



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Agriculture,
de l'Alimentation et de la Viticulture
Institut viti-vinicole

LUXEMBOURG
INSTITUTE OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY



Tätigkeitsbericht 2025

PIWI³

Pflanzenschutzbedarf, Kosten und Leistungen von pilzwiderstandsfähigen (PIWI) Rebsorten unter den Anbaubedingungen Luxemburgs



Berichtszeitraum: 1. Januar 2025 – 31. Dezember 2025

Mit Beiträgen von Kristina Heilemann, Daniel Molitor, Marie-Sophie Roderich, Claudio Petucco und Marco Beyer

Unter Mitwirkung von Marine Pallez-Barthel, Mareike Schultz und Christopher Simon

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	3
2	MATERIAL UND METHODEN	5
2.1	Versuchsflächen und -sorten	5
2.2	Pflanzenschutzmittel und Additive	7
2.3	Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber den Hauptschaderregern	8
2.4	Unterschiede in der Phänologie der PIWIs	10
2.5	Unterschiede im Hinblick auf Ertrag und Reife	11
2.6	Kosten des Anbaus von PIWI-Sorten im Vergleich zu traditionellen Sorten	11
2.7	Umweltauswirkungen von PIWI-Sorten im Vergleich mit traditionellen Sorten	13
2.8	<i>Scaphoideus titanus</i> -Monitoring	15
2.9	Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber <i>Drosophila suzukii</i>	16
2.10	Weitere Untersuchungen zur Charakterisierung der PIWI Sorten	18
2.10.1	Bonitur von Gescheinsansatz und Biegeindex	18
2.10.2	Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke	18
2.10.3	Test von Biologicals	19
3	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	20
3.1	Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber den Hauptschaderregern	20
3.2	Unterschiede in der Phänologie der PIWI Sorten	24
3.3	Unterschiede im Hinblick auf Ertrag und Reife	26
3.3.1	Ertrag	26
3.3.2	Reife	28
3.4	Weitere Untersuchungen zur Charakterisierung der PIWI Sorten	29
3.4.1	Bonitur Gescheinsansatz und Biegeindex	29
3.4.2	Test von Biologicals	30
3.4.3	Erfassung symptomatischer ESCA Stöcke	33
3.5	Kosten des Anbaus von PIWI-Sorten im Vergleich zu traditionellen Sorten	33

3.6	Umweltauswirkungen von PIWI-Sorten im Vergleich mit traditionellen Sorten	36
3.7	Bereitstellung von Informationen über PIWIs für Weinkonsumenten, Weintouristen und Winzer	38
3.8	Monitoring <i>Scaphoideus titanus</i> (auch in PIWI Sorten)	47
3.9	Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber <i>Drosophila suzukii</i>	47
4	FAZIT	49
5	DANKSAGUNG	50
6	LITERATURVERZEICHNIS	51
7	ANHÄNGE	52
7.1	Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode 2025	53
7.2	Wissenstransfer	54
7.3	Öffentlichkeitsarbeit	70
7.4	Pressespiegel	71
7.5	Beiträge für wissenschaftliche Zeitschriften	80

1 Einleitung

Durch den mehrjährigen Charakter können einige sehr wirksame Methoden des vorbeugenden Pflanzenschutzes, wie sie dem Ackerbau zur Verfügung stehen, im Weinbau nicht genutzt werden. Dazu zählen beispielsweise vielgliedrige Fruchtfolgen und wendende Bodenbearbeitung. Durch die relativ eingeschränkten Handlungsoptionen ist der Pflanzenschutz im Weinbau nach wie vor eine Herausforderung. Zu den wirksamsten und kostengünstigsten Methoden des vorbeugenden Pflanzenschutzes zählt der Anbau von Sorten mit geringer Anfälligkeit. Da im Weinbau in feuchten Regionen insbesondere Schadpilze die Pflanzenbestände gefährden, kann die Entwicklung von pilzwiderstandsfähigen Sorten (PIWIs) als Meilenstein betrachtet werden (Brighenti et al. 2019). PIWIs tragen Resistenzgene und weisen dadurch eine verringerte Anfälligkeit gegenüber Schadpilzen wie Falschem und/oder Echtem Mehltau auf. Sie sind jedoch nicht vollständig immun gegen Befall (Jurascheck et al. 2022), so dass sie Pflanzenschutz(mittel) brauchen – jedoch deutlich weniger im Vergleich zu traditionellen Sorten (Zanghelini et al. 2019). Durch ihren verringerten Bedarf an Pflanzenschutz(mitteln) wird der mögliche Beitrag von PIWIs zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen durch Einsparungen auf der Ebene der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln diskutiert (Töpfer & Trapp 2022). Bei Projektstart gab es 14 PIWI Sorten im Bestand der Versuchsflächen des Institut viti-vinicole (IVV) in Remich, wobei die Sorte ‚Cabernet blanc‘ in zwei Altersstufen (Pflanzjahre 2011 und 2020) zur Verfügung steht.

Wie stark der Schutz der Reben mit Pflanzenschutzmitteln in den verschiedenen PIWIs zurückgefahren werden kann, ist aktuell unklar. Die Kosten, die durch PIWIs im Bereich Pflanzenschutz auf Betriebsebene eingespart werden können, sowie mögliche Beiträge von PIWIs zur Reduzierung von klimaschädlichen Emissionen sind für Luxemburg bislang nicht genau beziffert. Inwieweit zugelassene Pflanzenschutzmittel durch Biologicals (Wirkstoffe aus lebenden Organismen gewonnen) beim Anbau von PIWIs ersetzt werden könnten, ist insbesondere bei neuen Biologicals unbekannt.

Es ist das Ziel des Projektes, die aktuell am IVV verfügbaren PIWI Sorten in drei Dimensionen (daher das Acronym „PIWI^{3d}“), nämlich (1) agronomisch, (2) wirtschaftlich und (3) ökologisch zu charakterisieren. Die PIWI Sorten sollen im Hinblick auf ihre Anfälligkeit gegenüber Schaderregern und den daraus resultierenden Restbedarf an Pflanzenschutz als Handlungsempfehlung für die Weinbaupraxis bewertet werden. Dazu sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- 1a) Wie unterscheiden sich die pilzwiderstandfähigen Rebsorten in ihrer Anfälligkeit gegenüber den Hauptschaderregern? Wieviel (Rest-) Pflanzenschutz (PS) brauchen PIWI-Sorten?
- 1b) Wie unterscheiden sich PIWI-Sorten hinsichtlich ihrer phänologischen Entwicklung (z.B. Austriebszeitpunkt → Frostgefährdung; Reifezeitpunkt → Standortwahl; Blütetermin → optimale Terminierung von PS-Massnahmen)
- 1c) Wie unterscheiden sich PIWI-Sorten hinsichtlich ihres Ertrages und ihrer Reife?
- 1d) Welche Biologicals können einen sinnvollen Beitrag zum Pflanzenschutz bei PIWIs liefern?
- 2a) Wie unterscheiden sich die Kosten auf der Betriebsebene zwischen dem Pflanzenschutzprogramm, das traditionelle Sorten benötigen und dem Pflanzenschutzprogramm, das PIWIs benötigen?
- 2b) Wie unterscheiden sich die Umweltauswirkungen von PIWI Sorten von den Umweltauswirkungen traditioneller Sorten?
- 3) Bereitstellung von Informationen über PIWIs für Weinkonsumenten, Weintouristen und Winzer.
- 4) Schädlingsmonitoring: *Scaphoideus titanus* und wie unterscheiden sich rote pilzwiderstandsfähige Rebsorten hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber der Kirschessigfliege?

Als Resultat des Projektes wird eine PIWI Informationsplattform erstellt, die das Ausmaß der Vorteile und ggf. auch der Risiken ihres Anbaus für Winzer sowie ausgewählte Sorteninformationen und Verkostungsmöglichkeiten für Weintouristen, Weinhändler und Endverbraucher bereitstellt.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsflächen und -sorten

Alle Versuche wurden auf Flächen des IVV in Remich oder in Weinbergen von Partnerwinzern (Monitoring *Scaphoideus titanus*) entlang der luxemburgischen Mosel realisiert.

Die Bewirtschaftung der Weinberge am IVV erfolgte – abgesehen von den Behandlungen der Versuchsfragestellungen – in betriebsüblicher Weise. Alle Sorten (Tabelle 2.1.1) sind im Spalier erzogen, mit einem Flachbogen und einem einheitlichen Anschnittsniveau von 8 Augen je Rebe. Hierzu wurden nach dem Rebschnitt die Augen von der Basis gezählt und nach dem 8. Auge eingekürzt. 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.

Tabelle 2.1.1: Namen, Anzahl der Zeilen, Pflanzjahre und Resistenzeigenschaften der PIWI-Sorten.

Sorten-name	# Zeilen am IVV	Pflanz-jahr	Resistenzloci gegen*...		Quelle(n) für Resistenz-angabe(n)
			...Echten Mehltau	...Falschen Mehltau	
Bronner	2	2011	Ren3, Ren9	Rpv3.3, Rpv10	Zanghelini et al. (2019), SWBI Freiburg
Cabernet blanc	2	2011	Ren3, Ren9	Rpv3.1	ANTES GmbH
Cabaret noir	3	2014	unbekannt	unbekannt	
Cabertin	3	2019	Ren3, Ren9	Rpv3.1	ANTES GmbH
Calardis blanc	3	2019	Ren3, Ren9	Rpv3.1, Rpv3.2	Zanghelini et al. (2019)
Divico	1	2010	Ren3.2	Rpv10	Hugueney et al. (2019)
Helios	2	2016	Ren3, Ren9	Rpv3.1	SWBI Freiburg
Johanniter	2	2011	Ren3, Ren9	Rpv3.1	SWBI Freiburg
Muscaris	2	2016	Ren3, Ren9	Rpv10, Rpv3-1#	SWBI Freiburg, Ladach (2019)
Pinotin	2	2011	Ren3, Ren9	Rpv3.1	ANTES GmbH
Sauvignac	3	2017	Ren3, Ren9	Rpv3.1, Rpv12	ANTES GmbH
Solaris	2	2016	Ren3, Ren9	Rpv3.3, Rpv10	SWBI Freiburg
Souvignier gris	2	2017	Ren3, Ren9	Rpv3.2	SWBI Freiburg
Villaris	2	2012	Ren3, Ren9	Rpv3.1, Rpv3.3	ANTES GmbH

*Ren = Resistenz gegen *Erysiphe necator* (Echter Mehltau)

*Rpv = Resistenz gegen *Plasmopara viticola* (Falscher Mehltau)

#Wird nicht in allen Quellen genannt.

Die Untersuchungen wurden an den 14 PIWI Sorten durchgeführt, die bei Projektbeginn am IVV vorhanden waren. Insgesamt sind es 10 weiße Sorten sowie 4 rote Sorten. Im Jahr 2023 wurden außerdem die Sorten Voltis, Floreal und Sauvitage, im Jahr 2024 die Sorten Laurot, Pinot nova und Satin noir sowie im Jahr 2025 die Sorten Blütenmuskateller, Donauriesling, Donauveltliner, Pamina und Fidelio gepflanzt. Da im Versuchsjahr 2025 der Stammaufbau bei

den Sorten mit Pflanzjahren 2023 bis 2025 noch nicht abgeschlossen war, wurden diese Sorten noch nicht systematisch in die Auswertungen einbezogen. Lediglich die phänologischen Beobachtungen beinhalten bereits die Sorten Voltis, Floreal und Sauvitage.

Die Sorten Cabernet blanc, Cabaret noir, Cabertin, Pinotin und Sauvignac sind Züchtungen des privaten Züchters Valentin Blattner. Vom Staatlichen Weinbauinstitut Freiburg stammen die Sorten Bronner, Helios, Johanniter, Muscaris, Solaris und Sauvignier gris. Villaris und Calardis blanc wurden vom Julius-Kühn-Institut gezüchtet. Die Sorte Divico ist eine Züchtung von Agroscope.

Die PIWI-Reben wurden zwischen 2010 (Divico) und 2019 (Cabertin, Calardis blanc) gepflanzt (vgl. Tab. 2.1.1). Verwendete Unterlagen sind 5BB (Bronner, Helios), Binova (Cabernet blanc, Pinotin), 125AA (Johanniter) sowie SO4 (die verbliebenen 9 Sorten). Bei Divico gibt es keine Angabe zur Unterlage.

Als Vergleichssorten dienten die traditionellen Sorten Rivaner (Z.675/676) und Pinot noir (Z.586/587), welche betriebsüblich gespritzt wurden (Rivaner und Pinot noir betriebsüblich) sowie weitere Zeilen Rivaner (Z.677/678) und Pinot noir (Z.585), welche zwei Mal wie die PIWIs gespritzt wurden (Rivaner und Pinot noir PIWI Spritzung).

2.2 Pflanzenschutzmittel und Additive

Folgende Pflanzenschutzmittel und das Netzmittel Zentero kamen in der betriebsüblichen Spritzfolge zum Einsatz (Tab. 2.2.1):

Table 2.2.1: Verwendete Pflanzenschutz- und Netzmittel im Jahr 2025 in der betriebsüblichen Spritzfolge. Fett formatierte Behandlungen wurden auch in den Sorten/Varianten mit PIWI Spritzung durchgeführt.

Spritzung	Entwicklungsstadium der Reben	Datum	Erreger	Mittel	Aufwandmenge
1	3-Blatt	08.05.2025	Peronospora Oidium	Cuprex 50% MICROTHIOL	0,1 kg/ha 4,2 kg/ha
2	4-Blatt	19.05.2025	Peronospora Oidium	Cuprex 50% MICROTHIOL	0,3 kg/ha 4,8 kg/ha
3	6-Blatt	27.05.2025	Peronospora Oidium	Cuprex 50% VERIPHOS MICROTHIOL	0,4 kg/ha 1,5 l/ha 4,8 kg/ha
4	10-11-Blatt	02.06.2025	Peronospora Oidium	Cuprex 50% VERIPHOS MICROTHIOL	0,5 kg/ha 1,5 l/ha 5,0 kg/ha
5	Blühbeginn (13-Blatt)	10.06.2025	Peronospora Oidium	Koperhydroxide VERIPHOS MICROTHIOL	0,875 kg/ha 2,0 l/ha 5,0 kg/ha
6	Abgehende Blüte	17.06.2025	Peronospora Oidium	Koperhydroxide VERIPHOS MICROTHIOL	1,0 kg/ha 2,5 l/ha 6,0 kg/ha
7	Schrotkorngrösse	24.06.2025	Peronospora Oidium	Koperhydroxide VERIPHOS MICROTHIOL	0,875 kg/ha 2,0 kg/ha 5,0 kg/ha
8	Erbsengrösse	03.07.2025	Peronospora Oidium	Cuproxat flüssig MICROTHIOL VITISAN	1,2 l/ha 4,0 kg/ha 4,0 kg/ha
9	Anfang Traubenschluss	10.07.2025	Peronospora Oidium Netzmittel	Cuproxat flüssig KUMULUS VITISAN Zentero	1,0 l/ha 3,0 kg/ha 4,0 kg/ha 1,2 l/ha
10	Ende Traubenschluss	18.07.2025	Peronospora Oidium Netzmittel	Cuproxat flüssig KUMULUS VITISAN Zentero	1,0 l/ha 3,0 kg/ha 5,0 kg/ha 1,2 l/ha
11	Ende Trauben- schluss	28.07.2025	Peronospora Oidium Netzmittel	Cuproxat flüssig VITISAN Zentero	1,4 l/ha 8,0 kg/ha 1,2 l/ha
12	Abschluss	07.08.2025	Peronospora Oidium Netzmittel	Cuproxat flüssig VITISAN Zentero	1,0 l/ha 8,0 kg/ha 1,2 l/ha

Die PIWI Sorten sowie die beiden Rivaner-Zeilen und eine Pinot noir-Zeile „PIWI Spritzung“ wurden lediglich zwei Mal mit Pflanzenschutzmitteln behandelt. Die erste Spritzung erfolgte mit der regulären Spritzung Nr. 5 und die zweite Pflanzenschutzmittel Behandlung mit der regulären Spritzung Nr. 7 (vgl. Tab. 2.2.1). Im Vergleich dazu wurden weitere Zeilen der beiden

traditionellen Sorten Rivaner (betriebsüblich) und Pinot noir (betriebsüblich) integriert gespritzt. Im Jahr 2025 waren das insgesamt 12 Spritzungen.

Im Versuch zur Wirksamkeit von Biologicals gegen *Peronospora* wurden folgende Mittel getestet: Fytosave, UPSIDE und als Vergleich Kupfer.

Das Mittel FytoSave der Firma Syngenta wurde 2019 gegen Falschen und Echten Mehltau zugelassen. Der Wirkstoff COS (Chito-Oligosaccharide)-OGA (Oligo-Galacturonide) ist natürlichen Ursprungs und aktiviert die pflanzeigenen Abwehrkräfte. COS wird aus den Schalen von Krustentieren gewonnen und simuliert die Anwesenheit von Schadpilzen, während OGA aus Zitrusfrüchten gewonnen wird. Die Pektine simulieren den Abbau von Zellwänden, was auch durch Pathogene hervorgerufen wird. Folglich werden natürliche Abwehrmechanismen in der Rebe in Gang gesetzt.

UPSIDE (Kwizda Agro) wurde im Januar 2024 neu zugelassen und basiert auf dem Wirkstoff ABE IT-566, das aus Hefezellfragmenten (*Saccharomyces cerevisiae*, Stamm DDSF623) gewonnen wird. Das Mittel hat eine indirekte Wirkung, indem es die natürlichen Abwehrkräfte der Pflanze aktiviert, gleichzeitig hat es eine direkte Wirkung auf den Schaderreger. Beide Biologicals sind als „low risk“ Substanz eingestuft. Alle Versuchsglieder, inklusive der Kontrolle, hatten eine durchgehende Abdeckung gegen Oidium.

2.3 Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber den Hauptschaderregern

Zu den Hauptschaderregern im Weinbau zählen der Falsche Mehltau (*Plasmopora viticola*) sowie der Echte Mehltau (*Erysiphe necator*). PIWI-Sorten tragen verschiedene Resistenzgene, die diese weniger anfällig gegenüber diesen Schaderregern machen (Tab. 2.1.1). Die PIWIs unterscheiden sich jedoch auch untereinander in ihrer Anfälligkeit, da sich die Resistenzstärken der verschiedenen Gene unterscheiden. Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit haben außerdem verschiedene weinbauliche Eigenschaften wie z.B. die Dicke der Beerenhaut, die Länge des Stielgerüsts und die Lockerbeerigkeit.

Die Bonitur zur Erfassung des Falschen Mehltaus erfolgte mittels des Siebenklassen-Bonitur-Schemas (0%, 1 bis 5%, 6 bis 10%, 11 bis 25%, 26 bis 50%, 51 bis 75%, 76 bis 100%) gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) an den Blättern. Pro Sorte wurden insgesamt 100 Blätter bzw. Trauben von beiden Seiten der Laubwand begutachtet.

Auch die Bonitur zur Erfassung des Echten Mehltaus erfolgte nach dem Siebenklassen-Bonitur-Schema. Hier wurde jedoch nur der Befall an den Trauben erfasst. Dazu wurden pro Sorte 100 Trauben von beiden Seiten der Laubwand bonitiert.

Im Jahr 2025 wurde außerdem der Befall mit Schwarzfäule (*Phyllosticta ampellicida*) mittels des Siebenklassen-Bonitur-Schemas (0%, 1 bis 5%, 6 bis 10%, 11 bis 25%, 26 bis 50%, 51 bis 75%, 76 bis 100%) gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) an den Blättern und Trauben erfasst. Pro Sorte wurden 100 Trauben bzw. Blätter von beiden Seiten der Laubwand betrachtet.

Eine weitere wichtige Krankheit ist der Grauschimmel ausgelöst durch den Pilz *Botrytis cinerea*. Hier wurde ebenfalls die Anfälligkeit der verschiedenen Sorten untersucht. Die Bonitur erfolgte wöchentlich ab ca. 50°Oechsle bis zur Ernte gemäß dem oben beschriebenen Siebenklassen-Bonitur-Schema. Zeitgleich erfolgten die Reifemessungen für die PIWI Sorten. Es wurden für die Graufäule-Bonituren pro Sorte 50 Trauben erfasst, während für die Reifemessung 100 Beeren gesammelt wurden (s. Abschnitt 2.5).

2.4 Unterschiede in der Phänologie der PIWIs

Die phänologischen Beobachtungen fanden mindestens zwei Mal die Woche statt; in der Blütephase auch drei Mal die Woche. Dabei wurde das phänologische Stadium als erreicht angesehen, wenn sich $\geq 50\%$ der Reben/Organe der Sorte im jeweiligen Stadium befanden.

Die phänologischen Stadien werden nach der von Lorenz et al. (1995) definierten BBCH-Skala beschrieben (vgl. Tab 2.4.1). Es ist zu beachten, dass die Makrostadien 1 (Blattentwicklung) und 5 (Infloreszenzentwicklung) in Teilen parallel ablaufen. Die Beobachtungen wurden von derselben Person durchgeführt.

Das BBCH-Stadium 89 wird hier als erreicht definiert, wenn 60 °Oechsle erreicht oder das erste Mal überschritten wurden. 60° Oechsle stellt das legale Minimum für die Produktion von Qualitätswein in Luxemburg dar.

Tabelle 2.4.1: Phänologische Stadien der Weinrebe nach Lorenz et al. (1995)

BBCH-Stadium	Beschreibung
01	Beginn Knospenschwellen
03	Ende Knospenschwellen
05	Wollestadium: wolleartiger brauner Haarbesatz deutlich sichtbar
07	Beginn Knospenaufbruch: grüne Triebspitzen werden sichtbar
09	Knospenaufbruch: grüne Triebspitzen deutlich sichtbar
11	Erstes Blatt entfaltet und vom Trieb abgespreizt
12	Zwei Blätter entfaltet
13	Drei Blätter entfaltet
14	Vier Blätter entfaltet
15	Fünf Blätter entfaltet
16	Sechs Blätter entfaltet
17	Sieben Blätter entfaltet
18	Acht Blätter entfaltet
19	Neun Blätter entfaltet
53	Gescheine deutlich sichtbar
55	Gescheine vergrößern sich, Einzelblüten sind dicht zusammengedrängt
57	Gescheine voll entwickelt, Einzelblüten spreizen sich
61	Beginn der Blüte, 10% der Blütenköppchen abgeworfen
63	Vorblüte: 10% der Blütenköppchen abgeworfen
65	Vollblüte: 50% der Blütenköppchen abgeworfen
68	80% der Blütenköppchen abgeworfen
69	Ende der Blüte
71	Fruchtansatz, Fruchtknoten beginnen sich zu vergrößern, „Putzen der Beeren“ wird abgeschlossen
73	Beeren schrotkorngross; Trauben beginnen sich abzusenken
75	Beeren erbsengroß; Trauben hängen
77	Beginn Traubenschluss
79	Ende Traubenschluss
81	Beginn der Reife; Beeren beginnen hell zu werden (bzw. beginnen sich zu verfärben)
83	Fortschreiten der Beerenaufhellung (bzw. Beerенverfärbung)
85	Weichwerden der Beeren
89	Vollreife der Beeren; hier definiert als 60 °Oechsle

2.5 Unterschiede im Hinblick auf Ertrag und Reife

Zur Erfassung der Reife wurden wöchentliche Reifemessungen in allen Sorten durchgeführt. Dazu wurden etwa 100, zufällig ausgewählte Beeren pro Sorte von beiden Seiten der Laubwand und verschiedenen Seiten der Traube entnommen und mittel FTIR (FOSS NIRSystems, Laurel, MD, USA) im Labor des IVV analysiert. Beeren mit sichtbarer Fäulnis wurden ausgeschlossen. Analysiert wurden insbesondere der Zuckergehalt in °Oechsle sowie die Gesamtsäure in g/l.

Kurz vor der Lese wurden 20 Trauben pro Sorte zufällig und über zwei Zeilen verteilt (Ausnahme Divico, da nur eine Zeile vorhanden) abgeschnitten und gewogen. Dies wurde immer von derselben Person durchgeführt.

Zur Erfassung des Ertrags wurde jede Sorte separat gelesen und anschließend gewogen. Der mittleren Erträge pro Stock wurden berechnet aus dem Gesamtertrag aller tatsächlich vorhanden, standardmäßig angeschnittenen Reben geteilt durch deren Anzahl. Von jeder Sorte wurde außerdem am Tag der Ernte eine Mostprobe gezogen und im Labor analysiert, um die abschließenden Zucker- und Säurewerte zu bestimmen.

2.6 Kosten des Anbaus von PIWI-Sorten im Vergleich zu traditionellen Sorten

Sowohl die Umweltverträglichkeitsprüfung (für Einzelheiten siehe nächsten Absatz) als auch die vergleichende Kostenanalyse konzentrierte sich auf die Anbauphase. Die hier im Folgenden vorgelegten Berechnungen gingen davon aus, dass die gleichen Verfahren beim Anlegen von Weinbergen mit PIWI-Sorten und traditionelle Sorten zur Anwendung kommen und die gleichen Verfahren bei der Herstellung der Weine genutzt werden, so dass in diesen Phasen kaum Kostenunterschiede zwischen PIWIs und traditionellen Sorten auftreten.

Die Kostenanalyse erfolgte auf zwei Ebenen. Die erste Ebene befasste sich mit der Abschätzung der finanziellen Kosten für den Weinbaubetrieb. Die zweite Ebene betrachtete eine soziale Perspektive und schätzte die negativen externen Effekte, die durch den Anbau der traditionellen Sorten erzeugt wurden, und verglich sie mit denen, die durch den Anbau von PIWIs entstanden sind. Die Kosten (sowohl finanzielle als auch soziale) wurden auf der Grundlage der im Jahre 2023-2025 erfassten Daten pro Hektar berechnet. Anschließend wurden sie anhand des in den Jahren 2024 und 2025 erfassten Ertrags in Kosten pro kg umgerechnet (Ertragsdaten im Jahr 2023 waren für einige Sorten dürrebedingt verzerrt, siehe

dazu den Projektbericht aus dem Jahr 2023). Die PIWI-Kosten waren die durchschnittlichen Kosten für die Sorten Cabaret noir (rot) und Sauvignac (weiß). Die Kosten für die traditionellen Sorten entsprachen den Durchschnittskosten für Pinot noir (rot) und Rivaner (weiß).

Bezüglich des finanziellen Aufwands aus der Perspektive eines Winzerbetriebes stützen wir unsere Berechnungen auf die am IVV in den Versuchsanlagen erhobenen Daten. Die Reben wurden im Spalier gezogen. Der Platz pro Pflanze betrug 2,4 m² (2 m zwischen den Reihen und 1,2 m zwischen den Reben). Es wurden Daten zu allen von IVV durchgeführten Arbeitsschritten gesammelt. Die folgenden Arbeitsschritte wurden sowohl für PIWIs als auch für traditionelle Sorten in die Bestandsaufnahme für die Kostenberechnung einbezogen:

- Pflanzenschutzmitteleinsatz: Anzahl und Zeitpunkte der Anwendung, Art des Produkts, Menge des Produkts, benötigte Wassermenge, Art der verwendeten Maschinen, Lieferant von Pestiziden, Einheitskosten des Pflanzenschutzmittels.
- Düngemittel: Anzahl und Zeitpunkte der Anwendung, Art des Produkts, Menge des Produkts, benötigte Wassermenge, Art der verwendeten Maschinen, Düngemittellieferant, Einheitskosten des Düngemittels.
- Maschineneinsatz: Art der Tätigkeit (z. B. Spritzen, Mulchen), Traktortyp (technische Merkmale), am Traktor montierte Maschinen (z. B. Spritzgerät, Mulcher), Nutzungsdauer, Kraftstoffverbrauch, Kraftstoffpreis ohne Mehrwertsteuer.

Auf Basis dieser Daten, die auch für die Umweltbewertung (Ökobilanz) herangezogen wurden, haben wir folgende Kosten pro Hektar und pro kg berechnet: Pestizidkosten, Wasserkosten, Düngemittelkosten, Dieselskosten und Betreiberkosten.

Die Betreiberkosten und die Dieselskosten pro Hektar wurden anhand der IVV-Weinlage „Berg“ mit 68 Pflanzen pro Reihe berechnet. Es wurde eingerechnet, dass der Traktor nur durch jede zweite Reihe fuhr und dabei 68 x 2 Pflanzen abgedeckt wurden. Mit 2,4 m² pro Pflanze ergaben sich für jeden Durchgang 326,4 m² (0,03264 ha).

Unsere Berechnungen basieren auf den Kosten pro Einheit (Einheitskosten) für Pflanzenschutz- und Düngemittel, die das IVV an seine Lieferanten zahlt und die auch den Winzern in der Region in Rechnung gestellt werden. Für die verbleibenden Einheitskosten (d. h. Wasser, Diesel und Arbeit) stützten wir uns auf öffentliche Datenquellen. Die Einheitskosten, die bei der finanziellen Kostenbewertung herangezogen wurden, waren:

- Dieselpreis für 2023: 1.553 € pro Liter (Quelle STATEC).
- Wasserkosten für 2023: 3,5 €/m³ (Durchschnitt zwischen Wasserkosten für landwirtschaftliche Zwecke in der Gemeinde Kehlen 4,3 €/m³ und Stadtbredimus 2,75 €/m³)
- Betreiberkosten:
 - 37 €/Stunde (Quelle: Wirtschaftsforschungsinstitut).
 - 16 €/Stunde (Luxemburg-Visumstipendium).

Was die zweite Ebene der Schätzung der Umweltkosten von PIWI und traditionellen Sorten betrifft, haben wir die Lebenszykluskostenmethode verwendet. Wir haben diese Preise verwendet, um die durch die Ökobilanz berechneten biophysikalischen Auswirkungen zu monetarisieren (siehe Abschnitt 2.7 für eine Beschreibung der Methodik), um einen konsistenten und transparenten Ansatz zur Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen externer Umwelteffekte bereit zu stellen.

Um die sozialen Kosten pro produzierter Mengeneinheit abzuschätzen, haben wir uns auf Umweltpreise gestützt, die im *Environmental Prices Handbook* (CE Delft, 2023) bereitgestellt werden. Diese Handbücher quantifizieren die gesellschaftlichen Kosten von Umweltauswirkungen, indem sie verschiedenen Kategorien von Umweltschäden, darunter Treibhausgasemissionen, Luft- und Wasserverschmutzung sowie Landnutzungsänderungen, Geldwerte zuweisen. Die Bewertungen basieren auf umfassenden Analysen der Schadenskosten, Studien zur Zahlungsbereitschaft und politischen Zielen und stellen sicher, dass sie auf robusten Methoden basieren. Darüber hinaus haben wir den Verbraucherpreisindex der OECD verwendet (OECD, 2025), um die Kosten vom Referenzjahr 2021 (wie in den Handbüchern verwendet) auf 2024 umzurechnen, um sicherzustellen, dass unsere Schätzungen der sozialen Kosten die aktuellen wirtschaftlichen Bedingungen widerspiegeln und mit den Schätzungen der finanziellen Kosten verglichen werden können.

2.7 Umweltauswirkungen von PIWI-Sorten im Vergleich mit traditionellen Sorten

Die Bewertung der Umweltauswirkungen von PIWI-Sorten und der Vergleich mit den Auswirkungen traditioneller Sorten erfolgte mithilfe der LCA-Methode (ISO 2006b, a). Nach dieser Methode haben wir zunächst das Ziel der Analyse und die Systemgrenzen definiert. Anschließend wurde eine Ökobilanz erstellt, in der die eingesetzten Energie-, Material- und Ressourcenmengen sowie alle innerhalb der Systemgrenzen entstehenden Emissionen aufgeführt sind. Nach und nach berechneten wir die Umweltauswirkungen für ausgewählte Wirkungskategorien und analysierten abschließend die Ergebnisse.

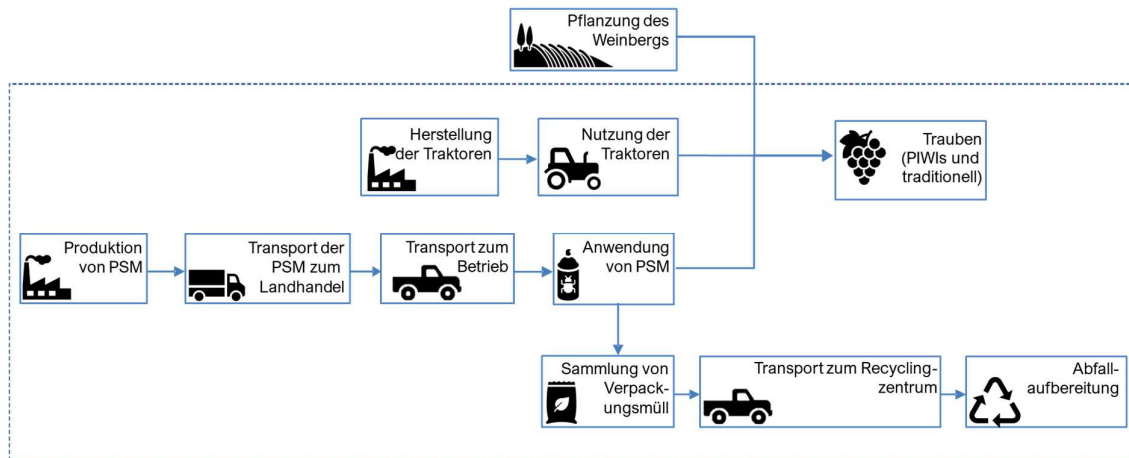


Abbildung 2.7.1: Systemgrenzen für die Umweltbilanzierung.

Ziel und den Umfang der Analyse konzentrieren sich auf den Anbau der Trauben bis zur Ernte (siehe Abbildung 2.7.1), da hier die relevantesten Unterschiede zwischen PIWIs und traditionellen Sorten zu finden sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist es daher wichtig zu berücksichtigen, dass wir davon ausgehen, dass sowohl die PIWIs als auch die traditionellen Sorten in der Phase der Pflanzung der Weinberge und der Weinherstellung die gleichen Energie-, Material- und Emissionsflüsse teilen. Dementsprechend haben wir als Funktionseinheit die Produktion von 1 kg Trauben gewählt. Mit anderen Worten: Die Umweltauswirkungen ergeben sich aus allen Energie-, Material- und Emissionsströmen, die für die Produktion von 1 kg Trauben unter luxemburgischen Bedingungen erforderlich sind.

Zur Erstellung der Bestandsaufnahme haben wir die in den Versuchsflächen gesammelten Daten genutzt. Die Bestandsmodellierung wurde mit dem Softwaretool SimaPro v9.6 unter Verwendung von Hintergrundprozessen aus der Datenbank ecoinvent v3.10 durchgeführt. Zur Modellierung von Hintergrundprozessen wurde die Systemmodellierung „Allokation, Abgrenzung nach Klassifizierung“ von ecoinvent verwendet.

Was die ökonomische Bewertung betrifft, so bezogen sich die Auswirkungen des Anbaus von PIWIs auf den Durchschnitt zwischen den Emissionen und dem Material- und Energieeinsatz des Anbaus der Sorten Cabaret noir und Sauvignac. Bei den traditionellen Sorten spiegeln die Auswirkungen den Durchschnitt der Sorten Pinot noir und Rivaner wider.

Die Umweltauswirkungen wurden mithilfe der von der Europäischen Kommission entwickelten Methode „Environmental Footprint (EF) v3.1“ (Andreasi Bassi et al., 2023) berechnet. Die folgenden Wirkungskategorien wurden sowohl für 1 kg PIWI als auch für traditionelle Sorten berechnet: Versauerung, Klimaveränderung, Süßwasserökotoxizität,

Feinstaub, marine Eutrophierung, Süßwassereutrophierung, terrestrische Eutrophierung, menschliche Toxizität (sowohl krebserregend als auch nicht krebserregend), ionisierende Strahlung, Landnutzung, Ozonabbau, photochemische Ozonbildung, Nutzung fossiler Ressourcen, Nutzung von Mineralien und Metallen, Wassernutzung.

2.8 *Scaphoideus titanus*-Monitoring

Zur Überprüfung eines potentiellen Auftretens von *Scaphoideus titanus*, dem Vektor der Flavescence dorée, wurde während der Saison 2025 ein Monitoring mit Gelbfallen an acht Standorten durchgeführt (Tab. 2.6.1).

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

Die Gelbfallen („Gelbtafel Profi PK“, Hermann Meyer KG, Rellingen, Deutschland) (pro Standort 1-2 Fallen) wurden am 15.07.2025 horizontal in der Höhe der Traubenzone installiert (Abb. 2.3.1.1) und im zwei-wöchentlichen Rhythmus kontrolliert und ausgetauscht. Am 23.09.2025 wurden alle Gelbfallen wieder abgehängt.

Tabelle 2.6.1: Standorte des *Scaphoideus titanus* Monitorings 2025.

Standort	Koordinaten
A Wellenstein	49,528 N; 6,347 O
B Remich-IVV	49,545 N; 6,354 O
C Ehnen	49,602 N; 6,396 O
D Ahn	49,628 N; 6,419 O
E Grevenmacher	49.694 N; 6.459 O
F Schengen	49.465 N; 6.365 O
G Remerschen	49.484 N, 6.342 O
H Wellenstein	49.726 N, 6.490 O

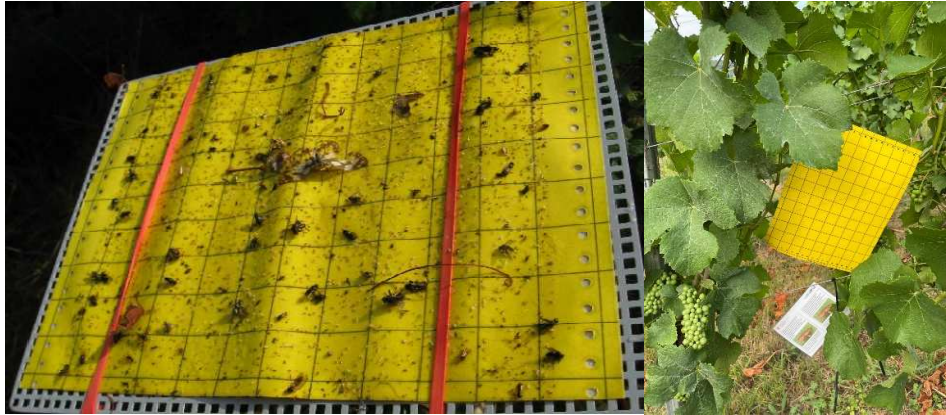


Abbildung 2.3.1.1: Gelbfalle mit Fängen nach zwei Wochen (links). Gelbfalle zur Überwachung des Fluges von *Scaphoideus titanus* im Weinberg (rechts).

2.9 Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber *Drosophila suzukii*

Zur Überwachung des Fluges und der Eiablage durch die Kirschessigfliege *Drosophila suzukii*, welche im Jahr 2014 erstmalig zu parzellenweisen starken Schäden im Gebiet geführt hatte, erfolgte im Jahr 2025 ein Monitoring in verschiedenen Rebsorten am Standort Remich (49,545 N; 6,354 O) (Tab. 2.7.1).

Tabelle 2.7.1: Parzellen im Monitoring zum Flug und zur Eiablage durch *Drosophila suzukii* im Jahr 2025.

Parzelle	Gemarkung	Zeile	Standort/Sorte/Klon	Monitoring
1	Remich	605	Pinotin	Flugaktivität und Eiablage
2	Remich	N/A	Mauer/Holunder	Flugaktivität
3	Remich	N/A	Brombeeren	Flugaktivität
4	Remich	112	Pinot noir précoce	Eiablage
16	Remich	130	Pinot noir (C 115)	Eiablage
17	Remich	109	Pinot noir (Freiburg L13)	Eiablage
18	Remich	135	Cabaret noir	Eiablage
19	Remich	84	Souvignier gris	Eiablage
20	Remich	580	Sauvignac	Eiablage
21	Remich	592	Cabertin	Eiablage
22	Remich	620	Divico	Eiablage

Zur Überwachung der Flugaktivität wurden Becherfallen der Firma Riga (Ellikon an der Thur, Schweiz) verwendet (Abb. 2.7.1). Das Monitoring der Flugaktivität fand in der Sorte Pinotin sowie in einem Holunderstrauch an einer Mauer in Weinbergsnähe und in einer Brombeer-Hecke statt. Bei allen weiteren Sorten wurde die Eiablage im wöchentlichen Abstand vom 19.08.2025 bis zum 23.09.2025 überprüft.



Abbildung 2.7.1: Riga-Becherfalle zur Überwachung der Flugaktivität von *Drosophila suzukii*.

Während der Monate August und September wurden die Fallen wöchentlich ausgetauscht und die Fangzahlen erfasst. Die Auswertung der Fallenfänge erfolgte getrennt nach männlichen und weiblichen Kirschessigfliegen mittels Binokular (Abb. 2.7.2).

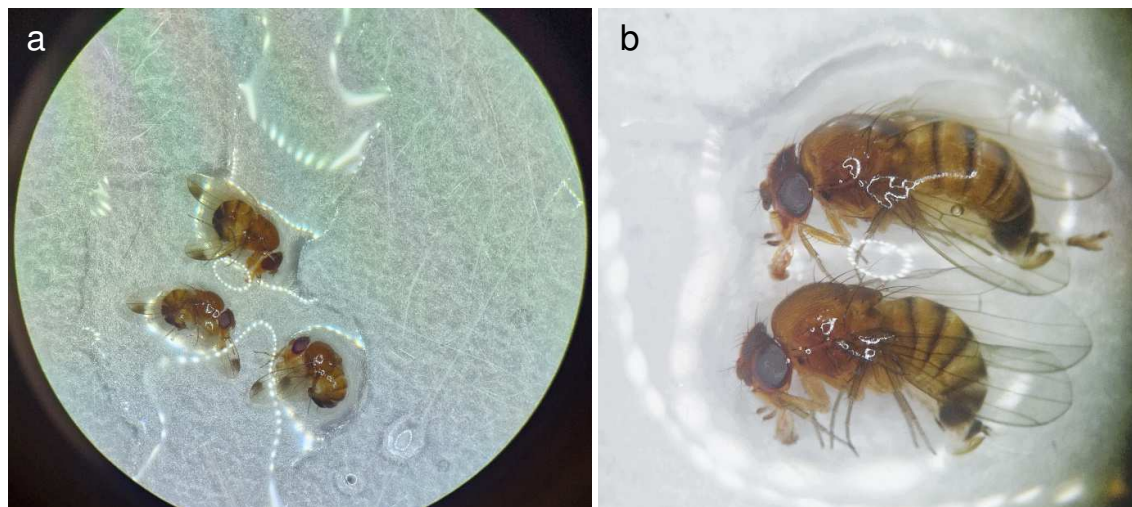


Abbildung 2.7.2: (a) Männliche Kirschessigfliegen mit den typischen Flecken auf den Flügeln. (b) Weibliche Kirschessigfliegen mit den typischen Ovipositoren.

Die Bonitur der Eiablage erfolgte an jeweils 50 Einzelbeeren pro Parzelle, welche aus ca. 15 im Weinberg entnommenen Traubenteilen stammten. Mittels Binokular wurden die Einzelbeeren von allen Seiten untersucht und die Anzahl der abgelegten Kirschessigfliegen-Eier erfasst (Abb. 2.7.3).



Abbildung 2.7.3: Bonituren der *D. suzukii* Exemplare in Fallen, Eiablage und des Larvenbesatzes in Beeren unter dem Binokular.

2.10 Weitere Untersuchungen zur Charakterisierung der PIWI Sorten

2.10.1 Bonitur von Gescheinsansatz und Biegeindex

Um die verschiedenen Sorten bestmöglich charakterisieren zu können, wurden weitere Daten hinsichtlich weinbaulicher Eigenschaften erhoben. So wurde am 26.05.2025 eine Bonitur zum Gescheinsansatz durchgeführt, dabei wurden 50 Triebe von jeder Sorte zufällig ausgewählt und die vorhandenen Gescheine pro Trieb gezählt.

Am 22.07.2025 wurde außerdem der Biegeindex nach Ipach et al. (2005) von 50 Trauben pro Sorte bestimmt. Der Biegeindex gibt Aussage über die Traubenstruktur kurz vor Reifebeginn. Dabei beschreibt ein geringer Index (1=sehr locker) eine lockere Traubenstruktur, während höhere Werte eine kompaktere Struktur (5=sehr kompakt) bedeuten.

2.10.2 Erfassung symptomatischer Esca-Stöcke

Seit dem Jahr 2017 erfolgt jährlich nach Reifebeginn eine Einzelstock-genaue Bonitur zur Erfassung symptomatischer Esca Stöcke in den Weinbergen im Bereich "Berg" des IVV in Remich. Seit 2022 werden folgende PIWI Sorten ebenfalls mit erfasst: Solaris, Sauvignier gris, Muscaris und Helios.

2.10.3 Test von Biologicals

Die Applikation der Biologicals fand mittels Parzellenspritze im 7-10-tägigen Abstand statt, mit 10 Spritzungen insgesamt. Die Wirksamkeit gegen Peronospora wurde an den zwei Sorten Cabernet blanc (PIWI) und Sauvignon blanc (traditionelle Sorte) getestet. Um zu überprüfen, ob die Mittel bei einer PIWI Sorte mit zwei Spritzungen ausreichend Wirkung zeigen, gab es für den Cabernet blanc noch weitere Versuchsglieder mit den jeweiligen Biologicals mit nur zweimaliger Applikation (Varianten 2-4). Variante 1 diente bei beiden Sorten als unbehandelte Kontrolle (vgl. Tab. 2.10.3.1). Demnach gab es für die Sorte Cabernet blanc sieben Versuchsglieder und für die Sorte Sauvignon blanc vier Versuchsglieder, welche randomisiert und in vierfacher Wiederholung angelegt wurden (vgl. Abb. 2.10.3.1).

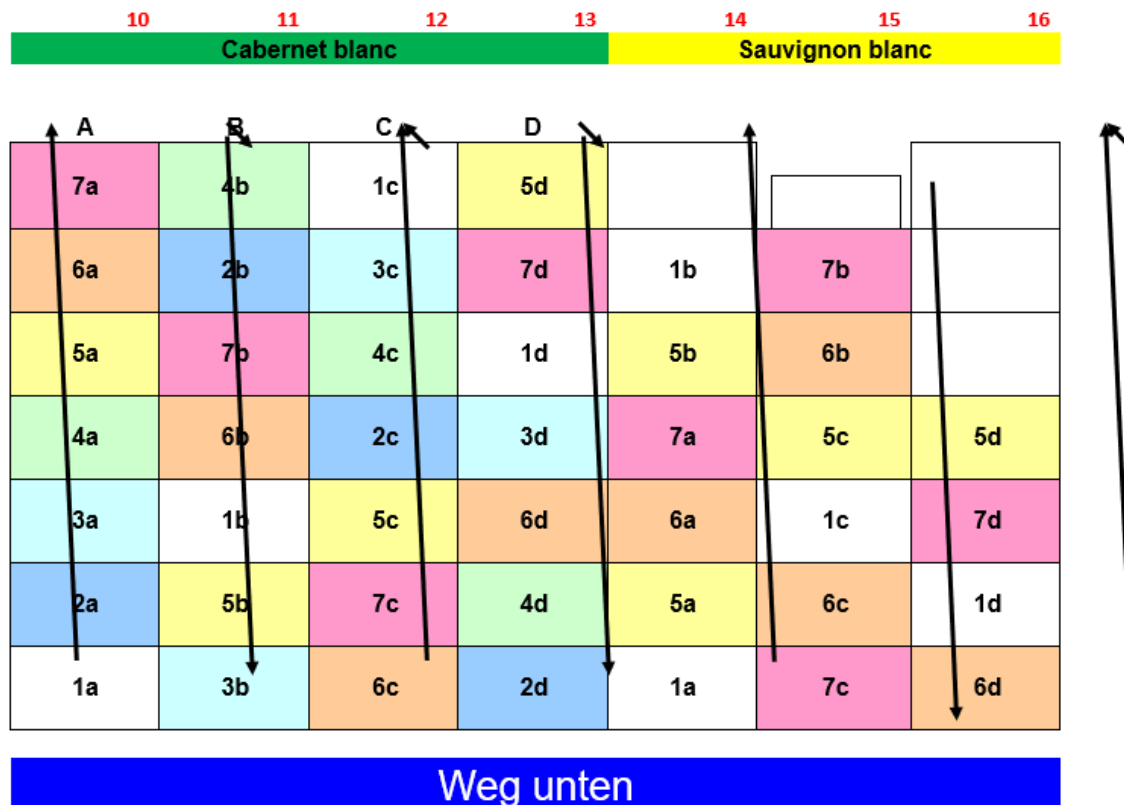


Abbildung 2.10.3.1: Versuchsschema des Versuches mit Biologicals.

Tabelle 2.10.3.1: Versuchsdesign zur Untersuchung zur Wirksamkeit von Biologicals gegen Peronospora im Jahr 2024.

Variante	Testmittel	Spritzungen	C. blanc	S. blanc
1	unbehandelte Kontrolle	Keine		
2	Kupfer	2 Spritzungen		
3	UPSIDE	2 Spritzungen		
4	FytoSave	2 Spritzungen		
5	Kupfer	10 Spritzungen		
6	UPSIDE	10 Spritzungen		
7	FytoSave	10 Spritzungen		

Ab Befallsbeginn wurde der Befall durch Falschen Mehltau mittels des Siebenklassen-Bonitur-Schemas (0%, 1 bis 5%, 6 bis 10%, 11 bis 25%, 26 bis 50%, 51 bis 75%, 76 bis 100%) gemäß EPPO Richtlinie PP1/17(3) an den Blättern und Trauben erfasst. Pro Sorte wurden insgesamt 100 Blätter bzw. Trauben von beiden Seiten der Laubwand begutachtet.

An den Trauben wurde außerdem der Befall durch Schwarzfäule und Oidium einmalig in der Vegetationsperiode erfasst sowie durch Botrytis einmalig vor der Lese. Dafür wurden ebenfalls 100 Trauben von beiden Seiten der Laubwand und mittels des Siebenklassen-Bonitur-Schemas erfasst.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber den Hauptschaderregern

Im Jahr 2025 war der Druck durch pilzliche Schaderreger infolge geringer Niederschläge im Frühjahr (Tab. A2) sehr gering. Die Befallsstärke des Falschen Mehltaus an den Blättern und Trauben war sowohl bei den traditionellen Sorten als auch bei den PIWI Sorten 0% (vgl. Tab. 3.1.1).

Symptome des Echten Mehltaus an den Trauben traten bei den Sorten Rivaner betriebsüblich (4,6% Befallsstärke), Cabernet blanc (0,6%) sowie Bronner und Muscaris (0,1%) auf.

Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber einem weiteren pilzlichen Schaderreger, der Schwarzfäule, konnten im Jahr 2024 festgestellt werden. Im Jahr 2025 wurde jedoch nur bei der PIWI Sorte Cabernet blanc ein Befall an den Trauben durch Schwarzfäule erfasst (1,3%) (Abb. 3.1.1).

Tabelle 3.1.1: Befallsstärken (%) der Testsorten mit Falschem Mehltau an Blättern am 15.07. 25 und Trauben am 19.08.25 und mit Echtem Mehltau an den Trauben sowie Befallsstärke (%) der Schwarzfäule an den Trauben am 19.08.2025.

Sorte	Befallsstärke (%)			
	Falscher Mehltau	Falscher Mehltau	Echter Mehltau	Schwarzfäule
	Blätter 15.07.2025	Trauben 19.08.2025	Trauben 19.08.2025	Trauben 19.08.2025
Cabaret noir	0	0	0	0
Helios	0	0	0	0
Muscaris	0	0	0,1	0
Solaris	0	0	0	0
Souvignier gris	0	0	0	0
Villaris	0	0	0	0
Johanniter	0	0	0	0
Sauvignac	0	0	0	0
Calardis blanc	0	0	0	0
Cabertin	0	0	0	0
Bronner	0	0	0,1	0
Cabernet blanc	0	0	0,6	1,3
Pinotin	0	0	0	0
Divico	0	0	0	0
Rivaner	0	0	4,6	0
PIWI Spritzung				
Pinot noir	0	0	0	0
PIWI Spritzung				
Rivaner	0	0	0	0
betriebsüblich				
Pinot noir	13,1	13,5	0,0	0,1
betriebsüblich				

Der Gesamtverlauf des Befalls von *Botrytis cinerea* ist Abb. 3.1.2 zu entnehmen. Insgesamt war das Botrytis Befallsniveau in 2025 bei den roten PIWI Sorten sehr gering. Nur die traditionelle Sorte Pinot noir erreichte eine Befallsstärke von 1,8 % (Pinot noir PIWI Spritzung) bzw. 1,4 % (Pinot noir betriebsüblich). Bei den weissen Sorten zeigt sich, dass bei den PIWI Sorten der Botrytisbefall erst sehr spät anfängt. Die höchsten Befallsstärken bei den PIWIs zeigten Johanniter (2,5%) und Calardis blanc (2,4%). Der höchste Befall trat beim Rivaner PIWI Spritzung mit 13,7% auf.

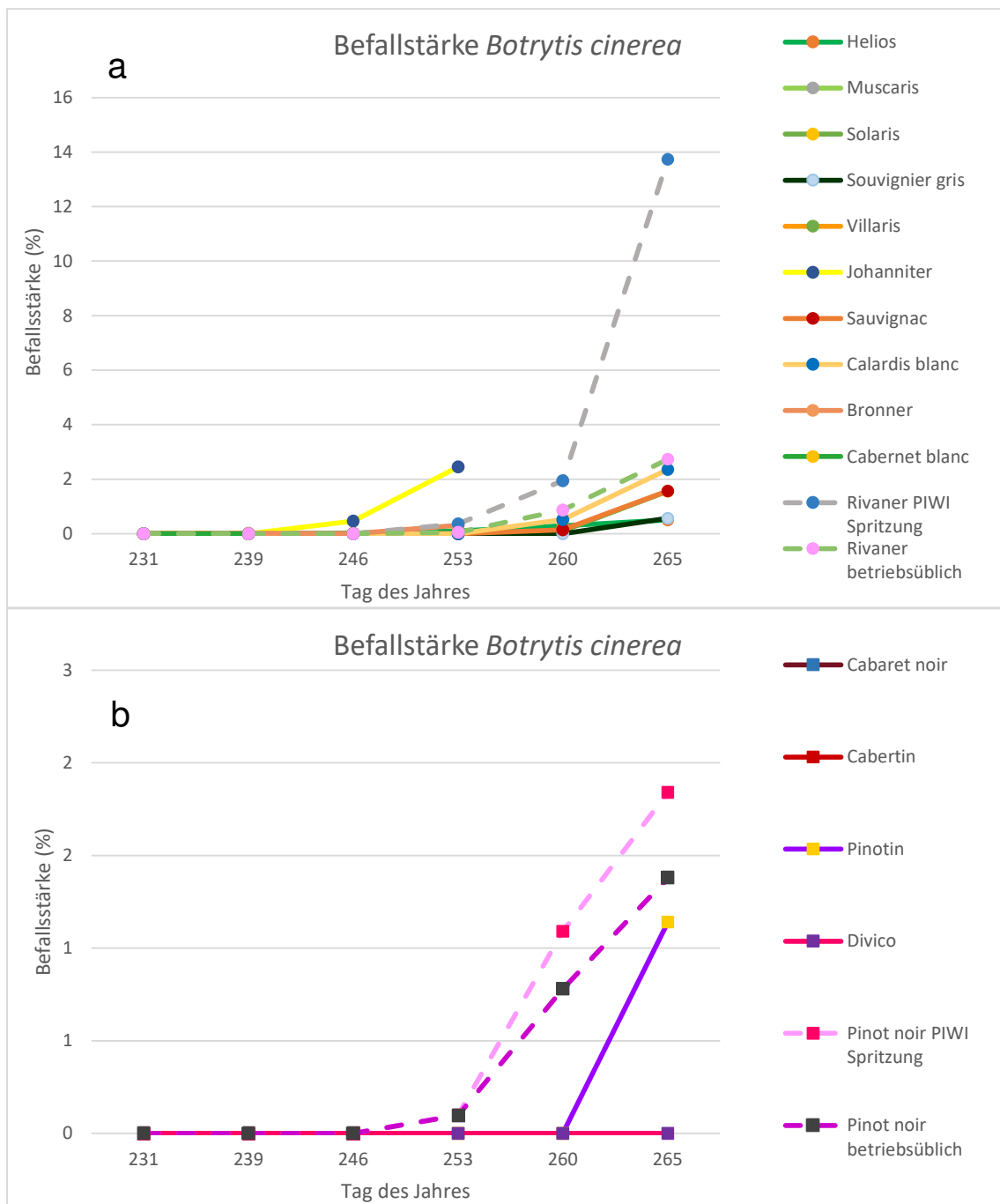


Abbildung 3.1.2: Verlauf der Befallstärke (in %) von *Botrytis cinerea* an Trauben im Jahr 2025. (a) Weiße Sorten. (b) Rote Sorten.

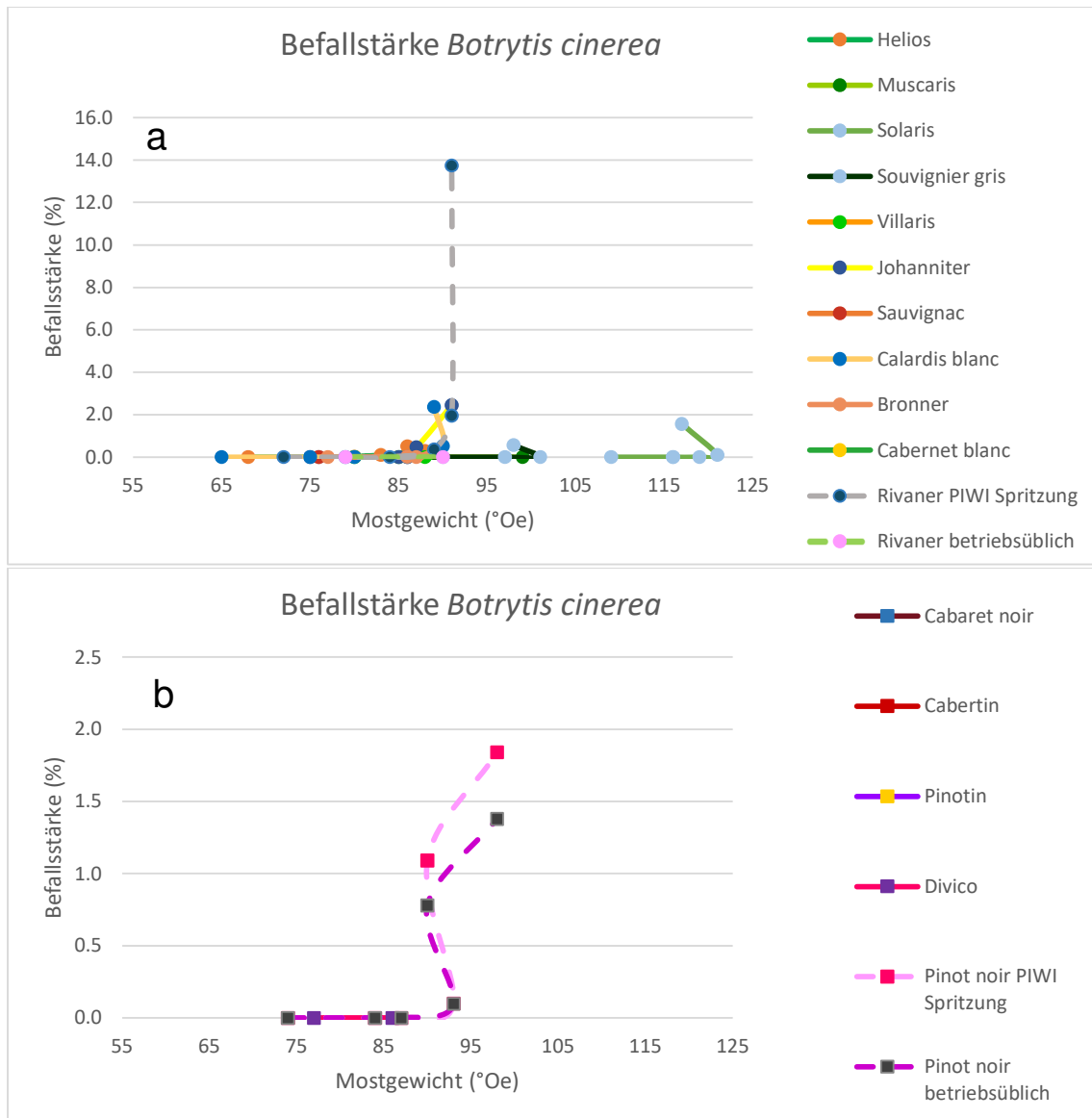


Abbildung 3.1.3: Verlauf der Befallsstärke (in %) von *Botrytis cinerea* an Trauben in Abhängigkeit vom Mostgewicht (°Oe) im Jahr 2025. (a) Weiße Sorten. (b) Rote Sorten.

Betrachtet man den Verlauf der Befallsstärke von *Botrytis cinerea* in Abhängigkeit vom Mostgewicht (Abb. 3.1.3), zeigt sich, dass bei den PIWI Sorten entweder kaum ein nennenswerter Befall auftrat, oder dieser erst sehr spät bei hohen Mostgewichten. Der Befall bei den traditionellen Sorten Rivaner und Pinot noir stieg schon früher an. Beim Pinot noir PIWI Spritzung lag die Befallsstärke beim letzten Boniturtermin bei 1,8% und 98°Oe, beim Rivaner PIWI Spritzung waren es 13,7% und 91°Oe.

3.2 Unterschiede in der Phänologie der PIWI Sorten

Tabelle 3.2.1: Datum des Erreichens der phänologischen Stadien 01 bis 89 nach BBCH Code (Lorenz et al. 1995) der PIWI Sorten im Vergleich zu den traditionellen Sorten Rivaner und Pinot noir im Jahr 2025.

BBCH	Cabernet blanc	Cabertin	Calardis blanc	Johannite r	Villaris	Muscaris	Pinotin	Sauvignac	Solaris	Souvine r gris	Divico	Helios	Bronner	Cabaret noir	Sauvitage	Floreal	Voltis	Rivaner	Pinot noir
01	31-Mar	01-Apr	30-Mar	26-Mar	28-Mar	24-Mar	02-Apr	31-Mar	26-Mar	27-Mar	28-Mar	28-Mar	29-Mar	28-Mar	24-Mar	01-Apr	28-Mar	30-Mar	27-Mar
03	05-Apr	10-Apr	03-Apr	01-Apr	05-Apr	27-Mar	07-Apr	02-Apr	28-Mar	01-Apr	02-Apr	10-Apr	03-Apr	03-Apr	26-Mar	06-Apr	01-Apr	01-Apr	02-Apr
5	09-Apr	14-Apr	08-Apr	06-Apr	10-Apr	02-Apr	12-Apr	05-Apr	05-Apr	06-Apr	06-Apr	20-Apr	07-Apr	08-Apr	03-Apr	09-Apr	06-Apr	06-Apr	08-Apr
07	13-Apr	22-Apr	14-Apr	10-Apr	14-Apr	05-Apr	17-Apr	09-Apr	09-Apr	10-Apr	10-Apr	25-Apr	15-Apr	13-Apr	05-Apr	14-Apr	08-Apr	09-Apr	14-Apr
09	21-Apr	26-Apr	21-Apr	14-Apr	22-Apr	10-Apr	26-Apr	13-Apr	12-Apr	14-Apr	14-Apr	28-Apr	20-Apr	16-Apr	07-Apr	17-Apr	13-Apr	14-Apr	22-Apr
11	27-Apr	28-Apr	24-Apr	26-Apr	28-Apr	17-Apr	28-Apr	22-Apr	26-Apr	26-Apr	26-Apr	30-Apr	26-Apr	25-Apr	12-Apr	26-Apr	22-Apr	25-Apr	26-Apr
12	29-Apr	30-Apr	28-Apr	28-Apr	30-Apr	26-Apr	30-Apr	26-Apr	28-Apr	28-Apr	27-Apr	02-May	28-Apr	27-Apr	15-Apr	28-Apr	25-Apr	27-Apr	28-Apr
13	01-May	01-May	30-Apr	30-Apr	02-May	27-Apr	01-May	28-Apr	30-Apr	30-Apr	29-Apr	03-May	30-Apr	29-Apr	17-Apr	30-Apr	28-Apr	28-Apr	29-Apr
14	02-May	02-May	02-May	02-May	04-May	28-Apr	03-May	30-Apr	01-May	01-May	01-May	13-May	01-May	01-May	25-Apr	02-May	02-May	30-Apr	02-May
15	04-May	03-May	04-May	04-May	07-May	30-Apr	07-May	02-May	03-May	03-May	03-May	18-May	03-May	02-May	30-Apr	04-May	04-May	01-May	04-May
16	13-May	13-May	13-May	13-May	14-May	01-May	15-May	04-May	07-May	07-May	05-May	26-May	07-May	04-May	02-May	13-May	07-May	03-May	13-May
17	20-May	18-May	20-May	20-May	19-May	03-May	26-May	10-May	18-May	18-May	14-May	01-Jun	19-May	12-May	04-May	18-May	13-May	13-May	18-May
18	25-May	29-May	29-May	25-May	25-May	13-May	29-May	13-May	23-May	23-May	18-May	05-Jun	25-May	19-May	13-May	23-May	20-May	18-May	26-May
19	29-May	05-Jun	02-Jun	01-Jun	31-May	19-May	02-Jun	19-May	26-May	25-May	30-May	08-Jun	01-Jun	26-May	20-May	25-May	23-May	26-May	31-May
53	12-May	13-May	07-May	08-May	10-May	29-Apr	12-May	04-May	05-May	09-May	05-May	13-May	07-May	10-May	04-May	11-May	12-May	04-May	10-May
55	25-May	31-May	24-May	26-May	25-May	25-May	29-May	20-May	13-May	24-May	20-May	31-May	23-May	25-May	23-May	24-May	20-May	25-May	03-Jun
57	29-May	04-Jun	29-May	31-May	29-May	25-May	04-Jun	29-May	20-May	30-May	25-May	04-Jun	29-May	01-Jun	29-May	02-Jun	02-Jun	31-May	05-Jun
61	05-Jun	08-Jun	01-Jun	04-Jun	05-Jun	31-May	07-Jun	31-May	30-May	02-Jun	31-May	10-Jun	31-May	03-Jun	31-May	03-Jun	07-Jun	04-Jun	11-Jun
63	08-Jun	12-Jun	04-Jun	06-Jun	10-Jun	03-Jun	09-Jun	01-Jun	31-May	05-Jun	01-Jun	13-Jun	02-Jun	04-Jun	01-Jun	08-Jun	09-Jun	06-Jun	13-Jun
65	12-Jun	14-Jun	08-Jun	12-Jun	11-Jun	05-Jun	13-Jun	04-Jun	02-Jun	08-Jun	04-Jun	14-Jun	05-Jun	08-Jun	02-Jun	12-Jun	13-Jun	11-Jun	14-Jun
68	14-Jun	15-Jun	12-Jun	14-Jun	13-Jun	07-Jun	15-Jun	08-Jun	06-Jun	12-Jun	06-Jun	16-Jun	09-Jun	12-Jun	04-Jun	13-Jun	15-Jun	13-Jun	16-Jun
69	17-Jun	17-Jun	14-Jun	15-Jun	14-Jun	08-Jun	16-Jun	09-Jun	08-Jun	14-Jun	09-Jun	19-Jun	11-Jun	14-Jun	08-Jun	14-Jun	16-Jun	15-Jun	17-Jun
71	19-Jun	19-Jun	16-Jun	16-Jun	16-Jun	14-Jun	17-Jun	14-Jun	14-Jun	15-Jun	14-Jun	22-Jun	14-Jun	16-Jun	12-Jun	16-Jun	18-Jun	16-Jun	19-Jun
73	23-Jun	23-Jun	19-Jun	19-Jun	20-Jun	17-Jun	23-Jun	16-Jun	16-Jun	19-Jun	16-Jun	24-Jun	16-Jun	21-Jun	15-Jun	21-Jun	21-Jun	20-Jun	23-Jun
75	26-Jun	30-Jun	27-Jun	25-Jun	27-Jun	26-Jun	30-Jun	23-Jun	22-Jun	27-Jun	24-Jun	02-Jul	25-Jun	26-Jun	18-Jun	02-Jul	27-Jun	23-Jun	26-Jun
77	30-Jul	21-Jul	17-Jul	07-Jul	21-Jul	10-Jul	20-Jul	09-Jul	02-Jul	22-Jul	15-Jul	17-Jul	30-Jun	09-Jul	28-Jul	30-Jul	26-Jul	17-Jul	17-Jul
79	06-Aug	23-Jul	31-Jul	14-Jul	23-Jul	24-Jul	21-Jul	29-Jul	12-Jul	24-Jul	16-Jul	27-Jul	17-Jul	17-Jul	31-Jul	05-Aug	06-Aug	24-Jul	10-Aug
81	11-Aug	24-Jul	01-Aug	30-Jul	24-Jul	01-Aug	22-Jul	04-Aug	13-Jul	04-Aug	17-Jul	28-Jul	01-Aug	19-Jul	02-Aug	06-Aug	07-Aug	25-Jul	11-Aug
83	13-Aug	30-Jul	03-Aug	02-Aug	28-Jul	03-Aug	28-Jul	10-Aug	15-Jul	14-Aug	24-Jul	04-Aug	04-Aug	26-Jul	04-Aug	14-Aug	14-Aug	27-Jul	14-Aug
85	15-Aug	04-Aug	05-Aug	04-Aug	30-Jul	06-Aug	30-Jul	14-Aug	18-Jul	16-Aug	27-Jul	05-Aug	08-Aug	30-Jul	14-Aug	16-Aug	16-Aug	01-Aug	17-Aug
89	20-Aug	13-Aug	20-Aug	13-Aug	13-Aug	13-Aug	13-Aug	20-Aug	30-Jul	20-Aug	06-Aug	20-Aug	13-Aug	13-Aug	20-Aug	20-Aug	20-Aug	19-Aug	19-Aug

Der Austrieb (BBCH 09) erfolgte 2025 bei den PIWIs und den traditionellen Sorten Anfang bis Mitte April. Die ersten Sorten, die ausgetrieben sind, waren Sauvitage (07.04.2025), Muscaris (10.04.2025) und Solaris (12.04.2025), gefolgt von Voltis und Sauvignac (13.04.2025). Der späteste Austrieb erfolgte in der Sorte Helios am 18.04.2025 (vgl. Tab. 3.2.1).

Der Blütebeginn (BBCH 61) war Ende Mai bis Anfang Juni. Hier blühte zuerst Solaris (30.05.2025), gefolgt von Muscaris, Sauvignac, Divico, Bronner und Sauvitage (31.05.2025). Der späteste Blühbeginn wurde bei der Sorte Helios verzeichnet (10.06.2025). Mitte Juni war bei vielen PIWI Sorten die Blüte beendet.

Beim Reifebeginn (BBCH 81) zeigen sich zwischen den PIWI Sorten größere Unterschiede. Der früheste Reifebeginn wurde bei Solaris erfasst (13.07.2025), gefolgt von Divico (17.07.2025). Der späteste Reifebeginn wurde bei Cabernet blanc aufgezeichnet (11.08.2025).

Tabelle 3.2.2: Tag des Jahres an dem wichtige phänologische Entwicklungsstadien in den untersuchten PIWI Sorten im Vergleich zu den traditionellen Sorten Rivaner und Pinot noir erreicht wurden. Sorten mit einem frühen Erreichen der jeweiligen Stadien sind grün unterlegt, Sorten mit einem späten Erreichen rot.

BBCH	Cabernet blanc	Cabertin	Calardis blanc	Johannite r	Villaris	Muscaris	Pinotin	Sauvignac	Solaris	Souvignie r gris	Divico	Helios	Bronner	Cabaret noir	Sauvitage	Floreal	Vollis	Rivaner	Pinot noir
01	90	91	89	85	87	83	92	90	85	86	87	87	87	87	83	91	87	89	86
03	95	100	93	91	95	86	97	92	87	91	92	100	93	93	85	96	91	91	92
5	99	104	98	96	100	92	102	95	95	96	96	110	97	98	93	99	96	96	98
07	103	112	104	100	104	95	107	99	99	100	100	115	105	103	95	104	98	99	104
09	111	116	111	104	112	100	116	112	102	104	104	118	110	106	97	107	103	104	112
11	117	118	114	116	118	107	118	116	116	116	116	120	116	115	102	116	112	115	116
12	119	120	118	118	120	116	120	118	118	118	117	122	118	117	105	118	115	117	118
13	121	121	120	120	122	117	121	120	120	120	119	123	120	119	107	120	118	118	119
14	122	122	122	122	124	118	123	122	121	121	121	133	121	121	115	122	122	120	122
15	124	123	124	124	127	120	127	124	123	123	123	138	123	122	120	124	124	121	124
16	133	133	133	133	134	121	135	130	127	127	125	146	127	124	122	133	127	123	133
17	140	138	140	140	139	123	146	130	138	138	134	152	139	132	124	138	133	133	138
18	145	149	149	145	145	133	149	133	143	143	138	156	145	139	133	143	140	138	146
19	149	156	153	152	151	139	153	139	146	145	150	159	152	146	140	145	143	146	151
53	132	133	127	128	130	119	132	124	125	129	125	133	127	130	124	131	132	124	130
55	145	151	144	146	145	145	149	140	133	144	140	151	143	145	143	144	140	145	154
57	149	155	149	151	149	145	155	149	140	150	145	155	149	152	149	153	153	151	156
61	156	159	152	155	156	151	158	151	150	153	151	161	151	154	151	154	158	155	162
63	159	163	155	157	161	154	160	152	151	156	152	164	153	155	152	159	160	157	164
65	163	165	159	163	162	156	164	155	153	159	155	165	156	159	153	163	164	162	165
68	165	166	163	165	164	158	166	159	157	163	157	167	160	163	155	164	166	164	167
69	168	168	165	166	165	159	167	160	159	165	160	170	162	165	159	165	167	166	168
71	170	170	167	167	171	165	168	165	165	166	165	173	165	167	163	167	169	167	170
73	174	174	170	170	178	168	174	167	167	170	167	175	167	172	166	172	172	171	174
75	177	181	178	178	177	181	174	173	203	175	183	175	183	176	177	169	183	178	177
77	211	202	198	188	202	191	201	190	183	205	196	198	181	190	209	211	207	198	198
79	218	204	212	195	204	205	202	210	193	216	197	208	198	198	212	217	218	205	222
81	223	205	213	211	205	213	203	216	194	226	198	209	213	200	214	218	219	206	223
83	225	211	215	214	209	215	209	222	196	228	205	216	216	207	216	226	226	208	226
85	227	216	217	216	211	218	211	226	199	228	208	217	220	211	226	228	228	213	229
89	232	225	232	225	225	225	225	232	211	232	218	232	225	225	232	232	232	231	231

Tabelle 3.2.2 verdeutlicht, dass sich die Sorten in ihrer Entwicklung unterscheiden. Die Sorten Muscaris und Solaris zeigen einen sehr frühen Austrieb. Die Reife von Solaris tritt ebenfalls sehr früh auf, während Muscaris einen späten Reifebeginn zeigt. Cabertin z.B. treibt eher spät aus, die Blüte ist spät und der Reifebeginn jedoch früh. Bei Helios ist auffällig, dass die Sorte über die ganze phänologische Entwicklung sehr spät ist. Souvignier gris erreicht die Stadien wie Austrieb und Blüte eher früh, erreicht die Reife jedoch dann spät. Im praktischen Anbau könnten früh austreibende Sorten in Lagen mit hoher Spätfrostgefahr vermieden oder Sorten mit späten Austrieb und früher Reife für Regionen mit relativ kurzer Vegetationsperiode bevorzugt angebaut werden. Weiterhin könnten sehr früh reifende Sorten einen Marktvorteil bieten, wenn man z.B. Federweissen zu einem Zeitpunkt anbieten möchte, wo es die Konkurrenz noch nicht kann.

3.3 Unterschiede im Hinblick auf Ertrag und Reife

3.3.1 Ertrag

Tabelle 3.3.1.1: Ertragsparameter der Ernte 2025 der PIWI- und der traditionellen Vergleichssorten.

Sorte	Anzahl Reben mit Trauben	Ernte- datum	Ertrag (kg)	Ertrag pro Rebe (kg)	Ertrag (kg/ha)	Most- gewicht (°Oe)	Gesamt- säure (g/l)
Cabaret noir	173	04/09/25	226,7	1,31	5957	100	7,2
Helios	100	29/09/25	203,0	2,03	9225	87	7,7
Muscaris	73	28/08/25	157,0	2,15	9775	96	7,7
Solaris	101	29/09/25	155,7	1,54	7005	120	5,5
Souvignier gris	81	29/09/25	118,8	1,47	6664	100	9,9
Villaris	55	28/08/25	60,0	1,09	4955	85	8,0
Johanniter	55	10/09/25	122,9	2,23	10157	91	8,2
Sauvignac	101	26/09/25	195,2	1,93	8786	92	8,7
Calardis blanc	156	24/09/25	227,5	1,46	6628	89	5,1
Cabertin	114	04/09/25	82,8	0,73	3301	96	9,2
Bronner	87	10/09/25	199,2	2,29	9538	89	8,4
Cabernet blanc	89	28/08/25	101,8	1,14	4768	84	13,2
Pinotin	69	22/09/25	101,6	1,47	6692	89	6,0
Divico	20	22/09/25	23,6	1,18	5364	91	7,9
Rivaner PIWI-Spritzung	50	23/09/25	82,9	1,66	7538	91	6,3
Pinot noir PIWI Spritzung	35	22/09/25	30,4	0,87	3942	105	8,2
Rivaner betriebsüblich	57	23/09/25	74,7	1,31	5957	90	6,7
Pinot noir betriebsüblich	42	22/09/25	31,0	0,74	3353	101	9,0

Die Lese der PIWI-Sorten erstreckte sich über den Zeitraum vom 28.08.2025 (Muscaris, Villaris und Cabernet blanc) bis zum 29.09.2025 Helios, Solaris und Sauvignier gris). Die Erträge variierten teils sehr stark zwischen den Sorten, da auch die Anzahl der Reben sehr unterschiedlich war und von 20 Reben (Divico) bis hin zu 173 Reben (Cabaret noir) reichte. Der höchste Ertrag mit 227,5 kg wurde für Calardis blanc erfasst, gefolgt von Cabaret noir mit 226,7 kg. Der geringste Gesamtertrag beträgt 23,6 kg beim Divico. Der geringste Ertrag pro Rebe wurde beim Cabertin erfasst (0,73 kg), gefolgt von Pinot noir betriebsüblich (0,74 kg) und Pinot noir PIWI Spritzung (0,87 kg). Der höchste Ertrag pro Rebe wurde von der Sorte Bronner erreicht (2,29 kg), gefolgt von Johanniter (2,23 kg) sowie Muscaris (2,15 kg) und Helios (2,03 kg). Die Mostgewichte reichen von 84 °Oe (Cabernet blanc) bis zu 103 °Oe (Solaris).

Das mittlere Traubengewicht war bei der Sorte Bronner (188 g) am höchsten, gefolgt von Pinotin (179 g) und Helios (174 g). Die geringsten mittleren Traubengewichte hatten Pinot noir betriebsüblich (64 g) und Pinot noir PIWI Spritzung (75 g) (vgl. Tab. 3.3.1.2).

Tabelle 3.3.1.2: Mittleres Traubengewicht der PIWI- und Vergleichssorten zum Erntezeitpunkt 2025

Sorte	Mittleres Traubengewicht (g)
Cabaret noir	87
Helios	174
Muscaris	149
Solaris	119
Souvignier gris	146
Villaris	148
Johanniter	145
Sauvignac	161
Calardis blanc	124
Cabertin	90
Bronner	188
Cabernet blanc	92
Pinotin	179
Divico	85
Rivaner PIWI Spritzung	166
Pinot noir PIWI Spritzung	75
Rivaner betriebsüblich	111
Pinot noir betriebsüblich	64

3.3.2 Reife

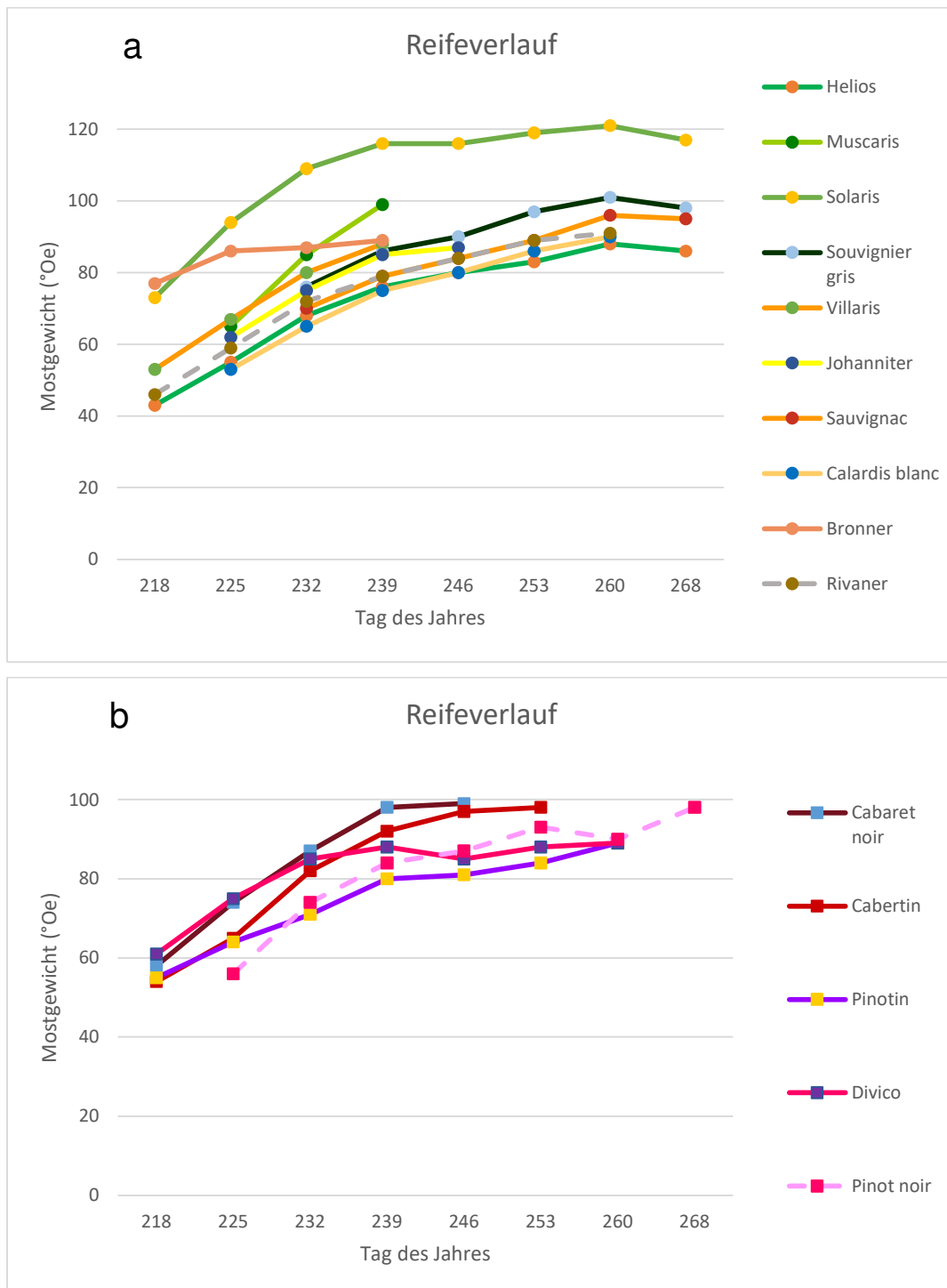


Abbildung 3.3.2.1a: Reifeverlauf ausgedrückt als Mostgewicht (°Oe) in Abhängigkeit vom Tag des Jahres (a) Weiße Sorten inklusive der traditionellen Vergleichssorte Rivaner. (b) Rote Sorten inklusive der traditionellen Vergleichssorte Pinot noir.

In Abb. 3.3.2.1 zeigt sich, dass die viele PIWI Sorten früher reifen als die traditionellen Vergleichssorten. Solaris ist die Sorte, die am frühesten reift, gefolgt von den beiden roten Sorten Cabaret noir und Cabertin. Nur wenige weiße Sorten reifen später als Rivaner, im Jahr 2025 waren es Calardis blanc und Helios. Da in den traditionellen Sorten PIWI Spritzung und betriebsüblich keine separaten Reifemessungen durchgeführt wurden, wird hier nur jeweils allgemein Rivaner oder Pinot noir dargestellt.

3.4 Weitere Untersuchungen zur Charakterisierung der PIWI Sorten

3.4.1 Bonitur Gescheinsansatz und Biegeindex

Tab. 3.4.1.1: Gescheinsansatz und Biegeindex der PIWI Sorten sowie der traditionellen Sorten Rivaner und Pinot noir

Sorte	Gescheinsansatz	Biegeindex
Cabaret noir	2,3	2,6
Helios	1,7	2,3
Muscaris	1,7	2,7
Solaris	2,7	3,1
Souvignier gris	1,8	2,9
Villaris	1,7	2,2
Johanniter	2,3	2,9
Sauvignac	2,8	2,6
Calardis blanc	2,8	2,2
Cabertin	2,0	2,5
Bronner	1,9	3,4
Cabernet blanc	1,8	2,0
Pinotin	1,5	2,1
Divico	2,6	2,1
Rivaner PIWI Spritzung	2,3	2,2
Pinot noir PIWI Spritzung	2,4	2,5
Rivaner betriebsüblich	2,4	2,0
Pinot noir betriebsüblich	2,5	2,6

Der Gescheinsansatz bei den PIWI Sorten lag im Jahr 2025 zwischen 1,5 (Pinotin) und 2,8 (Sauvignac und Calardis blanc). Die Vergleichssorten Rivaner und Pinot noir betriebsüblich wiesen einen mittleren Gescheinsansatz von 2,4 bzw. 2,5 auf (vgl. Tab. 3.4.1.1).

Der Biegeindex zeigt, dass Cabernet blanc die lockerste Traubenstruktur aufwies (2,0), während Bronner mit einem Biegeindex von 3,4 die kompaktesten Trauben hatte.

3.4.2 Test von Biologicals

Da der Befallsdruck im Jahr 2025 sehr gering war, konnten 2025 keine Unterschiede zwischen Kontrolle und Testsubstanzen beobachtet werden. Hier werden im Folgenden die Ergebnisse von 2024 vorgestellt, wo der Befallsdruck mit Schadpilzen hoch war. Die Biologicals Fytosave und Upside konnten bei starkem Befallsdruck (Saison 2024) sowohl bei zweimaliger als auch bei zehnmaliger Behandlung die Befallshäufigkeit mit Falschem Mehltau bei der PIWI-Sorte Cabernet blanc und der traditionellen Sorte Sauvignon blanc kaum reduzieren (Abb. 3.4.2.1). Kupfer erreichte bei zehnmaliger Anwendung beim PIWI Cabernet blanc eine Befallsreduktion von etwa 40% und bei der traditionellen Sorte Sauvignon blanc von etwa 25% (Abb. 3.4.2.1).

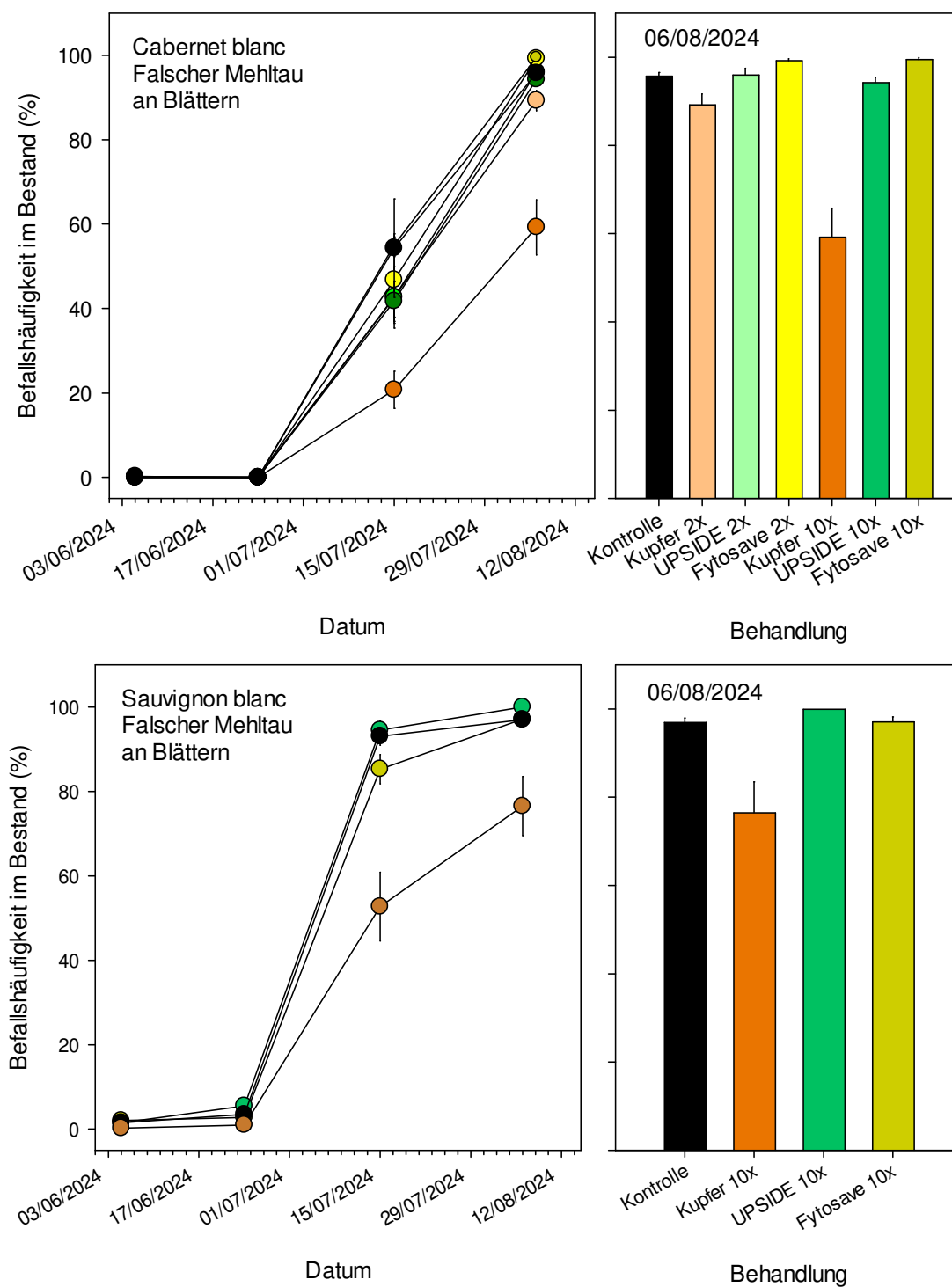


Abbildung 3.4.2.1: Einfluss der Biologicals Upside und Fytosave sowie von Kupfer auf die Befallshäufigkeit mit Falschem Mehltau an Blättern bei der PIWI-Sorte Cabernet blanc (oben) und der traditionellen Sorte Sauvignon blanc (unten) in der Saison 2024.

2024		PIWI Cabernet blanc				
Wirkungsgrade (%)*		Peronospora - Blätter	Peronospora - Trauben	Oidium - Trauben	Schwarzfäule - Trauben	Botrytis - Trauben
Kontrolle-keine Fungizide		0	0	0	0	0
Kupfer-2 Spritzungen		7	22	6	0	-111
UPSIDE-2 Spritzungen		0	15	1	0	-33
Fytosave-2 Spritzungen		-4	7	14	-15	44
Kupfer-10 Spritzungen		38	54	0	80	33
UPSIDE-10 Spritzungen		2	27	19	40	56
Fytosave-10 Spritzungen		-4	32	42	80	67

		Traditionelle Sorte Sauvignon blanc				
		Peronospora - Blätter	Peronospora - Trauben	Oidium - Trauben	Schwarzfäule - Trauben	Botrytis - Trauben
Kontrolle-keine Fungizide		0	0	0	0	0
Kupfer-10 Spritzungen		21	54	-67	54	30
UPSIDE-10 Spritzungen		-3	23	63	23	-6
Fytosave-10 Spritzungen		0	-15	33	-15	-18

* Bezogen auf die Befallshäufigkeit im Bestand

Abbildung 3.4.2.2: Wirkungsgrade der Biologicals Upside und Fytosave sowie von Kupfer auf die Befallshäufigkeit mit Falschem Mehltau an Blättern und Trauben, Echtem Mehltau an Trauben, Schwarzfäule an Trauben und Botrytis an Trauben bei der PIWI-Sorte Cabernet blanc (oben) und der traditionellen Sorte Sauvignon blanc (unten) in der Saison 2024.

Fytosave erreichte mit 10 Spritzungen gegen Schwarzfäule denselben Wirkungsgrad (80%) wie Kupfer beim PIWI Cabernet blanc (Abb. 3.4.2.2). Die Wirksamkeit der Biologicals gegen Oidium und Botrytis war sortenabhängig und lag zwischen 42 und 67% (Abb. 3.4.2.2).

3.4.3 Erfassung symptomatischer ESCA Stöcke

Aufgrund des geringen Alters dieser Reben (vgl. Tab 2.1.1) gibt es jedoch bislang keine nennenswerten Symptome oder Ausfälle durch Esca in den bonitierten PIWI-Sorten.

3.5 Kosten des Anbaus von PIWI-Sorten im Vergleich zu traditionellen Sorten

Die wirtschaftliche Analyse verdeutlichte Kostenvorteile von PIWI-Sorten im Vergleich zu herkömmlichen Sorten. Betrachtet man die Schätzungen pro Hektar in Abbildung 3.5.1, lagen die direkten Kosten für PIWI-Sorten im Durchschnitt der Jahre 2023-2025 bei 647 €/ha, während die analysierten traditionellen Sorten durchschnittlich 1365 € pro Hektar erforderten. Daraus ergab sich im Durchschnitt der Jahre 2023-2025 eine jährlich Kosteneinsparung von 718€/ha. Die größten Einsparungen durch PIWIs wurden erwartungsgemäß in den Bereichen Pflanzenschutzmittel und Arbeit festgestellt. Bei diesen Kostenschätzungen ist zu berücksichtigen, dass keine Handarbeiten wie Rebschnitt und Lese eingegangen sind, weil diese sich zwischen PIWIs und traditionellen Sorten nicht unterscheiden.

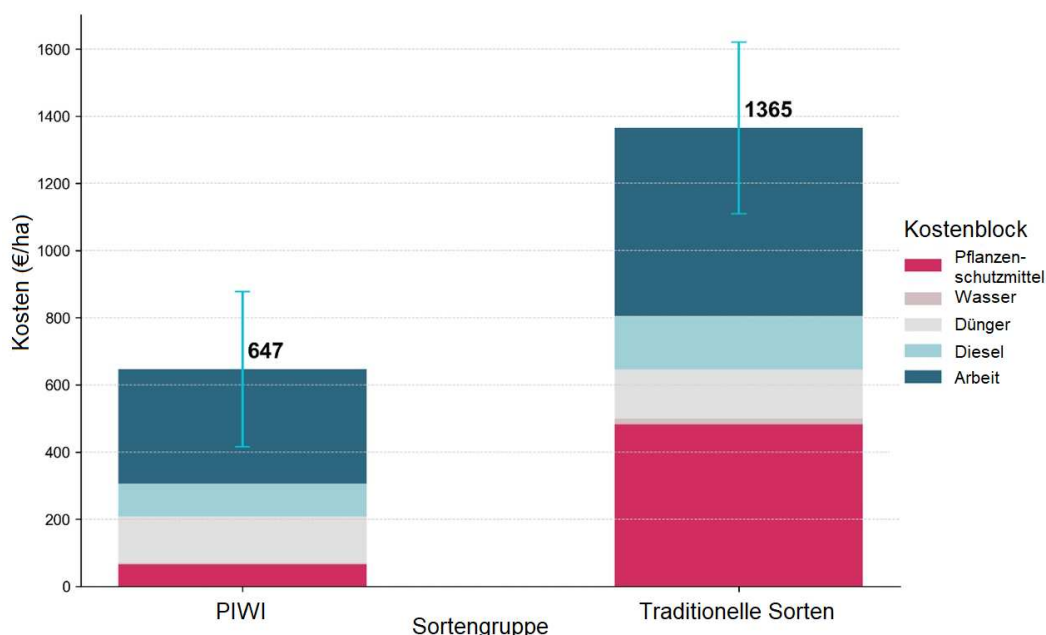


Abbildung 3.5.1. Vergleich der Kosten für Pflanzenschutz (Spritzen) und maschineller Weinbergsbewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Laubschnitt, Entblätterung, Mähen, Mulchen Binden) zwischen PIWIs und traditionellen Sorten. Es sind die Mittelwerte der Jahre 2023-2025 dargestellt. Da alle PIWIs und alle traditionelle Sorten gleich behandelt wurden, macht eine Aufschlüsselung nach Sorten hier keinen Sinn. Die Streuungen wurden aus den Unterschieden zwischen den Jahren berechnet.

Die Kostensenkungen wurden durch reduzierte Inputkosten getrieben. So wurden die Kosten für Pflanzenschutzmittel um etwa 86 % pro Hektar gesenkt, was den geringeren Bedarf an chemischen Eingriffen beim PIWI-Anbau widerspiegelt. Ebenso sanken die Wasserkosten um etwa 83%, was nicht verwunderlich ist, da das Wasser bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln benötigt wird. Die Dieselskosten sowie die Arbeitskosten für Pflanzenschutz plus sonstige maschinelle Arbeiten pro Hektar sanken um jeweils 39 %, wobei Löhne der Arbeitskräfte im Bereich von 16 €/h und 37 €/h angenommen wurden. Diese Reduzierungen zeigen das Potential der PIWI-Sorten, die mit dem Weinanbau verbundenen Betriebskosten zu senken und so den Weg für eine ressourceneffizientere Praxis zu ebnen.

Die Umweltkosten¹ pro Hektar konnten durch PIWI-Sorten im Vergleich zu traditionellen Sorten um etwa 86 % gesenkt werden. Wie in Abbildung 3.5.2 dargestellt, wurden die mittleren Umweltkosten des PIWI-Anbaus auf etwa 300 € pro Hektar geschätzt (Streuung von 127 bis 473 € pro Hektar), während die Umweltkosten für die Gesellschaft für die traditionellen Sorten bei 743 € pro Hektar lagen (mit einem Konfidenzintervall zwischen 463 und 1022 € pro Hektar). Die Umweltkosten spiegeln die wirtschaftlichen Schäden, die mit den Auswirkungen der Umweltverschmutzung auf die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Infrastruktur einhergehen. Um diese Werte zu schätzen, haben wir das Environmental Prices Handbook (CE Delft, 2023) verwendet und die Zahlen mithilfe des OECD-Verbraucherpreisindex (OECD, 2025) an die Werte von 2025 angepasst. Diese erhebliche Reduzierung unterstreicht den gesellschaftlichen Nutzen der PIWI-Sorten und steht im Einklang mit der steigenden Nachfrage nach nachhaltigen Anbaupraktiken. Der größte Beitrag zur Umweltkosteneinsparung kam durch vermiedene Schäden im Zusammenhang mit der Ökotoxizität von Süßwasser, dem Klimawandel und der Eutrophierung der Meere zustande.

¹ Umweltauswirkungen beziehen sich auf negative Auswirkungen, die in biophysikalischen Einheiten berechnet werden. Umweltkosten ergeben sich aus der Multiplikation der Umweltauswirkungen (z. B. t CO₂eq) mit den Einheitskosten der Auswirkung (z. B. Euro/t CO₂eq).

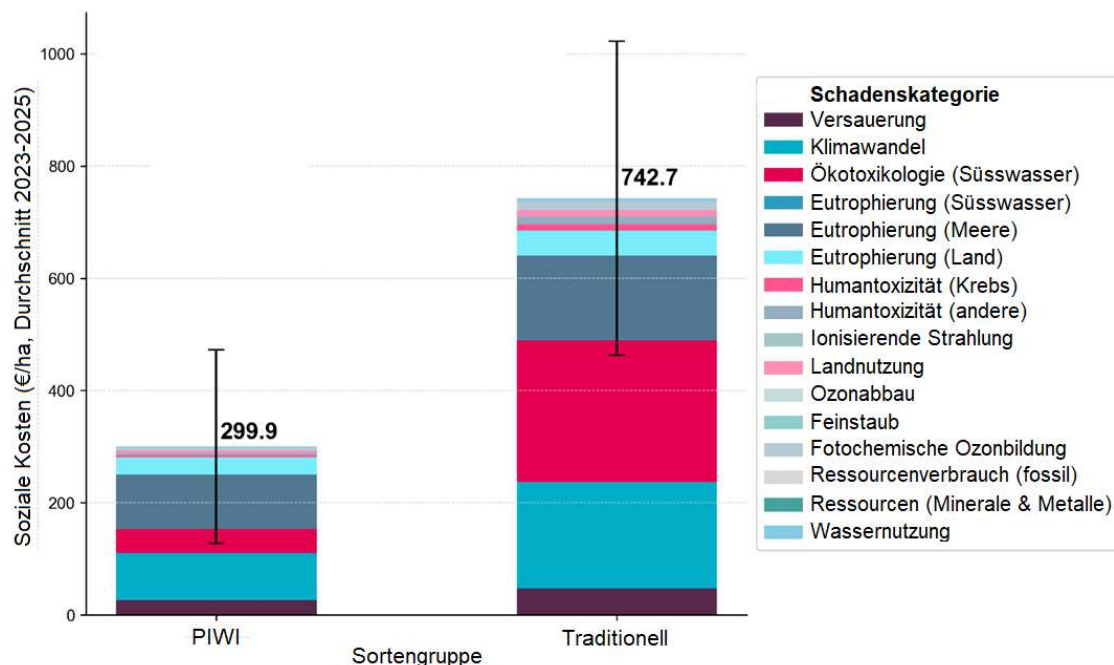


Abbildung 3.5.2: Vergleich der Umweltkosten des Weinanbaus zwischen PIWI und traditionellen Sorten. Betrachtungszeitraum: 2023-2025.

Die Ergebnisse sind ähnlich, wenn sie pro Kilogramm analysiert werden. Unter Berücksichtigung der Produktivität pro Hektar der verschiedenen Sorten lagen die Produktionskosten für 1 kg PIWI-Trauben im Durchschnitt bei 0,0914 €, wohingegen der intensive Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Maschinen, die für die Produktion der traditionellen Sorten erforderlich waren, die Kosten pro kg auf 0,248 € erhöhte. Bei diesen Kostenschätzungen ist zu berücksichtigen, dass keine Handarbeiten (Rebschnitt, Lese) eingegangen sind, weil diese sich zwischen PIWIs und traditionellen Sorten nicht unterscheiden. Handarbeiten können je nach Lohnniveau einen erheblichen Anteil der Gesamtkosten ausmachen.

Abschließend sind noch einige Punkte zu nennen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Wartungskosten für Maschinen, einschließlich Reparaturen, Ölwechsel und Reifenverschleiß, wurden nicht explizit berechnet, obwohl ein geringerer Traktoreinsatz für PIWI-Sorten zu einem geringeren Wartungsaufwand führen könnte, wenn auch nicht proportional. Ebenso wurde die Abschreibung von Maschinen nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wurde, dass der Besitz der Ausrüstung eine Grundvoraussetzung ist, was möglicherweise nicht die Situation aller Erzeuger widerspiegelt. Darüber hinaus basierten die Arbeits- und Wasserkosten auf Schätzungen, die regional oder saisonal variieren können. Schließlich können Schwankungen der Arbeitszeit pro Hektar aufgrund von

Geländeunterschieden, wie im IVV-Referenzweinberg festgestellt, zu weiteren Schwankungen in den Kostenberechnungen führen.

Trotz dieser Einschränkungen bleiben das Kosteneinsparpotenzial und die geringeren Umweltauswirkungen der PIWI-Sorten offensichtlich, was ihre Rolle als nachhaltige Alternative im Weinbau unterstützt.

3.6 Umweltauswirkungen von PIWI-Sorten im Vergleich mit traditionellen Sorten

Die Bestandesmodellierung wurde mit dem Softwaretool SimaPro v9.6 unter Verwendung von Hintergrundprozessen aus der Datenbank ecoinvent v3.10 durchgeführt. Zur Modellierung von Hintergrundprozessen wurde die Systemmodellierung „Allokation, Abgrenzung nach Klassifizierung“ von ecoinvent verwendet. Die Umweltauswirkungen wurden mit der von der Europäischen Kommission entwickelten Methode Environmental Footprint (EF) v3.1 (Andreasi Bassi et al., 2023) berechnet.

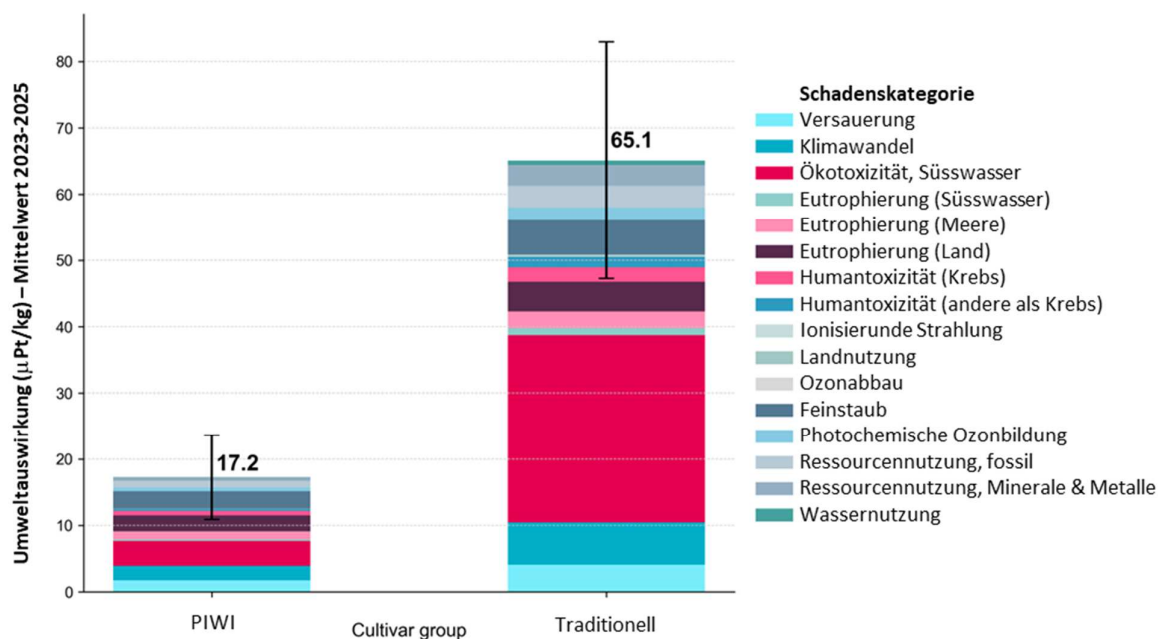


Abbildung 3.6.1: Gesamtumweltauswirkungen in µPt (Mikropunkte) nach Kategorie pro kg Trauben: PIWI (links) vs. traditionell (rechts), berechnet mit der EF3.1-Einzelbewertungsmethode. Balkenhöhen stellen den jeweiligen Mittelwert der Jahre 2023-2025 dar. Fehlerbalken zeigen das Ausmaß der beobachteten Schwankungen an.

Die Ergebnisse (Abbildung 3.6.1) zeigten, dass mit der Produktion von PIWI-Sorten insgesamt eine deutlich geringere Umweltbelastung (17.2 $\mu\text{Pt/kg}$) im Vergleich zu herkömmlichen Sorten (65,1 $\mu\text{Pt/kg}$) einhergeht und die Belastung um etwa zwei Drittel reduziert wird. Die Auswirkungen pro Kilogramm produzierter Fruchtmasse sind in allen Umweltkategorien für traditionelle Sorten höher, wobei die Süßwasserökotoxizität und in geringerem Maße der Klimawandel und die Ressourcennutzung (fossile und mineralische) einen großen Beitrag leisten.

Die LCA-Studie ist zwar umfassend, unterliegt jedoch mehreren Einschränkungen, die die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflussen könnten. Die Systemgrenzen konzentrierten sich auf die Bewirtschaftung der Weinberge und schlossen bestimmte vor- und nachgelagerte Prozesse aus, wie etwa das Anpflanzen der Weinberge und Nachernteaktivitäten wie die Weinherstellung. Darüber hinaus stützten sich die für Pflanzenschutz- und Düngemittelanwendungen verwendeten Umweltdaten auf standardisierte Emissionsfaktoren, die Schwankungen der örtlichen Bedingungen möglicherweise nicht vollständig erfassen. Auch die zeitliche Auflösung der Daten bringt einige Unsicherheiten mit sich, da die Bestandsaufnahme Datensätze aus den Jahren 2023 bis 2025 kombiniert.

3.7 Bereitstellung von Informationen über PIWIs für Weinkonsumenten, Weintouristen und Winzer

Für die Veröffentlichung der Ergebnisse jeder untersuchten PIWI Sorte im Vergleich zur traditionellen Referenzsorte wurde der erste Entwurf des Designs aus dem Jahr 2023 überarbeitet und an die Farbgebung des LIST-Logos angepasst. Für die agronomischen Kenngrößen wurden Mittelwerte aus den drei Projektjahren berechnet und die Unterschiede zur jeweiligen traditionellen Referenzsorte visualisiert (Abbn. 3.7.2 – 3.7.15). Es wurde eine Startseite mit den untersuchten Sorten entworfen (Abb. 3.7.1).

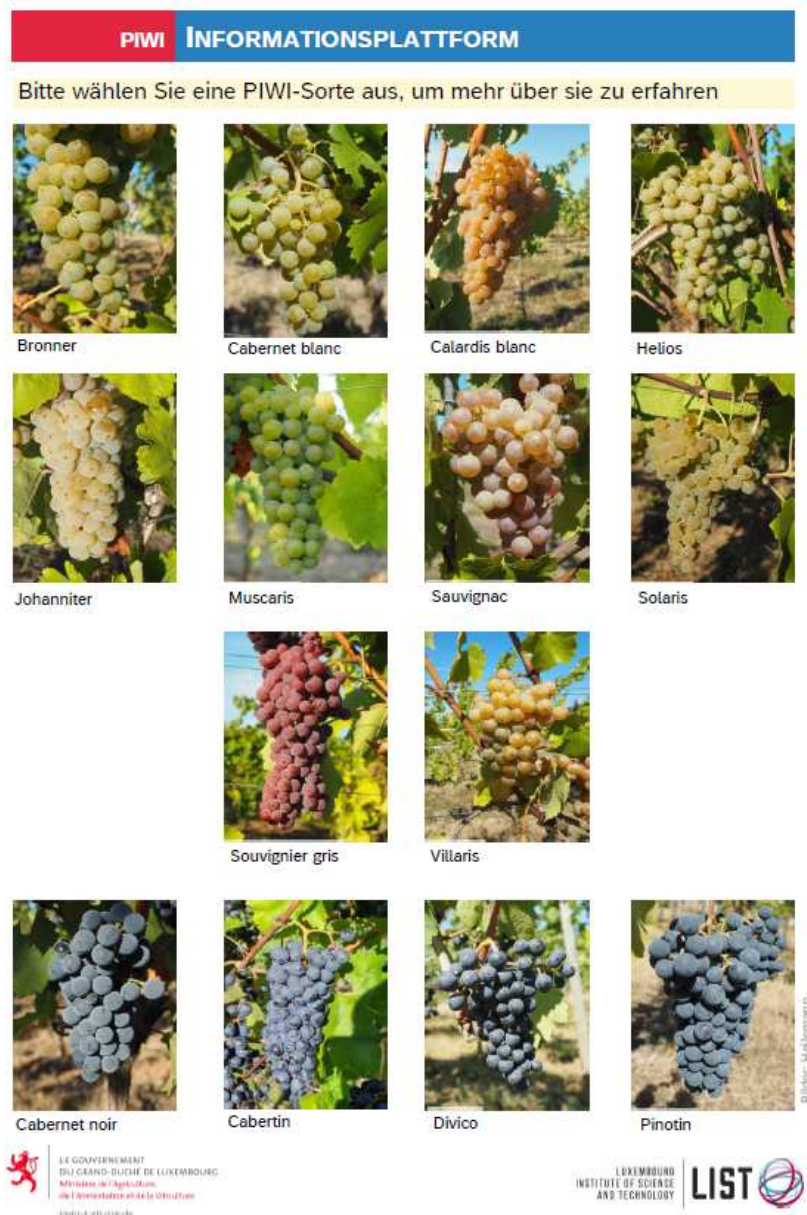


Abbildung 3.6.1: Entwurf der Startseite der PIWI-Informationsplattform.

Sorte	Frucht- farbe	Sortentyp	Pflanzenschutz	Mess- zeitraum	Biege- index	Trauben- gewicht (g)	Ge- schie- ansatz	°Oe vor Ernte	Saure (g/l)	Sonnen- brand (%)	Schwarz- fäule (%)	Falscher Mehltau (%)	Echter Mehltau (%)	Ertrag (kg/ha)	KEF-Eier (max #/a)	Austrieb	Reife
Cabaret noir	Rot	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.56	0.08	2.1	95.7	7.0	0.14	0.14	0.06	0.26	6301	5	19. Apr	19. Aug
Cabertin	Rot	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.67	0.10	2.0	97.3	7.7	0.01	0.73	0.11	1.25	4290	2	22. Apr	17. Aug
Divico	Rot	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.10	0.09	2.4	84.7	9.1	0.03	0.00	0.00	0.00	5264	1	16. Apr	17. Aug
Pinot noir	Rot	Traditionell	2 Spritzungen	2024-2025	2.34	0.07	2.1	90.0	7.8	0.00	0.75	20.04	0.00	3210	0	17. Apr	28. Aug
Pinot noir	Rot	Traditionell	Betriebsüblich	2023-2025	2.68	0.06	2.1	86.7	7.7	0.03	0.03	4.50	0.00	3265	4	20. Apr	27. Aug
Pinotin	Rot	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	1.95	0.13	1.9	77.3	7.2	0.00	0.57	0.76	0.01	4195	29	23. Apr	21. Aug
Bronner	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	3.37	0.20	2.1	86.3	9.4	0.46	1.00	0.01	0.16	11600		20. Apr	19. Aug
Cabernet blanc	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	1.87	0.08	2.3	90.3	9.7	0.03	6.24	0.38	0.59	4759		21. Apr	24. Aug
Calardis blanc	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.32	0.14	2.6	88.0	5.8	0.06	0.00	0.11	0.00	6268		19. Apr	24. Aug
Helios	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.60	0.15	1.7	82.7	7.9	0.12	0.00	0.46	0.01	7572		15. Apr	26. Aug
Johanniter	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	3.01	0.13	2.1	87.0	8.8	0.60	5.18	0.05	0.00	6746		17. Apr	21. Aug
Muscaris	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.93	0.14	1.8	88.0	9.7	0.59	0.00	0.00	0.50	7794		13. Apr	24. Aug
Rivaner	Weiss	Traditionell	2 Spritzungen	2023-2025	2.27	0.12	2.0	82.3	6.9	0.11	0.69	22.36	5.06	5476		11. Apr	23. Aug
Rivaner	Weiss	Traditionell	Betriebsüblich	2023-2025	2.31	0.12	2.2	82.3	6.9	0.09	0.55	11.24	0.42	7688		17. Apr	24. Aug
Sauvignac	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.77	0.16	2.4	92.0	8.0	0.07	4.72	0.00	0.00	8603	0	19. Apr	26. Aug
Solaris	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.82	0.10	2.5	104.7	7.2	0.15	0.00	0.00	0.00	5009		14. Apr	10. Aug
Souvignier gris	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.85	0.16	1.7	93.7	10.1	0.10	0.00	0.87	0.00	5854	0	15. Apr	20. Aug
Villaris	Weiss	PIWI	2 Spritzungen	2023-2025	2.07	0.11	1.7	89.0	6.4	0.07	0.00	0.00	0.00	3574		21. Apr	19. Aug

Tabelle 3.6.1: Agronomische Kennzahlen von 14 PIWI Sorten und 2 traditionellen Vergleichssorten. Alle Sorten wurden im Versuchsweinberg des Institut viti-vinicole angebaut. Dargestellt sind die Mittelwerte aus dem in Spalte 5 angegebenen Messzeitraum.

Die PIWI Sorten mit dem höchsten Ertrag (jeweils eine rote und eine weiße) sind in Tabelle 3.6.1 grün markiert.

Rot markiert sind Mess- oder Beobachtungswerte, die ein Risiko darstellen.

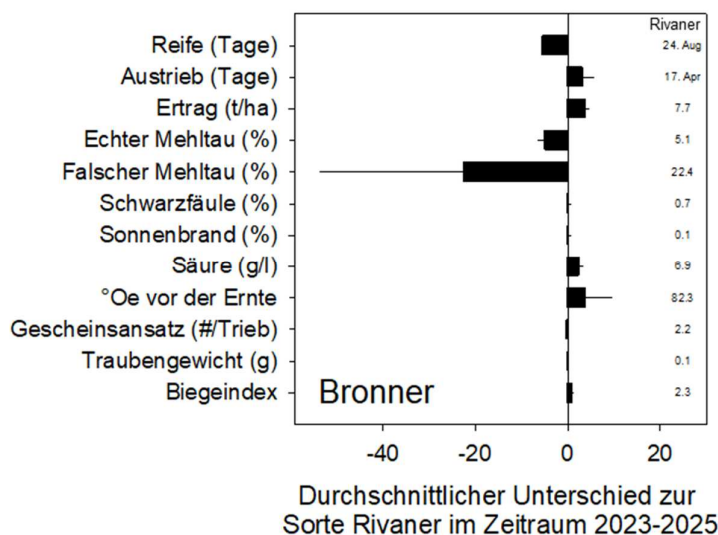
So war das Mostgewicht der PIWI-Sorte Solaris mit 104,7°Oe so hoch, dass zu viel Alkohol befürchtet werden muss.

Die rote PIWI-Sorte Pinotin erwies sich als sehr anfällig gegenüber der Kirschessigfliege.

Die weißen PIWI-Sorten Cabernet blanc, Johanniter und Sauvignac waren im Testzeitraum stärker von Schwarzfäule befallen als die traditionelle Vergleichssorte Rivaner.

Die weißen PIWI-Sorten Muscaris und Solaris trieben mehrere Tage früher aus als die traditionelle Vergleichssorte Rivaner, was das Risiko von Schäden durch Spätfrost erhöht. Tatsächlich hat Solaris im Testzeitraum einen Frostschaden erlitten, der im betroffenen Jahr zu geringem Ertrag geführt hat.

Für jede PIWI-Sorte wurde ein Merkblatt mit den durchschnittlichen Ergebnissen der Jahre 2023-2025 erstellt. Die Merkblätter wurden dem IVV vom LIST am 12/12/2025 zur Prüfung und ggf. zum Hochladen im Agrarportal als PDF Dateien übergeben. Die agronomischen Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.



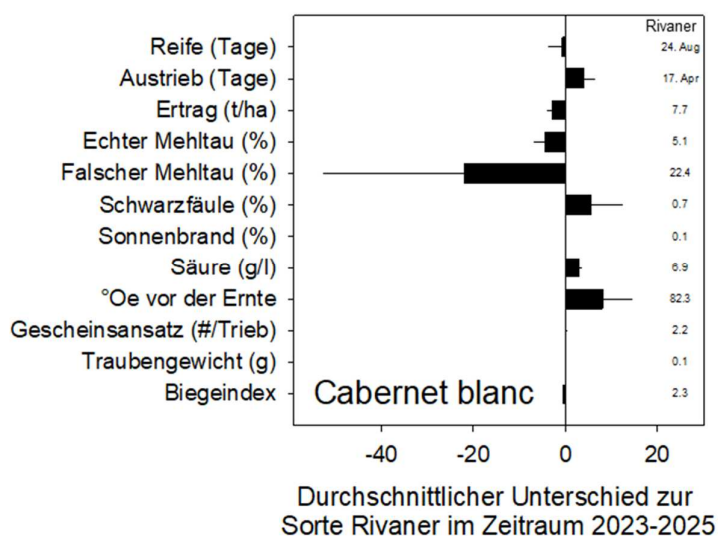
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Echtem Mehltau
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Hohe Erträge

Risiken:

- Relativ hoher Biegeindex (=kompakte Trauben)

Abbildung 3.7.2: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Bronner mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Echtem Mehltau
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Wenig anfällig für Sonnenbrand

Risiken:

- Im Versuchszeitraum 2023-2025 relativ geringe Erträge
- Anfälligkeit gegenüber Schwarzfäule
- Neigung zu erhöhtem Mostgewicht

Abbildung 3.7.3: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Cabernet blanc mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.

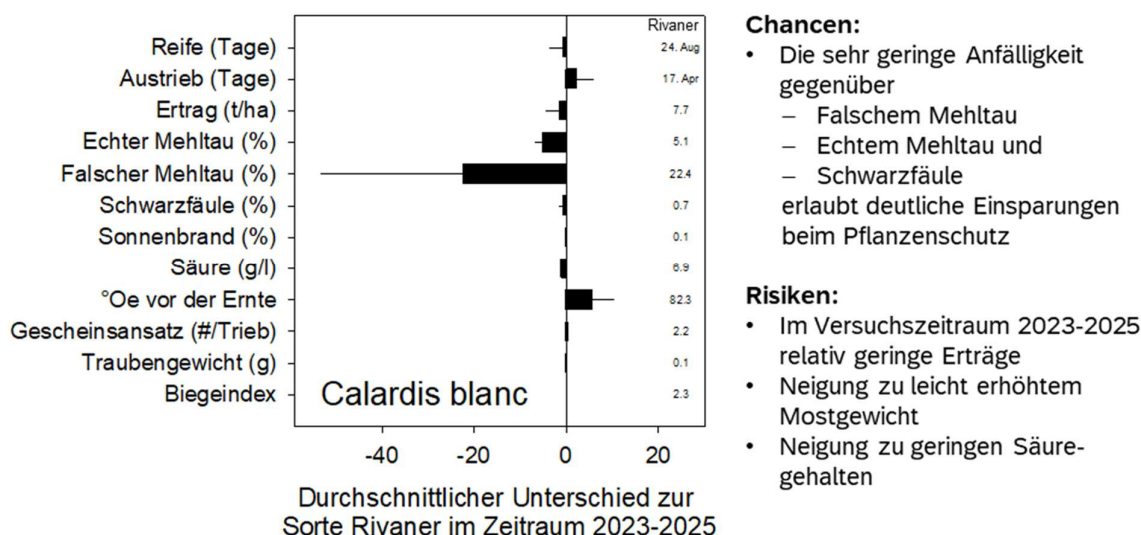


Abbildung 3.7.4: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Calardis blanc mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.

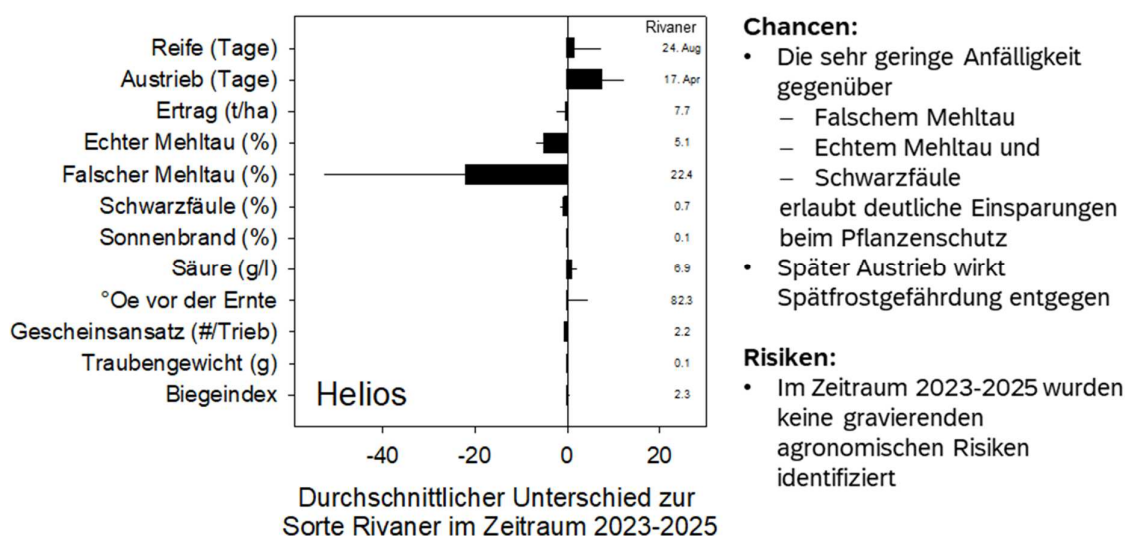
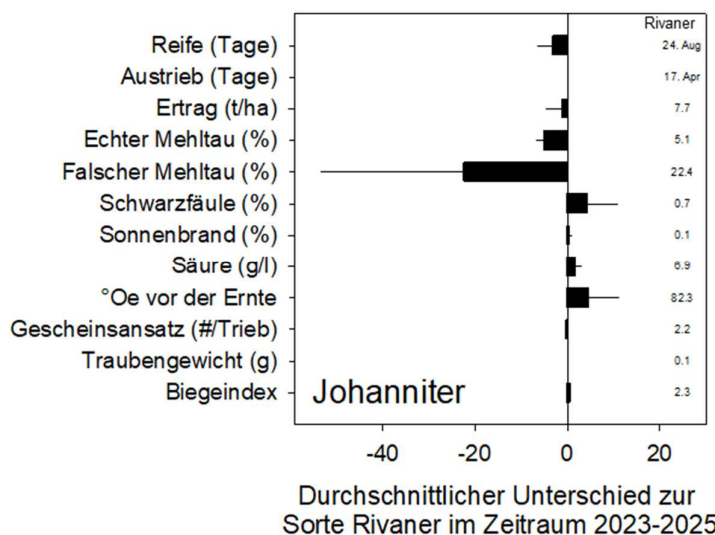


Abbildung 3.7.5: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Helios mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



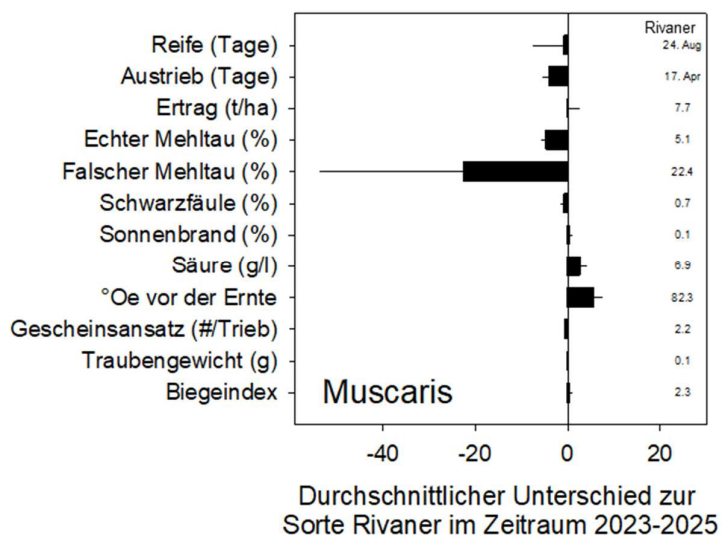
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Echtem Mehltau
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- Anfällig für Schwarzfäule
- Im Versuchszeitraum 2023-2025 leicht verminderte Erträge
- Neigung zu leicht erhöhten Mostgewichten

Abbildung 3.7.6: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Johanniter mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



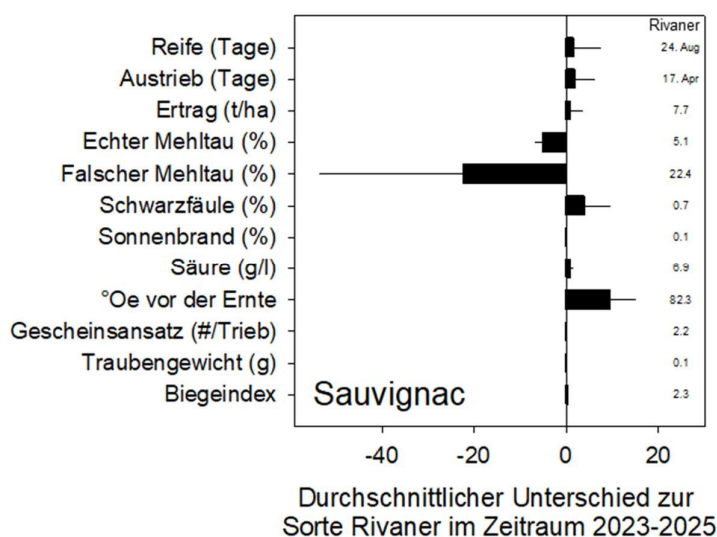
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau
 - Echtem Mehltau und
 - Schwarzfäule
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- Der frühe Austrieb begünstigt Verluste durch Spätfrost
- Neigung zu leicht erhöhtem Mostgewicht
- Anfällig gegenüber Reblaus (nicht in Abbildung)

Abbildung 3.7.7: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Muscaris mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



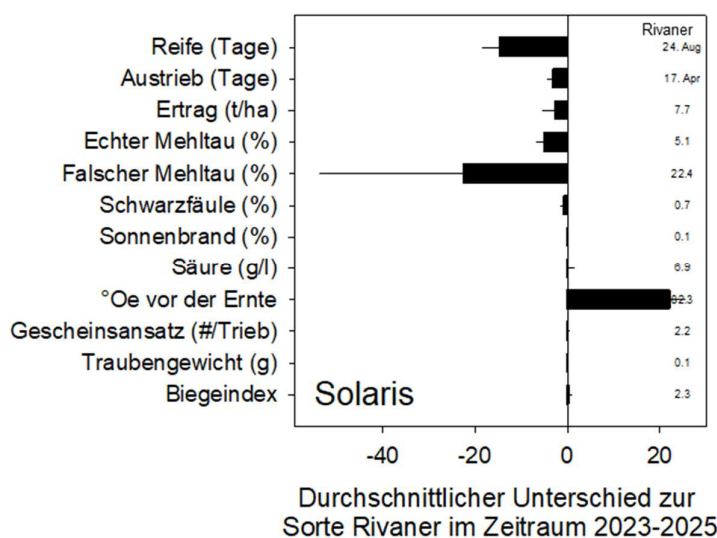
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Echtem Mehltau
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Ertragsniveau 2023-25 ähnlich wie Rivaner

Risiken:

- Anfällig für Schwarzfäule
- Neigung zu erhöhtem Mostgewicht

Abbildung 3.7.8: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Sauvignac mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



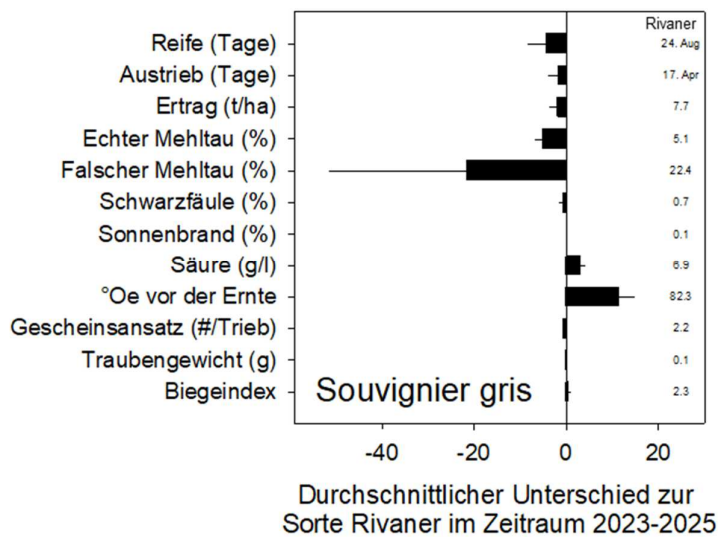
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau
 - Echtem Mehltau und
 - Schwarzfäule
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- Der frühe Austrieb begünstigt Verluste durch Spätfrost
- Neigung zu sehr hohem ! Mostgewicht
- Neigung zu (sehr) früher Reife

Abbildung 3.7.9: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Solaris mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



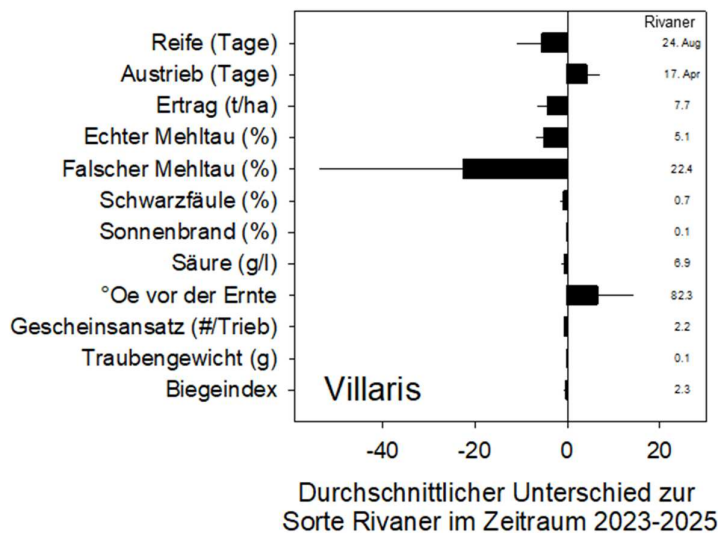
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau
 - Echtem Mehltau und
 - Schwarzfäule
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- Neigung zu frühem Austrieb erhöht das Risiko von Schäden durch Spätfrost
- In den Jahren 2023 bis 2025 leicht verminderter Ertrag
- Neigung zu leicht erhöhten Mostgewichten

Abbildung 3.7.10: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Souvignier gris mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



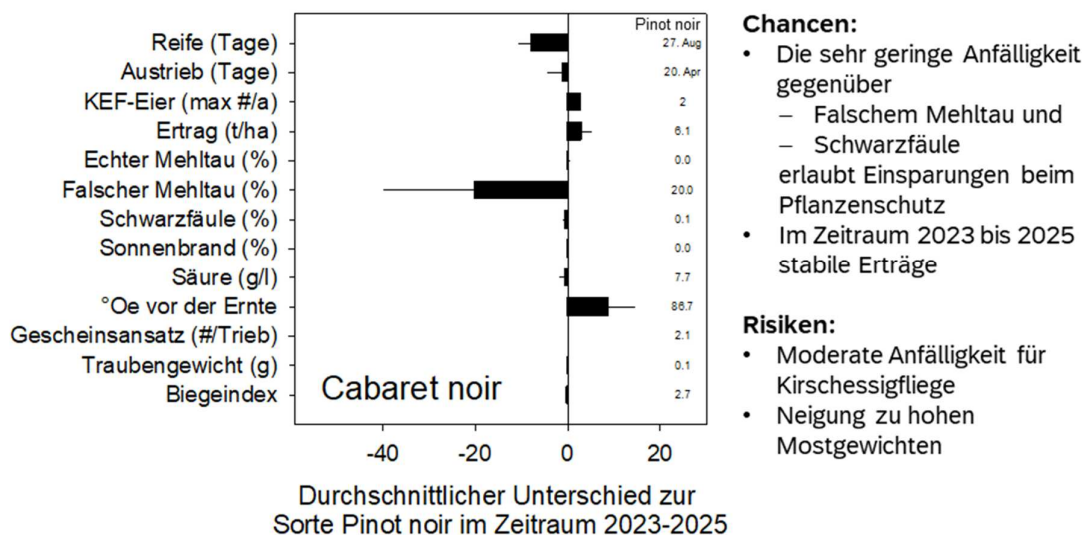
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau
 - Echtem Mehltau und
 - Schwarzfäule
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- In den Jahren 2023 bis 2025 relativ geringer Ertrag
- Neigung zu leicht erhöhten Mostgewichten
- Neigung zu leicht verminderten Säuregehalten

Abbildung 3.7.11: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Souvignier gris mit der traditionellen Sorte Rivaner. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Rivaner an.



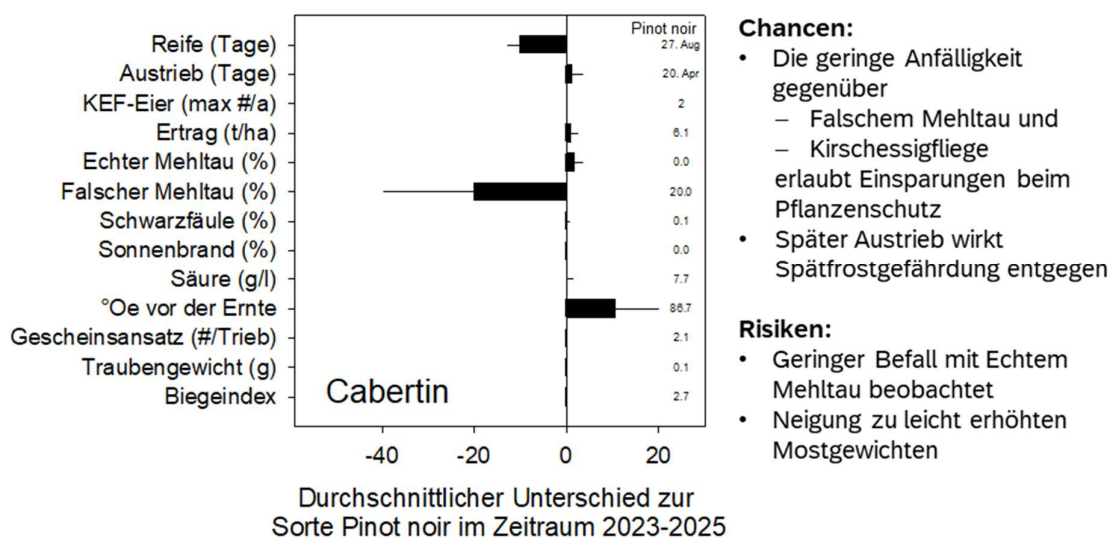
Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Schwarzfäule
 erlaubt Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Im Zeitraum 2023 bis 2025 stabile Erträge

Risiken:

- Moderate Anfälligkeit für Kirschessigfliege
- Neigung zu hohen Mostgewichten

Abbildung 3.7.12: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Cabaret noir mit der traditionellen Sorte Pinot noir. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Pinot noir an.



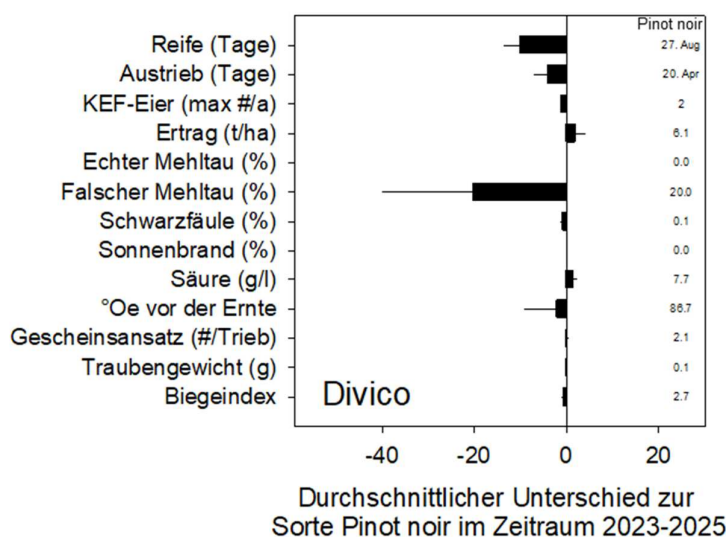
Chancen:

- Die geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Kirschessigfliege
 erlaubt Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Später Austrieb wirkt Spätfrostgefährdung entgegen

Risiken:

- Geringer Befall mit Echtem Mehltau beobachtet
- Neigung zu leicht erhöhten Mostgewichten

Abbildung 3.7.13: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Cabertin mit der traditionellen Sorte Pinot noir. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Pinot noir an.



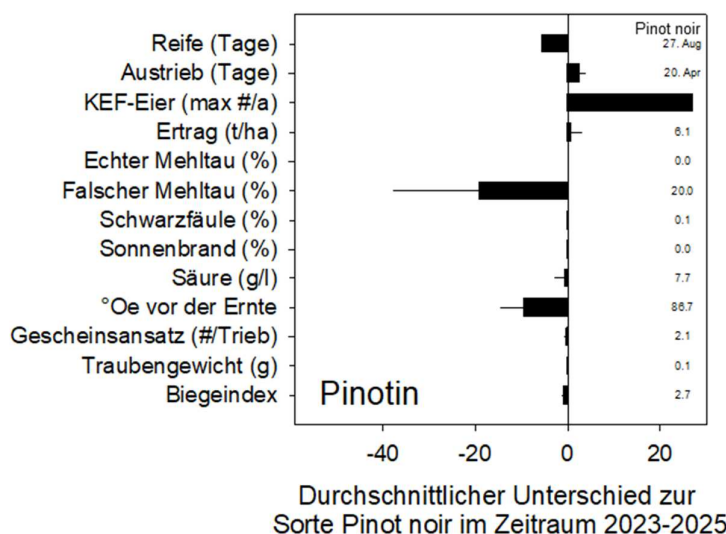
Chancen:

- Die geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Kirschessigfliege
 erlaubt Einsparungen beim Pflanzenschutz
- Im Zeitraum 2023-2025 stabile Erträge

Risiken:

- Neigung zu frühem Austrieb erhöht das Risiko von Schäden durch Spätfrost
- Leichte Neigung zu geringeren Mostgewichten

Abbildung 3.7.14: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Divico mit der traditionellen Sorte Pinot noir. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Pinot noir an.



Chancen:

- Die sehr geringe Anfälligkeit gegenüber
 - Falschem Mehltau und
 - Echtem Mehltau
 erlaubt deutliche Einsparungen beim Pflanzenschutz

Risiken:

- Sehr anfällig für Kirschessigfliege !
- Mostgewicht für Rotwein etwas gering, möglicherweise besser geeignet für Rosé

Abbildung 3.7.15: Agronomischer Vergleich der PIWI-Sorte Pinotin mit der traditionellen Sorte Pinot noir. Daten und Zahlen am rechten Rand der Abbildung geben die dreijährigen Mittelwerte der Referenzsorte Pinot noir an.

3.8 Monitoring *Scaphoideus titanus* (auch in PIWI Sorten)

Tabelle 3.1.1: Fangzahlen von *S. titanus* im Rahmen des Monitorings entlang der Luxemburger Mosel im Jahr 2025.

Standort	15.07.	29.07.	12.08.	26.08.	09.09.	23.09.
A Wellenstein	-	-	-	-	-	-
B Remich-IVV	-	-	-	-	-	-
C Ehnen	-	-	-	-	-	-
D Ahn	-	-	-	-	-	-
E Grevenmacher	-	-	-	-	-	-
F Schengen	-	-	-	-	-	-
G-Remerschen	-	-	-	-	-	-
H-Wellenstein	-	-	-	-	-	-

Im Jahr 2025 konnte, wie in den vorangegangenen Jahren, an keinem der Monitoring-Standorte das Auftreten des Vektors der Flavescence dorée beobachtet werden (Tab. 3.1.1).

3.9 Unterschiede in der Anfälligkeit der PIWI Sorten gegenüber *Drosophila suzukii*

Das Monitoring der Flugaktivitäten von *D. suzukii* hat am 29/07/2025 begonnen. Hier werden die Ergebnisse ab dem 05.08.2025 gezeigt, da ab diesem Datum die Fänge in den Fallen bei den Brombeeren und dem Holunderstrauch zunahmen. Im Pinotin wurden insgesamt nur wenige Kirschessigfliegen gefangen, die maximale Anzahl wurde mit 16 Fliegen insgesamt am 19.08.2025 erfasst.

Tab. 3.9.1: Fangzahlen Kirschessigfliegen (männlich, weiblich, gesamt) im Pinotin, im Holunderstrauch und in der Brombeerhecke im Jahr 2025.

Standort	Anzahl Fliegen	05.08.	12.08.	19.08.	26.08.	02.09.	09.09.	16.09.	23.09.
Pinotin	<i>D. suzukii</i> ♂	0	3	8	2	3	0	2	1
	<i>D. suzukii</i>	0	10	8	4	6	1	5	0
	gesamt	0	13	16	6	9	1	7	1
Holunder	<i>D. suzukii</i> ♂	9	70	26	24	17	7	33	7
	<i>D. suzukii</i> ♀	14	59	33	51	45	44	79	11
	gesamt	23	129	59	75	62	51	112	18
Brombeere	<i>D. suzukii</i> ♂	1	196	518	47	22	7	14	7
	<i>D. suzukii</i> ♀	8	158	507	56	15	40	46	17
	gesamt	9	354	1025	103	37	47	60	24

In der Falle am Holunderstrauch wurde am 12.08.2025 die maximale Anzahl von 129 Kirschessigfliegen erfasst.

Tab. 3.9.2: Anzahl Eier von *D. suzukii* in 50 Beeren der überwachten PIWI Sorten und zwei Pinot noir Klonen sowie das Mostgewicht in °Oechsle.

Sorte	Mess-	Datum					
		19/08/2025	26/08/2025	02/09/2025	09/09/2025	16/09/2025	23/09/2025
Souvignier gris	Anzahl Eier		0	0	0	0	
	°Oe		88	92	97	96	
Cabaret noir	Anzahl Eier	0	0	0			
	°Oe	87	93	98			
Sauvignac	Anzahl Eier		0	0	0	0	
	°Oe		73	81	90	90	
Cabertin	Anzahl Eier	0	0	0			
	°Oe	78	86	94			
Pinotin	Anzahl Eier	0	0	0	0	0	2
	°Oe	69	78	79	81	86	90
Divico	Anzahl Eier	0	0	0	0	0	
	°Oe	87	90	85	89	89	
Pinot noir (Z 130)	Anzahl Eier	0	0	0	0		
	°Oe	68	82	82	89		
Pinot noir (Z 109)	Anzahl Eier	0	0	0	0		
	°Oe	71	82	91	88		

In den Brombeeren wurden schon am 12.08.2025 354 *D. suzukii* Exemplare gefangen, innerhalb einer Woche stieg die Anzahl auf insgesamt 1025 (518 Männchen und 507 Weibchen) an, und sank dann innerhalb einer Woche wieder auf 103 Exemplare ab (vgl. Tab. 3.9.1). Im Jahr 2025 wurden nur am letzten Termin im Pinotin zwei Eier von *D. suzukii* in 50 Beeren gefunden (vgl. Tab. 3.9.2). Bei allen anderen PIWI Sorten sowie beim Pinot noir konnte keine Eiablage festgestellt werden.

Insgesamt scheint die Witterung im Spätsommer geeignet für die Entwicklung von *D. suzukii* gewesen zu sein, da in der Falle in den Brombeeren eine sehr hohe Anzahl an Fliegen beobachtet wurde.

4 Fazit

Die Niederschläge in der Vegetationsperiode 2025 waren in Remich eher durchschnittlich. Daraus resultierte ein geringerer Krankheitsdruck hinsichtlich des Falschen Mehltaus und der Schwarzfäule als im Vorjahr. Beim Echten Mehltau war der Krankheitsdruck moderat und der Botrytisbefall im Herbst niedrig bis moderat. Die traditionellen Vergleichssorten Pinot noir und Rivaner wurden im Jahr 2025 12x gespritzt und die PIWI Sorten sowie Pinot noir und Rivaner in PIWI Spritzfolge 2x. Ertragsrelevanter Befall durch pilzliche Schaderreger wurde im Jahr 2025 in keiner Rebsorte festgestellt.

Wie in den Vorjahren zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der **Phänologie** der PIWI-Sorten. Die untersuchten roten PIWI-Sorten zeichnen sich 2025 durchweg durch einen gegenüber der Vergleichssorte Pinot noir verfrühten Reifeverlauf aus. Auch die weißen PIWI Sorten zeichnen sich durch einen früheren und schnelleren Reifeverlauf im Vergleich zum Rivaner aus, lediglich die Sorten Calardis blanc und Helios zeigte einen späteren Reifeverlauf als Rivaner. Wie in den Vorjahren stach Solaris mit einem sehr frühen Reifeverlauf hervor.

Hinsichtlich des ermittelten **Ertrags** zeigten sich auch im Jahr 2025 große Sortenunterschiede. Wie in den Vorjahren hatte die Sorte Bronner den höchsten Ertrag im Vergleich zu den anderen PIWI-Sorten sowie den traditionellen Sorten. Die niedrigsten Erträge wurden bei Pinot noir und Villaris erfasst.

Die vorliegenden Analysen zeigen, dass mit der Produktion von PIWI-Sorten insgesamt eine Reduktion der **Umweltbelastung** um ca. 2/3 einhergeht (17,2 µPt/kg beim PIWIs im Vergleich zu 65,1 µPt/kg bei traditionellen Sorten). Die Auswirkungen pro Kilogramm produzierter Trauben sind in allen Umweltkategorien für traditionelle Sorten höher. Besonders die Süßwasserökotoxizität und in geringerem Maße die Auswirkungen auf Klimawandel und die Ressourcennutzung (fossile und mineralische Ressourcen) leisten einen großen Beitrag.

Die **Kosten auf Betriebsebene** waren im Zeitraum 2023-2025 beim Anbau von PIWIs mit zwei Spritzungen pro Saison im Vergleich zum Anbau von traditionellen Sorten mit 12-14 Spritzungen pro Saison im Durchschnitt um 718 €/ha geringer.

Das seit 2013 durchgeführte ***Scaphoideus titanus*-Monitoring** lieferte bislang keine Hinweise auf das Vorkommen des Vektors der Flavescence dorée im Luxemburger Weinbaugebiet.

Das **Monitoring von *Drosophila suzukii*** im Jahre 2025 bestätigte, dass in den weißen PIWI Sorten mit rötlicher Beerenhaut unter den gegebenen Standortbedingungen keine Eiablage erfolgt. Insgesamt war der KEF-Befall im Jahre 2025 sehr gering. Lediglich im Pinotin wurde eine Eiablage festgestellt; diese auf einem sehr niedrigen Befallsniveau von lediglich maximal 2 Eiern pro 50 Beeren.

5 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Ministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Weinbau / dem Institut viti-vinicole für die finanzielle Unterstützung, die Bereitstellung der Hauptversuchsfläche und die Mithilfe bei der Durchführung der Untersuchungen im Weinberg und im Labor sowie allen Winzern, die Weinberge für die Monitoring-Programme zur Verfügung gestellt haben. Weiterhin gilt ein besonderer Dank Mareike Schultz, Christopher Simon, Serge Fischer, Paula Lopes, Marc Fiedler, Serge Garidel, Carole Beissel, Paul Zahlen, Daniel Dos Santos, Pierre Graf, Jeff Lafleur, Christoph Bertrand, Joelle Koch, Heidi Litjens, Lynn Gilbertz, Francesco Bagnolesi und Marine Pallez-Barthel für die Mitarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Versuche.

6 Literaturverzeichnis

- ANDREASI BASSI S, BIGANZOLI F, FERRERA N, AMADEI A, VALENTE A, SALA S & ARDENTE F (2023): Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/798894, JRC130796.
- BRIGHENTI E, SOUZA ALK, BRIGHENTI AF, STEFANINI M, TRAPP O, GARDIN JPP, CALIARI V, DALBO MA, WELTER LJ (2019): Field performance of five white pilzwiderstandsfähige (PIWI) cultivars in the south of Brazil. *Acta Horticulturae* 1248: 115 – 121. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1248.17>
- DELFT, CE (2023). Handboek Milieuprijzen 2023 (Environmental Prices Handbook 2023). CE Delft: Delft, The Netherlands. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/CE_Delft_220175_Handboek_Milieuprijzen_2023_DEF.pdf
- 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.
- ISO. 2006a. ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. The International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- ISO. 2006b. ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- JURASCHEK LM, MATERA C, STEINER U, OERKE E-C (2022): Pathogenesis of *Plasmopara viticola* depending on resistance mediated by Rpv3_1, and Rpv10 and Rpv3_3, and by the vitality of the tissue. *Phytopathology* 122: 1486-1499. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-21-0415-R>
- HUGUENEY P, BUCHHOLZ G, THIOLELET-SCHOLTUS M (2019): Resistente Rebsorten am Oberrhein. VITIFUTUR – Transnationalen Plattform für Angewandte Forschung und Weiterbildung im Weinbau, Abschluss-Symposium. <https://www.vitifutur.net/download/P2-Resistente%20Rebsorten%20am%20Oberrhein.pdf>
- 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.
- OECD (2025), "Inflation (CPI)" (indicator, GEO (Labels): European Union - 27 countries (from 2020)), <https://doi.org/10.1787/eee82e6e-en> (abgerufen am 04. Oktober 2024).
- TÖPFER R, TRAPP O (2022): A cool climate perspective on grapevine breeding: climate change and sustainability are driving forces for changing varieties in a traditional market. *Theoretical and Applied Genetics* 135: 3947–3960. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04077-0>
- ZANGHELINI JA, BOGO A, DAL VESCO LL, GOMES BR, CRISTIAN V, MECABÔ CV, HERPICH CH, WELTER LJ (2019): Response of PIWI grapevine cultivars to downy mildew in highland region of southern Brazil. *European Journal of Plant Pathology* 154: 1051–1058. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01725-y>

7 Anhänge

7.1 Tageswitterungsbedingungen in der Vegetationsperiode 2025

Tab. A2: Tagesmitteltemperaturen (t_m) sowie Tagesniederschläge (N) im Zeitraum 01. April bis 30. September 2025 an der Wetterstation Remich (Quelle: agrimeteo.lu). Aufgrund eines Datenausfalls liegen keine Werte für den 23.08.2025 und 24.08.2025 vor.

Tag	Monat											
	April		Mai		Juni		Juli		August		September	
	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)	$t_m(^{\circ}\text{C})$	N (mm)
1	7,6	0,0	18,4	0,0	19,6	4,5	27,9	0,0	18,0	6,3	17,3	3,4
2	12,7	0,0	19,1	0,0	15,6	0,0	27,2	0,9	15,9	1,7	17,1	0,5
3	14,9	0,0	17,1	2,0	17,4	0,0	21,2	0,0	16,6	0,0	19,8	0,5
4	15,0	0,0	11,3	0,0	16,8	8,7	19,9	0,0	20,6	0,2	18,1	3,1
5	14,8	0,0	10,5	0,0	15,8	5,6	19,9	0,0	19,4	1,8	16,1	0,2
6	9,4	0,0	11,4	0,0	16,9	7,8	15,1	4,1	15,7	0,0	16,5	0,1
7	7,4	0,0	11,2	0,0	16,2	0,5	15,2	9,4	18,9	0,0	20,8	0,0
8	9,9	0,0	11,9	0,0	14,1	2,5	13,4	4,7	21,5	0,0	19,5	9,9
9	10,6	0,0	12,9	0,0	13,5	0,0	16,7	0,0	23,0	0,0	15,3	31,3
10	9,2	0,0	14,2	0,0	16,7	0,0	18,8	0,0	20,3	0,0	15,3	0,3
11	11,4	0,0	16,6	0,0	18,1	0,0	19,6	0,0	22,4	0,0	15,6	10,2
12	15,1	0,2	15,9	0,0	22,1	0,0	20,1	0,0	24,1	0,0	14,6	0,0
13	13,3	0,0	15,3	0,0	25,6	0,0	21,5	0,0	25,7	0,0	15,1	8,9
14	13,1	0,0	17,0	0,0	24,3	0,0	20,9	1,0	26,5	0,0	15,8	3,5
15	13,1	1,5	14,1	0,0	18,7	22,9	19,2	0,0	26,1	0,0	18,2	4,5
16	9,8	11,9	13,5	0,0	18,5	0,0	18,8	2,3	21,3	0,0	14,2	0,0
17	6,8	11,9	12,8	0,0	20,1	0,0	18,6	0,0	20,0	0,0	15,2	0,0
18	7,6	6,9	11,2	0,0	21,8	0,0	21,4	0,0	19,8	0,0	17,0	0,0
19	11,2	0,0	15,2	0,0	21,8	0,0	20,1	1,0	21,1	0,0	17,9	0,1
20	11,4	0,1	18,0	0,0	21,0	0,0	19,8	16,2	18,2	0,6	19,4	2,8
21	9,0	3,3	16,1	2,5	22,7	0,0	18,5	4,8	20,3	0,0	14,9	13,3
22	13,2	0,0	12,3	0,5	24,1	0,0	18,1	5,0	15,9	0,0	11,0	7,7
23	10,0	8,3	10,0	0,0	20,0	0,0	19,0	0,0			10,1	15,6
24	9,6	8,0	9,9	4,7	19,5	0,0	18,2	11,1			9,2	38,8
25	12,1	0,0	14,3	5,6	24,4	0,0	20,0	0,3	16,7	0,0	8,9	4,9
26	12,4	1,7	13,7	0,0	21,7	4,6	20,6	0,0	20,2	0,0	11,1	0,0
27	14,4	0,1	15,5	0,1	21,2	0,3	17,9	2,8	20,4	0,1	12,1	0,2
28	15,3	0,0	15,6	9,1	22,9	0,0	17,4	0,5	19,1	0,8	11,4	0,1
29	16,5	0,0	16,3	0,0	25,0	0,0	17,7	0,0	17,0	0,5	13,1	0,2
30	17,2	0,0	21,0	0,0	27,3	0,0	18,0	1,2	17,5	0,0	12,6	0,0
31			20,7	0,5			19,3	0,1	19,3	12,4		

7.2 Wissenstransfer

Die jährliche Weinbergsbegehung fand am 02/09/2025 ab 15:00h statt. Daniel Molitor und Kristina Heilemann haben den Besuchern Aspekte des Projektes PIWI³ vorgestellt.



Daniel Molitor zeigt Landwirtschaftsministerin Martine Hansen und den anwesenden Winzern Umveredelungsversuche, die eine rasche Umstellung auf PIWI-Sorten unter Weiternutzung von ausgewachsenen und damit dürreresistenten Wurzelsystemen ermöglichen können.

Zwischenergebnisse des Projektes wurden auf der IVES Konferenzserie GiESCO vorgestellt, die vom 27-31 Juli in Geisenheim stattfand. Der Beitrag inklusive seiner bibliografischen Daten ist auf den folgenden Seiten zu finden.

ORGANIZED BY

Hochschule
Geisenheim
University



27–31 July 2025 • Geisenheim (Germany)

Book of Abstracts



IVES

Conference Series
vine & wine

INFORMATION

This book of abstracts results from a collaboration between the GiESCO 2025 conference (held from 27–31 July 2025 in Geisenheim, Germany) and the International Viticulture and Enology Society (a not-for-profit organization). It is published online with open access on the *IVES Conference Series* platform.

Find the book and the abstracts at
<https://ives-openscience.eu/category/ives-conference-series/giesco/giesco-2025/>



DOI:
<https://doi.org/10.58233/giesco2025>

ISSN of *IVES Conference Series*:
2777-9173

Editors-in-chief of *IVES Conference Series*:
Markus Rienth (Changins, Switzerland)
Andrii Tarasov (Hochschule Geisenheim University, Germany)

Editorial manager of *IVES Conference Series*:
Nicolas Ruault (International Viticulture and Enology Society, Villenave-d'Ornon)

Print and digital page layouts:
Nicolas Ruault and Lauranne Beret-Allemand
(International Viticulture and Enology Society, Villenave-d'Ornon)



POSTER COMMUNICATION

Studying PIWIs in three dimensions: agronomic, economic and ecological evaluation of 14 fungus-tolerant cultivars in Luxembourg

Kristina Heilemann¹, Christopher Simon², Marie-Sophie Roderich³, Claudio Petucco³, Daniel Molitor¹, Marco Beyer¹

*Corresponding author: kristina.heilemann@list.lu

¹ Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Environmental Sensing and Modelling (ENVISION) research unit, 41, Rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

² Institut viticole, Section Viticulture, 8, rue Nic. Kieffer, L-5551 Remich, Luxembourg

³ Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Environmental Sustainability Assessment and Circularity (SUSTAIN) research unit, 5, Avenue des Hauts Fourmeaux, L-4362, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

Keywords: fungus-tolerant varieties, Luxembourgish Moselle, ecological impact, black rot

ABSTRACT

Growing fungus-tolerant cultivars (PIWIs) reduces the need of fungicide use by 50-80 %. PIWIs have the potential to address climate change adaptation and mitigation simultaneously. However, despite the obvious advantages of PIWI cultivation only 0.5% of the viticultural area in Luxembourg is covered with PIWIs at present. Consequently, the present investigations aimed at addressing knowledge and experience gaps of PIWI cultivation and quantifying their economic and ecological advantages.

The project PIWI3 characterizes 14 PIWI cultivars in three dimensions: (1) agronomically, (2) economically and (3) ecologically for the years 2023-2025. White and red PIWIs are compared to the traditional cultivars Rivaner and Pinot Noir, respectively. The present study focuses on the susceptibility of selected cultivars towards major fungal diseases such as powdery and downy mildew, gray mold and black rot. Furthermore, susceptibility to *Drosophila suzukii* is monitored as well as average yield and the phenological development. To evaluate the ecological impact, a life cycle assessment is undertaken and costs per ha are evaluated.

Weather conditions in 2024 resulted in severe disease pressure. Disease severities recorded for downy and powdery mildew

differed between the PIWI cultivars. Sauvignac, Johanner and Cabernet Blanc showed high disease severities of black rot. The onset of *Botrytis cinerea* epidemics was observed later in PIWI cultivars than in the traditional cultivars. The cvs Pinotin, Calardis Blanc and Villaris showed the highest bunch rot disease severities prior to harvest in 2024. However, in cv Pinotin bunch rot symptoms were mainly caused by sour rot, due to the infestation with *D. suzukii*.

Phenological development differed widely within the PIWI cultivars. The PIWIs studied here were generally ripening earlier compared to the traditional cultivars Rivaner and Pinot noir. The earliest cultivar reaching full maturity was cv Solaris. The highest average yield was observed for cv Bronner.

Cultivation of PIWIs reduced the overall environmental impact by two-thirds, compared to the cultivation of traditional cultivars. The reduced need of pesticide applications decreased the total annual costs of production by 56-62%, making PIWIs a viable and sustainable alternative for winegrowers.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Ministry of Agriculture, Food and Viticulture for supporting the project PIWI3.

Christopher Simon und Daniel Molitor stellten Ergebnisse zu Unterschieden in der Schwarzfäule-Anfälligkeit von PIWI-Sorten bei der Fachreferenten-Rebschutz am 04.09.2025 in Weinsberg vor.

Tagesordnung der 37. Fachreferentenbesprechung Rebschutz

Tagung am 3. – 4. September 2025

Ort: Weinsberg

13. Unterschiede in der Schwarzfäule-Anfälligkeit von Piwi-Sorten im Jahr 2024 - Ergebnisse aus dem Projekt Piwi3 (Molitor, Luxemburg, 10 min)

Christopher Simon stellte am 18.11.2025 Projektergebnisse in Neustadt an der Weinstrasse vor.



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Agriculture
de l'Alimentation et de la Viticulture

**MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DE L'ALIMENTATION ET DE LA VITICULTURE**

**Rebschutzreferententagung
RLP und LUX**

**PIWI's in Luxemburg – Anbauherausforderungen –
Ergebnisse aus PIWI³**

Christopher SIMON
Institut viti-vinicole
8, rue Nic Kieffer
L-5551 Remich
christopher.simon@ivv.etat.lu

1

Agenda

- I PIWI³
- II Versuchsergebnisse
- III Schwarzfäule
- IV Ökonomie
- V Fazit & Ausblick

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025



2

Bedeutung Piwi³

UNIVERSITÄT
LEIPZIG
INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTEN
DER ERDE- UND
Umweltwissenschaften

LIST



INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTEN
DER ERDE- UND
Umweltwissenschaften
AN DER UNIVERSITÄT
LEIPZIG

Untersuchungen
in drei Dimensionen!

Zukunft: PiWi⁴

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025



3

Bedeutung Piwi³

UNIVERSITÄT
LEIPZIG
INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTEN
DER ERDE- UND
Umweltwissenschaften

LIST

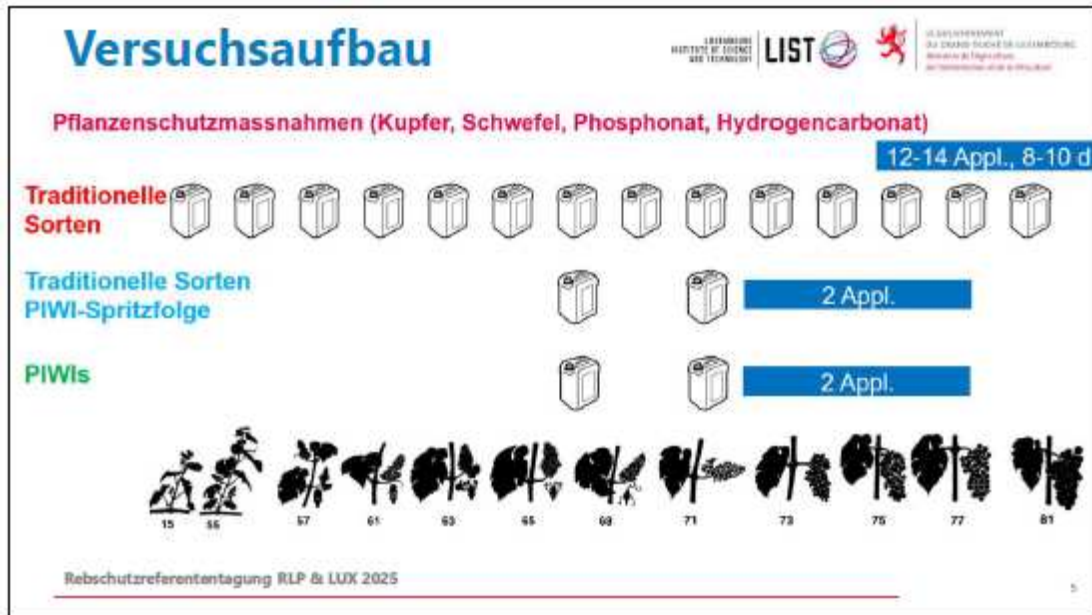


INSTITUT FÜR
WISSENSCHAFTEN
DER ERDE- UND
Umweltwissenschaften
AN DER UNIVERSITÄT
LEIPZIG

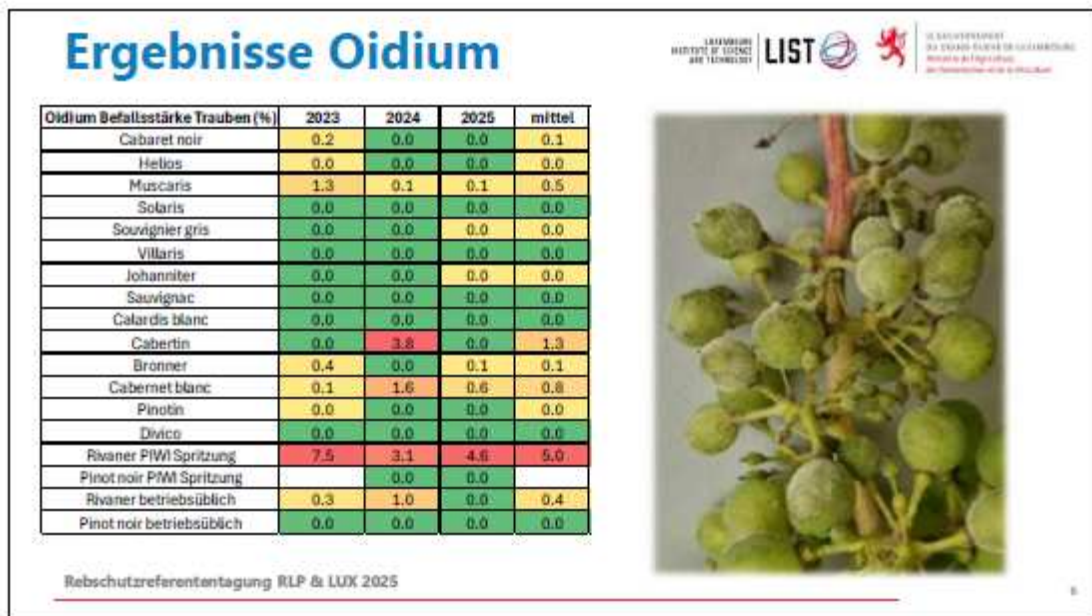


Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

4



5



6

Ergebnisse Peronospora

LEHRGEBIET
WITZEN & LOHSE
AGROTECHNIK

LIST



HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
SACHSEN-ANHALT
LEHRGEBIET
WITZEN & LOHSE
AGROTECHNIK

2023

Peronospora - Befallstärke (%)	Büffel
	13.07.2023
Cabernet Noir	0,0
Malbec	0,0
Muscat	0,0
Sauvignon	0,0
Schwarzriesling	0,0
Vitis	0,0
Johanniter	0,0
Sauvignon	0,0
Cabernet Blanc	0,0
Cabernet	0,0
Bruner	0,0
Cabernet Blanc	0,0
Pinot	0,0
Dvico	0,0
Riesling PMW Spitzung	0,0
Pinot Noir PMW Spitzung	0,0
Riesling befruchtend	0,0
Pinot Noir befruchtend	0,0

2024

Peronospora - Befallstärke (%)	Büffel	Trinken
	07.08.2024	07.08.2024
Cabernet Noir	1,1	0,2
Malbec	10,0	1,4
Muscat	2,1	0,0
Sauvignon	6,5	0,0
Schwarzriesling	14,4	2,6
Vitis	4,3	0,0
Johanniter	7,4	0,2
Sauvignon	9,7	0,0
Cabernet Blanc	3,1	0,3
Cabernet	1,5	0,3
Bruner	1,8	0,0
Cabernet Blanc	8,4	1,1
Pinot	9,1	2,3
Dvico	1,8	0,0
Riesling PMW Spitzung	90,0	98,7
Pinot Noir PMW Spitzung	30,0	42,1
Riesling befruchtend	18,7	33,7
Pinot Noir befruchtend	13,1	13,5

2025

Peronospora - Befallstärke (%)	Büffel
	15.07.2025
Cabernet Noir	0,0
Malbec	0,0
Muscat	0,0
Sauvignon	0,0
Schwarzriesling	0,0
Vitis	0,0
Johanniter	0,0
Sauvignon	0,0
Cabernet Blanc	0,0
Cabernet	0,0
Bruner	0,0
Cabernet Blanc	0,0
Pinot	0,0
Dvico	0,0
Riesling PMW Spitzung	0,0
Pinot Noir PMW Spitzung	0,0
Riesling befruchtend	0,0
Pinot Noir befruchtend	0,0



Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

7

Das große PIWI-Problem?

LEHRGEBIET
WITZEN & LOHSE
AGROTECHNIK

LIST



HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
SACHSEN-ANHALT
LEHRGEBIET
WITZEN & LOHSE
AGROTECHNIK



Cabernet blanc
21.08.2024



Johanniter
21.08.2024



Sauvignon
25.07.2024

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

8

Das große PIWI-Problem?

LEITFADEN
HISTORIE DER WEIN-
UND TRANKGÄRUNG

LIST



LEHRSTUHL FÜR
DIE WEIN- UND TRANKGÄRUNG
AN DER UNIVERSITÄT
DUISBURG ESSEN
VON 1997 BIS HEUTE



Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

8

9

Ergebnisse Schwarzfäule

LEITFADEN
HISTORIE DER WEIN-
UND TRANKGÄRUNG

LIST



LEHRSTUHL FÜR
DIE WEIN- UND TRANKGÄRUNG
AN DER UNIVERSITÄT
DUISBURG ESSEN
VON 1997 BIS HEUTE

2024

Schwarzfäule - Befallsstärke (%)	Büttel	Trauben
	24.06.2024	21.06.2024
Cabernet Noir	0.1	0.4
Helios	0.0	0.0
Muscaris	0.0	0.0
Solaris	0.0	0.0
Souvignier Gris	0.0	0.0
Vitalis	0.0	0.0
Johanniter	0.1	15.5
Sauvignac	0.0	14.2
Calardo Blanc	0.0	0.0
Caberni	0.1	2.2
Bronner	0.1	3.0
Cabernet Blanc	0.0	17.4
Pinotin	0.1	1.7
Diveco	0.0	0.0
Rivener PMW Spritzung	0.1	1.7
Pinot Noir PMW Spritzung	0.0	2.1
Rivener betriebsüblich	0.0	1.5
Pinot Noir betriebsüblich	0.0	0.1

2025

Schwarzfäule - Befallsstärke (%)	Büttel	Trauben
	15.07.2025	19.06.2025
Cabernet Noir	0.0	0.0
Helios	0.0	0.0
Muscaris	0.0	0.0
Solaris	0.0	0.0
Souvignier Gris	0.0	0.0
Vitalis	0.0	0.0
Johanniter	0.0	0.0
Sauvignac	0.1	0.0
Calardo Blanc	0.2	0.0
Caberni	0.0	0.0
Bronner	0.1	0.0
Cabernet Blanc	0.8	1.3
Pinotin	0.1	0.0
Diveco	0.0	0.0
Rivener PMW Spritzung	0.0	0.0
Pinot Noir PMW Spritzung	0.0	0.0
Rivener betriebsüblich	0.0	0.0
Pinot Noir betriebsüblich	0.0	0.0



Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

10

10

Das große PIWI-Problem II?



LE SCHWITZMANN
FISCHER & KREMER
AGRICULTURE
AGRICULTURE
AGRICULTURE

Startbefall Reb-Laus (%)	2023	2024	2025	mittel
Cabernet noir	0.0	0.0	0.0	0.0
Hides	0.0	0.0	0.0	0.0
Muscaris	0.0	0.0	0.0	0.0
Solaris	0.0	0.0	0.0	0.0
Sourviner gris	0.0	0.0	0.0	0.0
Vikaris	0.0	0.0	0.0	0.0
Ischenrieder	0.0	0.0	0.0	0.0
Sauvignac	0.0	0.0	0.0	0.0
Calardis blanc	0.0	0.0	0.0	0.0
Cabernet	0.0	0.0	0.0	0.0
Bruner	0.0	0.0	0.0	0.0
Cabernet blanc	0.0	0.0	0.0	0.0
Pinotin	0.0	0.0	0.0	0.0
Duico	0.0	0.0	0.0	0.0
Rivener PIWI Spritzung	0.0	0.0	0.0	0.0
Pinot noir PIWI Spritzung	0.0	0.0	0.0	0.0
Rivener betriebsüblich	0.0	0.0	0.0	0.0
Pinot noir betriebsüblich	0.0	0.0	0.0	0.0



Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

11

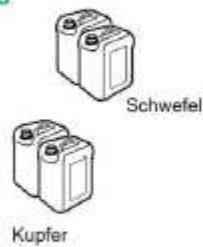
11

Kosten des Pflanzenschutz



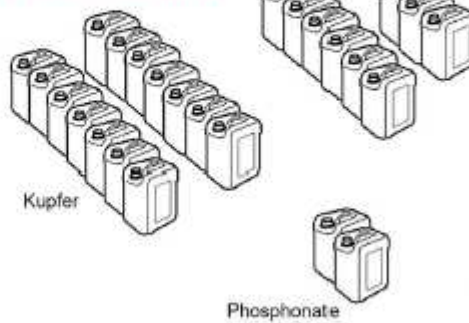
LE SCHWITZMANN
FISCHER & KREMER
AGRICULTURE
AGRICULTURE
AGRICULTURE

PIWIs



~120 €/ha

Traditionelle Sorten



Schwefel

Hydrogen-carbonat

~800 €/ha

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

12

12

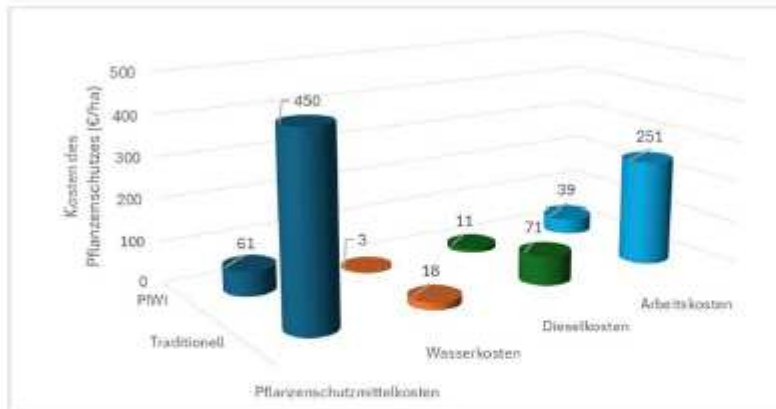
Kosten des Pflanzenschutzes

UNIVERSITÄT
RECHTSTADT
RHEINLAND-PFALZ
KOBLENZ

LIST



INSTITUT FÜR
PFLANZENKRAUTKUNDE
UND PFLANZENKRAUTKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT
RECHTSTADT RHEINLAND-PFALZ
KOBLENZ



Jährliche
Einsparungen von ca.
600 - 750 € / ha
durch PWIs möglich

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

13

13

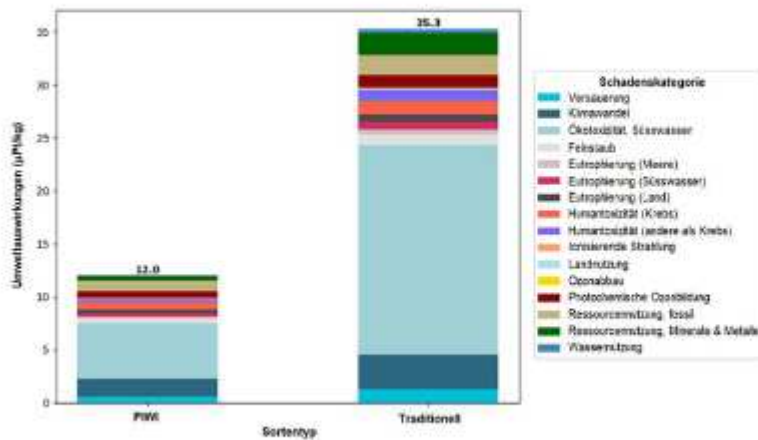
Umweltauswirkungen?

UNIVERSITÄT
RECHTSTADT
RHEINLAND-PFALZ
KOBLENZ

LIST



INSTITUT FÜR
PFLANZENKRAUTKUNDE
UND PFLANZENKRAUTKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT
RECHTSTADT RHEINLAND-PFALZ
KOBLENZ



Deutliche Vorteile
von PWIs
hinsichtlich
Ökotoxizität und
Auswirkungen auf
den Klimawandel

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

14

14

Fazit & Ausblick – Beratung?



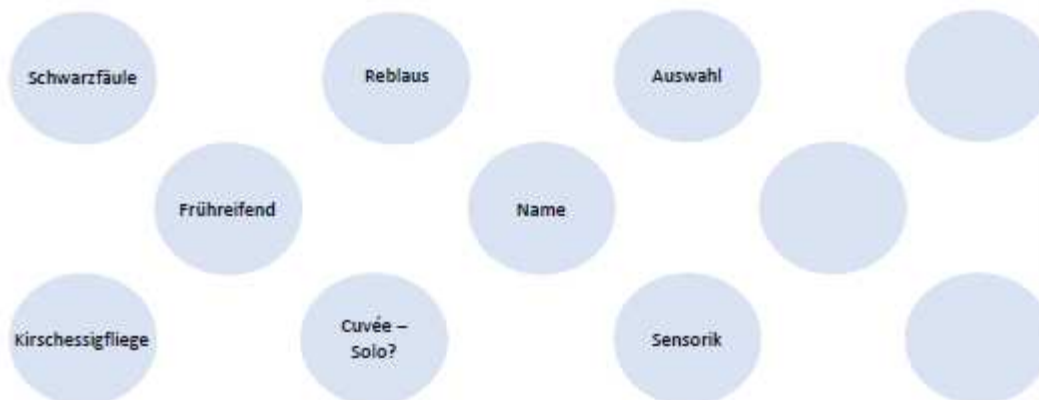
- Zweimaliger Fungizid-Einsatz in den getesteten PIWI-Sorten in 23-25 ausreichend, um ertragsrelevante Schäden durch Echten/Falschen Mehltau zu verhindern
- Anfälligkeiten versch. Piwis gegenüber Schwarzfäule alarmierend
- Vermehrtes Auftreten Blattreblaus vor allem bei Muscaris und zum Teil Solaris
- Untersuchte Sorten tendentiell früh reifend, teilweise zu früh reifend
- Reduzierung Erzeugungskosten um ca. 600 €/ha durch reduzierten PS-Bedarf möglich
- Negative Umweltauswirkungen können um ¾ reduziert werden

Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

15

15

Ausblick – Beratung?



Rebschutzreferententagung RLP & LUX 2025

16

16

Weiterhin hat Daniel Molitor am 08/11/2025 die bis dahin vorliegenden Zwischenergebnisse des Projektes auf dem PIWI Summit 2025 in Berlin vorgestellt.



KÜHLHAUS BERLIN

Luckenwalder Str. 3
10963 Berlin

**PIWI
World Summit**

2025 8.+9.
Berlin NOVEMBER

Tagung | Workshops |
Masterclass | Winzerforum

www.piwi-international.org



Tagung | Workshops | Masterclass | Winzerforum

Zelt	Programm	Ort
Samstag, 8. November		
12.00 – 13.00	Registrierung/Anmeldung	Kubus Basis
13.00 – 13.15	Begrüßung und Eröffnung Dr. Wolfgang Patzwahl, Präsident PIWI International Andreas Dilger, Präsident PIWI Deutschland Ausstellungseröffnung: Marion Rockstroh-Kruft	Kubus Basis
13.15 – 15.00	PIWIs als Weine der Zukunft Prof. Reinhard Töpfer (emeritiert), Julius-Kühn-Institut Prof. Marc Dressler, Hochschule Ludwigshafen Dr. Wolfgang Patzwahl, PIWI International Multi Actor Innovation Project – Flash Talk	Kubus Basis
15.00 – 17.00	PIWIs im Anbau Paulin Köpfer, ECOVIN Baden, Konsequent Bio mit PIWIs Prof. Dr. Marco Stefanini, Fondazione Edmund Mach Ivana Flajšingerová, Vinselekt Michlovsky, New PIWI varieties from Vinselekt Michlovsky Breeding Program Daniel Molitor (Luxembourg Institute of Science and Technologie): Chancen und Herausforderungen des Anbaus von PIWI-Sorten – Erfahrungen aus dem PIWI ^{A3} Projekt in Luxemburg	Kubus Basis
17.00 – 18.00	Winzerforum Harald Lieleg Kollerhof, Paulin Köpfer und andere	Kubus Basis
18.00 – 19.00	Züchter & Rebveredler Forum Arnold Tschida, Reinhard Töpfer, Bea Steinemann	Kubus Basis
19.00 – 21.00	PIWI Welcome Abend Preisverleihung: PIWI International Wine Challenge u. PIWI Deutschland Weinpreis inkl. Verkostung einiger Siegerweine	Kubus Basis
Sonntag, 9. November		
08.00 – 09.00	Winzerforum /Züchterforum Ernst Weinmann, Stefan Schmid und andere	Kubus Basis
09.00 – 10.00	PIWIs im Keller Fabio Fehrenbach, WBI Freiburg Önologische Potenziale und angepasste Vinifikation – Analytik, Aromatik, Adaption – Ansätze für eine zukunftsorientierte Vinifikation von PIWI Rebsorten.	Kubus Basis
10.00 – 11.00	PIWIs im Verkauf Workshop: PIWIs verkaufen leicht gemacht Powerworkshop mit Franziska Hübsch	Kubus Basis
11.00 – 21.00	PIWIs im Glas	Kubus 2.Galerie
11.00 – 12.30	PIWI Masterclass – Ulrich Amling, Weinexperte, Tagesspiegel	
12.30 – 13.30	PIWI Masterclass – Wolfgang Renner, Sauvignier gris Vielfalt	

PIWI - Weinsalon

Kubus Basis

13.00 – 21.00 PIWI Wein Verkostung mit über 30 Winzern
Eintritt 25 € für Besucher inkl. Verkosterglas





Luxembourg Agro-Environmental Systems • 1st

Agro-Environmental Research in Luxembourg

16h • 🌐

This past weekend, [Daniel Molitor](#) from the [Luxembourg Agro-Environmental Systems](#) Group at [Luxembourg Institute of Science and Technology \(LIST\)](#) had the pleasure of presenting the [#Piwi³](#) Project at the 1st PIWI World Summit in Berlin. The event was a great opportunity to exchange ideas and insights with international experts and [#grapegrowers](#) passionate about sustainable [#viticulture](#). A big thank you to [PIWI International](#) for organizing such an inspiring and well-structured workshop! The [#Piwi³](#) Project is funded by the the Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Viticulture.

[#LISTEnvironment](#)



Photo: Anja Sistonen, PIWI International

7.3 Öffentlichkeitsarbeit

Eine kurze Mitteilung von der Weinbergsbegehung wurde auf der beruflichen Plattform LinkedIn eingestellt:



7.4 Pressespiegel

INTERESSANTES VON DER MOSEL

PIWIs in Luxemburg – Herausforderung und Chance

Der gut besuchte erste Luxemburger PIWI-Tag beim Institut viti-vinicole war ein voller Erfolg!

Das Wort „PIWI“ steht für pilzwiderstandsfähige Rebsorten. Diese neuen Rebsorten erlauben es, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wesentlich zu reduzieren und auf diese Weise die Umwelt zu schonen. Darüber hinaus können durch weniger Überfahrten im Weinberg zusätzlich der CO₂-Ausstoß und Bodenverdichtungen verringert werden. Für die Weinherstellung bedeutet das sowohl Kostenersparnis als auch ein Gewinn an Zeit.

Bereits 1992 pflanzte das Institut viti-vinicole erste PIWIs in Luxemburg an. Seither entwickelte sich das IVV zu einem Vorreiter im Anbau von PIWI. Aktuell stehen 20 PIWI-Sorten in Remich. Am vergangenen 4. November fand der 1. Luxemburger PIWI-Tag im Institut viti-vinicole (IVV) in Remich statt. Gemeinsam mit dem Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) organisierte das IVV zum ersten Mal einen internationalen Informationstag zu Eigenschaften, Vor- und Nachteilen sowie Vermarktungsstrategien für neue pilzwiderstandsfähige Rebsorten (PIWIs). Beim PIWI-Tag wurden Chancen und Risiken des Anbaus aufgezeigt und die anwesenden Winzer auf den letzten Stand der Entwicklungen gebracht. Aber auch das Thema Vermarktung kam bei der Veranstaltung nicht zu kurz.

Christopher Simon, Marc Fiedler, IVV

Der erste PIWI-Tag fand in Anwesenheit von Weinbauministerin Martine Hansen statt. In ihrer Ansprache betonte sie den Aktualitätscharakter der Thematik. Seit Jahren hätten, so die Ministerin, die PIWIs immer mehr an Aufmerksamkeit gewonnen. Insbesondere ein Jahr wie 2024, das sehr stark durch Pilzkrankheiten geprägt war, habe gezeigt, dass Weinbau komplett ohne Pflanzenschutz in unserer Region unrealistisch sei, und dass es Sinn mache, den Anbau von neuen pilzwiderstandsfähigen Sorten voranzutreiben und weiter zu erforschen.

Martine Hansen unterstrich weiterhin, die Behandlungsfrequenz bei PIWIs sei im Vergleich zu traditionellen Sorten stark reduziert – sie lag in diesem Jahr in den Versuchswinbergen des IVV bei knapp einem Siebtel. Somit stellten die PIWIs einen wichtigen Baustein unseres nachhaltigen Weinbaus dar. Die Ministerin hob zudem das positive Signal der PIWIs im Zusammenhang mit dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln hervor.

teilm hervor. Dass die neuen Sorten auch im Keller sehr viel Potenzial haben, sei ein wichtiger, für die Vermarktung unerlässlicher Aspekt, so die Ministerin. Da sich allerdings die Anbaufläche von PIWIs an der luxemburgischen Mosel immer noch unter der 1-Prozent-Hürde bewege, sei sehr viel Spielraum nach oben. Ein gesunder Mix aus traditionellen und pilzwiderstandsfähigen Rebsorten könne mit Sicherheit helfen, den Weinbau hierzulande langfristig abzusichern und zukunftsorientiert zu gestalten, so die Weinbauministerin abschließend.

In einer Reihe von Fachvorträgen erläuterten Experten die Thematik. Gergely Szolnoki von der Hochschule Geisenheim sprach über die Akzeptanz von PIWI-Rebsorten entlang der Wertschöpfungskette und stellte Ergebnisse einer Verbraucherstudie und Marktanalyse vor. Szolnoki über die Problematik der Namensgebung: „Der Ottonormalverbraucher findet allein schon die Worte Pilz und Widerstand befremdlich, er fühlt sich nicht angesprochen.“ Szolnokis Befragung bei Winzern und dem Handel hat zu Tage gebracht, dass der Begriff „nachhaltige Rebsorten“ viel besser ankommt. Laut dem Referenten sind die großen Herausforderungen derzeit die Vermarktung, denn die Pilzwiderstandsfähigkeit der neuen Sorten wird vom Handel und vom Verbraucher zwar gelobt, ein Verkaufsargument allein aber ist es nicht. Wissensaustausch und die aktive, gezielte Bewerbung sind hier wichtige Schlüsselwörter. Eine Chance dabei sind die vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten der PIWIs, neben der Vermarktung als reiner Sortenwein beispielsweise in Cuvées oder als Schaumwein. Besonders letzteres stellt gerade für Luxemburg und seinen Crémant eine große Chance dar.

Christopher Simon vom IVV machte eine Bestandsaufnahme der PIWI-Sorten auf den Versuchsfeldern in Remich und Marco Beyer, Kristina Heilemann und Daniel Molitor vom LIST gingen auf das Forschungsprojekt PIWI3 und seine ersten Ergebnisse ein. Bei dem auf drei Jahre (2023-25) laufenden Projekt geht es darum, die beim IVV angepflanzten PIWI-Sorten agronomisch, wirtschaftlich und ökologisch darzustellen.

Bei pilzwiderstandsfähigen Rebsorten wie Calardis-blanc, Solaris, Cabernet blanc oder Satin noir handelt es sich um moderne Kreuzungen von

europäischen Vitis Vinifera Reben mit resistenten Vitis-Arten. Ein Prozess, der insgesamt pro Rebsorte rund 20 Jahre in Anspruch nimmt. Bei erfolgreicher Genehmigung neuer PIWIs, gewinnt die Winzerschaft Rebsorten, die geschmacklich verschieden zu den traditionellen Sorten sind, jedoch Toleranzen gegenüber den hier typischen Pilzkrankheiten aufweisen.

Dies hilft der Winzerschaft, in erster Linie gesunde, Pflanzensowie Trauben zu verarbeiten. Ein weitreichender Vorteil, der der Winzerschaft im Kampf gegen den Klimawandel unterstützt. Erste PIWIs waren geschmacklich weit davon entfernt, gute Weine hervorzubringen. Hoher Aufwand in der Forschung und Entwicklung dieser Rebsorten führt aber zu mittlerweile tollen Qualitäten in Trauben sowie in Weinen aus PIWI-Reben.

Bereits 1992 pflanzte das IVV erste PIWIs in Luxemburg an. Seither entwickelte sich das IVV zu einem Vorreiter im Anbau von PIWI. Aktuell stehen 20 PIWI-Sorten in Remich, 13 Weißwein- und 7 Rotweinsorten. Weitere 6 Sorten wurden aufgrund von nicht Eignung in hiesigen klimatischen Bedingungen wieder entfernt. Die Untersuchung der PIWIs in Zusammenarbeit mit dem LIST ist weitreichend und beinhaltet die Analyse hinsichtlich aller typischen Pilzkrankheiten, der klimatischen Anpassungsaffinität, Schäden durch tierische Schädlinge, Anfälligkeiten gegen Sonnenbrand, Ertrag, Qualität und vieles mehr. Bei ausreichendem Ertrag wird jede PIWI-Sorte sortenrein angebaut und kann von der Winzerschaft und Interessierten Leuten am IVV verkostet werden.

Vorteile für die Herstellung von Weinen aus PIWI-Trauben gibt es auf ökologischer Ebene durch den reduzierten Pflanzenschutzbedarf oder die Anpassungsfähigkeit der Reben an durch den Klimawandel geschulte meteorologisch veränderte Situationen (insbesondere höhere Temperaturen und mehr Luftfeuchte), aber auch auf wirtschaftlichem Niveau durch die Einsparung von Betriebsmitteln.

Marie-Sophie Roderich, ebenfalls vom LIST, ging auf die umweltökonomischen Aspekte des PIWI-Anbaus ein und stellte die Ergebnisse einer Lebenszyklusanalyse vor. Schwerpunkt waren in diesem Zusammenhang Kosten und Nutzen, sowie das Potenzial zur Einsparung von CO₂ und zur nachhaltigen Bewirtschaftung. Die Ergebnisse sind beeindruckend: laut ihrer Studie haben PIWIs aufgrund der geringeren Überfahrten das Potenzial, je 80% an Pflanzenschutzmitteln und an Wasser einzusparen, sowie 40% an Dieselskosten. Auf 65% schätzt Marie-Sophie Roderich die Reduzierungsmöglichkeiten auf Ebene der gesamten Umweltbelastungskosten.

Doch es gibt auch Hürden und Herausforderungen: wie der erste Redner des PIWI-Tags, Gergely Szolnoki, bereits unterstrichen hatte, ist



Ministerin Hansen sieht in den neuen Rebsorten viel Potential im Anbau und im Keller.



Pinotin: eine der PIWI-Sorten, die das IVV für den Anbau getestet hat.



Insgesamt werden derzeit 20 PIWI-Sorten in den Weinbergen des IVV erprobt.

das in erster Linie die Vermarktung der neuen Rebsorten. Neben agronomisch-technischen Aspekten standen beim PIWI-Tag ganz besonders die Strategien zur Vermarktung auf dem Programm. Corinne Kox stellte die 3-Länder-PIWI-Initiative „VISION MOSEL“ im Rahmen einer aufschlussreichen Präsentation mit Verkostung vor und die Winzerin Eva Vollmer aus Rheinhessen zeigte mit ihrem Projekt „Zukunftswine“ wie

mit viel Pioniergeist versucht wird, die PIWIs populärer zu machen.

Rund 120 Besucher aus Luxemburg und der Großregion füllten den Saal am IVV und sorgten für einen spannenden Austausch zwischen Winzern, Tourismusverbänden und Forschungsinstituten, so dass der erste PIWI-Tag zu einem vollen Erfolg wurde.



Der erste Luxemburger PIWI-Tag brachte interessierte Winzer ebenso nach Remich, wie Experten aus dem In- und Ausland. Foto: IVV.



Luft nach oben: weniger als 1 % der luxemburgischen Weinbaufläche ist mit den modernen, widerstandsfähigen Sorten bepflanzt.

Alcovit, 12/24-01/25

Links: Sauvignac. Rechts: Rivaner – unsere Parzelle grenzt an die jungen PIWI-Pflanzen, die Winzerin Corinne Kox 2022 angelegt hat

Wein der Zukunft

DOMAINE TAGEBLATT Neue Rebsorten sollen den Winzern das Leben vereinfachen



Foto: Editpress/Julien Garroy

Cédric Feyereisen

PIWI-Rebsorten sind besonders resistent gegen Pilzkrankheiten – und sollen den Weinbau für die Zukunft sichern. Das Tageblatt hat sich Cabernet blanc, Sauvignier gris und Co. genauer angeschaut.

Das **Tageblatt**-Team beschäftigt sich seit sieben Monaten intensiv mit dem Luxemburger Weinbau. Dabei sind wir immer wieder über einen Begriff gestolpert: PIWI. Hinter der Abkürzung versteckt sich das Wort

„pilzwiderstandsfähig“ – also Rebsorten, die so gezüchtet werden, dass sie besonders resistent gegen Pilzkrankheiten wie dem echten und falschen Mehltau sind. „Das ist keine Gentechnik, sondern eine klassische Kreuzzüchtung“, erklärt Daniel Molitor gegenüber dem **Tageblatt**. Er ist gelernter Winzer und einer der Wissenschaftler, die beim „Luxembourg Institute of Science and Technology“ (LIST) an den neuen Sorten arbeiten. Für die PIWIs werden resistente Rebsorten aus Amerika oder Asien mit klassischen aus Europa gekreuzt. „Von der Kreuzung bis zur Ertragsreife vergehen zwischen 20 und 30 Jahren – sie müssen unter unterschiedlichen Umweltbedingungen während mehrerer Jahre getestet werden“, sagt Molitor.

Doch warum sollten Winzer auf diese Rebsorten umsteigen? Dafür gibt es laut Molitor „viele gute Gründe“. Zum einen können Winzer sich mit den neuen Sorten an den Klimawandel anpassen. „Gera-

de in Jahren mit extremen Niederschlagsmengen ist das Risiko für Ertragsverlust viel geringer als bei den traditionellen Sorten“, sagt der Wissenschaftler. Hinzu komme, dass PIWIs aktiv zum Klimaschutz beitragen würden. „Sie benötigen weniger Pflanzenschutzmittel, wodurch der Traktor weniger oft fahren muss.“ Auch der Transport und die Herstellung der Mittel sei energieintensiv.

Die neuen Sorten würden ebenfalls „interessante Geschmacksrichtungen“ bieten, die bei den Trauben der traditionellen Reben nicht zu finden seien. Und: Die PIWIs haben laut Molitor zudem ökonomische Vorteile. „Pflanzenschutzmittel kosten Geld und das Ausbringen ebenfalls.“ Wie der Ertrag der neuen Reben im Vergleich mit den traditionellen ausfällt, prüft momentan ein weiteres Team des LIST.

Cabernet blanc, Sauvignier gris und Sauvignac

Mittlerweile gebe es eine Vielzahl an interessanten neuen PIWIs. Damit die Winzer wissen, welche Arten am besten für ihre Bedürfnisse geeignet sind, arbeitet das LIST zusammen mit dem „Institut viti-vinicole“ (IVV) und dem Landwirtschaftsministerium an dem Projekt „PIWI“. Die Wissenschaftler untersuchen über drei Jahre hinweg (2023–2025) 14 pilzwiderstandsfähige Rebsorten aus dem Versuchsanbau des IVV. Die Ergebnisse sollen danach leicht verständlich

über eine Online-Plattform verfügbar sein. Das Landwirtschaftsministerium beteiligt sich mit maximal knapp 380.000 Euro am Projekt.

Doch auch schon ohne diese detaillierten Informationen haben verschiedene luxemburgische Winzer erste PIWIs in ihren Weinbergen gepflanzt. In Luxemburg sind unter anderem Cabernet blanc – eine Kreuzung aus Cabernet Sauvignon und Regent – und der Sauvignier gris, der aus Cabernet Sauvignon und Bronner entstanden ist, zu finden. Auch der Sauvignac, eine Mischung aus Sauvignon, Riesling und einem nicht näher bekannten Resistenzpartner, ist mittlerweile in Luxemburg zu finden. Unter anderem neben unserer eigenen **Domaine-Tageblatt**-Parzelle in Remich. Winzerin Corinne Kox hat die Rebsorte dort 2022 angepflanzt und will dieses Jahr den ersten Wein aus dem Ertrag produzieren. „Die paar Trauben, die vergangenes Jahr dort hingen, waren super, und das ohne Spritzen“, sagt Corinne.

Domaine Kox hat die ersten PIWIs 2010 angepflanzt. „Wir haben sehr positive Erfahrungen mit den weißen Sorten der ‚Zu-

Foto: Editpress/Alain Rischard



Wissenschaftler mit Weinbau-Hintergrund: Dr. Daniel Molitor

kunftsweine“ gemacht“, sagt Corinne. Die Winzerin bezeichnet die neuen Rebsorten als „Zukunftsweine“, da das Wort „pilzwiderstandsfähig“ nicht sonderlich „sexy“ ist.

Daniel Molitor erwartet, dass die PIWIs in Zukunft an Beliebtheit gewinnen werden. „Sie werden ihren Weg gehen“, meint auch Corinne. Dass „Zukunftsweine“ die traditionellen Sorten verdrängen werden, glaubt Corinne nicht. „Sie werden das bestehende Angebot eher ergänzen.“

Domaine-Tageblatt-Newsletter

Das Projekt ist ambitioniert und soll Einblicke in die Welt der Winzer verschaffen. Die **Tageblatt**-Redaktion wird in den kommenden anderthalb Jahren versuchen, ihren eigenen Wein herzustellen, in einer wöchentlichen Serie über Erfolg und Misserfolg berichten und dabei tiefere Einblicke in die Welt des Weinbaus geben. Bleiben Sie über unsere Erfolge und Misserfolge informiert:



Winzerin Corinne Kox

Foto: Editpress/Fabrizio Pizzolante



TIPPS UND FEEDBACK

Wollen Sie uns bei unserem Projekt unterstützen, uns Tipps und Feedback geben, dann kontaktieren Sie uns über unsere Facebook-Seite oder per Mail an redaktion@tageblatt.lu

LUXEMBOURG TIMES

A glass with Claude François

Does the future belong to resilient grapes?

In Luxembourg, more and more winegrowers are planting new, fungus-resistant grape varieties



There are 26 Piwi varieties in the trial plots of the Remich Wine Institute. As part of a scientific project, 14 of these are currently being tested for their suitability for winegrowing, economic viability and ecological compatibility. The Voltis variety could be particularly advantageous for Crémant production. © Photo credit: Claude François



Claude François

Freelance journalist in Luxembourg

[Share](#)

12/07/2025

Along a 42-kilometre stretch from Schengen to Wasserbillig (and in the Sauer valley), a number of classic grape varieties grow in different terroirs. Each winery offers numerous still wines, which is why I always find tastings of Luxembourg wines so exciting.

However, classic grape varieties are exposed to many natural risks.

“Climate change is increasing the pressure, as new harmful organisms are joining the classic ones. Added to this are drought, heat and late frosts, against which the vines must be additionally protected,” says Dr Oliver Trapp. The 43-year-old biologist heads the Institute for Grapevine Breeding at the Julius Kühn Institute in Siebeldingen, a wine-growing town on the Southern Wine Route in Rhineland-Palatinate. His tasks include breeding new grape varieties that are adapted to the climate and resistant to disease, known as Piwis.



Guy Krier, an organic winegrower for more than 15 years, is convinced of the qualities of various Piwi varieties. He uses Cabernet Blanc, Sauvignac, Cabaret Noir and Pinotin for his Lento cuvées. He has also joined the cross-border initiative Vision Mosel and was involved in the production of the alcohol-free sparkling wine Piwilicious © Photo credit: Claude François

Such new varieties are also becoming increasingly important on the Luxembourg Moselle. “Piwis are predestined for organic viticulture, as significantly less or no synthetic pesticides are needed to keep the vines healthy,” says Guy Krier.

The organic winegrower from Ellange-Gare has now planted 10% of his 15 hectares of vineyards with Piwi varieties. That is a record in Luxembourg. Krier wants to grow other Piwis as well, for example Voltis, a new variety that has now been approved in Champagne. “Like the Calardis variety, it is ideal for sparkling wines,” he says.

From Cabernet Blanc to Cabaret Noir...

The white wine variety Cabernet Blanc is currently the leading Piwi variety in Luxembourg. Krier blends it with Sauvignac, “an ideal Piwi variety because it is particularly resistant to downy and powdery mildew and can get by with just one treatment even in difficult years,” he says, referring to his Lento white wine cuvée.

The winemaker has already planted half a hectare with this new variety. For his red wine cuvée in the Lento line, he uses Cabaret Noir, which he blends with Pinot Noir and Saint Laurent. Since the 2024 vintage, Piwis have also been used for the Lento Rosé.



Lisa Vesque from Domaine Cep d'Or (Hëttermillen) offers single-varietal Piwis, as do other wineries. In addition to the white wine Cabernet Blanc, she produces the red wines Pinotin and Cabaret Noir © Photo credit: Claude François

However, some of his colleagues offer their Piwis as single varieties without blending them. The organic winery Sunnen-Hoffmann in Remerschen, for example, offers Cabernet Blanc and Pinotin, a red wine variety that I personally appreciate very much. In addition to these varieties, Domaine Cep d'Or in Hëttermillen also offers a pure Cabaret Noir. Nicolas Ries from Niederdonven is considered a pioneer of Piwi cultivation in Luxembourg, having been growing the red variety Regent and the white variety Merzling since 2004.

Pilot project at the Wine Institute

According to the Wine Institute, 28 wineries have grown at least one Piwi variety – there is even Cabernet Blanc (Veiner Béiproof) and Solaris (Domaine de l'Our) at the Our Valley.

A three-year project launched in 2023 by the Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) is looking at 14 Piwi varieties planted by the Viticulture Institute in Remich – a total of 26 different Piwis are being tested in trial plots there. The Piwi³ project aims to “assess the opportunities and risks of Piwi cultivation on a larger scale” from three perspectives: agronomic, economic and ecological.

Once the project is complete, a Piwi information platform will be created to show winegrowers the advantages and, where applicable, the risks of each variety. In addition, information about Piwis will be made available to wine tourists, wine merchants and end consumers, and tastings will be offered.

Cross-border Piwi sparkling wines

“The fascinating thing about Piwis is their versatility,” says Krier, adding, “and many of them are also very aromatic. This is particularly beneficial for alcohol-free wines.” Krier participated together with Marie Kox (Domaine Sunnen-Hoffmann) in the cross-border project ‘Piwilicious’, which was launched by the Vision Mosel initiative. Around 25 wineries from the three Moselle countries joined forces with the aim of combining alcohol-free wine and Piwi enjoyment.

The result is an attractive sparkling wine cuvée made from seven Piwi varieties from German and Luxembourg terroirs: Cabernet blanc, Sauvignac, Sauvignier gris, Muscaris, Donauriesling, Sauvitage and Hibernat. The alcohol was removed from the sparkling wine using the aroma-preserving Omnia Libero Wine process. The sparkling product is refreshing and tastes of passion fruit and citrus fruits. “A little like Hugo, which young consumers like,” according to Krier, who has already sold almost his entire Piwilicious allocation.



Winemaker Corinne Kox from Domaine L&R Kox (Remich) with Philip Hoffmann (Weinatelier Pierre Marie, Biringen/Saarland) and Daniel Molitor (Weingut Stairs'n Roses, Kinheim/Rhineland-Palatinate). Together they have produced the sparkling wine cuvée 'Tirage à Trois' © Photo credit: Carsten Simon

Winemaker Corinne Kox from Domaine L&R Kox in Remich is also a member of Vision Mosel. The qualified microbiologist has teamed up with companies from the Saarland (Weinatelier Pierre Marie) and Rhineland-Palatinate (Stairs n' Roses) to create a Piwi sparkling wine that meets Crémant standards. The cuvée 'Tirage à Trois' consists of Cabernet Blanc, Sauvignac and Hibernial varieties and has a spicy, fruity taste. With a dosage of 5 grams, this cuvée is classified as Extra Brut and costs €15.50.

Reges Treiben an der Mosel

Den Winzern war nach der gewohnt arbeitsintensiven Vegetationsperiode nur eine kleine Verschnaufpause gegönnt, bevor auch schon die Vorbereitungen auf den Herbst anstanden.

Mit Beginn der Reifeperiode können die Winzer im Labor des Weinbauinstitutes Beerenproben aus ihren Weinbergen abgeben und das Labor ermittelt für diese Proben das Mostgewicht, die Gesamtsäure, die Apfel- und die Weinsäure, den pH-Wert und den verfügbaren Stickstoff. Diese Daten geben den Winzern wichtige Informationen über den Reifegrad ihrer Weinberge und sind die Grundlage für die Erntepflege. Je nach Produktionsziel werden unterschiedliche Werte angestrebt. Nach dem ersten Proben zeigte sich schnell, dass die Mostgewichte für den Beerenburgsaison bereits hoch sind, 2025 reift sich demnach mit einem Versprung von ca. 10 Tagen in die immer häufiger werdenden frühen Jahrgänge ein.



Reifemessung mittels FTIR-Analyse im Labor des Weinbauinstitutes.

Das sieht man auch an dem Starttermin der Lese, Anfang September wurden die ersten Lesebefehle in die Weinberge geschickt, um früh reifende Rebsorten oder Trauben für die Crémantproduktion zu ernten. Mit dem Leseantritt bietet das IVV einen weiteren Service für die Winzer an, der die arbeitsintensive Lesezeit erleichtern soll. Aus der Abteilung AOP/Weinkontrolle sind Mitarbeiter an der Mosel unterwegs, um Mostproben der Winzer einzusammeln, die dann wie zuvor die Beeren im Labor des Weinbauinstitutes analysiert werden. Hier zeigen die Moste ausgeglichene Säurewerte, zu Beginn des Herbstes bringen die Proben zwar relativ geringe Nährstoffgehalte mit, haben aber eine gut ausgebildete Aromatik für hochwertige Produktionsziele. Die Grundvoraussetzung für einen großartigen Jahrgang mit fruchtigen Weinen bei einem ausgewogenen Säureprofil ist also gegeben.

Wie in jedem Jahr nutzt das Weinbauinstitut den Zeitpunkt kurz vor der Lese für die Präsentation der laufenden Feldversuche. Diese Veranstaltung wird gemeinsam mit dem IIST und der ProVigne organisiert. Zu Beginn gibt Christopher Simon vom IVV einen kurzen Rückblick auf das Jahr, bevor die einzelnen Ergebnisse der Feldversuche direkt im Weinberg vorgestellt werden. In diesem Jahr zielt neben den Versuchsergebnissen auch eine Maschinenführung zum Thema Laubwundmanagement auf das Interesse der Winzer ab. Neben Winzern und Besuchern ist auch die Landwirtschaftsministerin

Martine Hansen anwesend, sie verschafft sich einen Überblick über den Stand der einzelnen Versuche, von denen die meisten Bestände mehrjähriger Forschungsprojekte sind, die durch das Landwirtschaftsministerium gefördert werden.



Dr. Daniel Molitor gibt einen Einblick in die neuesten Ergebnisse aus dem Versuchswesen.

Die Hauptlese beginnt bei perfekten Bedingungen, gesundes und reifes Traubenmaterial wartet darauf geerntet zu werden. Aber ein einfacher Herbst wäre ja keine Herausforderung für die Winzer. Dafür sorgen die Mitte September einsetzenden und teils starken Niederschläge, die die Moselregion nach einer langen Trockenphase im Sommer zu spüren bekommt. An dieser Stelle zählt sich die gute Arbeit der Winzer im Vorfeld aus, nur dadurch können sie mit qualitativ hochwertigem Lesegut in diese herausfordernde Zeit starten. Trotzdem müssen sie nun abwägen, welche Sorten zuerst gelesen werden müssen, oder wo eventuell Fäulnis droht. Die teilweise starken Niederschläge erschweren den Erntebetrieb besonders in den steilen Weinbergen die Arbeit und auch die Befahrbarkeit der Weinberge wird zum Problem. In manchen Fällen wird statt des Traktors eine Raupen eingesetzt. Die Winzer haben die Witterung genau im Blick und nutzen

so gut es geht trockene Zeiteisen. Dennoch ist hier auf der sicheren Seite, wer ausreichend Schlagkraft hat, um die Lese in kürzester Zeit zu bewältigen. Die Winzer sind dabei auf die Unterstützung ihrer Herbstmannschaft angewiesen.

Während der Lese zieht es nicht nur die Winzer und ihre Erntehelfer in die Weinberge, bei besten Wetterbedingungen nimmt Martine Hansen, die Ministerin für Landwirtschaft, Ernährung und Weinbau in Ehren an der Weinsaison teil.

Schon lang ist dieser Besuch eine Tradition an der Mosel, die Ministerin nutzt die Gelegenheit, den Jahrgang zu begutachten und mit dem Sektor zu sprechen. Nur so kann sie sich selbst ein Bild davon machen, wie die Traubenqualität aussieht und welche Herausforderungen es gab.

Nicht ganz so prominent, aber dennoch wichtig sind auch die kleinen Lesebefehle, die in den Weinbergen des Weinbauinstitutes anzufragen sind. Während eines Zeitraums von zwei Wochen bringt jeden Morgen ein Bus aufgeregte Schulkinder an die Mosel, die sich auf einen spannenden Tag in der Weinsaison freuen.

Martine SCHULTZ
Institut vitivincicole

Sie alle werden, mit Schere und Elster ausgestattet, in ausgewählte Rebsorten geschickt, die sie lautstark und mit viel Eifer abern. Aus den gemessenen Trauben machen sie dann mit einer kleinen Presse Saft, der natürlich vor Ort probiert werden darf. Eine Schmitz mit Trauben geht und ein Besuch im Kellerhaus runden den Tag ab. Die Teilnehmenden der Schulen wurde durch Guides vom IRT begleitet und war heißt begrüßt, insgesamt konnten 285 Kinder aus 13 Klassen an der Lese teilnehmen. Unter ihnen waren nicht nur Kinder aus der Moselregion, sie kamen auch aus Luxemburg-Stadt und Umgebung, denn Minette und aus dem Mittelteil. Neben dem Spaßfaktor, der natürlich im Vordergrund steht, sind Besucher wie diese für die Kinder eine gute Gelegenheit, Eindrücke aus der Landwirtschaft zu gewinnen. Sie sehen, wo die Trauben angebaut werden und lernen, dass es mit Arbeit verbunden ist, die Trauben zu ernten.

Nicht nur Kinder, die die Mosel besuchen, sollen hier etwas über



Weinbauinstituten Martine Hansen verschafft sich einen Eindruck von der diesjährigen Traubenqualität.



Ein spannender Moment - Die Krönung der neuen Rieslingskönigin. (Quelle: Rinnen)

die Produktion von Trauben und dem weiteren Herstellungsprozess lernen. Jedes Jahr wird die Region von vielen Touristen besucht, die den luxemburgischen Weinbau nicht nur genießen, sondern auch kennenlernen wollen. Seit Ende der 1970er Jahre war das Weinsäse in Ehren eine bedeutende Anlaufstelle für alle, die den Zyklus eines Weinjahres erleben und die vielfältigen Arbeitsgeräte der Winzer entdecken wollten. Das beliebte touristische Ziel ist derzeit geschlossen, da umfassende Modernisierungsmaßnahmen stattfinden. Die Wiedereröffnung ist für das kommende Jahr geplant - dann als innovatives Weinkontaktszentrum, das den Weinbau und die Region auf moderne Weise präsentiert.

Die Erneuerung betrifft nicht nur das Gebäude selbst. Ein zeitgemäßes Ausstellungskonzept wurde entwickelt, das den Besucher interaktiv durch die Welt des Weinbaus führt. Digitale Medien unterstützen die neue Ausstellung und sorgen für ein lebendiges Erlebnis. Aktuell laufen Dreharbeiten zu verschiedenen Tätigkeiten im Weinberg. Das Weinbauinstitut stellt dafür seine Flächen zur Verfügung und beteiligt sich teilweise auch aktiv vor der Kamera.



Dreharbeiten für das neue Weinbauinstitut.

Bei der vielen Arbeit darf auch das Feiern nicht zu kurz kommen, entlang der Mosel laden verschiedene Weinfeste dazu ein. Angefangen mit dem luxemburgischen Weinfest geht es weiter mit dem Trauben- und Weinfest in Grevenmacher; hier wird in diesem Jahr die 20-jährige Jill Wagner zur 75. Weinkönigin gekrönt, in ihrer Amtszeit wird sie von den Prinzessinnen Lynn, Anne und Noémie begleitet, die auf diese Weise bereits sehen, welche Aufgaben auf sie als zukünftige Weinkönigin einmal zukommen werden. Wie es die Tradition verlangt, war auch Jill zuvor Weinkönigin, daher weiß sie genau, wie sie den Wein und Crémant aus Luxemburg im In- und Ausland präsentieren muss. Neben der Krönungsfeier gibt es ein buntes Programm, das mit Musik und traditionellen Tänzen durch den Ort viel zu bieten hat. Auch in Wormeldange wird eine Krönung gefeiert, diese steht ganz im Zeichen der Rebsorte Riesling. Die sogenannte Rieslingskönigin muss vor ihrer Amtszeit zunächst ebenfalls zur Prinzessin gewählt werden, in den vier Ortschaften Ahr, Ehen, Mächt und Wormeldange gibt es jeweils eine Prinzessin. Bei dem jährlichen Thronwechsel wird die Älteste der Prinzessinnen zur Rieslingskönigin ernannt. Die erste Aufgabe, die feierliche Eröffnung des Riesling Open, wartet bereits am Tag nach der Krönung auf die Rieslingskönigin.

In diesem Jahr darf Tessa Marx aus Mächt die Krone tragen und somit den Riesling aus Luxemburg präsentieren. Besucher des Riesling Open hatten an drei Tagen die Gelegenheit die Produkte von 16 Winzern zu verkosten. Neben Wein und Crémant standen aber auch regionale Speisen, Livemusik und diverse andere Programmpunkte an. Den Abschluss der Weinfeste machte wie in jedem Jahr die Hünnefeier in Schengen, hier wird das Ende der Weinsaison gefeiert.

Nach der turbulenten Phase kehrt nun etwas Ruhe ein und die Arbeiten werden in den Kellern verlegt, dort kümmern sich die Winzer um die jungen Weine, die dann im Laufe des neuen Jahres verkostet werden können.



Fleißige Lesebefehle unterstützen die Mannschaft des Weinbauinstitutes.

7.5 Beiträge für wissenschaftliche Zeitschriften

Title: Fungus-resistant grape cultivars have up to threefold lower environmental impacts than traditional varieties

Authors:

Claudio Petucco¹, Marie-Sophie Roderich¹, Daniel Molitor², Kristina Heilemann², Christopher Simon³, Benedetto Rugani^{4,5}, Marco Beyer²

¹ RDI Unit on Environmental Sustainability Assessment and Circularity (SUSTAIN) | Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) – 41 Rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

² RDI Unit on Environmental Sensing and Modelling (ENVISION) | Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST) – 41 Rue du Brill, L-4422 Belvaux, Luxembourg

³ Institut viti-vinicole (IVV) – 8 Rue Nic Kieffer, L-5551 Remich, Luxembourg

⁴ Research Institute on Terrestrial Ecosystems (IRET), National Research Council of Italy (CNR), Via G. Marconi 2, Porano TR 05010, Italy

⁵ National Biodiversity Future Centre (NBFC), Piazza Marina 61, Palermo 90133, Italy

Corresponding author: Claudio Petucco

Abstract

Fungus-resistant grape cultivars, commonly referred to as PIWIs (an abbreviation of the German term *pilzwiderstandsfähig*), are hybrids of *Vitis vinifera* with other *Vitis* species that exhibit low susceptibility to powdery mildew (*Erysiphe necator*) and downy mildew (*Plasmopara viticola*), the major fungal diseases in viticulture. In contrast, traditional grape cultivars are highly susceptible and require frequent fungicide applications during the growing season. The reduced number of fungicide treatments required by PIWIs lead to significant environmental and economic advantages, including fewer tractor passes, lower fuel and water consumption, and reduced pesticide-related waste. However, these benefits are rarely quantified.

This study compares two fungus-resistant cultivars (Cabaret noir and Sauvignac) with two traditional ones (Pinot noir and Rivaner), using data from an experimental vineyard in Luxembourg. Environmental impacts are assessed using Life Cycle Assessment (LCA), and economic costs analysed both from a private and social perspective, accounting for direct production costs and environmental externalities.

Results show that fungus-resistant cultivars can reduce environmental impacts by up to a factor of three, particularly in the climate change and freshwater ecotoxicity categories. Economically, growing PIWI cultivars allowed average savings of €685/ha/year at the level of the winery (mostly driven by lower fungicides use). The estimated environmental costs in PIWI systems were €145/ha, compared to €418/ha for traditional systems.

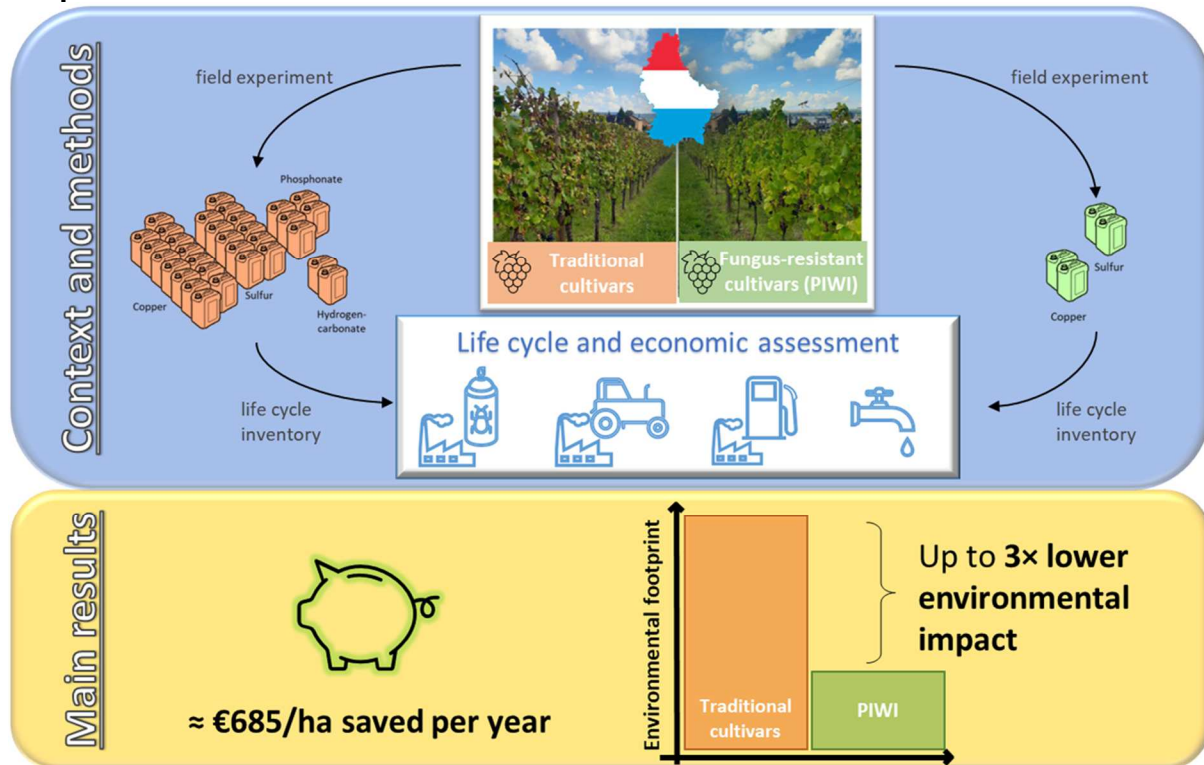
Altogether, the findings highlight the strong potential of fungus-resistant cultivars to lower both the environmental and economic burden of viticulture, supporting their broader adoption as a sustainable alternative.

Keywords: Fungicides, Life cycle assessment, Plant pathogens, PIWI, *Vitis vinifera*, Viticulture

Highlights:

- PIWI grapes cut environmental impacts up to threefold vs traditional.
- Freshwater ecotoxicity and climate impacts drop sharply with PIWIs
- PIWIs reduce production costs by ~€685/ha/year from reduced pest control.
- Environmental externalities fall from ~€418/ha (traditional) to ~€145/ha (PIWIs).

Graphical abstract:



1.1. Introduction

Fungus-resistant grape cultivars, also referred to as PIWIs - abbreviation of the German term “pilzwiderstandsfähig” - result from crossings between *Vitis vinifera* (Linnaeus) with other *Vitis* species (Juraschek et al. 2022). PIWIs possess genomic regions that confer resistance towards powdery mildew caused by *Erysiphe necator* (Schwein) and downy mildew caused by *Plasmopara viticola* (Berkeley & Curtis; Berlese & de Toni). Traditional cultivars are lacking these gene regions making them highly susceptible towards mildew fungi and therefore require frequent fungicide application in most vine-growing areas (Vecchio et al. 2022). The number of fungicide sprays in vineyards primarily planted with traditional cultivars ranged from 7 to 11 per season in a representative set of German vineyards between 2003 and 2023 (JKI, 2025). Even though being resistant towards the main fungal diseases, PIWIs are sensitive towards other fungal pathogens such as *Botrytis cinerea* (Persoon) and *Phyllosticta ampellicida* (Engelmann; van der Aa). The need for fungicide use is therefore lower when growing PIWIs compared with traditional cultivars, but some protection against fungal diseases is still needed. Furthermore, a limited number of targeted fungicide treatments is recommended to maintain the durability of the cultivar resistance (Schumacher et al. 2024). Fungicide reductions up to 80% were reported due to the transition from traditional grape cultivars to PIWIs (Trapp and Töpfer 2023).

In Luxembourg, PIWIs showed a low susceptibility to downy and powdery mildew with disease severities differing between the cultivars. Another advantage for cool climate regions is the later onset of *Botrytis cinerea* epidemics in PIWI cultivars, implying that the same level of disease severity was reached at higher sugar content. However, the three PIWI cultivars Cabernet blanc, Johanniter and Sauvignac showed high susceptibility to black rot (Heilemann et al., 2025).

While the benefits of PIWI cultivation seem to be obvious (Finger et al., 2023; Pomarici and Vecchio, 2019; Pedneault and Provost, 2016), PIWIs are currently cultivated on only 0.5% of Luxembourg's viticultural surface area (Institut viti-vinicole, 2024). In other Central European countries like Switzerland or Germany, the PIWI cultivars are grown on little more than 3% of the nation-wide viticultural area (Destatis, 2023; OFAG, 2023). Especially in emerging grape growing regions, PIWIs are of high importance. For instance, in Belgium, PIWIs are representing 29.6 % of the viticultural area (SPF Économie, 2024).

As observed in the life cycle assessment (LCA) literature on viticulture and wine making, the use of pesticides represents one of the major drivers of environmental impact globally associated with the production life cycle phases (e.g., D'Ammaro et al., 2021; Ferrara and De Feo, 2018; Villanueva-Rey et al., 2018). Beside the expected benefits of spreading pesticides for the protection of vines, their use can have two major particular environmental consequences. On one hand, the use of pesticides can directly impact water quality, by first contaminating soils and then surface and/or groundwater (Lamastra et al., 2014; Farreras et al., 2024; Peña et al., 2018; Vázquez-Rowe et al., 2017). On the other hand, indirect impacts associated with the emission of greenhouse gases (GHGs), particulate matter (PM) and other air pollutants from the combustion of fossil fuels can be generated because of repeated treatments in field operations (Zambelli et al., 2023). This is particularly true in the case of organic grape production, since natural fungicides such as copper and sulphur are usually spread more often than synthetic chemicals in conventional crops (Rugani et al., 2013). In this case, interannual variability due to different meteorological conditions and farmer management choices plays an important role in the contribution to the overall impact (Villanueva-Rey et al., 2014; Vagnoni et al., 2024).

Despite the extensive literature on the LCA of wine, however, Casolani et al. (2022) found that the pesticides used in the agricultural phase were only reported in a few cases when reviewing 37 publications on LCA in the wine sector, mainly focussing on post-harvest processes. A sustainable pest management in viticulture can have positive effects on several environmental compartments (and processes), such as water (by reducing pollution of surface water by runoff and drift and of groundwater by leaching), air, soil, living organisms (reducing loss of

biodiversity), and human society (returning safe water and a cleaner environment) (Lamastra, 2016). Although these opportunities, research on fungal resistant varieties of grape in LCA is still at its infancy, requiring more efforts in determining the associated factors that may allow drastically reduce the environmental burden associated with viticulture.

The reduced need for pesticide use is linked with a reduced number of tractor passages, reduced machine wear-out, reduced diesel and water consumption, less waste and many more advantages in terms of resource use and avoided impact on soil compaction and biodiversity loss. Even though the advantages of PIWIs are increasingly recognised (Trapp and Töpfer 2023; Vella, 2024; Martín-García et al. 2024), the magnitude of the environmental footprint of PIWI cultivation still need to be quantified with robust LCA-based approaches.

The present study aims to quantitatively compare the environmental and economic performances of two PIWI grape cultivars (Cabaret noir and Sauvignac) with those of two traditional grape cultivars (Pinot noir and Rivaner). To this end, LCA and environmental cost assessment were applied using detailed data from Luxembourg as a case study and for methodological illustration purposes. Throughout the study, the terms “PIWI cultivars” and “Traditional cultivars” refer specifically to the analysed fungus-resistant varieties Cabaret noir and Sauvignac, and the non-resistant varieties Pinot noir and Rivaner, respectively.

1.2. Materials & methods

To compare the performance of PIWIs and Traditional cultivars, four complementary types of analysis were carried out: (i) a field-based assessment of fungicide effectiveness and cultivar resistance; (ii) a Life Cycle Impact Assessment (LCIA) to determine the environmental footprint of the cultivars; (iii) a financial cost analysis from the perspective of the winegrower; and (iv) an environmental cost assessment that monetizes the externalities of vineyard operations. These analyses rely on a combination of field measurements, management records, literature data, and life cycle inventory (LCI) databases. An overview of the data sources and reference years used for each analysis is provided in Table 1. Detailed descriptions of the methodologies applied are presented in the following subsections.

The fungicide and cultivar effects assessment spans two years (2023–2024) and relies exclusively on experimental field measurements. For the LCIA, the environmental cost assessment and yield normalization, 2024 was selected as the reference year due to the greater completeness and representativeness of the data. In 2023, grapes from some cultivars were prematurely removed to reduce drought-related stress in young vines, making that year unrepresentative in terms of harvest yields. Additionally, 2024 was the first year in which fuel consumption data were systematically logged under real operating conditions in the vineyards. Although the same machinery and layout were used in both years, the availability of detailed consumption records in 2024 provided a more accurate basis for both environmental and financial calculations.

Table 1. Overview of the four analytical approaches used to compare PIWI and Traditional cultivars, including reference years and data sources.

Type of analysis / data	Reference year	Data sources
Fungicide and cultivar effects assessment	2023-2024	Experimental field measurements and management data
Life cycle impact assessment (LCIA)	2024	Experimental field measurements and management data, literature, ecoinvent database
Financial cost analysis	2023-2024, yield reference 2024	Experimental field measurements and management data, literature
Environmental cost assessment	2024	LCIA, literature

1.2.1. Data collection

1.2.1.1. Experimental data collection

Field data were collected in the experimental vineyard of the Institut viti-vinicole in Remich, Luxembourg (lat. 49.54°N; long. 6.35°E) during 2023 and 2024. Assessments covered the PIWI cultivars Sauvignac and Cabaret noir as well as the traditional reference cultivars Rivaner and Pinot noir.

Rivaner is presently the most widely grown grape cultivar in Luxembourg, covering 20.4 % of total viticultural area (Institut viti-vinicole, 2024). Rivaner is a synonym of Müller-Thurgau and was crossed in 1882 (Riesling x Madeleine Royal). Pinot noir is the most important traditional red cultivar in Luxembourg, covering 10.5 % of total viticultural area in Luxembourg (Institut viti-vinicole, 2024). Pinot Noir is an ancient cultivar of uncertain origin. Sauvignac is a crossing between Riesling x Sauvignon blanc and an unknown resistance partner crossed by the private breeder Valentin Blattner (Torregrosa et al., 2024). In Sauvignac the resistance gene loci Rpv3.1 and Rpv12 against downy mildew and Ren3 and Ren9 against powdery mildew were detected (Röckel et al. 2025). Cabaret noir is a PIWI cultivar crossed 1991 by the private breeder Valentin Blattner between Cabernet sauvignon and an unknown resistance partner. It carries resistance genes from *V. amurensis* (Torregrosa et al., 2024).

Grapevines were planted in 2017 (Sauvignac), 2014 (Cabaret noir), 2016 (Rivaner) and 2018 (Pinot noir), grafted onto SO4 rootstock, and trained to a vertical shoot positioning (VSP) system pruned to eight buds. The vineyard is south-east facing with a slope of 5-10%, and rows oriented north-south. Inter-row areas were permanently cover cropped, and no irrigation was applied. Planting density was 2.4 m² per vine, 2 m between rows and 1.2 m between vines (Molitor et al., 2022).

Fungicide applications against *P. viticola* and *E. necator* were carried out incorporating copper, sulphur, hydrogen carbonate and phosphorous acid. The complete set of fungicides used can be found in the Supplementary Materials (Tables S1-S4). In Sauvignac and Cabaret noir only two fungicide sprays were applied (at BBCH 65-68 and at BBCH 73-75), while in the traditional reference cultivars Rivaner and Pinot noir 12-sprays were applied at intervals of 8 to 10 days between leaf development stage BBCH 13 (Lorenz et al., 1995) and beginning of ripening (BBCH 81) in 2023 and 14 sprays in 2024. For comparison purposes, treatments where Rivaner and Pinot noir (2024 only) received the same two sprays like the PIWI cultivars were included. The data resulting from the two-spray treatment on Rivaner and Pinot noir was used only in the analysis of disease severity, yield and soluble solids concentration.

Grape yield and quality were measured via a set of 100 berries per cultivar (50 on each side of the row), randomly sampled just prior to harvest (Molitor et al., 2022). Every sample was pressed, the juice centrifuged and total soluble solids concentration measured by FT-IR (FOSS NIRSystems, Laurel, MD, USA). Grapes were harvested separately per cultivar, weighted and the average yield per plant (in kg) was calculated.

1.2.1.2. Management data collection

The following management actions were included in the inventory for the cost calculation and LCIA for both PIWI and Traditional cultivars.

Pesticide use: number of applications, products type and quantity, amount of water needed, type of machinery used, supplier of pesticides, unitary cost of pesticide (Table S5 in Supplementary Materials). Traditional cultivars were sprayed with fungicides according to the local farming practices. In 2023, twelve sprays were applied to the Traditional cultivars and in the year 2024, fourteen sprays were applied. In the PIWI cultivars, two sprays were applied in both seasons. For evaluating fungicide efficacy and cultivar resistance, disease severities (%) were determined for downy mildew, powdery mildew and black rot according to the EPPO guideline PP1/17 classifying visually observed disease severity in seven classes (0%; 1-5%; 6-10%; 11-25%; 26-50%; 51-75%; 76-100%).

Foliar fertiliser use: number and data of applications, product type and quantity, amount of water needed, type of machinery used, supplier of fertilizer, unitary cost of fertilizer. Foliar fertilizers were included into the fungicide spraying liquid, which is a common local practice.

Machinery use: type of activity (e.g., spraying, mulching), type of tractor (technical characteristics), tractor mounted machinery (e.g., sprayer, mulcher), duration of use, fuel consumption, price of fuel HTVA.

LCI tables containing input data used for the cost calculation and the LCIA for PIWI and Traditional cultivars can be found in Supplementary Materials (Tables S1-S4).

1.2.2. Life cycle assessment methodological framework

The assessment of the environmental impacts of PIWI cultivars and the comparison with the impacts of Traditional cultivars was done using the ISO 14040 standardized LCA method (ISO 2006b, a). Accordingly, we first defined the objective of the analysis and the system boundaries. Then we performed the LCI listing energy, material and resources used as well as all emissions generated within the system boundaries. Successively, we computed the environmental impacts for a selection of impact categories and finally we analysed and interpreted the results.

1.2.2.1. Goal and scope definition

Concerning the goal and scope of the analysis, we limited the system boundaries from the growing of the grapes to the harvesting (see Figure 1), because it is in the cultivation phase that PIWI and Traditional cultivars may have different impacts. So, when interpreting the results it was important to assume that both the PIWI and the Traditional cultivars share the same flows of energy, material and emissions in the vineyard plantation phase and in the wine making phase. Accordingly, we selected as the functional unit the production of 1 kg of grape. In other words, the environmental impacts are derived from all flows of energy, material and emissions necessary to produce 1 kg of grape in the Luxembourgish conditions.

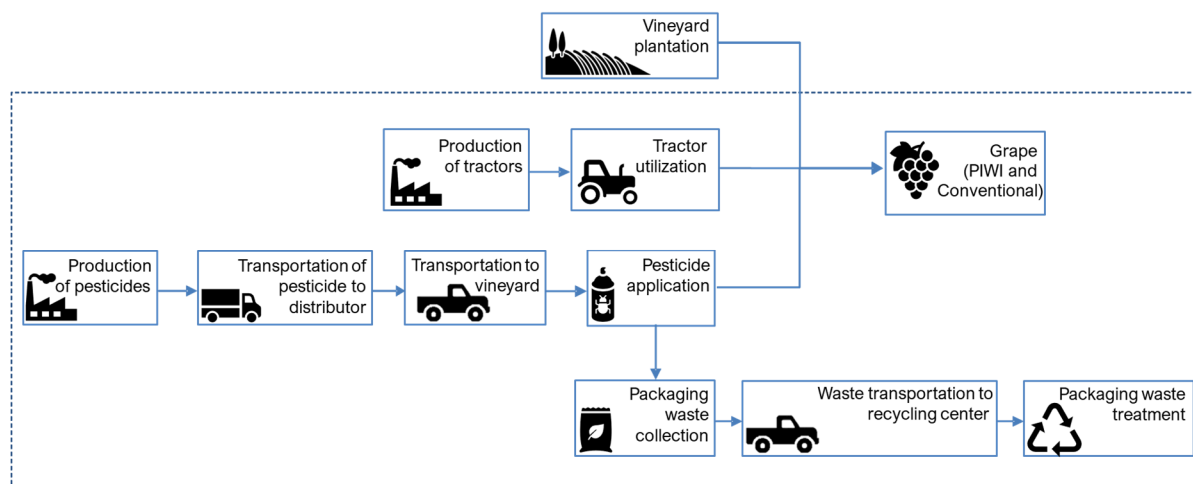


Figure 1. System boundary of the analysis for both the PIWI and Traditional cultivar production

1.2.2.2. Life cycle inventory and impact assessment

We used the data collected in the experimental vineyard to build the LCI at the level of foreground system. The inventory modelling was performed with the SimaPro v9.6 software tool, using the ecoinvent v3.10 database (ecoinvent, 2023) as the source of background data. The system modelling “Allocation, cut-off by classification” of the database was used to model background processes.

The environmental impacts were calculated using the Environmental Footprint (EF) v3.1 method (Andreasi Bassi et al., 2023), developed by the European Commission. The following impact categories were computed for both 1kg of PIWI and Traditional cultivars: acidification, climate change, freshwater ecotoxicity, particulate matter, marine eutrophication, freshwater eutrophication, terrestrial eutrophication, human toxicity (both cancerogenic and non-cancerogenic), ionising radiation, land use, ozone depletion, photochemical ozone formation, use of fossil resources, minerals and metals use, water use.

The impacts of PIWI cultivars were calculated as the average between the emissions and use of materials and energy of cultivations of the varieties Cabaret noir and Sauvignac. For the Traditional cultivars, the reported impacts reflected the average between the Pinot noir and Rivaner.

1.2.3. Financial and environmental cost assessment

In line with the environmental impact assessment, the scope of the cost analysis focussed on the annual viticultural season between budbreak and harvest. We did not consider the vineyard plantation costs nor the costs of post-harvesting and winemaking. We assumed that the PIWI and Traditional cultivars follow the same plantation and winemaking procedures, and therefore the costs are similar.

The cost assessment was done on two levels. The first level considered the estimation of the financial costs for the winegrower. The second level considered a social perspective and estimated the negative externalities generated by the cultivation of the Traditional cultivars and compared them with, once generated by the cultivation of PIWIs. The financial costs were computed based on the data recorded in 2023 and 2024 on a per hectare basis. The social costs were based on the LCIA results from the 2024 inventory. The costs and impacts per hectare were then converted to cost per kg, using the yield recorded in 2024, since the yield

from 2023 was biased due to drought stress. To avoid long-term effects of over-cropping, in 2023 the yield was reduced in some plants by green harvest in July. The PIWI costs are the average input costs for the cultivars Cabaret noir (red) and Sauvignac (white). The input costs for the Traditional cultivars were the average costs recorded for the Pinot noir (red) and Rivaner (white).

1.2.3.1. Financial cost calculation

The financial cost analysis for plant protection was conducted based on detailed field data collected from experimental vineyards managed by the Institut viti-vinicole (IVV) in Luxembourg. Data were recorded for all vineyard management operations carried out by IVV over the 2023–2024 growing seasons. These data—also used to construct the LCI for the environmental assessment—served as the basis for estimating financial costs. Specifically, we calculated per-hectare and per-kilogram costs for the following components: pesticides, water, fertilizers, diesel, and labour (operator time).

Pesticide and fertilizer costs were calculated using the actual prices paid by IVV to its suppliers, which reflect common market rates for winegrowers in the region. Water, diesel, and labour costs were based on external public sources. The assumed unit prices used for financial cost estimation were as follows:

- **Diesel price:** An average of €1.553/L in 2023 and €1.504/L in 2024 (source: STATEC, Luxembourg).
- **Water price:** €3.50/m³, calculated as the average of the agricultural water rates in Kehlen (€4.30/m³) and Stadtbredimus (€2.75/m³).
- **Labor (operator) cost:** We considered two reference values to reflect wage variability: a lower bound of €16/hour (LinkedIn, 2025) and an upper bound of €37/hour (source: European Research Institute, 2025).

Diesel and operator time per hectare were estimated based on operations carried out in the IVV “Berg” reference vineyard, where each row comprises 68 vines in 2024. We assumed the tractor operated every second row, thus covering $68 \times 2 = 136$ vines per pass. Given the area per vine, each tractor pass covers $136 \times 2.4 \text{ m}^2 = 326.4 \text{ m}^2$, equivalent to 0.03264 hectares. This standardization allowed us to extrapolate total per-hectare diesel consumption and labor time based on the number and type of interventions.

All costs were expressed in euros per hectare and, by factoring in the actual yield per cultivar and year, also converted to euros per kilogram of harvested grapes. It is important to note that operations as winter manual pruning that were common to both were not recorded to focus on cultivar-specific practices.

1.2.3.2. Environmental cost assessment

Concerning the second level on the estimation of the environmental costs of PIWI and Traditional cultivars, we adopted a life cycle costing methodology. We used these prices to monetize the biophysical impacts calculated through LCIA (see section “Life cycle assessment methodological framework” for a description of the methodology), providing a consistent and transparent approach to assessing the economic impacts of environmental externalities. Each cost component was calculated by multiplying the estimated environmental impact (e.g., in kg CO₂ eq, mol N eq, or CTUh) by a corresponding monetary valuation factor, drawn from the

Environmental Prices Handbook (CE Delft, 2023). This handbook quantifies the societal costs of environmental impacts by assigning monetary values to various categories of environmental damage, including greenhouse gas emissions, air and water pollution, and land use changes. The valuations are derived from comprehensive analyses of damage costs, willingness-to-pay studies, and policy targets, ensuring they are grounded in robust methodologies. Additionally, we applied the consumer price index from OECD (OECD, 2024) to convert the costs from the reference year 2021 (as used in the handbooks) to 2023, ensuring our social cost estimates reflect current economic conditions and can be compared with the financial cost estimates.

1.3. Results

In this section, we compare the performance of PIWI cultivars with fungicide regime (2 treatments) and traditional cultivars with full fungicide regime (12-14 treatments) in terms of fungicide effectiveness and cultivar resistance; environmental footprint, financial and environmental costs.

1.3.1. Fungicide and cultivar effects

Disease severities were low in the year 2023 except for powdery mildew as evidenced by a level of 7.5% on the traditional cultivar Rivaner after two fungicide sprays (Table 2Table 2Table 2), indicating (1) the presence of the pathogen in the vineyard and (2) that more than two sprays were needed in this traditional cultivar in 2023 for supressing the pathogen. After the traditional spraying regime (12 sprays in 2023), powdery mildew was reduced to 0.3% on Rivaner (Table 2). No black rot was assessed in 2023, as the disease was not present on any cultivar in this year (Table 2).

In 2024, downy mildew disease severities in Traditional cultivars were high with only two sprays and remained moderate even after fourteen sprays. By contrast, PIWI cultivars showed consistently low severity after just two sprays (Table 2). Powdery mildew disease levels remained low in 2024 in all cultivars. A high level of 14.2% disease severity was found for black rot on the PIWI Sauvignac in 2024.

All cultivars reached soluble solid levels well above the minimum level of 60°Oe that is required for quality wine production (Table 2).

Table 2. Cultivar names, cultivar types, number of fungicide sprays per season, growing years, fruit colours, disease severities,soluble solids (°Oe) and yield (kg/ha) of the assessed cultivars.

CULTIVAR NAME	CULTIVAR TYPE	NUMBER OF FUNGICIDE SPRAYS	YEAR	FRUIT COLOR	DISEASE SEVERITY (%) ON GRAPES			°OE BEFORE HARVEST	YIELD (kg/ha)
					Downy mildew	Powdery mildew	Black rot		
Sauvignac	PIWI	2	2023	White	0	0	0	95	2405
Cabaret noir	PIWI	2	2023	Red	0	0.2	0	93	5333
Rivaner	Traditional	2	2023	White	0.4	7.5	0	78	7241
Pinot noir	Traditional	2	2023	Red	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Rivaner	Traditional	12	2023	White	0	0.3	0	78	11724
Pinot noir	Traditional	12	2023	Red	0	0	0	80	714
Sauvignac	PIWI	2	2024	White	0	0	14.2	86	4857
Cabaret noir	PIWI	2	2024	Red	0.2	0	0.4	95	4088
Rivaner	Traditional	2	2024	White	66.7	3.1	2.1	78	2069
Pinot noir	Traditional	2	2024	Red	40.1	0	1.5	82	1500

Rivaner	Traditional	14	2024	White	33.7	1	1.7	78	9362
Pinot noir	Traditional	14	2024	Red	13.5	0	0.1	82	3079

1.3.2. Life cycle impact assessment

The results presented in Figure 2 indicate that the production of PIWI cultivars has a significantly lower environmental impact overall (12.0 $\mu\text{Pt/kg}$) compared to Traditional cultivars (35.5 $\mu\text{Pt/kg}$), corresponding to a reduction of about two-thirds. As detailed in Table 2, the impact per kilogram of cultivar is higher for Traditional cultivars across all environmental categories. The largest contribution from freshwater ecotoxicity (59% for Traditional cultivars vs 39% for PIWI cultivars) followed by climate change (9% vs 15%) and fossil and mineral resource depletion (5% and 4% vs 9% and 4%, respectively). In absolute terms, freshwater ecotoxicity reaches 79 CTUe/kg for Traditional cultivars compared to 17.5 CTUe/kg for PIWI cultivars, while climate change amounts to 0.14 kg CO₂ eq./kg and 0.08 kg CO₂ eq./kg, respectively.

The environmental impacts are also presented as a single score expressed in micro-points (μPt), together with the relative contribution (%) of each impact category, in Supplementary Materials (Table S6).

Table 2. Overall midpoint environmental impacts per kg of cultivar (PIWI vs. Traditional), calculated using the EF3.1 method (2024 data).

Impact category	Unit	Cultivar	
		PIWI	Traditional
Acidification	mol H+ eq	6.72E-04	1.39E-03
Climate change	kg CO ₂ eq	8.25E-02	1.43E-01
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1.75E+01	7.90E+01
Particulate matter	disease inc.	3.61E-09	7.81E-09
Eutrophication, marine	kg N eq	2.39E-04	3.98E-04
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1.20E-05	4.45E-05
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	2.58E-03	4.23E-03
Human toxicity, cancer	CTUh	7.39E-10	1.35E-09
Human toxicity, non-cancer	CTUh	2.99E-09	8.87E-09
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1.59E-03	4.28E-03
Land use	Pt	1.13E+00	1.85E+00
Ozone depletion	kg CFC11 eq	4.96E-09	1.98E-08
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	7.86E-04	1.31E-03
Resource use, fossils	MJ	1.03E+00	1.84E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5.08E-07	1.59E-06
Water use	m ³ depriv.	1.38E-02	6.04E-02

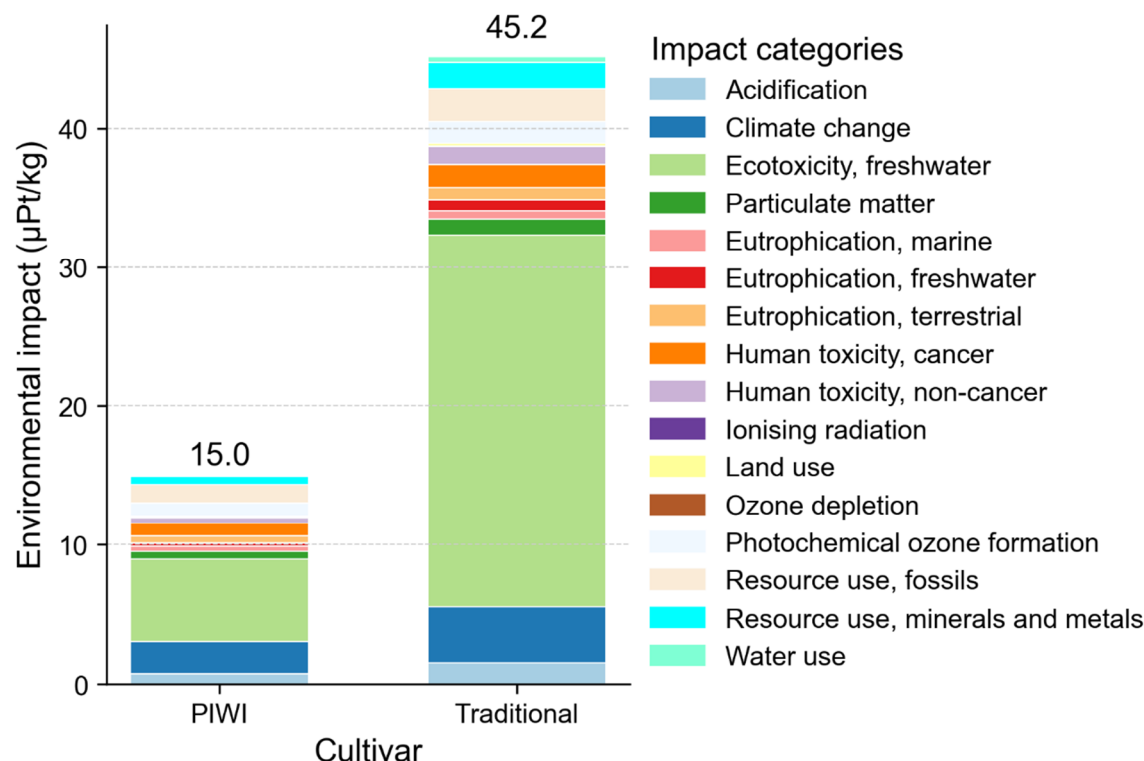


Figure 2. Overall environmental impacts in μPt (micro-points) by category per kg of cultivar: PIWI (left) vs. Traditional (right), calculated using the EF3.1 single score method (2024 data). The numerical values for the environmental impact are available in the supplementary material.

A closer analysis of the system components contributing to freshwater ecotoxicity and climate change is presented in Figure 3. The right-hand side compares the freshwater ecotoxicity impacts of the two cultivars in Comparative Toxic Units for ecosystems (CTUe) per kilogram of fruit mass for each cultivar. The impact is predominantly attributed to pesticide use (shown in blue). This impact category is nearly four times higher for Traditional cultivars than for PIWI cultivars, reflecting the greater quantity of pesticides required. In contrast, PIWI cultivars, with their reduced need for pesticide applications, show a considerably lower impact on freshwater ecotoxicity.

The left-hand side illustrates climate change impacts in kgCO_2 equivalents (kgCO_2 eq.) per kilogram of cultivar. Here, machinery use (shown in orange) is the main contributor to greenhouse gas emissions. Emissions are higher for Traditional cultivars, primarily due to the more frequent use of diesel-powered tractors for pesticide spraying. PIWI cultivars, with greater disease resistance, require fewer pesticide applications and thus fewer tractor passes, leading to approximately half the GHG emissions compared to Traditional cultivars. For PIWI cultivars, the remaining tractor-related emissions are primarily associated with other tasks, such as mowing or the removal of leaves in the cluster zone to improve ventilation around the developing fruit and thereby surpassing the growth of rot fungi.

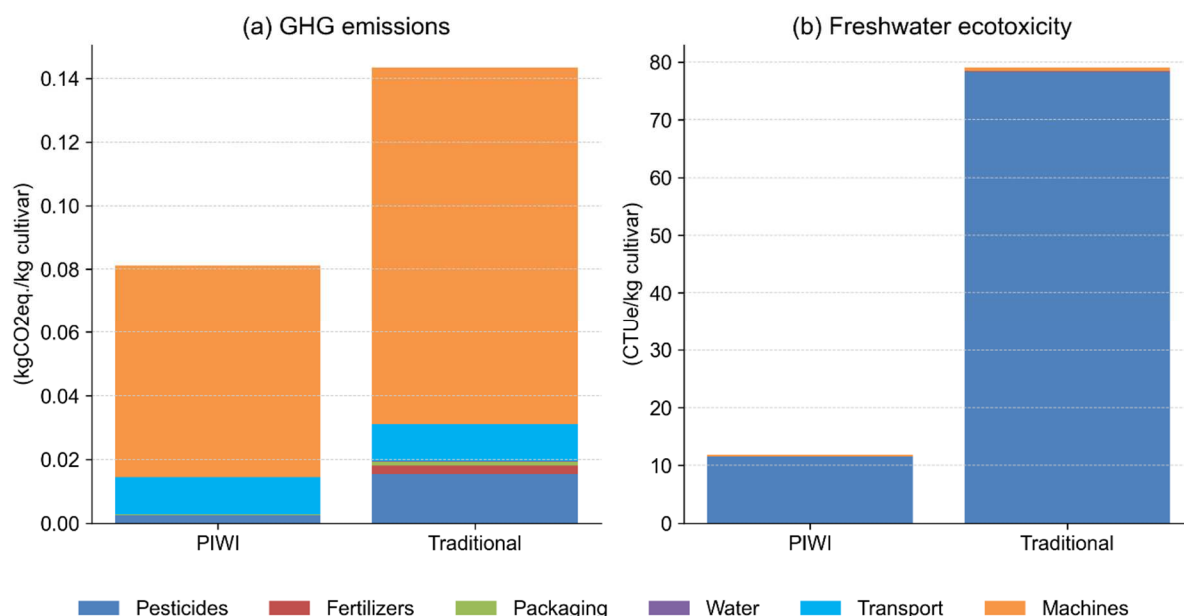


Figure 3 Contribution analysis of main system components to freshwater ecotoxicity (top) and climate change (bottom) per kg of cultivar: PIWI (left) vs. Traditional (right), calculated using the EF3.1 method. The Water component refers only to the water used mix fertilisers and pesticides, no irrigation was applied in the system.

1.3.3. Economic analysis

We monitored vineyard operations in the experimental fields over the 2023 and 2024 growing seasons, recording the duration and cost of each machinery pass. Figure 4 illustrates the total machinery time per hectare for each vineyard group, broken down by type of operation. Results show that all activities, such as mowing, mulching, and pruning, required comparable time inputs across both systems. However, a substantial difference emerged in spraying time: PIWI cultivars required only 1.5 hours per hectare compared to 9.5 hours per hectare for Traditional cultivars. This reflects the reduced need for plant protection interventions in fungus-resistant varieties, confirming their potential for reducing field labour and machinery use.

The economic analysis reveals that PIWI cultivars incur significantly lower direct production costs than Traditional cultivars. According to our dataset, the average total cost for PIWI cultivars was approximately €487/ha, while Traditional cultivars reached €1,171/ha, resulting in a cost difference of nearly €685/ha. When accounting for variability in operator wages, the cost range spans from €357 to €617/ha for PIWI and from €957 to €1,386/ha for Traditional cultivars. These differences are also reflected in the cost per unit of output: PIWI cultivars averaged €0.11/kg, whereas Traditional cultivars reached €0.24/kg, corresponding to a 54% cost reduction per kilogram of harvested grapes. Both cultivation systems followed comparable management protocols and achieved a harvest; however, operations common to both—such as winter manual pruning—were excluded from the analysis to isolate cost differences attributable to cultivar-specific practices.

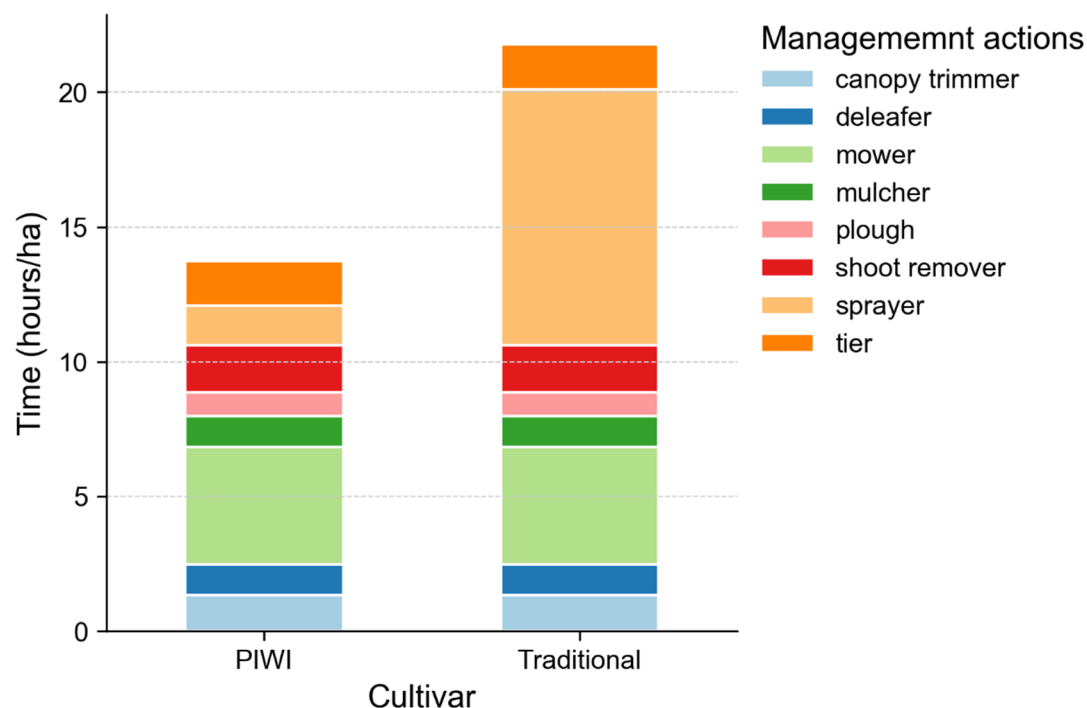


Figure 4. Total machinery time per hectare for PIWI and Traditional cultivars, broken down by vineyard management operations.

Table 3. Management cost differences between PIWI and Traditional cultivars.

Cost component	Cost reduction (Traditional – PIWI) euro/ha/year	Cost reduction per ha (%)	Cost reduction per kg (%)	Notes
Pesticides applications	€ 388.3	86.3	84.9	Average of observed costs (quantity times unitary price of pesticides) in 2023 and 2024.
Fertilisers applications	€ 8.4	100	100	Average of observed costs (quantity times unitary price of fertilisers) in 2023 and 2024.
Water consumption	€ 15.0	82.6	80.7	Average water used for the pesticides and fertilisers application. The average unitary water price observed in 2023 and 2024.
Diesel consumption	€ 60.1	39.1	32.4	Average diesel consumption in 2023 and 2024 for the operations listed in Figure 4. Average unitary price observed in 2023-2024 (STATEC).
Labour costs	€ 128.4	39.3	32.7	Average machinery operator time in 2023-2024. Lower salary range.
	€ 296.9	39.3	32.7	Average machinery operator time in 2023-2024. Higher salary range.

Table 3 summarizes the cost reductions when adopting PIWI cultivars compared to Traditional ones, broken down by cost components. In both per-hectare and per-kilogram analyses,

pesticide costs represent the largest source of cost savings when comparing Traditional and PIWI cultivars. At €388.3/ha saved (or roughly €0.08/kg), pesticide reduction accounts for over 86% of cost reduction per hectare, underscoring the central role of PIWI cultivars in lowering plant protection costs due to their fungal resistance. Labour costs are the second-largest component, with a reduction ranging between €128.4 and €296.9/ha, depending on the operator's wage range. This is consistent with the results shown in Figure 4 (machinery time per action), where fewer pesticide applications also translated into less tractor time and thus lower labour requirements. Savings from diesel consumption (€60.1/ha) and water use (€15.0/ha) are more modest but still meaningful. The reduction in diesel reflects the reduced number of mechanical interventions, especially spraying, while lower water usage is primarily tied to fewer mixing operations for pesticides and fertilizers.

When looking at the cost differences per kilogram of yield, the relative trends remain stable. Although Traditional cultivars showed a slightly higher average yield in 2024, this did not offset their substantially higher input costs. In fact, the per-kg cost for pesticides in Traditional cultivars was over six times higher than in PIWI cultivars (€0.091/kg vs €0.014/kg), reaffirming that the cost advantage of PIWI assessed system is robust regardless of the unit of analysis.

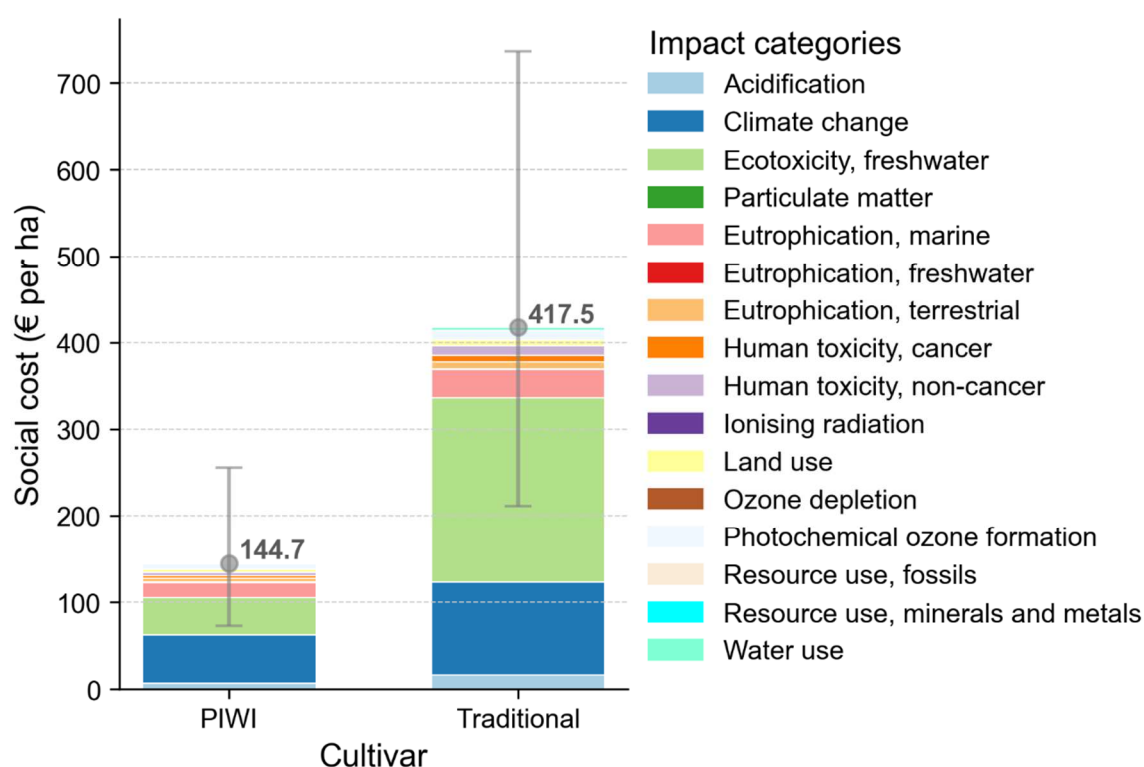


Figure 5. Comparison of environmental social cost of winegrowing between PIWI and Traditional cultivars.

Figure 5 shows the comparison of the estimated environmental social costs (negative externalities) of vineyard operations associated with PIWI and Traditional cultivars. The total social cost per hectare is significantly lower for PIWI systems (€145/ha) compared to Traditional ones (€418/ha), representing a 65% reduction. These values are the result of impact-based monetization across 16 environmental impact categories, using system boundaries consistent with the environmental and economic assessments.

The uncertainty bars in Figure 5 reflect the variation in the unitary monetization factors. For each impact category, we applied a low and high estimate of the cost per unit of environmental

burden to generate lower and upper bounds for total social cost per hectare. These bounds do not account for uncertainty in the inventory data (e.g., pesticide application rates or emission factors) but rather isolate the effect of using different damage cost assumptions per impact unit. The total social cost for PIWI cultivars ranges from €76 to €259/ha, while for Traditional cultivars the range is between €111 and €720/ha.

A closer look at the stacked cost components reveals that freshwater ecotoxicity, climate change, and marine eutrophication dominate the total external costs, particularly for Traditional cultivars. For instance, freshwater ecotoxicity alone accounts for over €210/ha in the traditional assessed system, nearly five times more than in the PIWI assessed system, largely due to higher pesticide use. Climate change and eutrophication costs follow similar trends. Other categories, such as particulate matter formation, land use, and water use, contribute marginally in both systems, with values below €10/ha.

1.4. Discussion

This study provides a comparative assessment of the economic and environmental performance of fungus-resistant grape cultivars (PIWIs) versus Traditional cultivars under real field conditions. The results consistently show that PIWI cultivars with a reduced fungicide regime substantially reduce environmental and direct operational costs per hectare, without compromising grape health and yield. By aligning the system boundaries with those used for the environmental life cycle assessment (LCA), we ensured that the cost analysis remained focused on the vineyard management stage, which is the most directly influenced by cultivar choice.

Field data were collected over two growing seasons in a region with a maritime climate (according to international classification), capturing operations, inputs, and time per hectare for both PIWI and Traditional cultivars. Two fungicide sprays were sufficient for controlling powdery mildew and downy mildew on the PIWI cultivars Cabaret noir and Sauvignac (Table 2), even in 2024, a year characterized by high disease pressure. In fact, downy mildew disease severities in PIWI cultivars were lower after two sprays than in Traditional cultivars treated fourteen times. However, the observation of 14.2% black rot in Sauvignac after two sprays in 2024 suggests that reducing fungicide applications further could compromise plant health, particularly in some PIWI cultivars known to be susceptible to black rot (Bettinelli et al., 2023).

The reduction in pesticide use translated into significant savings in economic and environmental terms. The social cost analysis conducted in the present study, which monetized environmental impacts using recent damage cost estimates, shows that PIWIs outperformed Traditional cultivars across all impact categories. When expressed per hectare, the environmental cost reduction exceeded 50%, with particularly large differences observed in freshwater ecotoxicity, climate change, and eutrophication categories. Even when normalizing per kilogram of harvested grapes, the relative ranking remained unchanged, reinforcing the robustness of the findings.

Uncertainty remains a critical aspect of environmental monetization. In this study, uncertainty arises primarily from the range of unitary prices used to convert midpoint environmental impacts (e.g., kg CO₂-eq.) into monetary values. These values depend on assumptions about societal willingness to pay or damage recovery costs and vary significantly in the literature. We accounted for this by reporting low and high-cost scenarios alongside central estimates. The resulting ranges, as visualized through error bars in the stacked cost graphs, help convey the plausible spread of environmental externalities. Still, despite this variation, the direction and magnitude of differences between PIWI and traditional assessed systems remain robust. While the environmental analysis is comprehensive, several limitations must be acknowledged. The LCA boundaries include only vineyard management operations, excluding upstream processes like vineyard establishment and downstream steps such as winemaking. Emission

factors for pesticide and fertilizer use were based on standardized datasets, which might not fully reflect field-specific conditions.

Similar caveats apply to the economic analysis. Maintenance costs for machinery (repairs, oil, tires) were not calculated explicitly, although reduced tractor use for PIWIs could lead to lower upkeep over time. Machinery amortization was also excluded, under the simplifying assumption of full equipment ownership. This may not apply universally, particularly for small-scale or cooperative vineyards. Labour and water costs were estimated based on regional averages, yet these could vary with local wage structures and climatic conditions. Notably, differences in terrain across plots introduce additional variability in operation times and hence in calculated costs. Nonetheless, the relative differences in both costs and environmental burdens are large enough to remain meaningful despite these sources of uncertainty.

The field data used here were recorded in Luxembourg, which is considered a maritime climate region by international standards, though some national classifications may label it as continental. For instance, from the national French perspective, Luxembourg is more a continental than a maritime location. This distinction matters because fungal disease pressure, and consequently fungicide requirements, varies significantly across climatic zones. Therefore, the results presented here should not be generalized to regions with markedly different climate profiles without proper adaptation.

The evidence on the environmental and economic advantages underlying the PIWI cultivars is not only demonstrated against the Traditional cultivars examined in the present paper. Comparing some of the LCIA and economic cost figures with those from literature, the differences in terms of avoided impacts and derived costs are even more advantageous. The LCA literature shows, for example, that the viticulture and grape growing phase (excluding processes of vineyard planting as it is made here) may generate on average 0.38 kgCO₂ eq./bottle of wine 75cl (Rugani et al., 2013). Assuming an average ratio of 1.08 kg grape/bottle of wine 75cl according to Vázquez-Rowe et al. (2013), this means that the Traditional and PIWI cultivars evaluated in this study may generate around 65% and 80% less GHGs, respectively, than the grape cultivated on average with a global scale. Consequently, growing PIWI cultivars is representing an efficient climate change mitigation strategy in viticulture.

Similar findings are observed even when focusing on more regionalised and methodologically pertinent comparisons against two viticulture systems in Germany: using the EF methodology, Foester et al. (2024) estimated the impacts of both organic and integrated grape productions as around 98 µPt and 71 µPt, respectively. These scores are around 83% and 45%, on average, larger than PIWI and Traditional cultivars, respectively, analysed here.

A key factor outside the scope of this study is consumer acceptance. While our analysis focuses solely on the supply side, the market success of PIWI wines depends critically on whether consumers view them as valid substitutes for wines from traditional cultivars. Previous research (e.g., Vecchio et al. 2022) has shown that consumer preferences often hinge on grape variety names, and unfamiliar names can limit market access. Customers that use the names of traditional cultivars as a purchase criterion can substantially limit the sales opportunities of wines made from PIWI grapes. Kiefer and Szolnoki (2023) showed the benefits of PIWI varieties seem to have a positive impact on consumer acceptance and this could be improved by storytelling campaigns to educate consumers about the environmental benefits, for which precise figures are needed. The methodology and the exemplary results presented here may help triggering changes in consumer behaviour by actively advertising the advantages of PIWIs, potentially paving the way for more sustainable vineyard management at large scales. In their study of the German wine market, Nesselhauf et al. (2020) attempted to identify the attributes guiding the willingness to buy PIWI wines. They found that, although the “reduction of pesticides” and of “carbon emissions” are quite relevant attributes, “price” remains the most important factor. In this context, the cost savings achieved through the reduced need for plant

protection could be passed on to consumers in the form of lower prices, thereby strengthening their incentive to choose PIWI wines. However, adoption of PIWI cultivars by producers and the related marketing strategy depends on many factors (Kiefer and Szolnoki. 2024), which are outside the scope of this work.

Looking forward, future research should complement supply-side analyses like this one with consumer-side evaluations. Understanding price sensitivity, willingness to pay for sustainable wine, and the effectiveness of eco-labels or sustainability claims will be essential to assess whether PIWIs can gain meaningful market traction. Expanding the geographical scope and incorporating longer-term data on yield stability and disease susceptibility would also help validate and extend these findings. In doing so, researchers can better inform both farmers and policymakers on the trade-offs and co-benefits associated with a transition to more resilient viticultural systems.

1.5. Conclusions

This study provides, to the best of our knowledge, the first quantitative evidence supporting the environmental and cost saving advantages of cultivating fungus-resistant grape varieties (PIWIs) compared to Traditional cultivars. Using detailed field data collected over two consecutive years under realistic vineyard management conditions, we analysed two PIWI cultivars (Cabaret noir and Sauvignac) and two Traditional cultivars (Pinot noir and Rivaner). We found that PIWIs require significantly fewer pesticide applications, resulting in both reduced operational costs and substantially lower environmental impacts.

The environmental life cycle assessment, monetized through recent unit cost estimates, confirmed the sustainability potential of PIWI cultivation. Across all 15 midpoint impact categories considered, PIWI systems consistently showed lower environmental costs. The most notable reductions occurred in freshwater ecotoxicity, climate change, eutrophication, and human toxicity categories—reflecting the reduced chemical inputs and machinery use. Even when accounting for uncertainty in damage cost valuations, the trend favouring PIWIs remained robust.

From a production cost standpoint, PIWI systems achieved average direct cost savings of approximately €685 per hectare, representing a substantial reduction compared to traditional systems. These savings were driven primarily by reductions in fungicide use, diesel consumption, and associated labour. Importantly, these differences remained consistent when normalized per kilogram of harvested grapes, indicating that the cost-effectiveness of PIWIs is not yield-dependent.

While this study focused on the supply-side performance of PIWI systems, future research should address market acceptance and consumer perception, as these remain critical factors for the widespread adoption of these cultivars. Continued investigation across diverse regions and over longer timeframes will also help assess the resilience and consistency of PIWI benefits under variable agronomic conditions.

Overall, our findings reinforce the strategic relevance of PIWI cultivars as a credible and impactful lever for promoting more sustainable viticulture. They offer a clear opportunity for reducing the environmental footprint of grape production while simultaneously lowering input costs for growers. With increasing pressure to transition toward more environmentally friendly farming systems, PIWIs represent a promising pathway toward reconciling productivity, profitability, and sustainability in European viticulture.

1.6. Acknowledgments

We thank the Ministry of Agriculture, Food and Viticulture for funding the project PIWI³ and the Institut viti-vinicole for the access to the vineyards and for recording and providing detailed vineyard management figures.

1.7. References

- Andreasi Bassi, S., Biganzoli, F., Ferrara, N., Amadei, A., Valente, A., Sala, S., Ardente, F., 2023. Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. *JRC130796, Joint Research Center, Editor*.
- Bettinelli, P., Nicolini, D., Giovannini, O., Stefanini, M., Hausmann, L. and Vezzulli, S., 2023. Breeding for black rot resistance in grapevine: advanced approaches for germplasm screening. *Euphytica*, 219(11), 113. <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03235-9>
- Casolani N, D'Eusano M, Liberatore L, Raggi A, Petti L., 2022. Life cycle assessment in the wine sector: A review on inventory phase. *J. Clean. Prod.* 379: 134404. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134404>
- D'Ammaro, D., Capri, E., Valentino, F., Grillo, S., Fiorini, E., Lamastra, L., 2021. A multi-criteria approach to evaluate the sustainability performances of wines: The Italian red wine case study. *Sci. Total Environ.*, 799, 149446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149446>
- DELFT, CE, 2023. Handboek Milieuprijzen 2023 (Environmental Prices Handbook 2023). CE Delft: Delft, The Netherlands. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/CE_Delft_220175_Handboek_Milieuprijzen_2023_DEF.pdf [Accessed 19 Aug. 2025]
- Destatis, 2023. *Mit Keltertrauben bestockte Rebfläche: Deutschland, Jahre, Rebsorte* [dataset]. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=41252-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1728310746247#abreadcrumb>
- Ecoinvent, 2023. The ecoinvent database, version 3.10 [dataset]. Available at: <https://support.ecoinvent.org/ecoinvent-version-3.10> [Accessed 19 Aug. 2025]
- Economic Research Institute, 2025. Salary for Wine Maker in Luxembourg. Available at: <https://www.erieri.com/salary/job/wine-maker/luxembourg> [Accessed 19 Aug. 2025].
- Farreras, V., Lana, B., Astorga, O., 2024. Assessing the grey water footprint of pesticide use in the Mendoza wine region (Argentina): implications for sustainable water resources management. *OENO One*, 58(4). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8108>
- Ferrara, C., De Feo, G., 2018 Life cycle assessment application to the wine sector: a critical review. *Sustainability* 10: 395. <https://doi.org/10.3390/su10020395>
- Finger, R., Zachmann, L., McCallum, C., 2023. Short supply chains and the adoption of fungus-resistant grapevine varieties. *Appl. Econ. Perspect. Policy*, 45(3), 1753-1775. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/aep.13337>
- Foerster, F.C., Döring, J., Koch, M., Kauer, R., Stoll, M., Wohlfahrt, Y., Wagner, M., 2024. Comparative life cycle assessment of integrated and organic viticulture based on a long-term field trial in Germany. *Sustain. Prod. Consum.* 52, 487-497. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.11.012>
- Heilemann, K., Simon, C., Roderich, M-S. Petucco, C., Molitor, D., Beyer, M., 2025. Studying PIWIs in three dimensions: agronomic, economic and ecological evaluation of 14 fungus-tolerant cultivars in Luxembourg. *IVES Conference Series, GIESCO 2025*. <https://doi.org/10.58233/giesco2025>
- Institut viti-vinicole, 2024. Das Weinjahr 2022 und seine Ernteergebnisse. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Viticulture, Luxembourg.

- <https://agriculture.public.lu/dam-assets/veroeffentlichungen/berichte/weinbau/weinjahr/weinjahr-2022.pdf> [Accessed 19 Aug. 2025]
- ISO. 2006a. ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. The International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- ISO. 2006b. ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- JKI, 2025. Behandlungshäufigkeit. Available at: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46> [Accessed 19 Aug. 2025].
- Juraschek, L. M., Matera C., Steiner U., Oerke E-C, 2022. Pathogenesis of *Plasmopara viticola* depending on resistance mediated by Rpv3_1, and Rpv10 and Rpv3_3, and by the vitality of leaf tissue. *Phytopathology*, 122: 1486-1499. <https://doi.org/10.1094/PHTO-10-21-0415-R>
- Kiefer, C., Szolnoki, G., 2023. Consumer acceptance of fungus-resistant grape varieties—an exploratory study using sensory evaluation tests among consumers in Germany. *Sustainability*, 15(13), 10664. <https://doi.org/10.3390/su151310664>
- Kiefer, C., Szolnoki, G., 2024. Adoption and Impact of Fungus-Resistant Grape Varieties within German Viticulture: A Comprehensive Mixed-Methods Study with Producers. *Sustainability*, 16(14), 6068. <https://doi.org/10.3390/su16146068>
- Lamastra, L., Balderacchi, M., Di Guardo, A., Monchiero, M., Trevisan, M., 2016. A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. *Sci. Total Environ.*, 572, 724-733. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.043>
- Lamastra, L., Suci, N. A., Novelli, E., & Trevisan, M., 2014. A new approach to assessing the water footprint of wine: An Italian case study. *Sci. Total Environ.*, 490, 748-756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.063>
- LinkedIn, 2025. Agriculture Jobs in Luxembourg with Visa Sponsorship. LinkedIn Article. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/agriculture-jobs-luxembourg-visa-sponsorship-botwc/> [Accessed 19 Aug. 2025].
- Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U. and Weber, E., 1995. Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 1(2), 100-103. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1755-0238.1995.tb00085.x>
- Martín-García, B., Longo, E., Ceci, A.T., Pii, Y., Romero-González, R., Garrido Frenich, A., Boselli, E., 2024. Pesticides and winemaking: A comprehensive review of conventional and emerging approaches. *Compr. Rev. Food Sci.*, 23(5), p.e13419. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13419>
- Molitor, D., Schultz, M., Dam, D., Pallez-Barthel, M., Friedel, M., Beyer, M., 2022. Partial double-pruning after bloom delays bunch rot epidemics in *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Pinot gris. *OENO One*, 56(3), 271-279. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.3.4713>
- Nesselhauf, L., Fleuchaus, R., Theuvsen, L., 2020. What about the environment?: A choice-based conjoint study about wine from fungus-resistant grape varieties. *Int. J. Wine Bus. Res.*; 32 (1): 96–121. <https://doi.org/10.1108/IJWBR-09-2018-0049>
- OECD, 2024. "Inflation (CPI)" (indicator, GEO (Labels): European Union - 27 countries (from 2020)) [dataset], <https://doi.org/10.1787/eee82e6e-en> [Accessed 04. October 2024].
- OFAG, 2023. *Rapport agricole 2023*. Office fédéral de l'agriculture, Bern, Switzerland. <https://www.agrarbericht.ch/fr/services/documentation/publications> [Accessed 19 Aug. 2025]
- Pedneault, K., Provost, C., 2016. Fungus resistant grape varieties as a suitable alternative for organic wine production: Benefits, limits, and challenges. *Sci. Hortic.*, 208, 57-77. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.016>

- Peña, N., Antón, A., Kamilaris, A., Fantke, P. 2018. Modeling ecotoxicity impacts in vineyard production: Addressing spatial differentiation for copper fungicides. *Sci. Total Environ.*, 616, 796-804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.243>
- Pomarici, E., Vecchio, R., 2019. Will sustainability shape the future wine market?. *Wine Econ. Policy.*, 8(1), 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2019.05.001>
- Röckel et al. (2025): Vitis International Variety Catalogue [dataset]. Available at www.vivc.de [Accessed 19 Aug. 2025]
- Rugani, B., Vázquez-Rowe, I., Benedetto, G., Benetto, E., 2013. A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *J. Clean. Prod.*, 54, 61-77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.036>
- Schumacher, S., Mertes C., Kaltenbach T., Bleyer G., Fuchs, R., 2024: A method for phenotypic evaluation of grapevine resistance in relation to phenological development. *Sci. Rep.*, 14: 915. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50666-4>
- SPF Économie, 2024. *La viticulture belge en chiffres. Récolte et reconnaissances en 2024*. <https://economie.fgov.be/fr/file/7471805/download?token=GkzTl1st> [Accessed 19 Aug. 2025]
- Torregrosa, L., Lacombe, T., Ojeda, H., 2024. Vignes tolérantes aux maladies fongiques. Des variétés à fruits pour une viticulture en transition agroécologique. Editions France Agricole.
- Trapp, O., Töpfer, R., 2023. Adoption of new winegrape cultivars to reduce pesticide use in Europe. *Am. J. Enol. Vitic.*, 74: 0740032. <https://doi.org/10.5344/ajev.2023.23041>
- Vagnoni, E., Cesaraccio, C., Pirino, P., Duce, P., 2024. The environmental role of small organic wineries: the case study of a multi-year assessment of a local Italian red wine. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 29(3), 469-482. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-023-02267-6>
- Vázquez-Rowe, I., Rugani, B., Benetto, E., 2013. Tapping carbon footprint variations in the European wine sector. *J. Clean. Prod.*, 43, 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.036>
- Vázquez-Rowe, I., Torres-García, J. R., Cáceres, A. L., Larrea-Gallegos, G., Quispe, I., Kahhat, R., 2017. Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for the cultivation of grapes for pisco production. *Sci. Total Environ.*, 601, 532-542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.221>
- Vecchio, R., Pomarici, E., Giampietri, E., Borrello, M., 2022. Consumer acceptance of fungus-resistant grape wines: Evidence from Italy, the UK, and the USA. *PLoS One* 17: e0267198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267198>
- Vella, 2024. The Green Transition in Agriculture. PhD Dissertation, University of Palermo (Italy). Available here: <https://tesidottorato.depositolegale.it/static/PDF/web/viewer.jsp> [Accessed 19 Aug. 2025]
- Villanueva-Rey, P., Vázquez-Rowe, I., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2014. Comparative life cycle assessment in the wine sector: biodynamic vs. conventional viticulture activities in NW Spain. *J. Clean. Prod.*, 65, 330-341. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.026>
- Villanueva-Rey, P., Quinteiro, P., Vázquez-Rowe, I., Rafael, S., Arroja, L., Moreira, M.T., Feijoo, G., Dias, A.C., 2018. Assessing water footprint in a wine appellation: A case study for Ribeiro in Galicia, Spain. *J. Clean. Prod.*, 172, 2097-2107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.210>
- Zambelli, M., Giovenzana, V., Casson, A., Tugnolo, A., Pampuri, A., Vignati, S., Beghi, R. Guidetti, R., 2023. Is there mutual methodology among the environmental impact assessment studies of wine production chain? A systematic review. *Sci. Total Environ.*, 857, 159531. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159531>

