fraga, H.; Cortázar-Atauri, I.G.; Malheiro, A.C.; Santos, J.A. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Glob. Chang. Biol.* **2016**, *22*, 3774–3788. [[CrossRef](#)]
4. Molitor, D.; Junk, J. Climate change is implicating a two-fold impact on air temperature increase in the ripening period under the conditions of the luxembourgish grapegrowing region. *OENO One* **2019**, *53*, 409–422. [[CrossRef](#)]
5. Duchêne, E.; Schneider, C. Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. *Agron. Sustain. Dev.* **2005**, *25*, 93–99. [[CrossRef](#)]
6. Van Leeuwen, C.; Darriet, P. The impact of climate change on viticulture and wine quality. *J. Wine Econ.* **2016**, *11*, 150–167. [[CrossRef](#)]
7. Duchêne, E.; Huard, F.; Dumas, V.; Schneider, C.; Merdinoglu, D. The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Clim. Res.* **2010**, *41*, 193–204. [[CrossRef](#)]
8. Santos, J.A.; Fraga, H.; Malheiro, A.C.; Moutinho-Pereira, J.; Dinis, L.-T.; Correia, C.; Moriondo, M.; Leolini, L.; Dibari, C.; Costafreda-Aumedes, S.; et al. A review of the potential climate change impacts and adaptation options for european viticulture. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 3092. [[CrossRef](#)]
9. Nair, N.G.; Allen, R.N. Infection of grape flowers and berries by *Botrytis cinerea* as a function of time and temperature. *Mycol. Res.* **1993**, *97*, 1012–1014. [[CrossRef](#)]
10. Poling, E.B. Spring cold injury to winegrapes and protection strategies and methods. *Horts* **2008**, *43*, 1652–1662. [[CrossRef](#)]
11. Silvestroni, O.; Lanari, V.; Lattanzi, T.; Palliotti, A. Delaying winter pruning, after pre-pruning, alters budburst, leaf area, photosynthesis, yield and berry composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* **2018**, *24*, 478–486. [[CrossRef](#)]
12. Moran, M.; Petrie, P.; Sadras, V. Effects of late pruning and elevated temperature on phenology, yield components, and berry traits in Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* **2019**, *70*, 9–18. [[CrossRef](#)]
13. Martinez De Toda, F.; García, J.; Balda, P. Preliminary results on forcing vine regrowth to delay ripening to a cooler period. *Vitis J. Grapevine Res.* **2019**, *58*, 17–22.
14. Palliotti, A.; Frioni, T.; Tombesi, S.; Sabbatini, P.; Cruz-Castillo, J.G.; Lanari, V.; Silvestroni, O.; Gatti, M.; Poni, S. Double-pruning grapevines as a management tool to delay berry ripening and control yield. *Am. J. Enol. Vitic.* **2017**, *68*, 412–421. [[CrossRef](#)]
15. Gatti, M.; Galbignani, M.; Garavani, A.; Bernizzoni, F.; Tombesi, S.; Palliotti, A.; Poni, S. Manipulation of ripening via antitranspirants in cv. Barbera (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* **2016**, *22*, 245–255. [[CrossRef](#)]

16. Boettcher, C.; Harvey, K.; Forde, C.G.; Boss, P.K.; Davies, C. Auxin treatment of pre-veraison grape (*Vitis vinifera* L.) berries both delays ripening and increases the synchronicity of sugar accumulation. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2011**, *17*, 1–8. [[CrossRef](#)]
17. Poni, S.; Casalini, L.; Bernizzoni, F.; Civardi, S.; Intrieri, C. Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* **2006**, *57*, 397–407.
18. Poni, S.; Gatti, M.; Bernizzoni, F.; Civardi, S.; Bobeica, N.; Magnanini, E.; Palliotti, A. Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv. Sangiovese: Physiological assessment and vine performance. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2013**, *19*, 378–387. [[CrossRef](#)]
19. Palliotti, A.; Panara, F.; Silvestroni, O.; Lanari, V.; Sabbatini, P.; Howell, G.S.; Gatti, M.; Poni, S. Influence of mechanical postveraison leaf removal apical to the cluster zone on delay of fruit ripening in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2013**, *19*, 369–377. [[CrossRef](#)]
20. Intrieri, C.; Filippetti, I.; Allegro, G.; Valentini, G.; Pastore, C.; Colucci, E. The Semi-Minimal-Pruned Hedge: A novel mechanized grapevine training system. *Am. J. Enol. Vitic.* **2011**, *62*, 312–318. [[CrossRef](#)]
21. Lopes, C.; Melicias, J.; Aleixo, A.; Laureano, O.; Castro, R. Effect of mechanical hedge pruning on growth, yield and quality of Cabernet Sauvignon grapevines. *Acta Hort.* **2000**, *526*, 261–268. [[CrossRef](#)]
22. Molitor, D.; Schultz, M.; Mannes, R.; Pallez-Barthel, M.; Hoffmann, L.; Beyer, M. Semi-Minimal Pruned Hedge: A potential climate change adaptation strategy in viticulture. *Agronomy* **2019**, *9*, 173. [[CrossRef](#)]
23. Kraus, C.; Pennington, T.; Herzog, K.; Hecht, A.; Fischer, M.; Voegele, R.T.; Hoffmann, C.; Töpfer, R.; Kicherer, A. Effects of canopy architecture and microclimate on grapevine health in two training systems. *Vitis J. Grapevine Res.* **2018**, *57*, 53–60.
24. Walg, O.; Blätz, M.; Friedel, M. Minimalschnitt im Spalier—eine wirksame Möglichkeit zur Spätfrostprävention. *Dtsch. Weinbau-Jahrb.* **2019**, *2018*, 76–85.
25. Coombe, B.G. Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Aust. J. Grape Wine Res.* **1995**, *1*, 104–110. [[CrossRef](#)]
26. Parker, A.K.; Cortázar-Atauri, I.G.; Leeuwen, C.; Chuine, I. General phenological model to characterise the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2011**, *17*, 206–216. [[CrossRef](#)]
27. Doering, J.; Stoll, M.; Kauer, R.; Frisch, M.; Tittmann, S. Indirect estimation of leaf area index in VSP-trained grapevines using plant area index. *Am. J. Enol. Vitic.* **2014**, *65*, 153–158. [[CrossRef](#)]
28. Dukes, B.C.; Butzke, C.E. Rapid determination of primary amino acids in grape juice using an o-phthaldialdehyde/N-acetyl-L-cysteine spectrophotometric assay. *Am. J. Enol. Vitic.* **1998**, *49*, 125–134.
29. Ogle, D.H.; Wheeler, P.; Dinno, A. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.31. 2020. Available online: <https://github.com/droglenc/FSA> (accessed on 17 November 2020).
30. Friedel, M.; Schäfer, J.; Blätz, M.; Stoll, M.; Walg, O. Minimal-invasiv?: Long-term study on SMPH. *Dtsch. Weinbau* **2018**, *12*, 28–32.
31. Sweetman, C.; Sadras, V.O.; Hancock, R.D.; Soole, K.L.; Ford, C.M. Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit. *J. Exp. Bot.* **2014**, *65*, 5975–5988. [[CrossRef](#)]
32. Pons, A.; Allamy, L.; Schüttler, A.; Rauhut, D.; Thibon, C.; Darriet, P. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? *OENO One* **2017**, *51*, 141–146. [[CrossRef](#)]
33. Marais, J.; van Wyk, C.J.; Rapp, A. Effect of storage time, temperature and region on the levels of 1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene and other volatiles, and on quality of Weisser Riesling wines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **1992**, *13*, 33–44.
34. Weyand, K.M.; Schultz, H.R. Regulating yield and wine quality of minimal pruning systems through the application of gibberellic acid. *OENO One* **2006**, *40*, 151–163. [[CrossRef](#)]
35. Naor, A.; Gal, Y.; Bravdo, B. Shoot and cluster thinning influence vegetative growth, fruit yield, and wine quality of Sauvignon blanc grapevines. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **2002**, *127*, 628–634. [[CrossRef](#)]
36. Müller, E. *Weinbau*, 3rd ed.; Kadisch, E., Müller, E., Eds.; Ulmer: Stuttgart, Germany, 2008.
37. Parker, A.K.; Hofmann, R.W.; van Leeuwen, C.; McLachlan, A.; Trought, M. Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2015**, *21*, 266–276. [[CrossRef](#)]
38. Parker, A.K.; Raw, V.; Martin, D.; Haycock, S.; Sherman, E.; Trought, M.C.T. Reduced grapevine canopy size post-flowering via mechanical trimming alters ripening and yield of ‘Pinot noir’. *Vitis J. Grapevine Res.* **2016**, *55*, 1–9.
39. Stoll, M.; Lafontaine, M.; Schultz, H.R. Possibilities to reduce the velocity of berry maturation through various leaf area to fruit ratio modifications in *Vitis vinifera* L. *Progrès Agric. Vitic.* **2010**, *127*, 68–71.
40. Zheng, W.; Del Galdo, V.; García, J.; Balda, P.; Martínez de Toda, F. Use of minimal pruning to delay fruit maturity and improve berry composition under climate change. *Am. J. Enol. Vitic.* **2017**, *68*, 136–140. [[CrossRef](#)]
41. Hofmann, M.; Stoll, M.; Schultz, H.R. Klimawandel und Weinbau. *Geogr. Rundsch.* **2016**, *3*, 20–26.
42. Schüttler, A.; Guthier, C.; Stoll, M.; Darriet, P.; Rauhut, D. Impact of grape cluster defoliation on TDN potential in cool climate Riesling wines. *Biol. Web Conf.* **2015**, *5*, 010061-3. [[CrossRef](#)]
43. Yuan, F.; Feng, H.; Qian, M.C. C13-norisoprenoids in grape and wine affected by different canopy management. In *Advances in Wine Research*; Ebeler, S.B., Sacks, G., Vidal, S., Winterhalter, P., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, USA, 2015; pp. 147–160.
44. Molitor, D.; Baus, O.; Hoffmann, L.; Beyer, M. Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual *Botrytis* bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. *OENO One* **2016**, *50*, 231–244. [[CrossRef](#)]



45. Becker, T.; Knoche, M. Deposition, strain, and microcracking of the cuticle in developing 'Riesling' grape berries. *Vitis J. Grapevine Res.* **2012**, *51*, 1–6.
46. Herzog, K.; Wind, R.; Töpfer, R. Impedance of the grape berry cuticle as a novel phenotypic trait to estimate resistance to *Botrytis cinerea*. *Sensors* **2015**, *15*, 12498–12512. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Molitor, D.; Baron, N.; Sauerwein, T.; André, C.M.; Kicherer, A.; Döring, J.; Stoll, M.; Beyer, M.; Hoffmann, L.; Evers, D. Postponing first shoot topping reduces grape cluster compactness and delays bunch rot epidemic. *Am. J. Enol. Vitic.* **2015**, *66*, 164–176. [[CrossRef](#)]
48. Molitor, D.; Behr, M.; Fischer, S.; Hoffmann, L.; Evers, D. Timing of cluster-zone leaf removal and its impact on canopy morphology, cluster structure and bunch rot susceptibility of grapes. *OENO One* **2011**, *45*, 149–159. [[CrossRef](#)]
49. Intrieri, C.; Filippetti, I.; Allegro, G.; Centinari, M.; Poni, S. Early defoliation (hand vs mechanical) for improved crop control and grape composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* **2008**, *14*, 25–32. [[CrossRef](#)]
50. Hed, B.; Centinari, M. Gibberellin application improved bunch rot control of Vignoles grape, but response to mechanical defoliation varied between training systems. *Plant Dis.* **2021**, *105*, 339–345. [[CrossRef](#)]
51. Hed, B.; Ngugi, H.K.; Travis, J.W. Use of gibberellic acid for management of bunch rot on Chardonnay and Vignoles grape. *Plant Dis.* **2011**, *95*, 269–278. [[CrossRef](#)]
52. Wang, X.; De Bei, R.; Fuentes, S.; Collins, C. Influence of canopy management practices on canopy architecture and reproductive performance of Semillon and Shiraz grapevines in a hot climate. *Am. J. Enol. Vitic.* **2019**, *70*, 360–372. [[CrossRef](#)]
53. Clingeffer, P.R. Plant management research: Status and what it can offer to address challenges and limitations. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2010**, *16*, 25–32. [[CrossRef](#)]
54. Intrieri, C.; Poni, S.; Lia, G.; Del Gomez Campo, M. Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevines. *Vitis* **2001**, *40*, 123–130.
55. Schiefer, H.-C.; Thim, G. Dem Minimalschnitt auf der Spur: Veränderung von Menge und Güte. *Dtsch. Weinmag.* **2020**, *26*, 28–31.
56. Kliewer, W.M.; Dokoozlian, N.K. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* **2005**, *56*, 170–181.
57. Ollat, N.; Gaudillere, J.P. The effect of limiting leaf area during stage I of berry growth on development and composition of berries of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.* **1998**, *49*, 251–258.
58. Friedel, M.; Stoll, M.; Patz, C.D.; Will, F.; Dietrich, H. Impact of light exposure on fruit composition of white 'Riesling' grape berries (*Vitis vinifera* L.). *Vitis* **2015**, *54*, 107–116.
59. Matthews, M.A.; Anderson, M.M. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* **1988**, *39*, 313–320.



