

Strategie zur Reduzierung von Spätfrostschäden im Wein- und Obstbau (FrostStrat)



Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft


LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Projektleiter/in: Microtronics Engineering GmbH

E-Mail: andreas.schuller@microtronics.com

Projektlaufzeit: 1. September 2019 bis 31. August 2022

Partner ARGE FrostStrat



Wissenschaftliche Partner ARGE FrostStrat



Aktive Partner



Unterstützende Partner

Regionales Weinkomitee Wachau
 Regionales Weinkomitee Kremstal
 Regionales Weinkomitee Kamptal
 Regionales Weinkomitee Thermenregion



1 Inhaltsverzeichnis

2	Zusammenfassung.....	4
3	Erfassung und Vorhersage von Wetterdaten.....	7
3.1	Welche Faktoren beeinflussen die Spätfrostgefährdung und welche Frostarten gibt es?	7
3.2	Prognosemodell für das kleinregionale Spätfrostisiko	9
3.2.1	Sensorqualität, Datenumfang und Datenverfügbarkeit.....	9
3.2.2	Prognosemodell.....	11
4	Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Frostschutzmaßnahmen	15
4.1	Maßnahmen zur Austriebsverzögerung im Weinbau	15
4.2	Heizverfahren im Wein- und Obstbau.....	21
4.2.1	Öfen mit kostengünstigen und nachhaltigen Heizverfahren	21
4.2.2	Einsatz von Heizdrähten.....	23
4.2.3	Vergleich Kerzen und Frostöfen	25
4.2.4	Kombination von Paraffinkerzen und Hagelschutznetzen	27
4.3	Frostberegnung	27
4.3.1	Überkronenberegnung.....	27
4.3.2	Sprinkler zur Frostberegnung	28
4.4	Maßnahmen zur Verdrängung/Reduktion eiskristallbildender Bakterien.....	29
4.5	Verwirbelung der Luftschichten durch Windräder und Helikopter	31
4.5.1	Windmaschine der Firma Rath	31
4.5.2	Mobile Windmaschine Tow and Blow.....	33
4.5.3	Heißluftgebläse FrostGuard/AgroFrost	35
4.5.4	Heißluftgebläse Frostbuster.....	36
4.5.5	Einsatz eines Helikopters.....	38
4.6	Rebschnittvarianten	39
4.7	Räucherungen im Wein- und Obstbau	42
5	Frostempfindlichkeit von Obstarten und Rebsorten.....	43
5.1	Frostempfindlichkeit nach den phänologischen Entwicklungsstadien	43
5.1.1	Versuche Marillen	43
5.1.2	Versuche Reben.....	45
5.2	Frostempfindlichkeit von Sorten.....	48
5.2.1	Spätfrosterhebung bei verschiedenen Marillensorten	48
6	Literaturverzeichnis.....	51

2 Zusammenfassung

Der Klimawandel führt zunehmend zu milderen Winter und wärmeren Frühjahren, In Wein- und Obstkulturen kommt es deshalb zu einer Verfrühung der Phänologie, nämlich einem früheren Austrieb und einer deutlich früheren Blüte. So erfolgt bei Reben der Austrieb durchschnittlich 5-8 Tage früher und die Blüte um 11-14 Tage früher als im langjährigen Mittel. In den Austriebs- bzw. Blütephasen sind die Kulturen sehr temperaturempfindlich. Allein im Jahr 2017 entstand im österreichischen Wein- und Obstbau ein Spätfrostschaden von 70 Mio. €. Frostbekämpfungsmaßnahmen wie Räucherung, Helikoptereinsatz, Paraffinkerzen u.a., wurden nicht nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen durchgeführt, weshalb trotz teurer und aufwendiger Bekämpfungsmaßnahmen große Schäden auftraten. Ein großes Problem waren die exakte Temperaturmessung und die regional stark von den Wetterprognosen abweichenden Temperaturen.

Nachdem die Klimavorhersagen eine starke Zunahme von Spätfrostschäden prognostizieren, befasste sich das Projekt FrostStrat mit

- der Abschätzung und Prognose des Spätfrosttrisikos durch Kombination von Großwetterdaten mit regionalen Wetterdaten, sowie
- Maßnahmen zur Reduzierung von Spätfrostschäden im Wein- und Obstbau: Existierende Methoden wurden auf ihre tatsächliche Wirksamkeit in den Anlagen evaluiert und zudem wurden Möglichkeiten zur Verbesserung bestehender Verfahren und Entwicklung neuer Strategien erhoben.

Rd. 350 Wettersensoren wurden in Weingärten und Obstanlagen installiert, um die topografisch unterschiedlichen kleinräumigen Wetterbedingungen, aber auch den Effekt von Spätfrostbekämpfungsmaßnahmen abzubilden. Ein neu entwickeltes Softwaretool übermittelte diese kleinregionalen Wetterdaten an den nationalen Wetterdienst (GeoSphere Austria, vormals Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik - ZAMG), der diese in ein Großwetterdatenmodell einspielte und Wetterprognosen erstellte. Diese Prognosen wurden für jeden der rd. 350 Wettersensoren grafisch und numerisch für die Anwendung auf mobilen Telefonen und Stand-PCs verfügbar gemacht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch die Berücksichtigung von kleinräumigen Messdaten eine Verbesserung im Hinblick auf die Genauigkeit von Prognosen erzielen lässt und insbesondere durch die Integration von längeren Messzeitreihen die Prognosegüte zunimmt. Zusätzlich wurden Handlungsempfehlungen verfügbar gemacht, die Wein- und Obstbauern eine Auswahl unterschiedlicher Spätfrostbekämpfungsmaßnahmen bieten. Prognoseergebnisse, die vorhersagen, wann ein mögliches Frostereignis eintritt und erlauben, den richtigen Zeitpunkt für Bekämpfungsmaßnahmen zu bestimmen, stellen eine wichtige Information dar. Sie sollten topografisch angepasst möglichst kleinregional Wein- und Obstbaubetrieben zur Verfügung gestellt werden. Die im Projekt FrostStrat entwickelte Prognosesoftware und Applikation wurde am Projektende der Landwirtschaftskammer Österreich Projektleitung Warndienst übergeben.

Betreffend Spätfrostgefährdung zeigte das Projekt, dass die Lagenauswahl, d.h. wo ein Weingarten oder eine Obstanlage ausgepflanzt und bewirtschaftet wird, eine entscheidende Rolle spielt und Spätfrostschäden in durchschnittlichen Jahren weitgehend vermieden werden können. Bei Obstarten, insbesondere bei Marillen ist neben der Art des Frostes, der Dauer und Tiefe der Frosttemperatur, dem phänologischen Stadium, der Blütenqualität (Pflege im Vorjahr!), bei Strahlungsfrost der Baumhöhe, auch eine genetische Widerstandsfähigkeit mitentscheidend für das Schadensausmaß. Die Blütenanzahl pro

Trieb variiert stark von Sorte zu Sorte (und auch aufgrund des Pflegezustandes), sodass überreich Blütenknospen ansetzende Sorten selbst bei Verlusten von über 50% der Blüten für Frischmarktqualitätsproduktion oft noch stark ausgedünnt werden müssen. Optimal wäre es, möglichst spätfrostwiderstandsfähige, fruchtbare, geschmacklich gute Sorten in späte, Richtung Norden und Osten geschützte Hanglagen im warmen Obstbauklima zu setzen. Für Marillen kann festgehalten werden, dass die Auswahl der unterschiedlichen Sorten eine entscheidende Rolle für die Blütenfrostempfindlichkeit spielt.

Bei Reben ist eine Möglichkeit der Frostschadensprävention eine Verzögerung des Austriebs. Im Rahmen des Projekts wurde eine ganze Reihe unterschiedlicher Substanzen erprobt. Allerdings konnte nur die Applikation von verschiedenen Ölen reproduzierbare Verzögerungen erbringen. Mittlerweile wurden die dazu nötigen Ölpräparate zumindest zeitweise (vorübergehend) zugelassen. Die durchschnittliche Verzögerungswirkung der Ölanwendungen von einer Woche kann sehr wohl entscheidend sein, ob ein Frostereignis Schaden anrichtet oder harmlos bleibt.

Das junge Blattgewebe der Rebe bietet genug Oberfläche, um mit Substanzen besprüht zu werden, die den Stoffwechsel verändern können und z.B. die Erhöhung bestimmter Ionen (z.B. K⁺-Ionen) oder die Erhöhung des Proteingehaltes bewirken. Durch mikrobielle Veränderung könnte die Eisnukleation verringert und so eine Schadensverringering erreicht werden. Von den in dieser Hinsicht eingesetzten Lösungen konnten folgende Substanzen eine verbesserte Frostwiderstandsfähigkeit erreichen: Harnstoff, Crop Aid, NaHCO₃, Syneco AF 5, Zn-Chelat, Super fifty. Das Ausmaß der Schutzwirkung war aber unterschiedlich und betrug nur einen schmalen Temperaturbereich von ca. 1°C.

Die Projektergebnisse zeigten, dass der Schutz der Reben vor Spätfrost durch Beheizung mittels Abbrennen von biogenen Brennstoffen wesentlich verbessert werden kann. Die bisher verwendeten fossilen Energieträger weisen eine hohe Energiedichte auf, sind aber kostspielig und in Zukunft wegen der CO₂ Freisetzung nicht mehr erwünscht.

Der Einsatz von Paraffinkerzen ist über Jahre erprobt und die Ausbringung bzw. das Entzünden sind in effizienten Arbeitsabläufen bereits organisiert. Im Gegensatz zu Brennöfen ist ein rasches Auslöschung möglich. Mit 300 bis 600 Kerzen pro ha und rd. 10 Stunden Brenndauer ist die Einsatzdauer begrenzt und kostenintensiv. Paraffinkerzen unter Hagelnetzen zeigten einen Zusatzeffekt von bis zu 1,5°C.

Öfen eignen sich sehr gut, wenn das Volumen an das eines Pellets-Sackes angepasst wird, ein seitlicher Griff zum Transport angebracht ist und ein beweglicher Hut vorhanden ist. Diese Abdeckung kann umgeklappt werden und so das nutzlose Entweichen der Hauptwärme verhindern. Die Umlenkung des Heißluftstromes bewirkt eine bessere Durchmischung der bodennahen Luft.

Eine mögliche Frostgegenmaßnahme durch Wärme ist der Einsatz eines Heißluftgebläses. Dabei handelt es sich um gezogene oder stationäre Geräte, die mittels Gasturbinen die erwärmte Luft in die Umgebung ausblasen. Als Energiequelle können Gas, Strom und feste Brennstoffe dienen. Für eine akute Spätfrostbekämpfung zeigten diese Geräte im hier beschriebenen Projekt nur eine kleinräumige Schlagkraft und Temperaturerhöhung.

Heizungsleitungen in den Weingärten verursachen hohe Anschaffungs- und Vorbereitungskosten. Allerdings sind diese durch den schnellen Einsatz und die fixe Installation bei wertvollen Lagenweinen gerechtfertigt. Außerdem gibt es keine regelmäßigen Wartungsarbeiten. Im Fall eines Spätfrostes bei gleichzeitig früher Rebenentwicklung kann die Maßnahme als sehr wirkungsvoll und eingestuft werden. Die Verfügbarkeit der Stromquelle und der hohe Energieaufwand sind bei einem Einsatz zu berücksichtigen.

Der Einsatz von (mobilen) Windmaschinen konnte in diesem Projekt bei Strahlungsfrösten (höhere Luftschichten sind wärmer als untere) als effizient und wirkungsvoll beurteilt werden. Bei Windfrösten sind Windmaschinen nicht geeignet. Als erfolgreich kann analog der Einsatz von Helikoptern beurteilt werden. Nachteilig ist der Einsatzzeitpunkt, welcher frühestens eine Stunde vor Sonnenaufgang erfolgen darf. Die Kosten sind – sofern alle Grundstückseigentümer sich beteiligen – bei einer einmaligen Anwendung moderat.

Bestimmte Schnittmethoden in den Weingärten entwickeln in der Regel mehr Triebe als herkömmliche Schnittverfahren. Bei Spätfrostereignissen mit Teilschädigung bleibt mit höherer Wahrscheinlichkeit eine ausreichende Anzahl übrig. Die Schnittverfahren Frostrute, Frostkopf und Minimalschnitt bewirken vor allem eine erhöhte Triebanzahl, meist wirken sich diese Verfahren aber nicht oder nur wenig verzögernd auf die Triebentwicklung aus. Je länger die Entwicklung schon fortgeschritten ist umso mehr Entwicklungsunterschied entsteht jedoch zwischen Minimalschnitt und anderen Schnittvarianten. Dagegen bringt der Doppelte Zapfenschnitt eine wesentliche Verzögerung der Entwicklung in der Phase der größten Spätfrostgefahr mit sich. Im Fall eines Spätfrostes stehen die Chancen gut, dass die sich (später) entwickelnden Knospen nicht geschädigt werden. Die Verzögerung in der Entwicklung reicht aber geringfügig bis zur Ernte und könnte auch als Reifeverzögerung betrieben werden. Der doppelte Zapfenschnitt eignet sich nicht gleichermaßen gut für alle Sorten, Voraussetzung ist eine ausreichende Fruchtbarkeit der basalen Knospen. Der doppelte Zapfenschnitt eignet sich daher unter den aktuellen Bedingungen besonders gut als Frostprävention ohne wesentliche sensorische Abstriche hinnehmen zu müssen.

Der Effekt des Räucherns beruht darauf, dass durch die „Vernebelung“ die Wärmeabstrahlung vom Boden geringfügig vermindert wird. Die dabei einhergehende Umwelt- und Anrainerbelastung zu der sehr geringen Wirkung muss kritisch hinterfragt werden.

Zahlreiche Datenerhebungen und Untersuchungen konnten im Projektzeitraum nicht vollständig ausgewertet werden, weshalb die Ausführungen als vorläufige Erkenntnisse betrachtet werden müssen.

3 Erfassung und Vorhersage von Wetterdaten

3.1 Welche Faktoren beeinflussen die Spätfrostgefährdung und welche Frostarten gibt es?

Im österreichischen Weinbau sind Spätfrost und seine Auswirkungen auf die Rebe ein immer wiederkehrendes Thema (Soja et al., 2010). Durch den Klimawandel verfrüht sich in vielen Jahren der Austrieb der Rebe und damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von Spätfrostschäden (Formeyer, 2013). Eine Möglichkeit Frostschutz im Weinbau zu bewirken, könnte über die Verzögerung des Austriebes stattfinden (Fornek et al., 2019). Die Empfindlichkeit gegenüber Frost steigt mit zunehmender Entwicklung der Knospe und des Triebes. Während geschlossene Knospen noch sehr robust sind und tiefe Minustemperaturen keinen Schaden anrichten, sinkt mit dem Knospenschwellen die Stabilität gegen Frost massiv ab (Petgen, 2016). Solange die Knospe noch mit Wolle bedeckt ist, reicht der Schutz bis zu ca. -4°C . Ab dem Erscheinen von Blattgrün fällt die Grenze auf ca. -2°C und ein ganz entwickelter Trieb mit abgespreizten Blättern verträgt maximal -1°C über längere Zeit. Faktoren wie Bodenverhältnisse, Rebsorte, Luftfeuchte usw. beeinflussen die Frostempfindlichkeit ebenfalls.

Spätfrostschäden treten auch im Obstbau wesentlich häufiger auf als früher. Durch die Klimaerwärmung besteht in Mitteleuropa ein Trend, dass der Vegetationsbeginn alle 5 Jahre um einen Tag früher erfolgt. Es werden also immer öfter Marillen bereits Anfang März oder Äpfel bereits Anfang April zu blühen beginnen. Da trotz Klimaerwärmung Kaltlufteinbrüche mit Frosttemperaturen bis Mitte Mai weiter zu erwarten sind, steigt das Risiko für Spätfrostschäden. So gab es auch in drei der letzten fünf Jahre, 2016, 2017 und 2020 starke fruchtertragsmindernde Spätfrostschäden in vielen Obstregionen Österreichs und Deutschlands.

In seltenen Fällen, zuletzt bei Apfel auf M9 und Marille in einigen österreichischen Anbaugebieten im Frühjahr 2018 passiert, kommt es auch bei winterharten Obstarten zur Schädigung der Rinde im Stamm- oder Wurzelhalsbereich, wenn auf ein frühes „in den Saft Gehen“ ein massiver Kaltlufteinbruch bzw. Temperaturwechsel folgt. Meist sind jedoch nur die Blütenknospen oder Einzelblüten, aber nicht die Holzknospen oder jungen Triebe und Blätter betroffen. In diesen Fällen sterben die Fruchtknoten ab und es gibt daher in diesem Jahr keinen Fruchtansatz. Bei Weintrauben, Kiwibeeren („Minikiwis“) und Walnuss werden die Pflanzen insgesamt geschwächt, da deren frostempfindliche Triebe absterben und die Pflanzen aus Beiknospen oder schlafenden Knospen neu austreiben müssen.

Welche Faktoren beeinflussen die Frostgefahr:

- Wahl der Lage
 - Die Lage der Obstanlage oder des Weingartens spielt eine besonders wichtige Rolle. Besonders bei Strahlungsfrösten treten in Mulden und Tälern Kaltluftseen auf. In Lagen, wo es zu intensiven Sonneneinstrahlungen kommt, erfolgt ein früherer Austrieb und somit steigt auch die Spätfrostgefahr.
- Frostarten
 - **Strahlungsfrost** entsteht durch den Wärmeverlust der Erdoberfläche infolge großer Ausstrahlung bei trockener, ruhiger Luft und klarem Himmel. Beim Strahlungsfrost sammelt sich die kalte Luft in Mulden und Tälern, weshalb diese Lagen frostgefährdeter als Hügellagen sind. Am Talboden bilden sich im Falle von Strahlungsfrösten Kaltluftseen, die die Abkühlung fördern. Neben Talböden tritt

stärkere Abkühlung auch in Mulden, neben Bahn- oder Straßendämmen und in der Nähe von Hecken oder Waldstreifen auf. Aber auch in den Ebenen sammelt sich die Kaltluft in Bodennähe.

- **Advektivfrost** ist die Abkühlung durch herangeführte kalte Luftmassen. Häufig verschärft sich aber der Advektivfrost durch zusätzliche Ausstrahlung.
- **Verdunstungsfrost** entsteht, wenn der Kondensationspunkt unterschritten wird und sich ein Tau auf der Pflanze ablagert, der bei weiterem Absinken der Temperatur auf der Pflanze friert (Eiskristalle bildet). Wenn bei feuchten Luftmassen, klarem Himmel und Windstille eine Eisbildung an der Pflanze entsteht, spricht man von „Weißem Frost“, landläufig als Reif bezeichnet. Hingegen tritt bei trockener Luft zumeist bei Bewölkung, Halbbewölkung oder Turbulenzen in den unteren Schichten der Atmosphäre Frost an den Pflanzen auf, der zur Zellzerstörung und in der Folge zur Schwarzfärbung von Pflanzen führt („Schwarzer Frost“).
- Dauer und Tiefe der Temperatur unter 0°C
Die Dauer und die Tiefe der Temperatur unter 0°C ist wesentlich, da bei Frosttemperatur letztlich das Wasser intra- und interzellulär friert und durch die Volumenzunahme Zell- und Gewebeschäden verursacht. Dabei führt ein kurzfristiges, starkes Absinken der Temperatur deutlich unter 0°C, meist knapp vor Sonnenaufgang bei Strahlungsfrost zu beobachten, oft zu geringeren Schäden als ein dauerhaftes Absinken auf geringere Frosttemperaturen. Klassische Spätfrostbekämpfungsmaßnahmen versuchen die Temperaturen Richtung 0°C zu heben. Ohne Einflussnahme am natürlichen Standort variiert die Dauer und Tiefe der Frosttemperatur je nach Jahreswitterung und Lage stark.
- Das phänologische Stadium der generativen Organe (siehe Abschnitt Frostempfindlichkeit von Obstarten und Rebsorten)
- Sortenspezifische Fruchtbarkeit und Befruchtungsverhältnisse im Obstbau
Innerhalb einer Obstart bestehen extreme Unterschiede zwischen Sorten hinsichtlich der durchschnittlichen Blütenanzahl pro Fruchtrieb, der optimalen durchschnittlichen Fruchttrieblänge, der Alternanzempfindlichkeit, der Befruchtungsverhältnisse, dem Fruchtansatzverhalten und der Fruchtfallneigung. Spätfrostrobuste, alternanzunempfindliche Massenträgersorten sind, sofern ihre innere Fruchtqualität Mindestkriterien erfüllt, im Hinblick auf Frostschäden gesehen zu bevorzugen.
- Blütenqualität und Pflanzenvitalität
Gut gepflegte Obstbäume im physiologischen Gleichgewicht entwickeln mehr Blütenknospen, mehr qualitativ wertvolle Blütenknospen und weisen eine bessere Verteilung auf unterschiedliche Fruchttrieblängen sowie einen besseren Fruchtansatz auf.
- Die Baumhöhe
Nach Strahlungsfrösten weisen großkronige Bäume aufgrund der Temperaturschichtung im unteren Bereich keine intakten Blüten mehr auf, während ab zwei bis drei Meter Kronenhöhe für einen guten Ertrag ausreichend viele gesunde Blüten oder junge Früchte zu finden sind. Dieser Vorteil ist für Liebhaber- oder Verarbeitung Obstbau, speziell, wenn maschinelle Ernte oder Rüttelernte möglich ist, nutzbar. Für frischmarktorientierten Obstbau macht es wenig Sinn, großkronige Bäume zu erziehen, um das Spätfrostisiko zu senken, da die für hohe Fruchtqualität erforderlichen Pflegemaßnahmen nicht mehr durchgeführt werden können oder der Aufwand zu hoch wird und dieser in keiner sinnvollen Relation zum Nutzen mehr steht.

3.2 Prognosemodell für das kleinregionale Spätfrostisiko

Spätfrostschäden können je nach Obstart, phänologischem Stadium, Dauer u.a. zwischen -4 und 0 °C auftreten. Abhängig von der topografischen Ausrichtung und der Art des Frostes kann es auf einer Teilfläche zu einer Beeinträchtigung kommen, z.B. in Mulden und Tälern, oder auch nicht. Für eine Frostprognose sind daher exakte Wetterdatenmessungen erforderlich. Je nach Region deckt derzeit eine öffentlich zugängliche Wetterstation 200 ha und mehr ab, sodass diese Daten nicht den erforderlichen Ansprüchen für Frostwetterdaten entsprechen. Produzenten mit hochpreisigen Ernteprodukten (z.B. Lagenweine, Marillen, Kirschen, ...) versuchen, die Anlagen zu schützen und investieren deshalb auch in Wetterstationen, die kleinregionaler Daten liefern.

Um Spätfrostschutzmaßnahmen treffen zu können, sind je nach Art der Maßnahme unterschiedlich lange Vorbereitungen zu treffen, daher müssen Prognosen früh genug erstellt werden. Außerdem ist es aus wirtschaftlicher Sicht ein Muss, die aufwendigen, kostspieligen und ressourcenbeanspruchenden Bekämpfungsmaßnahmen nur so lange aufrecht zu erhalten, als dies unbedingt erforderlich ist. Um diese Ziele zu erreichen, fehlen aber bisher weitgehend die notwendigen kleinregionalen Prognosen. Das Projekt FrostStrat hat sich mit dieser Problemstellung auseinandergesetzt und eine Prognosesoftware und Applikation entwickelt.

3.2.1 Sensorqualität, Datenumfang und Datenverfügbarkeit

Die Genauigkeit der Wetterdaten hängt von der Sensorqualität aber auch vom Schutz gegen die Sonneneinstrahlung durch ein „gut belüftetes“ Gehäuse ab. Während manche Hersteller auch die Feuchttemperatur gesondert messen, errechnen andere diese aus den Messergebnissen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Ein Diskussionspunkt ist, ob die Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausreichen, oder auch die Feuchttemperatur benötigt wird. Hintergrund dafür ist, dass beim Einschalten einer Berechnungsanlage die auftretende Verdampfungsenthalpie (= aufgenommene oder abgegebene Wärmemenge) ein Unterkühlen des Pflanzgewebes bis zum Freiwerden der Erstarrungswärme vermieden wird.

Das System der Wetterstationen muss überdies laufend eine Übertragung der Wetterdaten garantieren, damit der Witterungsverlauf kontrolliert werden kann. Ein Problem stellt die flächendeckende Datenübertragung dar, die z.B. im Projekt FrostStrat bei der Technologie LoRa erst durch zusätzliche Gateways ermöglicht wurde. Hingegen funktionierte die LTE-M (Cat.M)-Technologie einwandfrei. Datenlücken und Messfehler können nicht akzeptiert werden, weil sie zu unrichtige Informationen über die Frostsituation führen können. Die Vor- und Nachteile der im Projekt verwendeten Übertragungstechnologien und die Beobachtungen im FrostStrat-Projekt sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Tabellarische Auflistung der Vor- und Nachteile ausgewählter Übertragungstechnologien und FrostStrat Beobachtungen

Technologie	Swisscom Vorteile	FrostStrat Beobachtung
LoRa	<ol style="list-style-type: none">1. Lange Batterielebensdauer bei minimalem Unterhaltungsaufwand2. Schmale Bandbreite und somit hohe Reichweite sowie energieeffiziente Übertragung	<ol style="list-style-type: none">1. Kann eingeschränkt bestätigt werden, da im zweiten Jahr alle Laird Batterien getauscht werden mussten2. Bestätigt3. Kann nicht bestätigt werden, da im großflächigen

Technologie	Swisscom Vorteile	FrostStrat Beobachtung
	<ul style="list-style-type: none"> 3. Hohe Skalierbarkeit, geringe Netzwerkkosten, Effizienz im lokalen Ausbau 4. Für kleine Datenmengen geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> Versuchsaufbau Nö/BG/Stmk die Skalierbarkeit nicht gegeben war 4. Bestätigt für kleine Datenmengen geeignet
NB-IoT	<ul style="list-style-type: none"> 1. Energieeffiziente Übertragung bei geringen Netzwerkkosten 2. Hohe Verfügbarkeit, Sicherheit und zuverlässige Datenübermittlung bei empfangstechnisch schwierigen Lokalisationen wie Keller, abgelegene Gebiete oder für Anwendungen unter der Erde 3. Gut geeignet für die stationäre Anwendung ohne Stromversorgung <p style="text-align: center;">Für große Datenmengen² Massen geeignet</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Bestätigt 2. Bestätigt 3. Bestätigt 4. Nicht beobachtet
LTE-M (Cat.M1)	<ul style="list-style-type: none"> 1. Für qualitätssensitive Anwendungen geeignet 2. Geringer Energieverbrauch und Unterhaltsaufwand 3. Lange Stromnetzautonomie sowie eine hohe Reichweite und Sicherheit 4. Höherer Datendurchsatz (im Vergleich zu NB-IoT), welcher unter anderem auch Software Updates unterstützt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Bestätigt 2. 4 D Batterien mussten bereits vor einem Jahr bei ganzjährigem Betrieb getauscht werden, ansonsten bestätigt 3. Bestätigt 4. Bestätigt

Im Projekt wurde beobachtet, dass die übliche 10-minütige Wetterdatenermittlung (arithmetisches Mittel aus Messwerten über 10 Minuten) zu einer Verflachung der Wetterdaten führt. Beruht eine Frostprognose auf derartigen Daten, wird eine schwächere Frostentwicklung prognostiziert als wenn die Prognose auf in kürzerem Abstand gemessenen Rohdaten beruht.

Bei klimatischen Untersuchungen werden häufig Wetterdaten standardisiert auf 2m Höhe gemessen, um eine gewisse Homogenität zwischen den Messstationen zu erreichen. Diese Montagehöhe der Stationen entspricht aber z.B. im Weinbau nicht der Höhe, die für einen allfälligen Frostschaden relevant ist, da die Austriebe der Reben auf rd. 80 cm erfolgen. Aus diesem Grunde wurden im Projekt FrostStrat unterschiedliche Montagehöhen für die Sensoren gewählt und festgestellt, dass zwischen 80 cm und 200 cm ein Temperaturunterschied bis zu 1,5 °C auftreten kann.

Eine zentrale Fragestellung zur Messung der Temperaturen in Weingärten und Obstanlagen ist, wie viele Sensoren bei topografischen Unterschieden notwendig sind. Dafür wurden in Niederösterreich,

Burgenland und Steiermark in bekannten frostgefährdeten Weingärten und Obstanlagen rd. 300 Sensoren aufgestellt und Werte gemessen. In einer ersten Datenanalyse wurden für Standorte mit mindestens drei Sensoren pro Flächeneinheit Analysen vorgenommen. Kürzere Messintervalle unter 5 Minuten wurden zu Durchschnittswerten zusammengefasst und topografische Merkmale (Seehöhe, Abstand der Sensoren zueinander, Kategorisierung von Ebene oder Hügellage der Sensorenstandorte) in die Auswertung einbezogen.

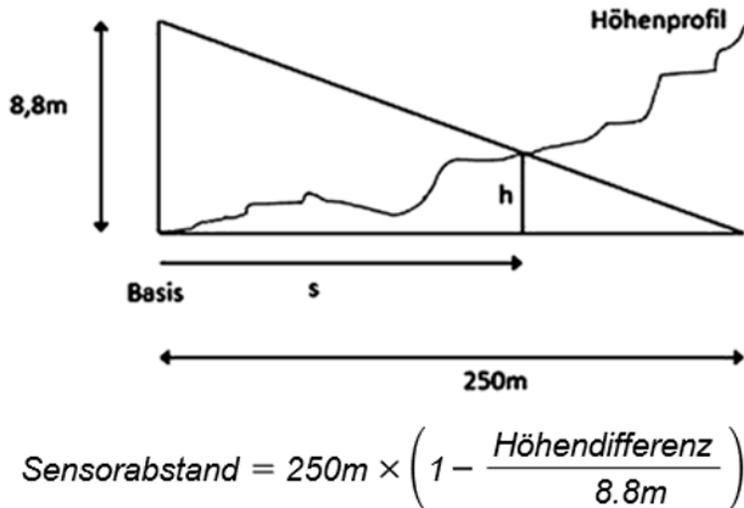


Abbildung 1: „Daumenregel“ zur Berechnung der Anzahl an Sensoren

Unter Zugrundelegung der getroffenen Annahmen kann als „Daumenregel“ zur Berechnung der Anzahl an notwendiger Sensoren für eine Erfassung von Temperaturunterschieden von 0,2°C angenommen werden, dass der Abstand zwischen den Sensoren maximal 250 m betragen darf. Übersteigt die Höhendifferenz 8,8 m bei einem Abstand von 250 m, vermindert sich der Abstand zwischen den Sensoren verhältnismäßig, wie in der Formel in Abbildung 1 dargestellt.

Für Aussagen in der Praxis sind noch weitere Datenanalysen erforderlich, die zusätzliche Kriterien und Zeiträume einbeziehen sollten.

3.2.2 Prognosemodell

Für Obst- und Weinbaubetriebe ist eine anwenderorientierte Informationsmöglichkeit über die vorhandene und sich entwickelnde Frostwetterlage unabdingbar. Im Projekt wurden kleinregionale Wetterdaten erhoben, mit Wettermodelldaten der GeoSphere Austria (ZAMG) kombiniert und so eine auf die lokalen Verhältnisse optimierte Prognose bereitgestellt. Die Informationen waren für die Nutzinnen und Nutzer über eine APP abrufbar. Basierend auf individuellen Nutzereinstellungen erfolgten Alarmierungsmeldungen über SMS, Email und Browser.

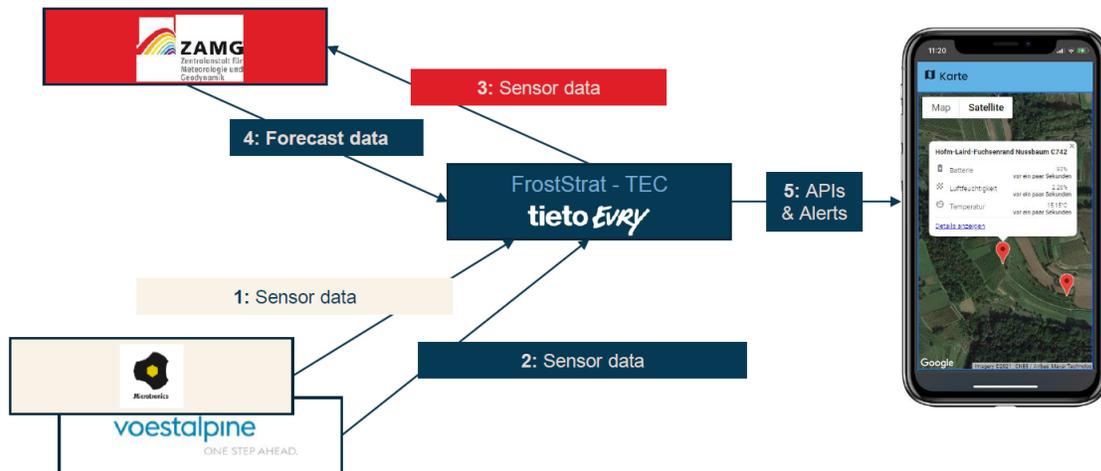


Abbildung 2: Schematischer Datenfluss vom Sensor bis zum Endbenutzer

Jede Wetterstation konnte übersichtlich lokal gefunden (siehe Abbildung 2) und einzeln oder zusammen mit allen oder anderen ausgewählten abgerufen werden. Pro Station wurde ein sogenannter Map-Marker auf der Karte angezeigt. Klickte ein Benutzer auf den Maß-Marker, öffnete sich ein Informationsfenster, das die zuletzt von der Station übermittelten Messwerte anzeigte. Abbildung 3 zeigt die Prognose für eine Wetterstation, dargestellt sind der höchste (obere gelbe Linie), der wahrscheinlichste (orange Linie) und der niedrigste prognostizierte Wert (untere gelbe Linie).

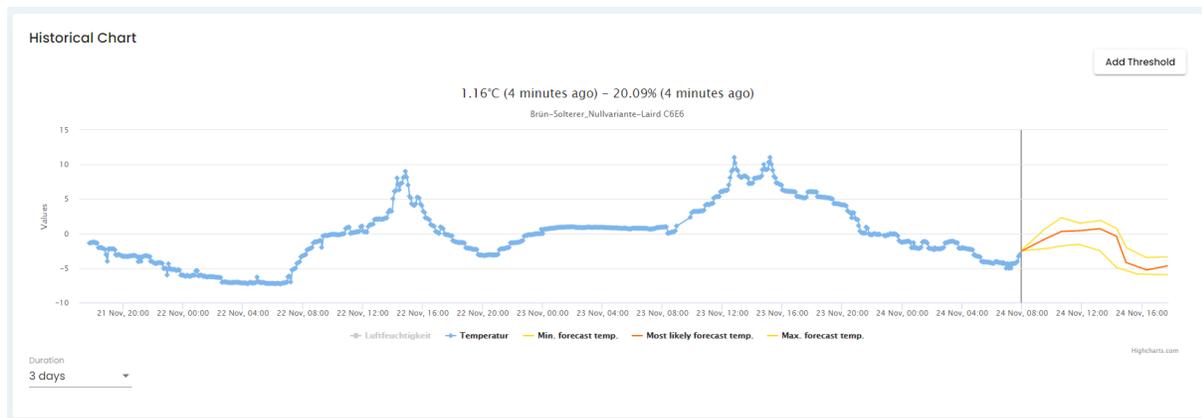


Abbildung 3: Temperaturprognosen

Ein statistisch optimiertes Prognosemodell der GeoSphere Austria (ZAMG) unter Einbindung von Echtzeitdaten wurde im Frühjahr 2021 über eine API-Schnittstelle den Projektteilnehmer:innen zur Verfügung gestellt. Dabei wurden im Stundentakt die neuesten Prognosen für die nächsten 48 Stunden für die Parameter Temperatur, relative Feuchte, Taupunkt, Wind, Globalstrahlung und Niederschlag übermittelt. Bereits mit der Implementierung der - an der GeoSphere Austria entwickelten - sogenannten Meta-Prognose wurde in der ersten Saison eine deutliche Verbesserung der Prognosequalität gegenüber der üblichen Referenz, dem Nowcasting-Modell INCA, erreicht. Um eine weitere Verbesserung zu erzielen wurde in der Frostsaison 2022 für ausgewählte Stationen ein weiteres Prognosemodell (EMOS) eingerichtet.

Ein Report in der Plattform zur Datenvisualisierung Grafana (www.grafana.com) aus dem Jahr 2021 vergleicht die Prognose um 18 Uhr eines vergangenen Tages mit den danach tatsächlich eingetretenen Messdaten (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Prognoseabweichung eines Sensors

Die grüne Linie zeigt die prognostizierte Temperaturentwicklung, wohingegen die gelbe Linie die tatsächlichen Messwerte zeigt.

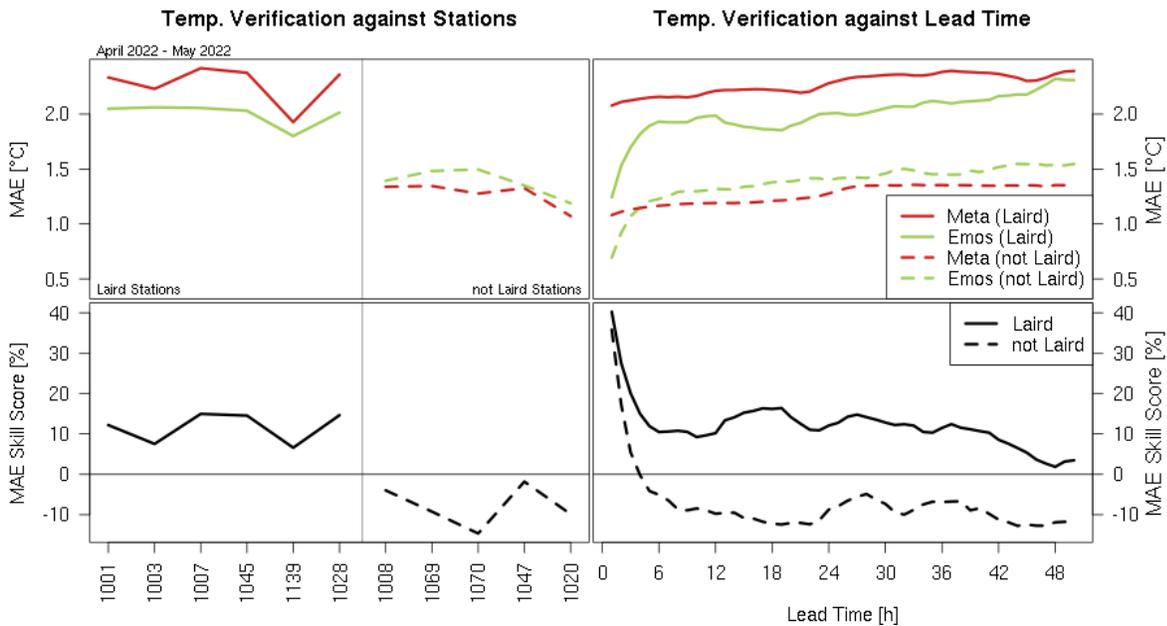


Abbildung 5: Temperatur-Verifikation, EMOS-Meta für gesamten April und Mai 2022

Abbildung 5 zeigt die Verifikation der Temperatur-Vorhersage für den gesamten Zeitraum von Anfang April bis Ende Mai 2022. Auf der linken oberen Seite der Grafik ist der MAE (=mittlerer absoluter Fehler der Prognose vom tatsächlich eingetretenen Temperaturwert in °C) pro Station aufgedröselt. Die Auswertungen zeigen einen klaren Unterschied hinsichtlich der Sensortypen der jeweiligen Station (Laird-Sensoren zeigen die minutengenauen Rohdaten bzw. Nicht-Laird-Sensoren zeigen das arithmetische Mittel der Werte innerhalb von 10 Minuten). Die rechte obere Ecke der Grafik zeigt den MAE pro Vorhersagezeitpunkt: Vor allem in den ersten fünf Stunden hat die EMOS-Prognose bei allen Stationsarten

die Nase vorne (eine deutlich geringere mittlere Abweichung), was darauf schließen lässt, dass die Messdaten vor allem in den Anfangsstunden gut gewichtet sind - besser als bei der Meta-Prognose. Der gleiche Effekt lässt sich auch bei der relativen Feuchte beobachten (Daten nicht gezeigt).

Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch die laufende Berücksichtigung von aktuellen Messdaten eine wesentliche Verbesserung der Prognosegüte erzielen lässt und sich zusätzlich insbesondere durch die Integration von längeren Messzeitreihen die Prognosegüte zunimmt. Die Teststellung „EMOS Prognosen“ hat ihr Potential gezeigt, wenngleich durchaus noch Raum für Verbesserungen gegeben ist.

Des Weiteren zeigte sich, dass nicht nur betreffend das Prognosemodell, sondern auch im Hinblick auf die Messkonfiguration noch Raum für Optimierung gegeben ist. Folgende Aspekte sind aus meteorologischer Sicht suboptimal:

- Verwendung unterschiedlicher Sensoren
- Keine einheitlich abgestimmten Sensorhöhen, an den Standorten unterschiedlich
- Unregelmäßige Messintervalle
- Ausfälle von mehreren Stunden
- Deutliche Messfehler der Sensoren hinsichtlich Lufttemperatur, stark schwankende Messergebnisse innerhalb kürzester Zeit

Weiters ist anzumerken, dass im Falle von Beheizung einer Anlage verfälschte Daten an das System geliefert werden, wenn die Temperatursensoren nicht räumlich getrennt installiert sind. In solchen Fällen von nicht unabhängigen Sensorinstallationen muss man sich bewusst sein, dass man das Modell eine falsche/nicht natürliche Temperaturentwicklung lehrt. Lösungsansätze für diese Problematik wären beispielsweise eine Art „Qualitätsflag“ (=Qualitätskennzeichen), ob die Messdaten zum jeweiligen Zeitpunkt „verwendbar/nicht verfälscht“ sind oder aber pro Anlage einen durchwegs unabhängigen Sensor zu installieren, wie dies bei Versuchsstätten umgesetzt wurde (Hinweise: „Nullvariante“).

Um für einen Standort eine hohe Prognosequalität und davon abgeleitet eine qualifizierte Fachberatung für einen Betrieb sicherzustellen, sind ein hoher Arbeitsaufwand für die Selektion und Homogenisierung der Daten und umfangreiche Fachkenntnisse notwendig. Eine sehr wichtige Hilfestellung ist die Verfügbarkeit von Metadaten in der Modellierung. Das sind Daten über Standorteigenschaften (Bewuchs, Beschattung, Bodeneigenschaften, Nähe zu Gebäuden), Sensoreigenschaften (Messintervall, Belüftung, Gehäusefarbe, Gehäuseart, Montagehöhe), Topographie (Hang-, Tal-, Kuppenlage) und weitere Zusatzinformationen (z.B. Automatisierte Qualitätskontrolle). Diese Metadaten sollten für jede Station direkt im Datenportal oder in der API (Application Programming Interface – Softwareanwendung mit einer bestimmten Funktion) zur Verfügung stehen, da sie für die Analyse einen großen Mehrwert bringen. Zudem hat sich gezeigt, dass Zeitreihen von mehr als einem Jahr hilfreich sind, um die Genauigkeit der Prognosen zu verbessern. Ein weiterer wichtiger Punkt neben dem Vertrauen in die Technik ist das Vertrauen an den Anwender und die Anwenderin. So sind die richtige Wahl des Standortes, sowie eine regelmäßige Wartung und Funktionskontrolle von großer Relevanz.

Die Prognosesoftware und Applikation wurde am Projektende der Landwirtschaftskammer Österreich Projektleitung Warndienst übergeben.

4 Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Frostschutzmaßnahmen

4.1 Maßnahmen zur Austriebsverzögerung im Weinbau

Solange die Knospe noch mit Wolle bedeckt ist, kann sie Temperaturen von bis zu ca. -4°C ohne Schäden überstehen. Ab dem Erscheinen von Blattgrün fällt die Grenze auf ca. -2°C und ein ganz entwickelter Trieb mit abgespreizten Blättern verträgt maximal -1°C über längere Zeit. Zusätzlich können Faktoren wie Bodenverhältnisse, Rebsorte, Luftfeuchte usw. die Frostempfindlichkeit beeinflussen. Maßnahmen zur Austriebsverzögerung können die Schädigung der Reben verringern oder sogar vermeiden. Der Erfolg dieser Maßnahmen hängt vor allem davon ab, wann in der Vegetationsentwicklung der Frost zuschlägt und wie tief die Temperaturen absacken und andauern. Nachteilig an allen Maßnahmen zur Austriebsverzögerung ist, dass sie als Prophylaxe gesetzt werden müssen und der Aufwand (zweimalige Applikation) dafür schon entsteht, ohne zu wissen ob er tatsächlich nötig wäre. Dennoch sind die Maßnahmen günstiger als thermische oder technische Verfahren.

Testung unterschiedlicher Substanzen in Feldversuchen

In Anlagen im Weinviertel (Standort Langenzersdorf) wurden an den Rebsorten Grüner Veltliner, Weißburgunder und Gelber Muskateller folgende Substanzen zur Austriebsverzögerung eingesetzt:

- *Abscisinsäure (ABA)* von zwei Herstellern (Protone- Valent Biosciences, USA, und IRIS-Biotech Deutschland)
- *Gibberelline (GA)Gibb 3* von der Fa. Globachem (Globachem, Niederlande)
- *Cerone* von der Firma Bayer Austria GmbH Wirkstoff Ethephon
- *Alar* als geschützte Marke Alar® 85 SG Pfl.von der Firma Kwizda Wirkstoff Trinexapac-ethyl
- Öl *Micula* (Biohelp, AT)
- Öl *Promanal HP* (Biohelp, AT)
- *Syneco AF5* (Fa. Syneco, Mailand-IT) Inhaltstoffe Kalium und Monopropylenglykol
- *Genol Antifreeze* Wirkstoff Polyethylenglykol
- *Regalis Plus* (BASF, DE) Wirkstoff Prohexadion-Calcium
- *Weißanstrich* (Substral-Naturen, Baumanstrich) auf Kalkbasis

Im Jahr 2020 wurden folgende Substanzen auf ihre Wirkung als den Austrieb verzögernde Mittel 2x appliziert: Abscisinsäure ABA (zwei verschiedene Produkte), Gibberellin GA3, Promanal-Öl, Alar, Cerone. Dabei wurden die Substanzen einmal als Lösung mit einer Handspritze und einmal als pastöse Substanz mittels Pinsel ausgestrichen. Die Applikationen im Versuchsjahr 2020 ergaben keine signifikante verzögernde Austriebsentwicklung bei Verwendung von Abscisinsäure ABA, Gibberellin GA3, Alar und Cerone. Die Applikation von Promanal zeigte eine Entwicklungsverzögerung von ca. 1 Woche.

2021 wurden folgende Substanzen auf ihre Wirkung als den Austrieb verzögernde Mittel 2x appliziert: Gibberellin GA3, Promanal-Öl, Alar, Cerone, Regalis. Dabei wurde die Substanz einmal als Lösung mit einer Handspritze und einmal als pastöse Substanz ausgestrichen. Zusätzlich zu den Applikationen wurden zwei Varianten mit Weißanstrich erprobt. Dabei wurde der Stamm mit einer weißen pflanzenverträglichen Kalkfarbe angefärbelt und in der zweiten Variante wurde auch eine weiße reflektierende Folie ausgebracht. Die Applikationen im Versuchsjahr 2021 ergaben keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung nach Applikation von Gibberellin GA3, Alar, Cerone und Regalis. Die Applikation von Promanal zeigte eine Entwicklungsverzögerung von ca. 1 Woche. Die gestrichene Variante von Cerone zeigte ebenfalls eine signifikante Verzögerung. Die Verwendung der weißen Folie und Weißanstrich beschleunigte die Entwicklung anstatt sie zu bremsen.

Im Versuchsjahr 2022 wurden folgende Substanzen auf ihre Wirkung als den Austrieb verzögernde Mittel 2x appliziert: Gibberellin GA3, Micula-Öl, Syneco AF5, Alar, Cerone, Frostschutzmittel Genol. Dabei wurde die Substanz einmal als Lösung mit einer Handspritze und einmal als pastöse Substanz ausgestrichen. Zusätzlich zu den Applikationen wurden zwei Varianten mit Weißanstrich erprobt. Dabei wurde der Stamm mit einer weißen pflanzenverträglichen Kalkfarbe angefärbelt und in der zweiten Variante wurde auch eine weiße reflektierende Folie ausgebracht. Als neuer Ansatz wurde eine Kaltwasser Applikation aufgenommen. Dabei wurden die Rebstöcke 3x mit Kaltwasser (6°C) gegossen. Die Applikationen im Versuchsjahr 2022 ergaben keine signifikante verzögernde Austriebsentwicklung bei Verwendung von Gibberellin GA3, Syneco AF5, Frostschutzmittel Genol, Alar und Cerone. Der zuvor beobachtete Verzögerungseffekt bei der Anwendung von Cerone gestrichen wurde nicht wieder beobachtet. Die Applikation von Micula zeigte eine Entwicklungsverzögerung von weniger als 1 Woche. Die Behandlung mit Weißanstrich und Folie ergab eine Entwicklungsbeschleunigung. Die Kaltwasserapplikation blieb im Beobachtungszeitraum zuerst zeitgleich mit den Kontrollen, aber mit zunehmender Triebentwicklung beschleunigte sich das Triebwachstum. Vermutlich war dies auch ein Effekt durch die bessere Wasserversorgung bei sonst eher trockenen Bedingungen.

Trotz Erprobung zahlreicher Substanzen in verschiedenen Konzentrationen, die für eine Austriebsverzögerung in Frage kommen, konnten zufriedenstellende Verzögerungseffekte nur mit Öl Derivaten erreicht werden.

Versuche mit Öl unter kontrollierten und semi-kontrollierten Bedingungen

Die vom IWOB-BOKU durchgeführten Aktivitäten stehen im Zusammenhang mit der Verwendung von Pflanzenöl (Micula-Öl (Biohelp) in einer Konzentration von 10 % in Wasser) zur Verzögerung des Knospenbruchs bei Weinreben. Im Einzelnen wurde die Studie unter kontrollierten und semi-kontrollierten Bedingungen (Gewächshaus) an Grünem Veltliner und Zweigelt durchgeführt. Der Versuch bestand in der Anwendung des Öls zu verschiedenen Zeitpunkten (d.h. 30, 15 und 0 Tage) vor und 7 Tage nachdem die Pflanzen im Gewächshaus positioniert wurden (und somit die Bedingungen für den Knospenaufbruch erfüllt waren). Die Ergebnisse zeigen, dass keine negativen Auswirkungen (z. B. Phytotoxizität, Knospennekrose) zu beobachten sind, solange das Öl vor dem Knospenbruch angewendet wird. Darüber hinaus scheint das Ausmaß der Verzögerung des Knospenaufbruchs mit den Temperaturen (je wärmer, desto schneller erfolgt der Knospenaufbruch, was wiederum die Wirkung der Ölbehandlung verringert) und dem Genotyp (in unserem Fall führte Behandlung an Zweigelt zu einer größeren Verzögerung des Knospenaufbruchs im Vergleich zu Grüner Veltliner) zusammenzuhängen.

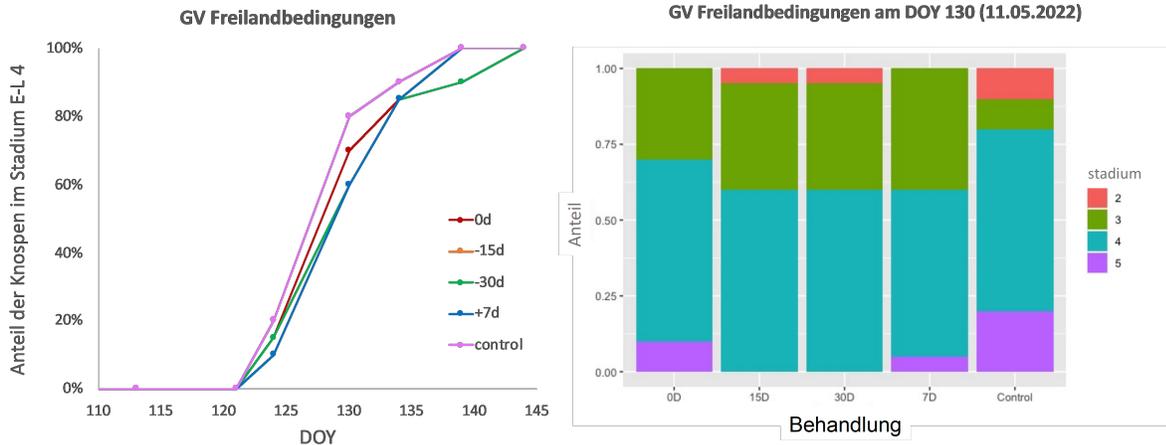


Abbildung 6: Entwicklung der Knospen des Grüner Veltliner (GV) in der Freilandbedingungen. a) Anteil der Knospen, die das EL-Stadium 4 (Knospenbruch, grüne Spitzen sichtbar) an den verschiedenen Beobachtungstagen erreicht haben. Die Zeit wird als Tag des Jahres (DOY "Day of the year") angegeben. b) Der Anteil der Knospen in verschiedenen EL-Stadien, wie sie am DOY 130 in den verschiedenen Behandlungen beobachtet wurden.

Praxisversuche mit Öl

Als Ziel den Austrieb zu verzögern wurde in einem über zwei Hektar großen Grüner Veltliner Weingarten in Langenlois Öl mit einer Lipco Recycling-Tunnelspritze, welche auch für den klassischen Pflanzenschutz eingesetzt wird, appliziert. Als eingesetztes Mittel wurde das „Schädlingsfrei Obst und Gemüse Konzentrat“ verwendet. Bei der Zulassung von „Schädlingsfrei Obst und Gemüse Konzentrat“ sind 20 Liter Mittel pro Hektar auf 200 Liter Wasseraufwandmenge pro Hektar vorgegeben. Damit wird auch die empfohlene Konzentration von 10% erreicht. Um die Benetzung aufgrund der fehlenden Blattmasse zu optimieren, wurde die Fahrgeschwindigkeit auf 3,5 km/h halbiert.

Als besonders schwierig gilt bei Ölanwendung nicht nur die Auswahl des Zeitpunkts der Ausbringung, sondern auch die Auswahl der Konzentration. Durch die randomisierte Versuchsaufstellung konnten fünf Varianten mit jeweils vier Wiederholungen angewendet werden, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Die anschließende Bonitur der Reben am 28.4. wurde im BBCH Schema durchgeführt. Mit ansteigender Ölkonzentration verlangsamte sich der Austrieb.

Tabelle 2: Randomisierter Versuchsaufbau

Variante 1)	Nullvariante
Variante 2)	10 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat / 10 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat
Variante 3)	10 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat / 15 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat
Variante 4)	15 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat / 10 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat
Variante 5)	15 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat / 15 % Schädlingfrei O.&G. Konzentrat

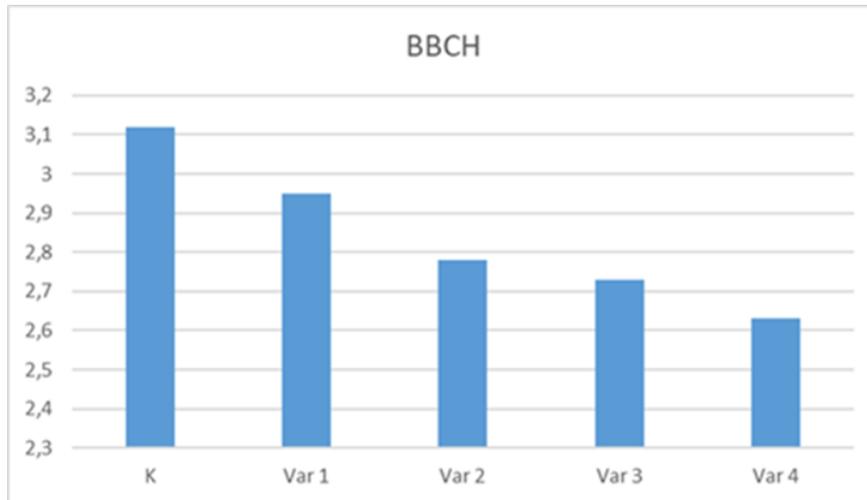
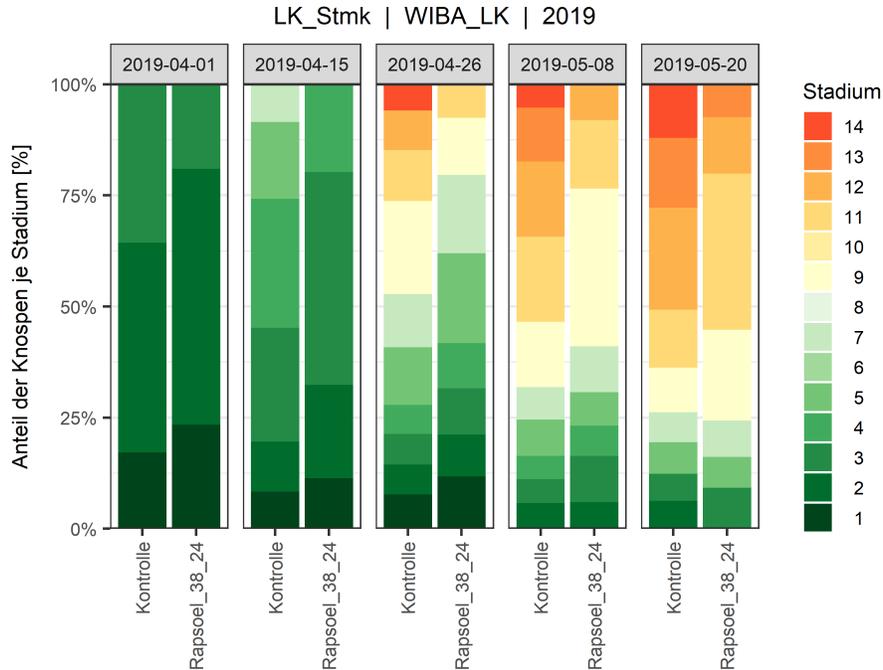


Abbildung 7: Auswertung der Bonitur der BBCH Stadien vom 28.04.2021

Exakt- und Praxisversuche im Freiland mit unterschiedlichen Behandlungsvarianten in der Steiermark

In den Jahren 2018 bis 2022 wurden an neun Standorten mit sieben Rebsorten in der Steiermark Austriebsverzögerungsversuche durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Behandlungsvarianten erprobt: ein-, zwei- und dreimalige Ölbehandlungen, unterschiedliche Behandlungszeitpunkte, Varianten mit höherer Konzentration sowie Varianten mit anderen Substanzen (ABA, Kalk).

Die Versuche zeigen eine hohe Schwankungsbreite hinsichtlich der erreichten Austriebsverzögerung abhängig von Jahr, Sorte und Variante. Der Effekt bewegte sich von keiner Verzögerung bis maximal 11 Tage Verzögerung bezogen auf das durchschnittliche Vegetationsstadium. In einigen Jahren wurden signifikante Effekte der Ölbehandlung beobachtet, während in anderen Jahren keine Wirkung festgestellt wurde. Allerdings ist der Mittelwert als einziges Beurteilungskriterium bedingt aussagekräftig – entscheidend für das Ausmaß der Frostschäden ist, wie groß der Anteil der Knospen in einem mehr oder weniger empfindlichen Stadium ist. In dieser Hinsicht zeigten sich teilweise deutliche Unterschiede, die im Falle eines Frostereignisses eine relevante Auswirkung auf das Schadensausmaß hätten (vgl. Abbildung 8).



Grafik: JOANNEUM RESEARCH

Abbildung 8: Anteile der Knospen je Stadium zu fünf Zeitpunkten, Sorte: Blauer Wildbacher, Jahr 2019. Daten: Landwirtschaftskammer Steiermark

Im Jahr 2022 wurden die stärksten Verzögerungseffekte festgestellt, beispielhaft für Blauer Wildbacher dargestellt in Abbildung 9. Die Abstufung zwischen den unterschiedlichen Ölvarianten ist dabei klar zu sehen – die einmalige, frühe Behandlung wirkte sich am wenigsten aus. Der Vergleich der beiden zweimaligen Behandlungen zeigt, dass die späteren Behandlungen (29 und 17 Tage) stärker verzögerten als die früheren Behandlungen (38 und 24 Tage).

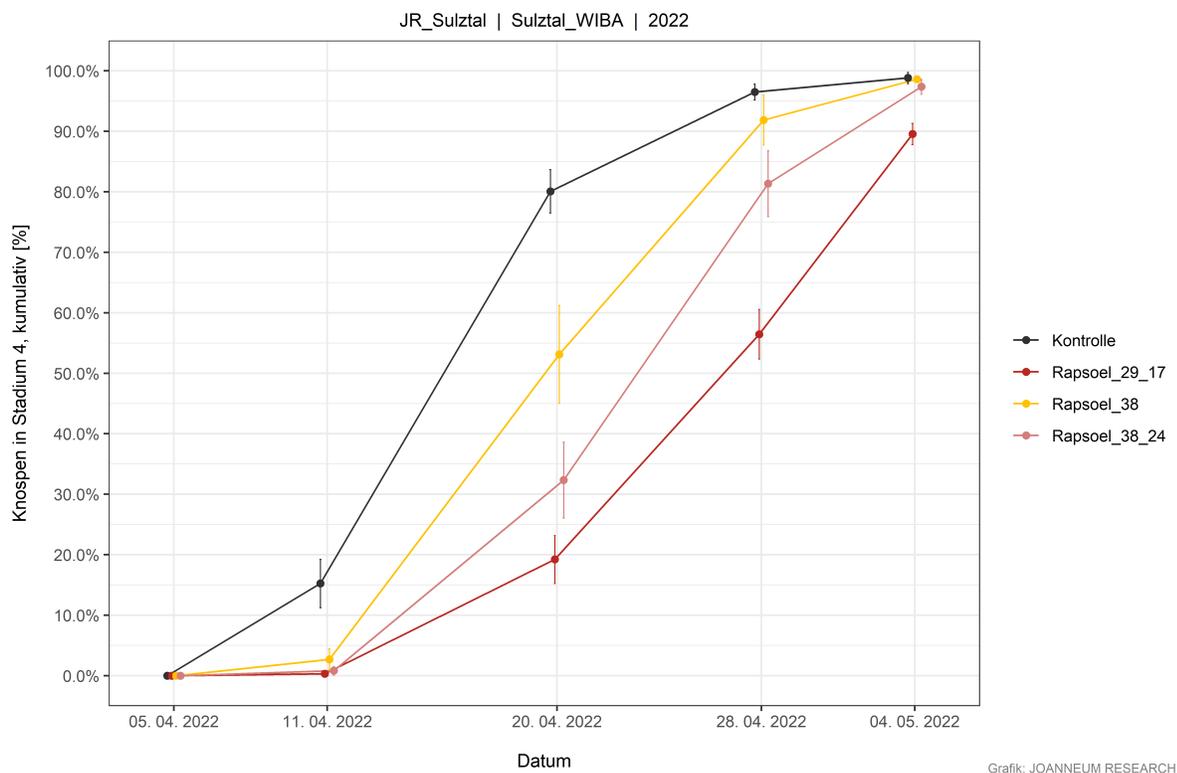


Abbildung 9: Anteil der Knospen mindestens im Stadium 4 („Austrieb“) zu fünf Zeitpunkten, Sorte: Blauer Wildbacher, Jahr 2022, Standort Sulztal. Daten: JOANNEUM RESEARCH

Die Ursachen für die unterschiedliche Wirksamkeit sind nicht eindeutig identifizierbar, unter anderem auch, da Wechselwirkungen zwischen Sorte, Standort und Jahr bestehen können. Die unterschiedlich starken Reaktionen auf die Ölbehandlungen zeigen sich klar sortenspezifisch, sowohl hinsichtlich der erreichten Verzögerungen als auch in Bezug auf Phytotoxreaktionen. Aufgrund des mangelnden Verzögerungseffektes ist die Ölapplikation für einige Sorten (beispielsweise Weißburgunder) generell wenig sinnvoll. Für andere Sorten (beispielsweise Sauvignon blanc, Welschriesling) ist wiederum die Notwendigkeit weniger gegeben. Für einige, früh austreibende Sorten kann die Ölapplikation jedoch eine Möglichkeit für besonders gefährdete Flächen sein. Bei einzelnen Sorten, beispielsweise Muskateller, könnte dabei bereits eine Behandlung ausreichend sein, da mit der zweiten Applikation kaum ein zusätzlicher Effekt erreicht werden kann. Die Ergebnisse der Versuchsreihen zeigen, dass bei der Sorte Blauer Wildbacher eine große Varianz über die Jahre festgestellt wurde.

Bei der Applikation von Abscissinsäure zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten oder einem zweimaligen Kalkanstrich konnte keine austriebsverzögernde Wirkung festgestellt werden.

Tabelle 3: Durchschnittliche minimale und maximale Verzögerung des Austriebs je Sorte, Einschätzung zu Phytotoxizität. Quellen: Landwirtschaftskammer Steiermark, Versuchsstation Obst- und Weinbau Haidegg, JOANNEUM RESEARCH, Fachschule Silberberg

Rebsorte	Minimale Verzögerung Austrieb [Tage]	Maximale Verzögerung Austrieb [Tage]	Phytotoxizität*	Anmerkungen
Muskateller	1	8	– bis +	
Muscaris	7	9	++ / #	Kurze Internodien, Ertragsreduktion
Morillon	0	7	–	
Sauvignon blanc	4	7	–	
Welschriesling	2	2	–	Kombiniert mit Frostrute: maximale Verzögerung 7 Tage
Weißburgunder	0	2	–	
Blauer Wildbacher	0	11	++	Triebverfärbung, kleinere Blätter, kürzere Internodien, zu späterem Zeitpunkt nicht mehr sichtbar

* Legende: – keine Phytotox-Reaktionen beobachtet, + geringfügige Phytotox-Reaktionen, ++ deutliche Phytotox-Reaktionen, +++ starke Phytotox-Reaktionen, # Ertragsreduktion (Ertrag wurde nur in einzelnen Versuchen erhoben)

4.2 Heizverfahren im Wein- und Obstbau

Eine Möglichkeit Frostschutz im Weinbau zu bewirken, kann über die Zufuhr von Wärme über das Verbrennen von biogenen Brennstoffen erfolgen (Lauer et Bendix, 2006). Folglich kann mittels Beheizung die Schädigung der Reben verringert oder sogar vermieden werden. Dies hängt vor allem davon ab, wann in der Vegetationsentwicklung der Frost zuschlägt und wie tief die Temperaturen absacken (Häckel, 2016). Nachteilig ist, dass die Maßnahmen zeit- und kostenintensiv sind. Umso wichtiger erscheint es, dass eine solide Entscheidungsgrundlage vorliegt, die die konkrete Notwendigkeit einer Beheizung offenlegt. Der Aufwand dafür sollte nur entstehen, wenn ohne Maßnahme eine Schädigung eintreten würde (Müller et Schwappach, 2014). Als Voraussetzung für diese Maßnahmen bedarf es daher einer exakten Temperaturmessung in den entsprechenden Anlagen und eines intelligenten Warnsystems, das sowohl makro- als auch mikroklimatische Faktoren berücksichtigt.

4.2.1 Öfen mit kostengünstigen und nachhaltigen Heizverfahren

In einem Versuchsweingarten Traunfeld (Weinviertel) wurde ein Ofen auf 36m² platziert, sodass in etwa 270 Öfen pro ha zu veranschlagen wären. Im Rahmen des Projektes wurden 3 Typen d.h. jährlich eine Verbesserungsvariante entwickelt und die Temperatur gemessen.



Abbildung 10: Frostschutzofen für Holzbriketts mit aufsetzbarem Hut

Alle 3 Ofentypen konnten beim Abbrennen von biogenen Brennstoffen die gemessene Umgebungstemperatur um ca. 1°C steigern. Dabei waren im konkreten Fall die Hackschnitzel weniger ergiebig als Pellets und Briketts. Hinzu kommt, dass Hackgut kein standardisiertes Brenngut darstellt. Die gemessenen Temperaturen an der Oberfläche des Ofens ergaben jedenfalls die höchsten Werte für die Briketts und die geringsten für das Hackgut. Eine mögliche Erklärung könnte auch die günstige Luftzufuhr bei den Briketts sein: mehr Luft (Sauerstoff) bedeutet eine raschere Verbrennung und höhere Wärme in kürzerer Zeit.

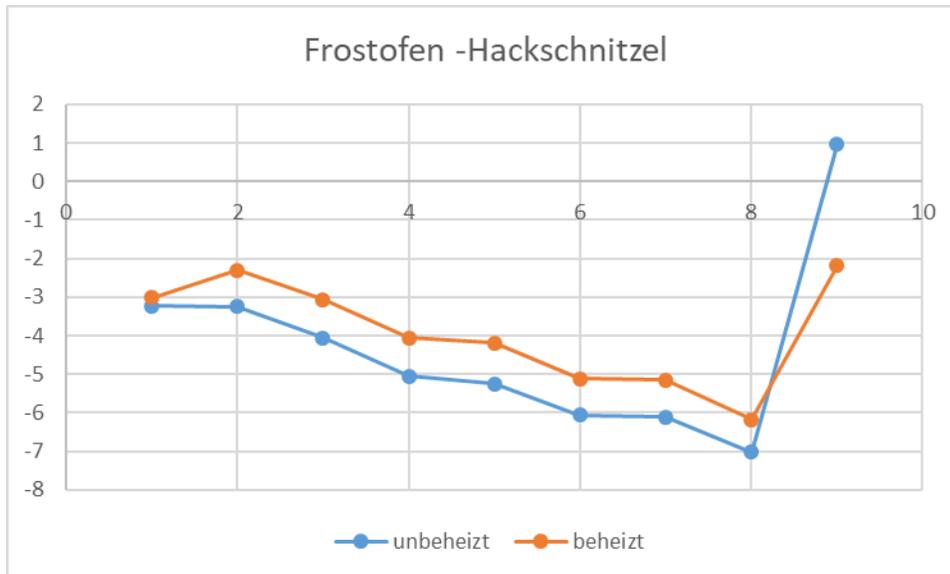


Abbildung 11: Temperaturverlauf bei beheizten und unbeheizten Sensor mit Brennstoff Hackgut betrieben, (8.auf den 9.4.21) Standort Traunfeld

Allerdings machten die Briketts am meisten Probleme mit der Entzündung der Biomasse. Während Hackgut und Pellets nach einmaliger Entzündung kontinuierlich abbrannten, kam es vor, dass entzündete Briketts wieder verloschen. Hier ist sicherlich eine Kontrolle nach einer Weile sinnvoll. Andererseits gibt es die Möglichkeit mit Holzwolle, getränkt in Alkohol, Frostkerzen zu entzünden (Kothgasser, 2018) und so auch bei Teilschritten ohne fossile Brennstoffe auszukommen.

Im Unterschied zu Wachskerzen (Stoppel, 2018) in Kübeln ist eine Unterbrechung des Brennvorganges bei Biomasse weder sinnvoll noch durchführbar. Durch die Belüftungslöcher oder Schlitze kann die Flamme nicht erstickt werden und ein Ablöschen mit Wasser verändert die Biomasse ungünstig sodass eine weitere Verwendung ausgeschlossen wäre. Die Steuerung der Brenndauer wird daher mit dem Ausmaß der Befüllung geregelt. Die verwendeten Pelletsöfen erreichten eine Brenndauer von ca. 6 h bei voller Befüllung. Die Briketts aber auch das Hackgut halten nicht ganz so lange und sind daher für denselben Zeitraum in größerer Menge vorzulegen.

Eine Rußbildung - wie bei Paraffinkerzen üblich - konnte nicht beobachtet werden (Kothgasser, 2018). Im Anbrenn-Prozess kommt es aber auf Grund der geringen Temperaturen zu einer anfänglichen Rauchbildung. Daher würden sich die Biomasse-Öfen besser für Beheizung von Folien- oder Netzkulturen eignen als die heute hauptsächlich verwendeten Paraffin-Wachskerzen.

4.2.2 Einsatz von Heizdrähten

In einer 1,5 ha großen Pinot Noir-Riede in Langenlois wurden im Jahr 2018 Heizdrähte gegen den Spätfrost installiert. Durch die Lage in der Stadt konnte die Stromversorgung abgedeckt werden. Die hohen Anschaffungs- und Vorbereitungskosten rechtfertigen den schnellen Einsatz und die fixe Installation in „wertvollen“ Lagen, jedoch sind die Energiekosten und der grundsätzliche Stromanschluss aufgrund der hohen Verbräuche in die Entscheidung einzubeziehen. Als Vorteil ist zu sehen, dass keine regelmäßigen Wartungsarbeiten bei Frosteintritt erforderlich sind. Den nächtlichen Einsatz für die große Rebfläche kann eine Person bewerkstelligen.

Eines der Hauptprobleme war im Rahmen des Projekts das Festlegen des Einschaltzeitpunkts: bis zu welcher Trieblänge macht die Beheizung Sinn? Damit einhergehend, wie weit funktioniert die Wärmeabstrahlung am Heizdraht selbst? Wieviel Vorlaufzeit wird für die Installation im Weingarten selbst benötigt?

Die jeweiligen Temperatursensoren wurden einerseits direkt am Heizdraht, andererseits mit einem Zentimeter Abstand und mit 5 Zentimeter Abstand zum Heizdraht und schließlich auch zum Auge angebracht.



Abbildung 12: Montage der Sensoren

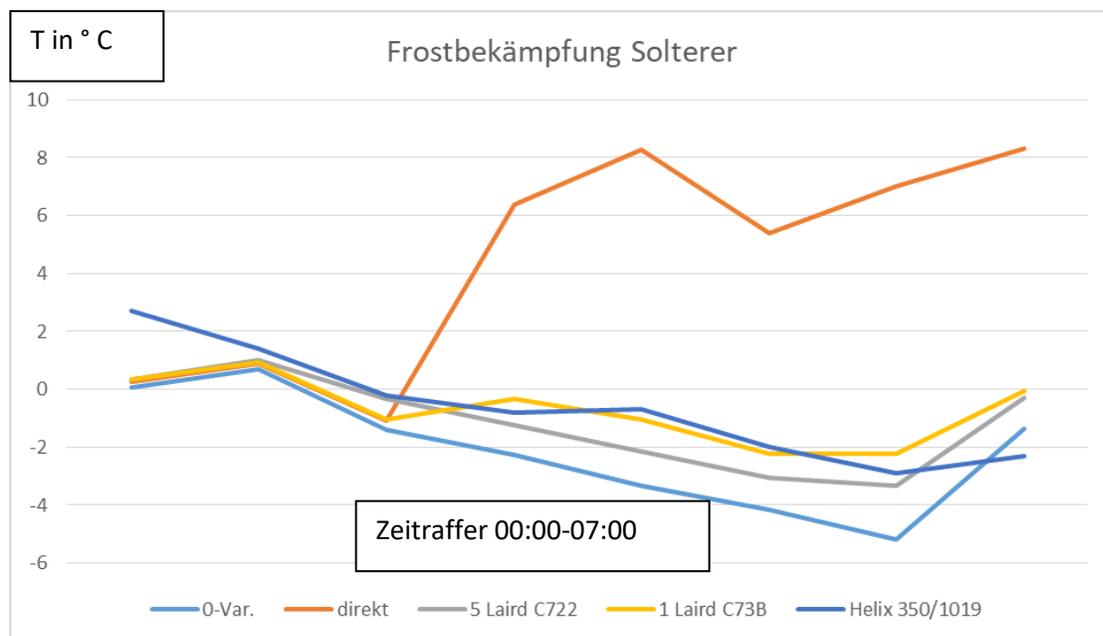


Abbildung 13: Diagramm der zweiten Frostnacht im Zeitraffer

In Abbildung 13 ist ersichtlich, dass die Nullvariante mit $-5,26^{\circ}\text{C}$ die kälteste Temperatur aufgewiesen hat. Je weiter der Sensor vom Heizdraht entfernt wurde, desto ähnlicher zeigt sich die Temperatur zur Nullvariante. Ebenfalls dargestellt und wie aus der Literatur bekannt, ist, dass kurz vor Sonnenaufgang der kälteste Zeitpunkt ist.

Die ersten Ergebnisse zeigen eindeutig, dass es, gerade wenn es sich um einen Grenzbereich im Minusbereich handelt, um eine wirkungsvolle Methode handeln könnte. Gleichzeitig wird aber auch dargestellt, dass bei einer Triebblänge von über 5 cm (5 Laird C722 = 5 cm Triebblänge) der Wert ähnlich der Kontrollvariante (= 0-Var.) ist und die Wirkung der Prävention signifikant abnehmen wird.

4.2.3 Vergleich Kerzen und Frostöfen

Der Einsatz von Paraffinkerzen ist über Jahre erprobt und die Ausbringung bzw. das Entzünden sind in effizienten Arbeitsabläufen organisiert. Die Kerzen werden ausgebracht und in die Baumreihen gestellt, damit sie in der Fahrgasse bei notwendigen Arbeiten nicht stören. Vor einer Frostnacht werden sie dann in die Fahrgasse gestellt, um später in der Nacht Zeit zu sparen und schnelleres Entzünden zu ermöglichen. Bei den Öfen wurde ähnlich vorgegangen. Die Öfen werden aber vor einer prognostizierten Frostnacht in die Fahrgasse gestellt und mit Holzpellets befüllt. Die Befüllung stellt einen enormen Zeitaufwand dar. Die im Versuch eingesetzten 15 kg Säcke erwiesen sich als unpraktikabel. Die körperliche Belastung beim Befüllen ist zu hoch, das Befüllen von mehreren hundert Öfen zu anstrengend und zeitaufwändig. Des Weiteren können Frostnächte nicht immer mit voller Sicherheit prognostiziert werden. Wenn kein Frost eintritt, stehen die befüllten Öfen im Weg und behindern andere Arbeiten im Obstgarten. Zeitgleich mit der Frostsaison sind auch oftmalige Pflanzenschutzanwendungen erforderlich, diese müssen gerade im Bio-Obstbau zeitgerecht durchgeführt werden. Stehen dann die Öfen in der Fahrgasse, ist dies nicht möglich. Eine ähnliche Problematik ergibt sich, wenn die kritische Temperatur erst sehr spät in der Frostnacht unterschritten wird. Die Kerzen und Öfen werden erst bei Bedarf entzündet. Kerzen kann man am Morgen, bei steigenden Temperaturen, einfach mit dem Deckel wieder ausdämpfen. Das ist bei den Öfen nicht möglich, die müssen immer voll ausbrennen. Das macht dringende Pflanzenschutzanwendungen unmöglich. Außerdem wird unnötig viel Heizmaterial verbrannt, da es im Vorhinein nicht möglich ist, die Dauer einer Frostnacht abzuschätzen.

In der Obstanlage „Weingarten“ in Großmugl, NÖ, wurden Paraffinkerzen der Marke Stop Ice® im Vergleich zu Frostkübeln des Herstellers Plack Erich Maschinenbau getestet, welche mit Holzpellets beheizt wurden.

- Paraffinkerzen Stop Ice®: In den Reihen 9 – 16: Die Kerzen wurden im Abstand 8,00 m (jede zweite Reihe) x 4,40 m (jeder zweite Baum) aufgestellt, also 284 Stück pro ha Nettofläche.
- Frostkübel Plack (Öfen): Von der Reihe 1 bis zur Reihe 8 wurden die Frostkübel in gleichen Abständen wie die Paraffinkerzen angeordnet.
- Nullvariante: Die Reihen 17 – 20 wurden als Nullvariante belassen, allerdings war diese aufgrund der wahrscheinlichen Frostschäden der kleinste Teil.

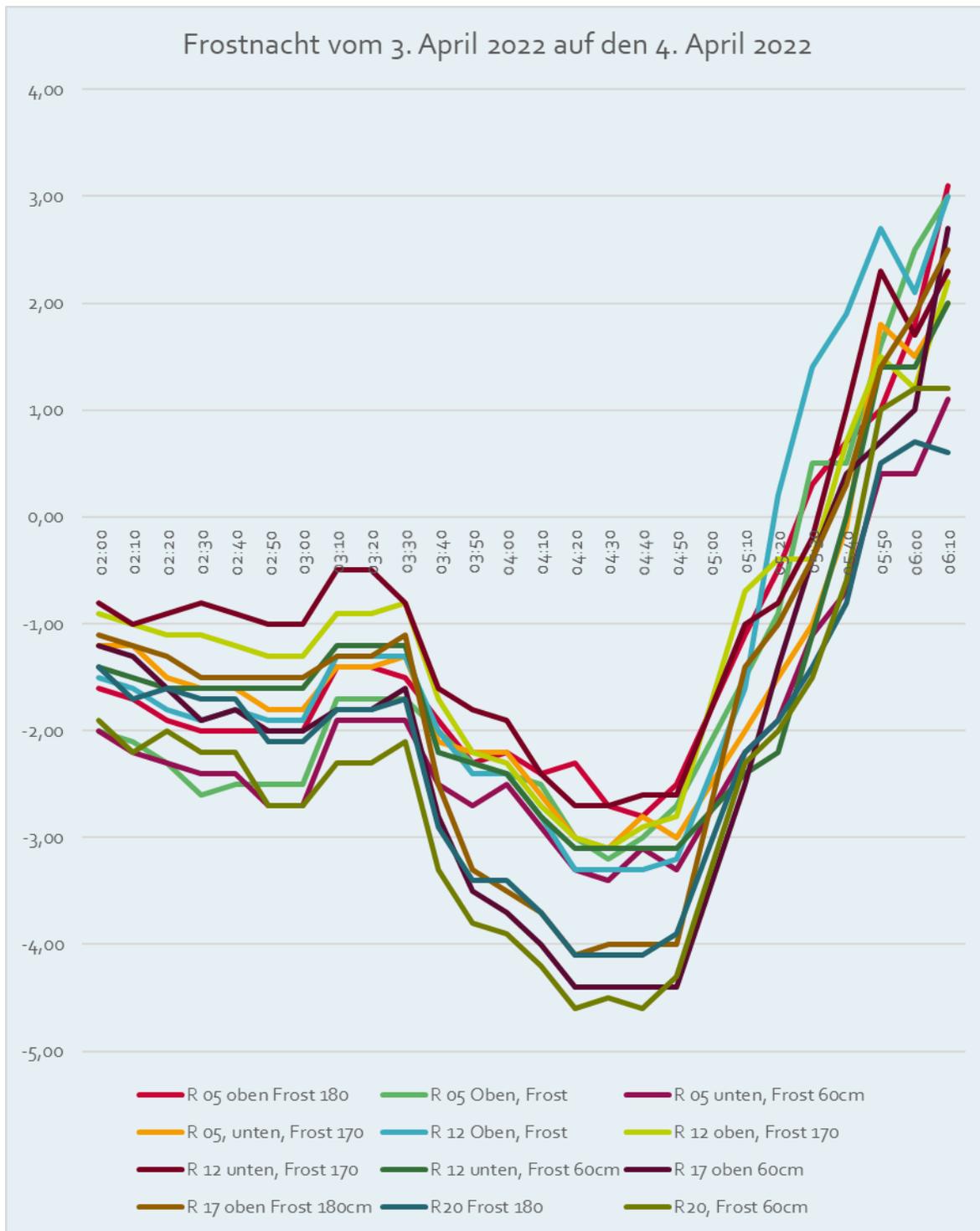


Abbildung 14: Frostnacht vom 3. April 2022 auf den 4. April 2022

In Abbildung 14 wird der Frostverlauf vom 3. auf den 4. April 2022 am Standort Großmugl, NÖ, dargestellt. Um 03:15 wurden die Paraffinkerzen und Frostöfen entzündet. In der Abbildung ist eine leicht steigende Temperatur erkennbar. Kurze Zeit später sind die Temperaturen sprunghaft gesunken. Die kältesten Werte wurden in der Kontrolle gemessen. Die Werte beider beheizter Varianten lagen mehrere Grade über der Kontrolle. Trotzdem konnte die Temperatur nicht gehalten werden. Die Bekämpfung diente der

Schadensbegrenzung, konnte diesen aber nicht verhindern. Zwischen den Versuchsvarianten Paraffinkerzen und Frostöfen war kein Unterschied erkennbar. Auch der Einfluss der Topografie war aufgrund der sehr ähnlichen Werte aller Sensoren im beheizten Bereich zu vernachlässigen.

4.2.4 Kombination von Paraffinkerzen und Hagelnetz

Als Versuch wurden auf einer Fläche unter einem Hagelnetz und ohne Hagelnetz Sensoren positioniert und auf beiden Flächen Paraffinkerzen des gleichen Typs und in gleichen Entfernungen aufgestellt.

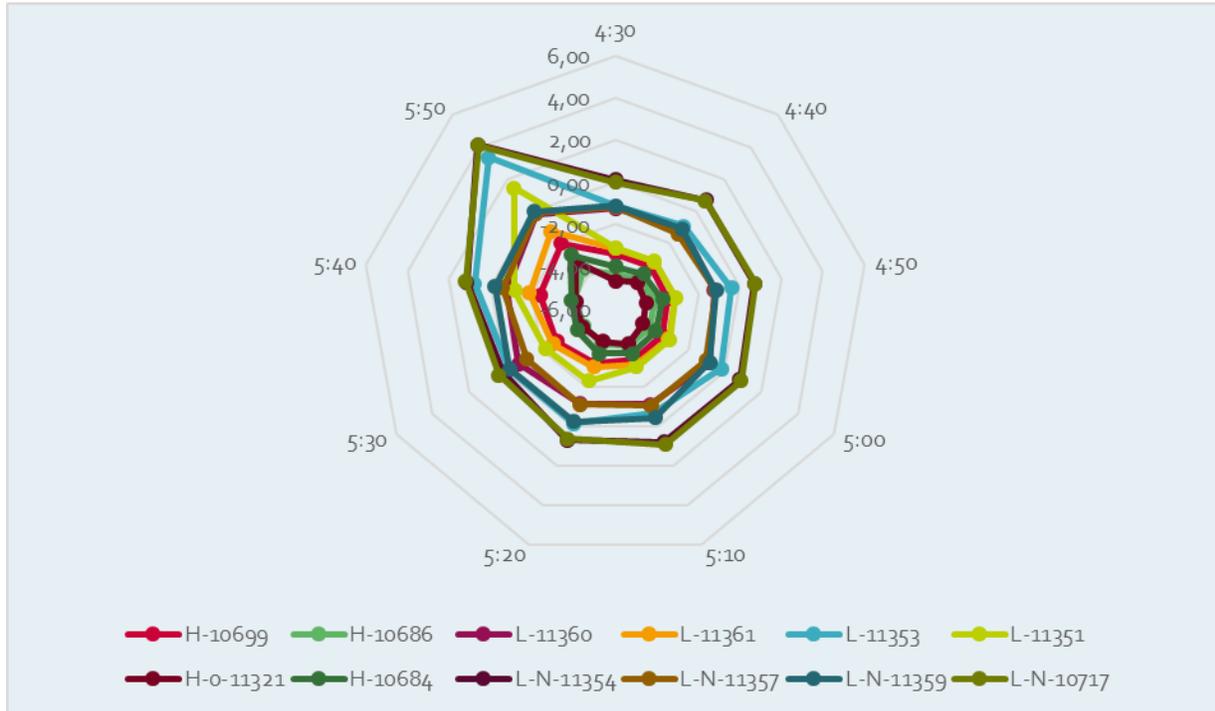


Abbildung 15: Durchschnittswerte pro 10 Minuten

Die Wettersensoren, welche mit Netz zusätzlich geschützt waren (N in der Bezeichnung), zeigen einen eindeutigen höheren Temperaturtrend zum netzgeschützten Bereich. Die Sensoren zeigen einen bis zu 5°C höheren Effekt zur Kontrolle und somit um rd. 1 bis 1,5°C besseren Effekt als ohne Netz.

4.3 Frostberegnung

4.3.1 Überkronenberegnung

Die Überkronenberegnung hat sich auch als Frostberegnung insbesondere bei Kernobstanlagen bewährt. Die Kombination der qualitätssichernden Beregnung mit der ertragssichernden Frostberegnung erfüllt somit einen doppelten Nutzen. Kritisch ist die ausreichende Verfügbarkeit der erforderlichen Wassermenge. Der Bedarf bei der Frostberegnung muss mit rd. 4 mm/h d.h. 40.000 Liter pro Stunde und ha angenommen werden. Die Wasserqualität sollte bei Eisen nicht über 2 mg/l betragen (Gefahr von Berostungen). Der Behandlungsbeginn hat vor dem Absinken der Temperatur in den Frostbereich zu erfolgen und ist von der Luftfeuchtigkeit abhängig. Erst nach dem Erreichen einer Taupunkttemperatur kann die Beregnung beendet werden. Dies kann eine mehrtägige Beregnungsdauer zur Folge haben, insbesondere dann, wenn ein Advektivfrost vorliegt. Die Folge sind schwere Eismassen auf den Trieben, die Astbrüche verursachen können. Um weitere Frostberegnungen vornehmen zu können, muss in solchen Fällen zwischendurch mit Beheizung

aufgetaut werden, wodurch enorme zusätzliche Kosten entstehen. Auch können durch hohe Beregnungsmengen ein Sauerstoffmangel und ein Verschlämmen des Bodens oder Probleme bei der Befahrbarkeit auftreten. Zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen vor und nach der Frostberegnung werden gegebenenfalls zur Reduktion des Krankheitsdruckes empfohlen.

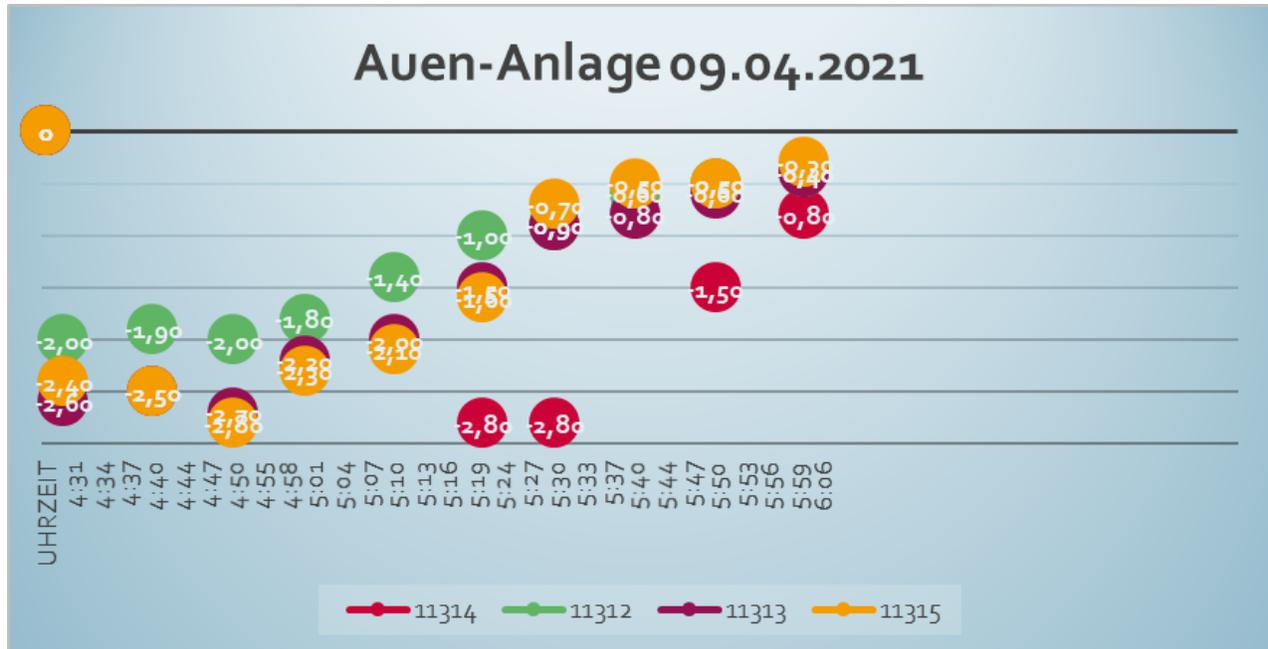


Abbildung 16: Auenanlage im Zeitraum 4:30 bis 6:00

Am Standort Nestelbach/Ilz wurden in zwei bestehende Überkronenberegnungsanlagen Auen und Teichanlage Sensoren aufgestellt, die die Temperaturschwankungen in den Anlagen als Untersuchungsgegenstand hatten. Die Kontrolle außerhalb der Anlage Auen (11314, rot) weist im Hauptzeitraum eine Temperaturabweichung von 1,9 bis 1,2 vor Sonnenaufgang auf und nähert sich den Werten in der Anlage im Zuge des Sonnenaufganges. Obwohl der Sensor 11312 näher zum Kontrollsensor 11314 (rot) liegt, weist dieser rd. 0,5°C höhere Temperaturen auf. Die Sensoren 11312, 11313 und 11315, welche in einer Reihe im gleichen Abstand angeordnet waren, unterscheiden sich insofern, dass die Sensoren 11313 und 11315 deckungsgleich aber um rd. 0,5°C geringere Temperaturen zum Sensor 11312 aufweisen. Dies scheint auf die unterschiedliche Bewässerungsverteilung zurückzuführen zu sein.

4.3.2 Sprinkler zur Frostberegnung

In Ergänzung zu den Ausführungen bei der Überkronenberegnung können Sprinkler die Wassermenge erheblich reduzieren, sind aber durch den begrenzten Radius, bezogen auf die zu bewässernde Pflanze, sehr windanfällig. Die Folge ist eine unregelmäßige und meist unzureichende Frostbekämpfung.

Die Sprinklerversuche, welche unterschiedliche Arten beinhalteten, konnten leider nicht durchgeführt werden, da in den drei Versuchsjahren am Versuchsstandort Tattendorf keine entsprechende Frostsituation auftrat und somit auch keine Verteilung am Kordon und grünen Organen der Rebe untersucht werden konnte.

Parallel zum FrostStrat-Projekt wurde ein sogenannter „Nadelsensor“ entwickelt, welcher rd. einen mm-Sensordurchmesser aufweist und in nachfolgenden Versuchen die Temperaturunterschiede auf der frostberegneten Oberfläche als auch in der Knospe messen soll.



Abbildung 17: „Nadelsensoren“ auf der Oberfläche und innerhalb der Rebe

4.4 Maßnahmen zur Verdrängung/Reduktion eiskristallbildender Bakterien

Das junge Blattgewebe bietet genug Oberfläche, um mit Substanzen besprüht zu werden, die den Stoffwechsel verändern können (Hendgen et al., 2021). Dazu wurden verschiedene Effekte beschrieben, die von Erhöhung bestimmter Ionen (z.B. K⁺ Ionen), Erhöhung des Proteingehaltes und Verhinderung der Eisnukleation durch mikrobielle Veränderung (<https://www.lodigrowers.com/>, [//www.novumlifesciences.com](https://www.novumlifesciences.com)) ausgehen. Dazu kommen noch Faktoren wie Ernährungssituation, Rebsorte, Luftfeuchte usw. (Mittelstädt, 2012.) Folglich kann eine Stoffwechselveränderung die Schädigung der Reben bei Spätfrost verringern oder sogar vermeiden. Dies hängt auch davon ab, wie oft eine Applikation möglich ist und wieviel Zeit zwischen letzter Applikation und Eintritt des Spätfrostes verstreicht. Der Temperaturbereich, der durch eine Stoffwechseländerung gewonnen werden kann, ist aber nicht weit. In der Regel liegt weniger oder ungefähr 1°C als Spielraum vor. Wenn die Temperaturen tiefer absacken, dann helfen diese diversen Frostschutzmittel nicht mehr und eine Schädigung des Gewebes ist unausweichlich (Centinari et al., 2016). Je länger der Frost einwirkt umso geringer ist die Chance den Frost unbeschadet zu überdauern. Der wesentliche Vorteil dieser Methoden ist, dass die Maßnahme kurzfristig gesetzt werden kann. Allerdings ist als Mindestanforderung, dass die Substanzen noch aufgenommen werden können und kein Flüssigkeitsfilm verbleibt. Dieser hätte eine kontraproduktive Wirkung und würde ein früheres Erfrieren begünstigen. Eine Steigerung der Konzentration ist als Maßnahme oft ungeeignet und würde die Rebe mit phytotoxischen Reaktionen belasten, die erst recht das Gewebe schädigen (Guillaumie et al., 2020). Ein ganz heikler Punkt bei diesen Versuchen, ist die eingeschränkte Verfügbarkeit von natürlichen Frostbedingungen. In diesem Projekt

wurden die Versuche daher in einem Frostschrank durchgeführt. Ein Binder Konstant Klimaschrank (Modell KMF 115) wurde aufgestellt und an Hand von natürlichen Frostnächten eine Temperaturabfolge einprogrammiert. Dabei waren Programme im Einsatz, die eine Tiefsttemperatur von -2 bis -4,5°C aufwiesen. Sie waren in ihrem Temperaturverlauf realen Frostnächten nachgebildet worden. Das nötige Pflanzmaterial wurde unter möglichst homogenen Bedingungen im Gewächshaus herangezogen.

Folgende Substanzen wurden untersucht:

- Syneco AF5 (Fa. Syneco, Mailand-IT) Inhaltstoffe Kalium und Monopropylenglykol
- Genol Antifreeze Wirkstoff Polyethylenglykol
- Regalis Plus (BASF, DE) Wirkstoff Prohexadion-Calcium
- CropAid (Cropaid International Limited, UK) enthält unter anderem Thiobacillus und Mineralstoffe
- Fertileader Vital (Timac Agro, FR) Universal Dünger mit Schwerpunkt auf N Versorgung 9% aber auch 5% P und 4% K
- Fruchtkalk (Schneider, Verblasetechnik, DE) aus fein gemahlenen Kalk der sich als Ca und Mg Carbonat und Hydrogencarbonat
- PK Fit (Hechenbichler, AT) Dünger mit Schwerpunkt auf Phosphorversorgung
- Basfoliar Aktiv (BASF, DE) Zusammensetzung liegt exakt im selben Bereich als der PK Fit Dünger
- Radam Extra 250 (Kwizda Agro AT) Gehalt von 52% K und 18% S
- Hortisul (Agrando, DE) leicht lösliches K₂SO₄
- Cocana (Biohelp, AT) Extraktion aus Kokosnuss Fleisch
- Speisesoda (Kotanyi, AT) Wirkstoff NaHCO₃
- Kumar (Certis, DE) Kaliumhydrogencarbonat
- Myco Sin Vin (Biohelp, AT) enthält schwefelsaure Tonerde
- Prestop (Biohelp, AT) enthält Sporen und Mycel der antagonistisch auf verschiedene Krankheiten wirkende Hefe *Gliocladium catenulatum*
- Fuguran Progress (Certis, DE) Wirkstoff Kupferhydroxid
- Cutisan (Biohelp, AT) fein vermahlene Kaolin
- Zn Chelat (Raiffeisen LH, AT) Salz von Zn EDTA
- Sojall Vitana (SOJALL Pro Natura GmbH) enthält Organische Säuren und deren Salze sowie Siliziumdioxid
- Kali Wasserglas (Pottasol, Biohelp, AT)
- Superfifty (Biohelp, AT) Seetang Extrakt (aus Knotentang) in hoher Konzentration und enthält u.a. Antioxidantien sowie Pflanzenmetaboliten u.a. auch Vorstufen von Phytohormonen
- Prev B (Biohelp, AT) Orangenöl
- Veganofluid (Veganosol GmbH, DE) biologischer Flüssigdünger
- Megafol (Syngenta, DE) flüssiges Biostimulans pflanzlichen Ursprungs (Braunalgen Extrakt)

Von den eingesetzten Substanzen konnten folgende Substanzen eine verbesserte Frostwiderstandsfähigkeit erreichen: Harnstoff, Crop Aid, NaHCO₃, Syneco AF 5, Zn-Chelat, Super fifty. Das Ausmaß der Schutzwirkung war unterschiedlich und betrug nur einen schmalen Bereich von ca. 1°C. Alle anderen eingesetzten Substanzen konnten keine ausreichende Wirkung unter den gegebenen Bedingungen entwickeln.

4.5 Verwirbelung der Luftschichten durch Windräder und Helikopter

Das Prinzip der Vermischung kalter und warmer Luftmassen bei einer – vorausgesetzt inversen – Wetterlage, d.h. wärmere Temperaturen in höheren Luftschichten als am Boden, kann durch den Einsatz von mobilen Windrädern genutzt werden. In Kalifornien und anderen Ländern, aber auch von den Frostjahren 2016 und 2017 in Österreich, liegen dafür Erfahrungen vor.

In der Morgendämmerung treten bei Strahlungsfrost die tiefsten Temperaturen auf. Hintergrund dabei ist bei klarem Himmel die Gegenstrahlung hauptsächlich aus der Wärmestrahlung der Atmosphäre.

4.5.1 Windmaschine der Firma Rath

Zum Einsatz kam eine mobile Windmaschine der Firma Rath, Steiermark, Österreich, welche als Prototyp über die Zapfwelle des Traktors angetrieben wird. Der Erzeuger gab an, dass 312.000m³ Luft bei 900 Umdrehungen pro Stunde bewältigt werden.



Abbildung 18: Mobile Windmaschine der Firma Rath

Diese Windmaschine saugt von rd. 7 m Höhe Wind an und verteilt diese durch Drehung um 360°. Die Innovation besteht darin, dass nicht nur eine 360° Drehung möglich ist, sondern auch eine sektorale Einschränkung (z.B. auf nur 60° Drehung) definiert werden kann. Zudem kann der Luftaustrittsdruck durch die veränderbaren Austrittsschlitze gesteuert werden.

In dieser Auswertung in einer Kirschenanlage am Standort Ilz, Steiermark, wird der Untersuchungszeitpunkt vom 21.04.2022 von 4:45 bis 7:30 dargestellt.

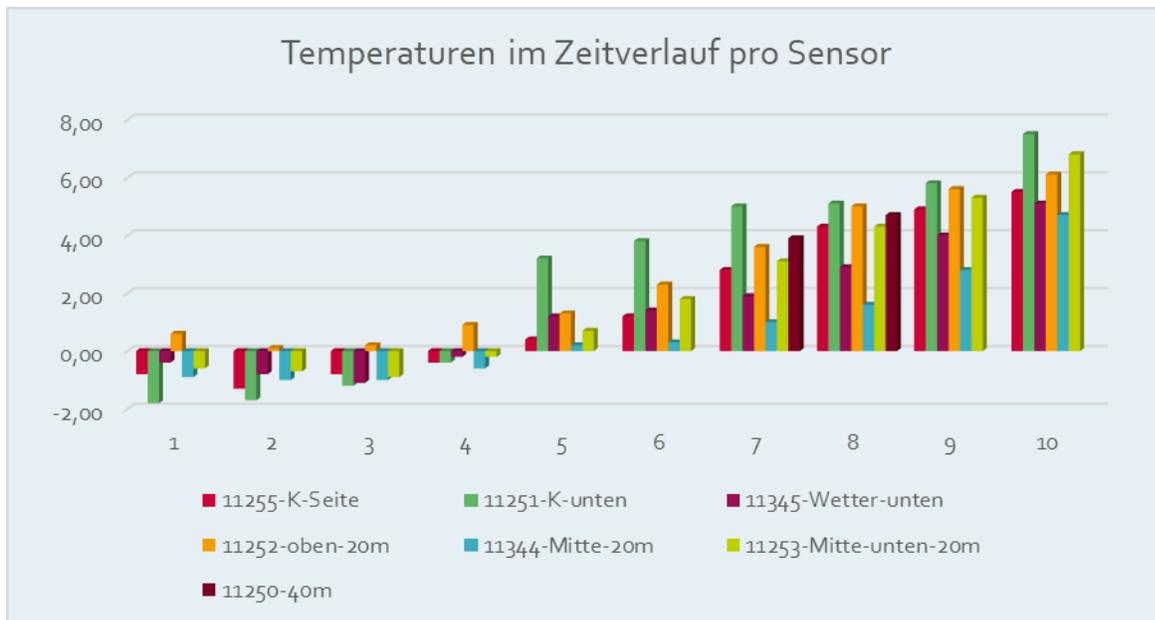


Abbildung 19: Darstellung der Temperatur pro Sensor im Zeitverlauf

Die Messwerte zeigten gute Windeffekte der mobilen Wetterstation, wobei hinzuweisen ist, dass keine wesentliche inverse Wetterlage vorhanden war. Die mobile Windmaschine scheint eine vielversprechende Frostbekämpfungsmaßnahme zu sein, sofern die Topografie und Größe (wirkt bis 25 m sehr gut, ab 50 m Entfernung unwesentlich) dies zulässt.

4.5.2 Mobile Windmaschine Tow and Blow

In der Obstanlage „Hasensteig“ in Geitzendorf, NÖ, wurde die mobile Windmaschine des Herstellers Tow and Blow bei Bedarf mit Zusatzheizung durch Paraffinkerzen getestet. Um die optimale Wirkung der Windmaschine zu erzielen, musste diese schon bei Temperaturen leicht über dem Gefrierpunkt gestartet werden. Die Luftmassen müssen durchmischt werden, bevor sich ein Kältesee bilden kann. Der geplante Einschaltzeitpunkt bei 1° C, gemessen vom Sensor am kältesten Punkt in der Anlage, konnte grob eingehalten werden. Aufgrund sehr unterschiedlicher Temperaturen in der Anlage war eine gewisse Flexibilität notwendig.

Die Daten belegen die Wirksamkeit der Windmaschine „Tow and Blow“ bei Strahlungsfrösten. Die Temperatur in 7m Höhe ist oft um mehrere Grad Celcius über der Bodentemperatur. Bei Windfrösten hat der Einsatz der Windmaschine keinen Sinn, die Temperaturen sind in allen Luftschichten gleich.

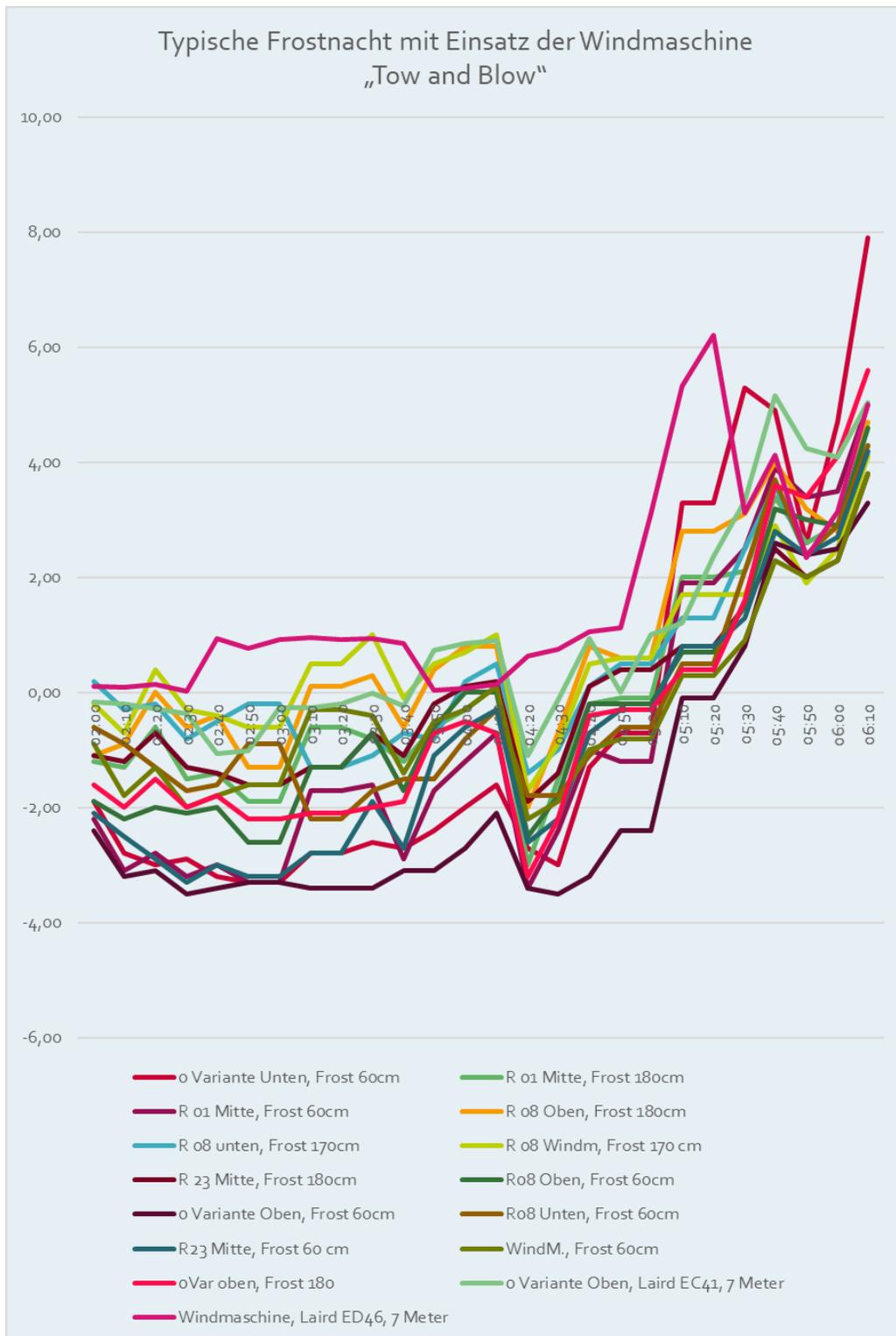


Abbildung 20: Frostnacht mit Einsatz der Windmaschine „Tow and Blow“

Die Abbildung 20 zeigt eine typische Frostnacht mit Einsatz der Windmaschine „Tow and Blow“. Die kältesten Temperaturen wurden in den Nullvarianten außerhalb des Versuchsgartens gemessen, mit Ausnahme des Laird Sensors auf 7m Höhe. Dort war die Temperatur deutlich höher. Dort wurde der

Gefrierpunkt nicht unterschritten. Vergleicht man die Werte auf 7m Höhe an der Windmaschine und bei der Nullvariante außerhalb des Versuchsgartens, zeigt sich eindeutig, dass die Windmaschine einen positiven Einfluss hat. Durch das ständige Durchwirbeln wird warme Luft von oben nachgeliefert. Die höchsten Bodentemperaturen wurden demnach auch im direkten Umkreis der Windmaschine gemessen. Die anderen Abstufungen ergeben sich einerseits durch Abstand zur Windmaschine, andererseits durch die Topografie. Die Windmaschine wurde um 0:15 gestartet und ist ca. um 4:00 aufgrund technischer Probleme ausgefallen und Kerzen entzündet. Das Diagramm spiegelt die Ereignisse.

4.5.3 Heißluftgebläse FrostGuard/AgroFrost

Der verwendete FrostGuard/AgroFrost (www.agrofrsot.eu) dreht sich in 8 Minuten um die eigene Achse, sodass 8 Sensoren im Abstand von 15 Metern im Kreis auf Holzstecken um das Gerät in einer Höhe von 1,5 m in einer Marillenanlage in Aggstein, NÖ angebracht wurden. Das Gerät wurde von Gas auf Festholzstoff (Buche) umgebaut und damit auch beheizt, sodass die Erzeugerangaben beschränkt kommentiert werden können.



Abbildung 21: Umgebauter AgroFrost Heißluftgebläse

Zeigten die Sensoren im „Leerbetrieb“ bereits in der Analyse am 6.4.2021 eine Abweichung von 0,25°C, so differierten diese erheblich bei der Anwendung.

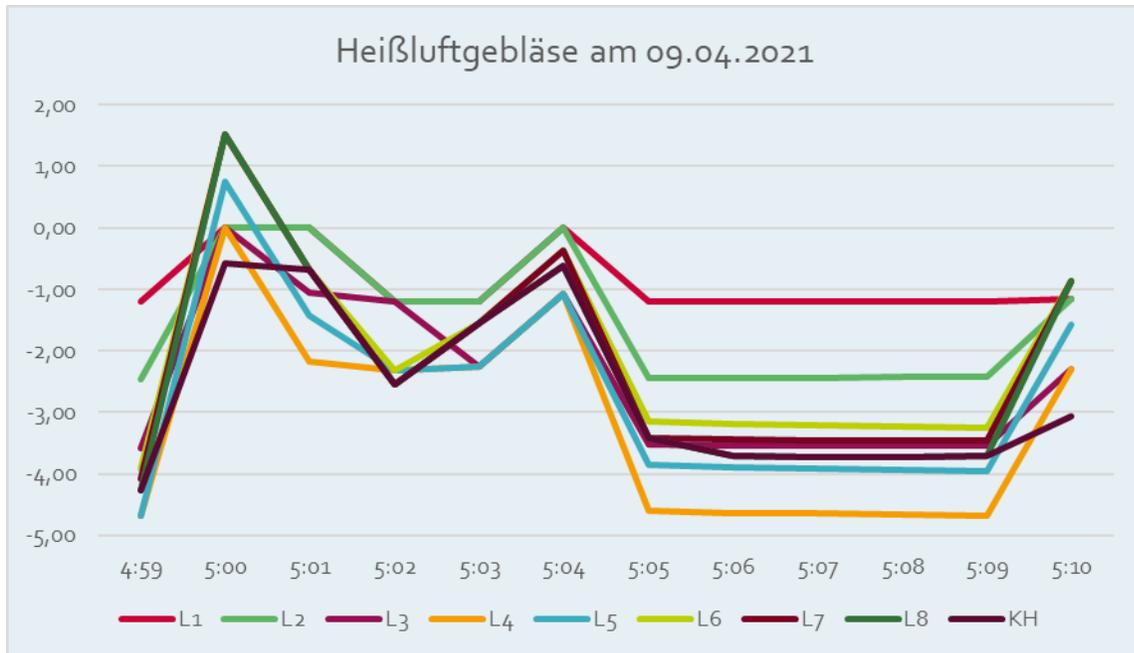


Abbildung 22: Einsatz des Heißluftgebläses am 9. April 2021 im Zeitraum 04:59-05:10

Jedenfalls scheint das Heißluftgerät kleinregional eine Wirkung zu zeigen.

4.5.4 Heißluftgebläse Frostbuster

Der Versuch wurde am 12. April 2022 in der Zeit von 05:30 bis 06:05 im Weingarten in Tatendorf, NÖ, mit dem Gerät „FrostBuster LAZO Type 301“ vorgenommen. Die Heizquelle waren 6 Gasflaschen. Die Versuchsfläche betrug rd. 2ha, die kontinuierlich mit dem Gerät abgefahren wurden (Abbildung 23).



Abbildung 23: Von einem Traktor gezogener FrostBuster.

Im Versuchszeitraum kam es zu einem Gateway-Ausfall, sodass nur die Sensordaten der Station 11400 genutzt werden konnten.

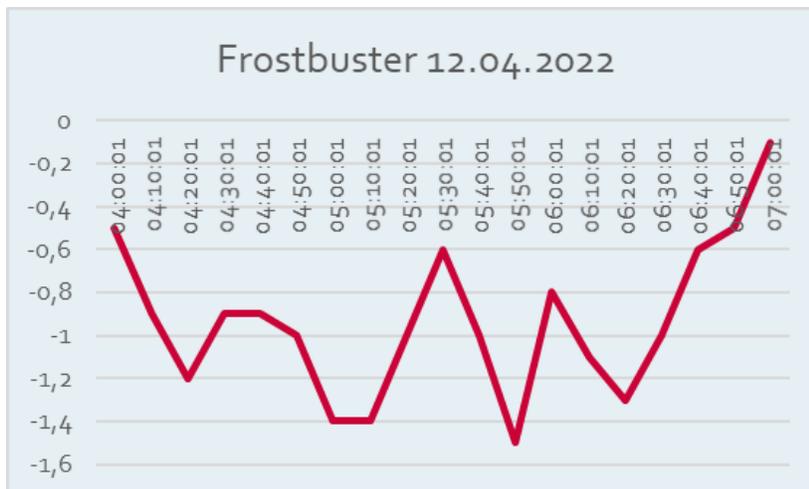


Abbildung 24: Sensordaten des Sensors 11400

Die Daten zeigen nur sehr geringfügige Temperature Auswirkungen mit kurzfristiger Ausdauer, obwohl nur die Hälfte der Erzeugerangabe an Fläche befahren wurde. Diese Art des Heißluftgebläses eignet sich kaum für eine akute Frostgefahr in größeren Lagen.

4.5.5 Einsatz eines Helikopters

Der Einsatz des Helikopters ist an die BMCT-Vorgaben (begin morning civil twilight) gebunden. Dabei wird der Zeitraum verstanden, in dem die Sonne auf halbem Weg zwischen dem Beginn des Morgens und der nautischen Dämmerung und dem Sonnenaufgang steht, wenn genügend Licht vorhanden ist, um Objekte mit bloßem Auge klar sehen zu können. Die Sonne steht dabei sechs Grad unter dem östlichen Horizont (Twilight, 2022). Konkret bedeutet dies, dass ein Helikoptereinsatz in Österreich aufgrund des Breitengrades rd. 30 Minuten vor Sonnenaufgang frühestens erfolgen kann. Für den Versuchsansatz wurden die Erfahrungen aus den Jahren 2016 und 2017 in der Weinbaulage Tattendorf genutzt.

Aufgrund der Wetterprognose der Geosphere (ZAMG) vom 20.04.2021 über den nächsten Tag „... ist keine hochreichende, klassische Inversion zu erwarten - höchstens eine flache Bodeninversion ist dort (Tattendorf) heute Nacht möglich.“ die Vorbereitungen getroffen, da ansonsten auch im dritten Versuchsjahr keine Helikopterresultate erzielt hätten werden können.

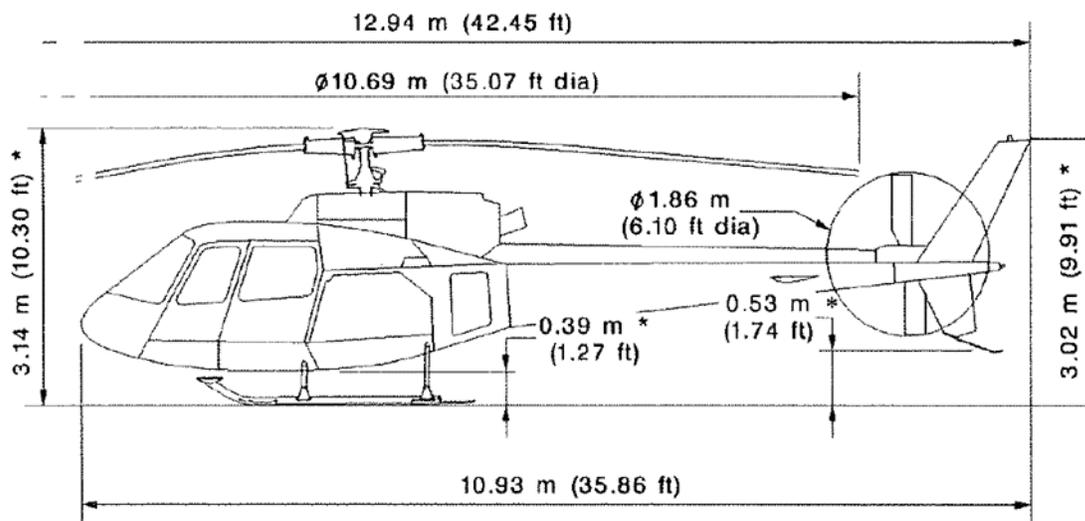


Abbildung 25: Technische Daten über Abmessungen des eingesetzten Helikopters

Der Einsatz eines Helikopters bei einer inversen d.h. warmen oberen und kalten unteren Luftschicht wurde in diesem Projekt untersucht. Die vorläufigen Datenanalysen haben ergeben, dass bei einer Flughöhe von 10m und einer Geschwindigkeit von 18 km/h bei dieser Helikopterbauart die untere Luftschicht um rd. 30% der Differenztemperatur erwärmt werden konnte. Der zeitliche Effekt hielt rd. 5 Minuten an, muss aber in weiteren Datenanalysen im Rahmen einer Publikation genauer verifiziert werden.

4.6 Rebschnittvarianten

Eine Austriebsverzögerung kann die Schädigung der Reben verringern oder sogar vermeiden (Regner et al., 2022). Dies hängt vor allem davon ab, wann in der Vegetationsentwicklung der Frost zuschlägt und wie tief die Temperaturen absacken. Ein später Rebschnitt bringt eine gewisse Verzögerung mit sich, die aber in manchen Jahren nach wenigen Tagen verschwunden ist. Nachteilig ist, dass der späte Schnitt, insbesondere wenn die Rebe schon in Saft geht, ein erhöhtes Risiko von Esca-Infektionen mit sich bringt. Neben dem Zeitpunkt des Schnittes kann auch mit der Anzahl der zu entwickelnden Triebe dem Rebstock eine Entwicklungsverzögerung abgerungen werden. Einerseits kann bei Teilschädigung durch den Spätfrost noch immer ausreichende Triebentwicklung stattfinden. Andererseits ist die Wuchskraft der Triebe geringer, die Entwicklung leicht verzögert und die Frostgefährdung geringfügig schwächer ausgeprägt. Allerdings kann die Entwicklung unter klimatisch günstigen Bedingungen und ausreichender Wasserversorgung auch parallel verlaufen, sprich keine Entwicklungsverzögerung beobachtet werden.

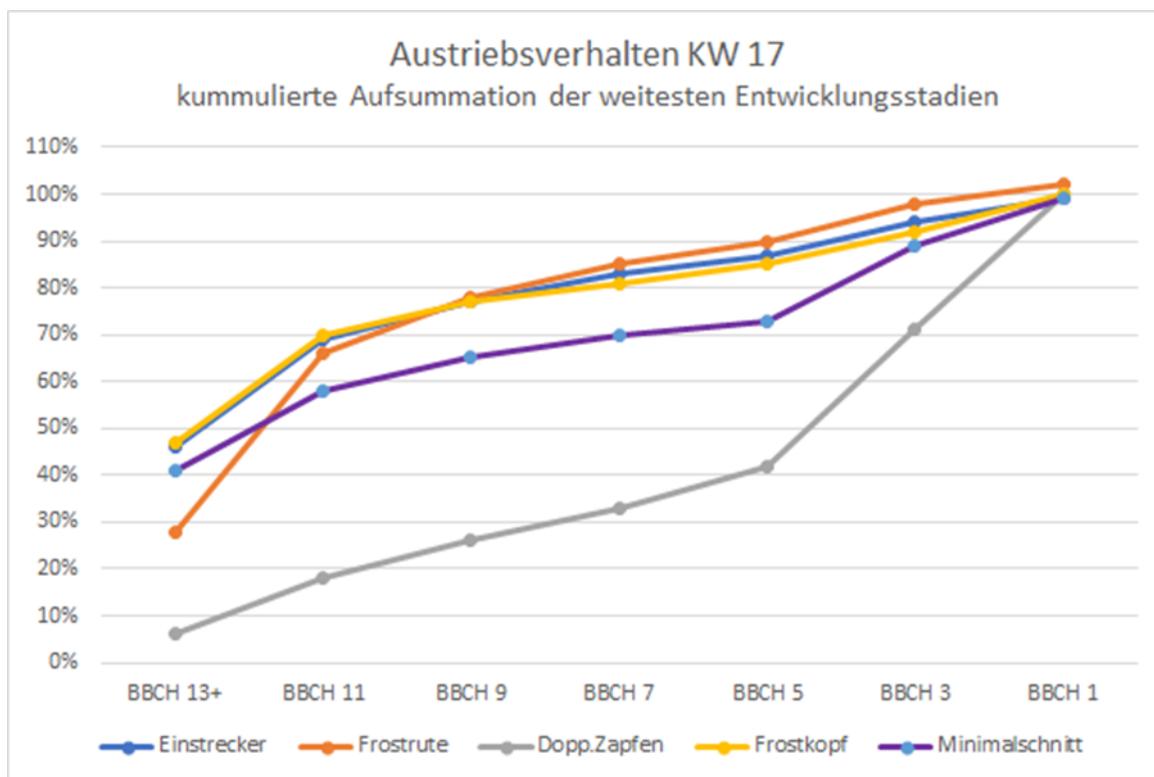
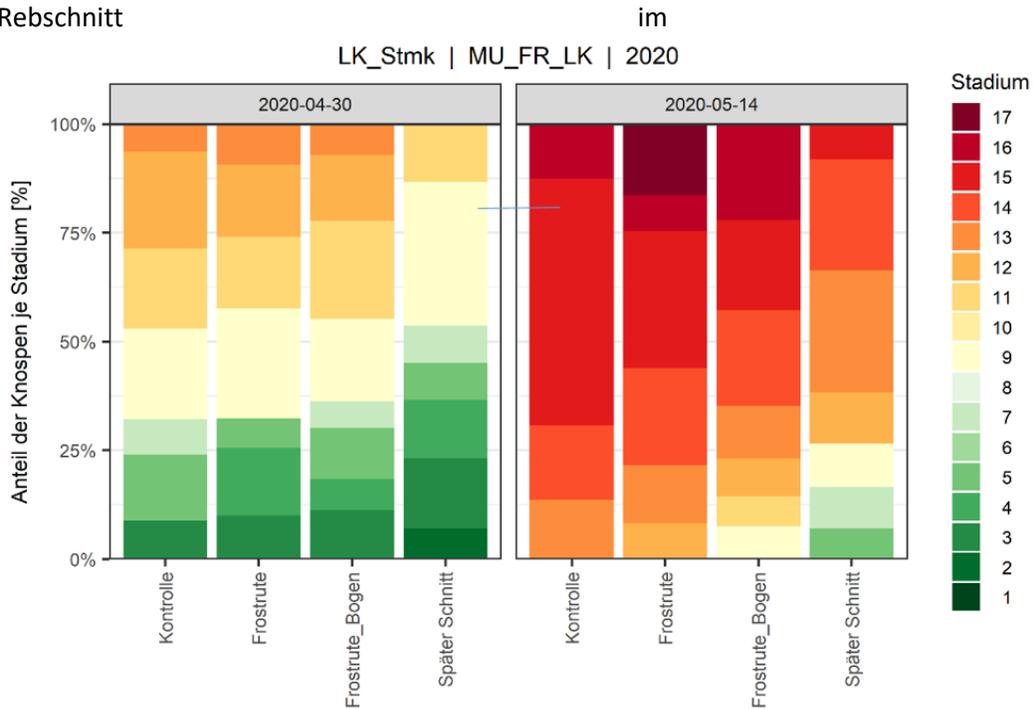


Abbildung 26: Vergleich der 5 Schnittvarianten in der Kalenderwoche 17 und ihrer Verteilung des Entwicklungsstadiums nach der BBCH Einstufung

Die verwendeten Schnittmethoden entwickelten in der Regel mehr Triebe als herkömmliche Schnittverfahren und haben daher bei Spätfrostereignissen mit Teilschädigung eine ausreichende Anzahl, die übrigbleibt. Insbesondere Frostrute, Frostkopf und Minimalschnitt basieren daher vor allem auf einer erhöhten Triebanzahl, die meist nicht oder nur wenig verzögert in der Entwicklung stehen. Umso länger die Entwicklung schon fortgeschritten ist umso mehr Unterschied entsteht zwischen Minimalschnitt und anderen Schnittvarianten. Der Doppelte Zapfenschnitt hingegen bringt eine wesentliche Verzögerung der Entwicklung in der Phase der größten Spätfrostgefahr mit sich (siehe Abbildung 26, graue Linie). Im Fall eines Spätfrostes stehen die Chancen gut, dass die sich entwickelnden Knospen nicht geschädigt werden. Die Verzögerung in der Entwicklung reicht aber geringfügig bis zur Ernte und könnte auch als

Reifeverzögerung betrieben werden, welche durch den Klimawandel und das Sortenprofil vorgegeben scheint. Der doppelte Zapfenschnitt eignet sich daher unter den aktuellen Bedingungen besonders gut als Frostprävention ohne wesentliche sensorische Abstriche hinnehmen zu müssen.

Im Rahmen des Projektes FrostStrat wurden auch in der Steiermark in den Jahren 2020 bis 2022 Schnittversuche bei den frühaustreibenden Sorten Muskateller bzw. Blauer Wildbacher durchgeführt. Das Belassen von Frostruten wurde ebenso ausgetestet wie auch eine Variante mit einem verspäteten Rebschnitt



Grafik: JOANNEUM RESEARCH

Abbildung 27: Ergebnis des Jahres 2020 Sorte Muskateller, Kogelberg/Leibnitz

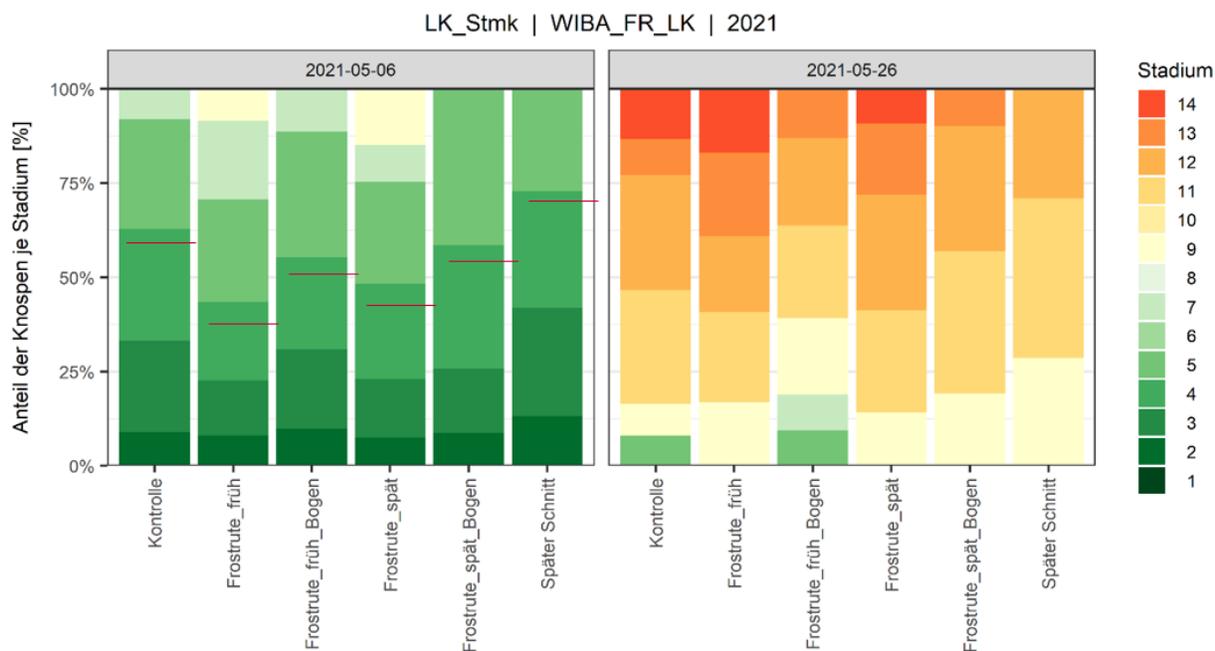


Abbildung 28: Ergebnis des Jahres 2021 Sorte Blauer Wildbacher, Gundersdorf/ St. Stefan ob Stainz

Beide Maßnahmen zeigten in allen drei Jahren im Vergleich zu einer früh geschnittenen Variante eine geringfügige Austriebsverzögerung. Durch das Belassen von Frostruten bleiben auch mehr Winterknospen am Rebstock, welche im Falle eines Frostes einen höheren Ertrag bewirken können.

Die kostengünstigste Variante der Austriebsverzögerung im Weinbau ist der Rebschnitt. Einige Winzer haben diesen Ansatz schon in ihr Repertoire aufgenommen und schon erste Erfolge beobachtet. Dabei geht es primär um eine höhere Augenanzahl, die bei einer Teilschädigung immer noch eine ausreichende Triebanzahl ermöglicht. Das betrifft sowohl die Frostrute als auch die Minimalschnittkultur. Beide Varianten haben sich in der Praxis schon einen Platz erkämpft. Eine Möglichkeit wäre auch statt der Frostrute mehrere Ruten am Kopf zu belassen und damit einen Frostkopf auszubilden. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit auch in Frostlagen trotz Spätfrost ausreichend Frucht tragende Triebe zu behalten. Der Doppelte Zapfenschnitt als Frostprävention wurde in der Steiermark bisher nicht praktiziert. Abhängig von der Sorte und der Fruchtbarkeit auf den basalen Augen wird nach einem ersten Langzapfenschnitt, der idealerweise mit dem Vorschneider gemacht wird, auf zwei bis drei Augen pro Zapfen eingekürzt. Die schon gut entwickelten Triebe am Zapfenende gehen dann verloren und die basalen Augen müssen sich erst entwickeln. Gibt es ein Frostereignis, dann sterben die oberen Triebe ab und die basalen Augen stellen immer noch ausreichend Triebe und Trauben zur Verfügung.

4.7 Räucherungen im Wein- und Obstbau

Der Effekt des Räucherns beruht darauf, dass durch die „Vernebelung“ die Wärmeabstrahlung vom Boden vermindert wird. Auch verlangsamt sich die Erwärmung bei Sonnenaufgang, sodass sich auch die Erwärmung der Zellen verlangsamt und die Pflanzenzellen weniger platzen. Nur bei Strahlungsfrost und einer vollständigen Vernebelung kann ein Effekt auftreten, wenn flächendeckend ein Einsatz erfolgt.

Obwohl die Versuchserfahrungen des Weinbaubetriebes in Tattendorf aus den Jahren 2016 und 2017 eingebracht wurden, konnte in einem im Rahmen von FrostStrat durchgeführten Versuch keine dichte Vernebelung erzielt und somit auch kein nachvollziehbarer Temperatureffekt gemessen werden. Die Werte variierten scheinbar abhängig von der Entfernung des angezündeten Strohballens, jedoch nicht von der Wärmeabstrahlung.

Für eine Wirkung müsste der Abstand der Strohballen dichter und eine großflächigere Räucherung mit dichterem Nebelbildung vorgenommen werden. Die dabei einhergehende Umwelt- und Anrainerbelastung muss kritisch hinterfragt werden.

5 Frostempfindlichkeit von Obstsorten und Rebsorten

5.1 Frostempfindlichkeit nach den phänologischen Entwicklungsstadien

Zum Austriebsbeginn, sichtbar am Schwellen der Knospen, sinkt die Widerstandsfähigkeit auch der winterharten Obstsorten gegenüber Frosttemperaturen rapide und können anfangs schon Temperaturen um -5°C , während der empfindlichsten Phase der jungen Fruchtentwicklung bereits Temperaturen knapp unter 0°C , Schäden verursachen.

5.1.1 Versuche Marillen

In einem Klimaschrank wurde die Empfindlichkeit von Marillensorten gegen Blütenfrost untersucht. Triebe der Sorten ‚Goldrich (BBCH 59)‘, ‚Bergeval (BBCH 59)‘ und ‚Pinkcot (BBCH65)‘ vom Versuchsgut Haschhof, Klosterneuburg wurden im Klimaschrank (relative Luftfeuchte konstant hoch gehalten durch Einwickeln in feuchtes Jutegewebe, rund 90%, soweit im Frostbereich eine Messung möglich war) den folgenden Behandlungsvarianten unterzogen:

- -2°C 4h
- -1°C 3 h und dann -2°C 3h
- -4°C 4h
- Unbehandelt (UK)

Die Auswertung der Frostschäden erfolgte 24 h später, jede Blüte wurde geöffnet und der Schaden/Verbräunung der Fruchtknoten beurteilt (Abbildung 27).



Abbildung 29: Bonitur von Marillenblüten im Ballonstadium auf Frostschaden: Gesunder (links) und frostgeschädigter (rechts) Fruchtknoten

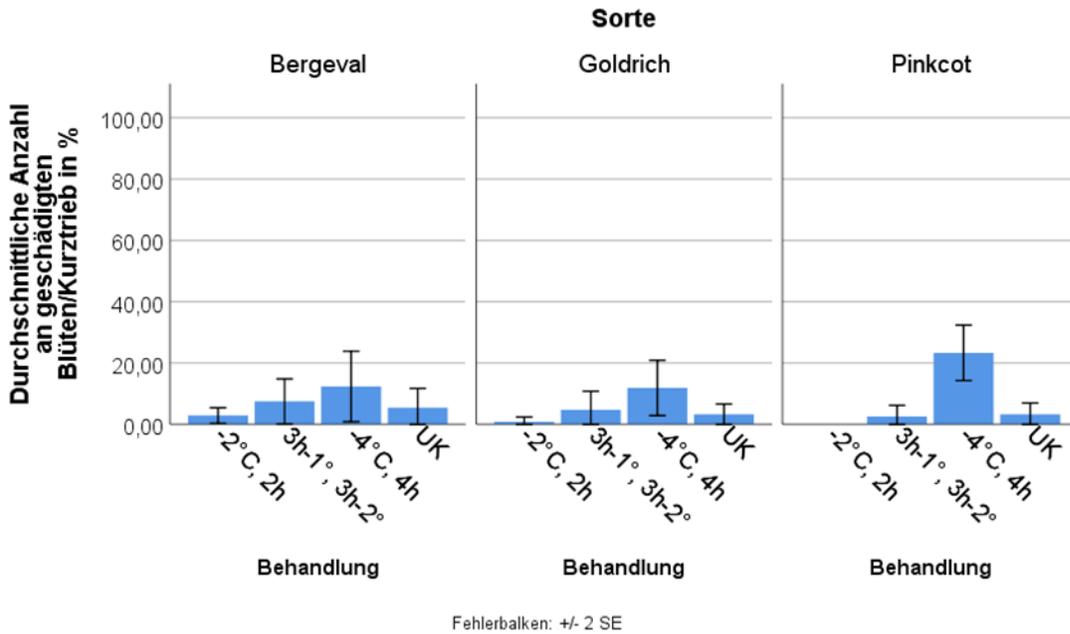


Abbildung 30: Auswirkungen verschiedener Frostbedingungen im Klimaschrank auf Marillenblüten unterschiedlicher Sorten im Ballonstadium.

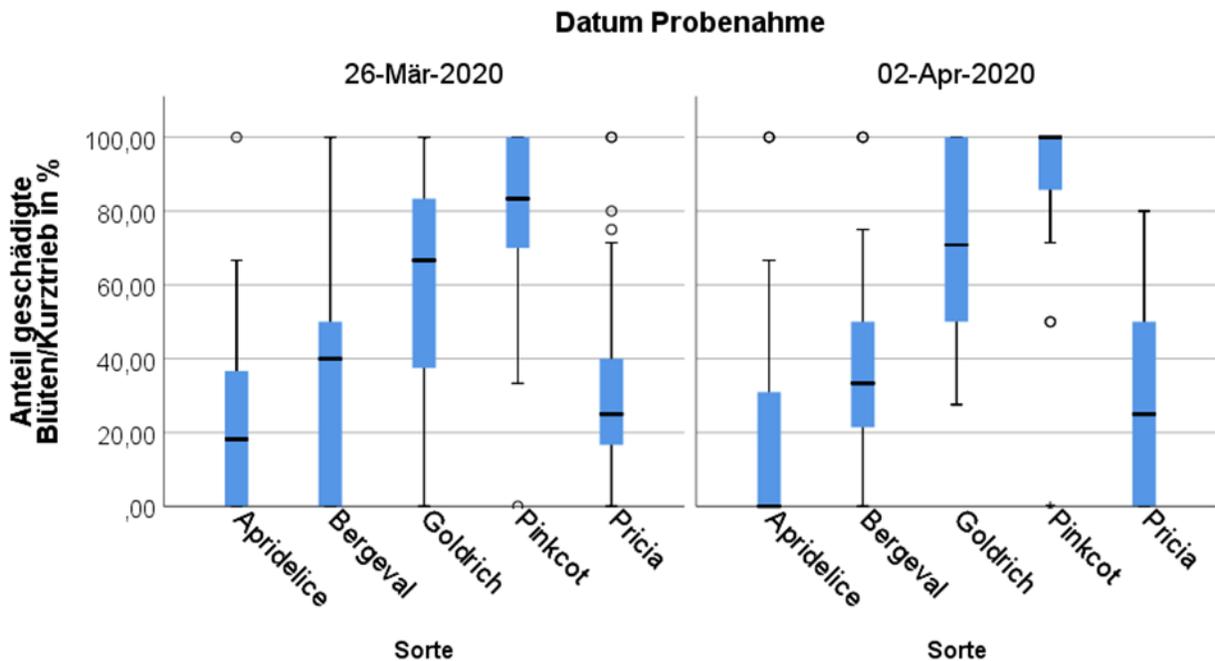


Abbildung 31: Freilandbeobachtungen 2020: Anteil geschädigter Blüten (für jeden Kurztrieb einzeln ausgezählt) der einzelnen Sorten nach den Frostereignissen am 26.3.2020 und am 2.4. 2020.

In Summe zeigten sich die Sorte ‚Pinkcot‘ sowohl im Frostschrank als auch im Freiland als sehr, die Sorten ‚Bergeval‘ und ‚Goldrich‘ als mittel und ‚Apridelice‘ und ‚Pricia‘ als weniger blütenfrost-empfindlich. Der

Vergleich der Daten aus dem Klimaschrank ergab grundsätzlich eine ähnliche Reihung der Sorten in Bezug auf Frostempfindlichkeit wie die Freilandversuche. Allerdings waren einzelne Ergebnisse, z.B. keine Schäden bei der an sich empfindlichen Sorte ‚Pinkcot‘ bei -2°C nicht klar. Man muss daher davon ausgehen, dass Ergebnisse aus dem Klimaschrank nur eingeschränkt auf das Freiland übertragbar sind bzw. stets durch Freilandbeobachtungen evaluiert werden sollten.

5.1.2 Versuche Reben

Die Frosttoleranz von Reben wurde in verschiedenen Entwicklungsstadien unter Laborbedingungen (Klimaschrankversuche) erhoben. Sie erfolgten an 2 Sorten nämlich ‚Grüner Veltliner‘ und ‚Rotburger (Zweigelt)‘. Die Entnahme der Reiser erfolgte 2020 in den Kalenderwochen 15 und 16, 2021 in den Wochen 16-20. Vor der Behandlung wurden die Entwicklungsstadien der Augen visuell bestimmt (nach BBCH Skala). Während der Versuche wurden die relative Luftfeuchte so hoch und konstant wie möglich gehalten, sie lag in den Versuchen bei ca. 90%. Um die Auswirkungen der Behandlungen zu erfassen wurden die Reiser nach der Behandlung in einem Wasserkübel bei Raumtemperatur gehalten und nach 7 Tagen die Entwicklung der Augen bewertet.

Folgende Behandlungsvarianten kamen zum Einsatz:

- Kontrolle unbehandelt
- -1°C , 4h (nur 2020)
- -2° 4 h
- -4° 4h

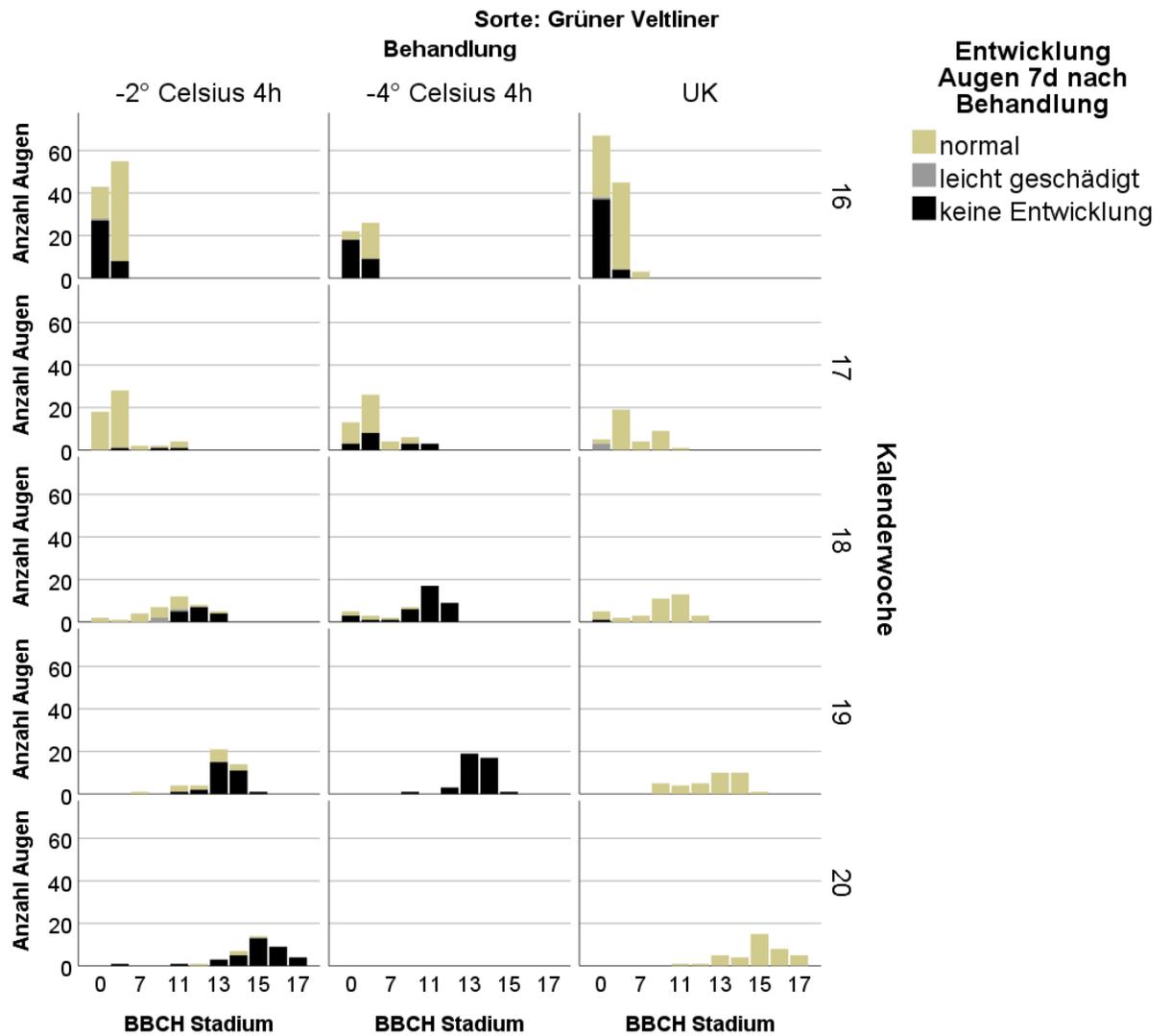


Abbildung 32: Versuch 2021: Auswirkungen verschiedener Frostbedingungen im Klimaschrank auf Augen der Sorte ‚Grüner Veltliner‘ in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

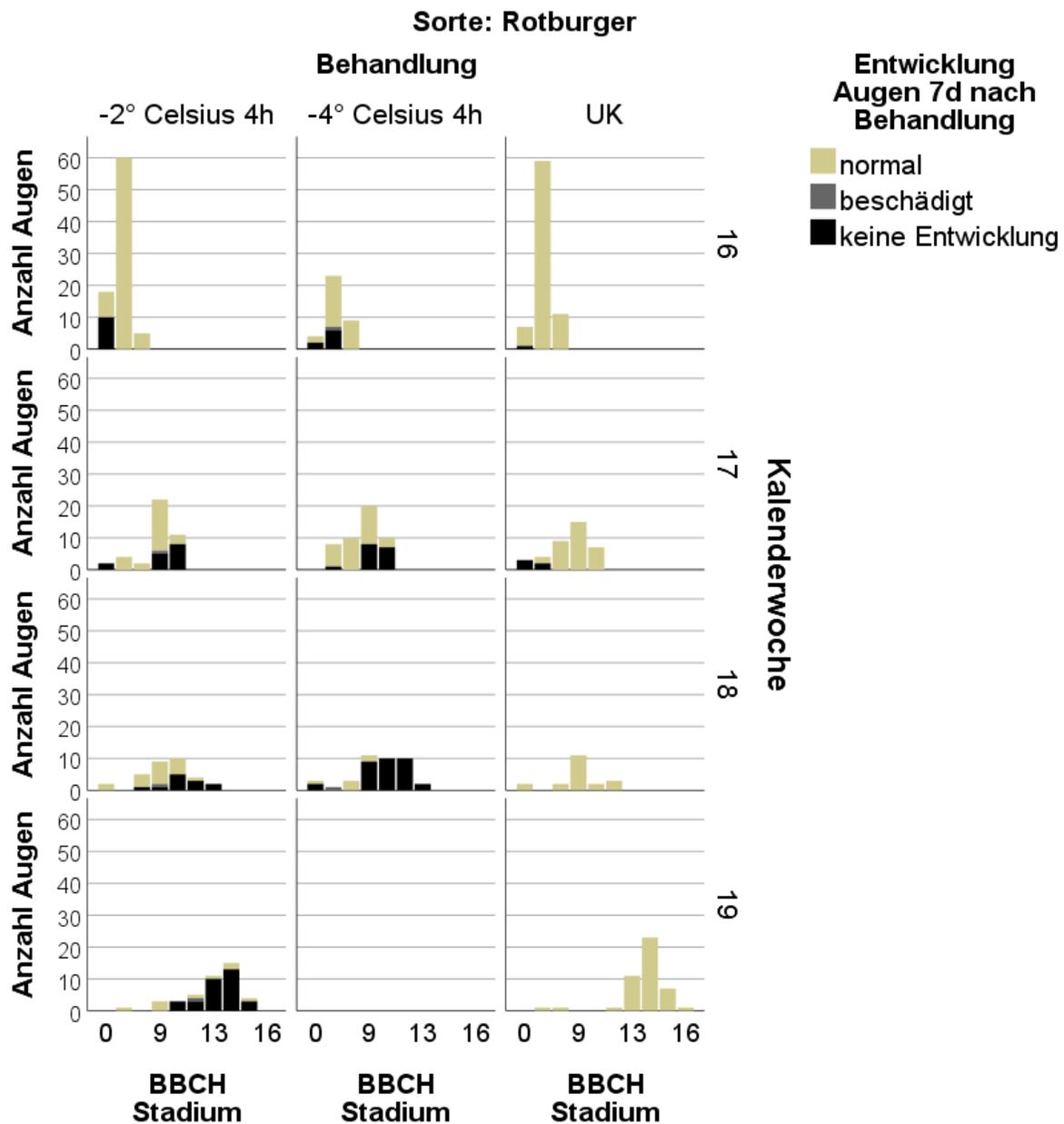


Abbildung 33: Versuch 2021: Auswirkungen verschiedener Frostbedingungen im Klimaschrank auf Augen der Sorte ‚Rotburger (Zweigelt)‘ in unterschiedlichen Entwicklungsstadien.

Wie die Abbildungen 32 und 33 zeigen, gab es bei einer Temperatur von -1°C so gut wie keine Schäden an den Reben, allenfalls in schon recht fortgeschrittenen Entwicklungsstadien (BBCH14). Eine Behandlung bei -2°C für 4h vertrugen Augen bis zum Stadium BBCH 9 gut, darüber stiegen die Schäden mit zunehmender Kalenderwoche an. Ab BBCH 11 und darüber wurden bei dieser Behandlung Schäden von 50% und mehr beobachtet. Eine Temperatur von -4°C schädigte die Reben deutlich. Bereits im Stadium BBCH 5 zeigten bis zu 30% der Augen keine Entwicklung, im Stadium BBCH bis zu 50%. Ab BBCH Stadium 11 und darüber

verursachte diese Temperatur bis 100% Ausfälle. Beide untersuchten Sorten verhielten sich in etwa gleich. Festzuhalten ist, dass die Frostempfindlichkeit für Augen aller Entwicklungsstadien mit zunehmender Zeit ab Austriebsbeginn anstieg.

5.2 Frostempfindlichkeit von Sorten

5.2.1 Spätfrosterhebung bei verschiedenen Marillensorten

Die Temperaturen sanken in der Marillenanlage am Standort Klosterneuburg, Haschhof, am Abend des 22.3.2020 unter Null°C. Diese erste Windfrostperiode mit einer tiefsten Temperatur von -5,6°C dauerte bis zum 26.3. Die Marillensorten waren zu diesem Zeitpunkt zwischen Vollblüte bis Blühende oder Stadium junge Frucht. Die Hauptbonitur des Marillensortiments wurde nach der letzten Frostnacht dieser Periode durchgeführt. Bei der anschließenden Strahlungsfrostperiode von 31.3 bis 2.4 waren alle Sorten abgeblüht, mit einem Temperaturminimum von -3,7°C am 1.4. wurde anschließend nur mehr bei ausgewählten Sorten die Anzahl an geschädigten und noch intakten Fruchtknoten bestimmt, wobei zu dieser Auszählung bereits zahlreiche geschädigte Blüten abgefallen waren.

Tabelle 4: Durchschnittliche Anzahl geschädigter Fruchtknoten am Kurztrieb in % im Quartier 122 und 081 zur ersten Bonitur (Werte einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Quartier 122		Quartier 081	
Wahre Ananas	11,0 a	Aprisweet	7,0 a
Rotmaler	17,0 ab	Apriqueen	9,0 a
Schöllschitzer	19,0 ab	Apridelize	10,0 ab
Feldsberger	23,0 abc	Koolgat	12,0 ab
Luizets	25,0 abcd	Sandy Cot	18,0 abc
Königsmarille	30,0 abcde	Pricia	25,0 abcd
Holländische	31,0 abcdef	Congat	29,0 abcde
Wachauer Marille	33,0 abcdef	Bergeval	30,0 abcde
Klosterneuburger	33,0 abcdef	Playa Cot	34,0 abcdef
Kleine Ananas	33,0 abcdef	Frisson	39,0 abcdefg
Alte Ananas	34,0 abcdef	Flash Cot	43,0 bcdefgh
Breda	39,0 abcdef	Shamade	46,0 cdefghi
Alesandrinische Marille	46,0 abcdef	Bergeron	46,0 cdefghi
Mariazeller	46,0 abcdef	Orange Rubis	48,0 cdefghij
Große Ananasmarille	50,0 abcdef	Monster Cot	49,0 cdefghijk
Braunauer große Frühmarille	54,0 abcdef	Digat	49,0 cdefghijk
Langenloiser	56,0 abcdef	Elgat	51,0 defghijk
Frühe von Göttweig	57,0 abcdef	Medalis	52,0 defghijk
Nancy	59,0 abcdef	Adriana	56,0 defghijkl
Bisamberger Knödelmarille	59,0 abcdef	Anegat	57,0 defghijkl
Pfirsichmarille	62,0 abcdef	Farbela	58,0 efg hijkl
Wahre große Frühe	66,0 abcdef	Primidi	59,0 efg hijkl
Frühe von Kittsee	66,0 abcdef	Farbaly	65,0 fghijklm
Pawlowitzer	69,0 abcdef	Bangat	66,0 fghijklm

Löschnig Marille	79,0 bcdef	Feria Cot	67,0 fghijklm
Honigmarille	81,0 bcdef	Valete	67,0 fghijklm
Ungarische Beste	84,0 cdef	Kl Ba BB	68,0 ghijklm
Frühzeitige Marille	87,0 def	Farely	68,0 ghijklm
Kremser	89,0 def	Apribang	69,0 ghijklm
Kleine rote Frühmarille	89,0 def	Kl Ba CA	71,0 ghijklm
Frühe von Hinterholzer	89,0 def	Kl Ba BA	71,0 ghijklm
Frühe Kremser	90,0 ef	Candela	71,0 ghijklm
Holubs Marille	90,0 ef	Samourai	73,0 hijklm
Frühe ungarische Gelbe	93,0 ef	Mistral	74,0 hijklm
Frühe Kecskemeter	95,0 f	Mediva	77,0 ijklm
		Aprinew	80,0 jklm
		Compacta	81,0 jklm
		Delice Cot	82,0 klm
		KL Ba CE	85,0 lm
		Sophia	89,0 lm
		Tsunami	93,0 m

Im Quartier 121 waren die Fruchtknoten der Frühsorten bei fast 100% der ausgezählten Blüten geschädigt, während einige Sorten wie Wahre Ananas, Rotmaler oder Schöllschitzer weniger als 20% geschädigte Blüten aufwiesen. Die Vergleichssorten in diesem Quartier sind Klosterneuburger (33% geschädigte Blüten) und Ungarische Beste (84% geschädigte Blüten), wobei aufgrund der starken Streuung der Einzelwerte Werte zwischen 11 bis 69% sich nicht signifikant unterscheiden.

Im Sortimentsquartier 081 (Pflanzjahr 2015 bis 2017) der neuen Sorten zeigten sich sehr interessante starke Unterschiede im Schädigungsmaß (Tabelle 4). Als sehr robust erwiesen sich Aprisweet, Apriqueen, Apridelice, Koolgat, aber überraschenderweise auch die frühblühende Frühsorte Pricia, während die Selektionen der Sorte Klosterneuburger (Kl Ba ...) stark bis sehr stark und von den neuen Sorten Aprinew, Compacta, Delice Cot, Sophia und leider auch die derzeit stark gepflanzte, wie Pricia frühblühende Frühsorte Tsunami, massiv geschädigt waren.

Im Quartier 141 (Pflanzjahr: 2010) wurden die Frostschäden bei den Sorten Pinkcot, Goldrich, Kioto, Bergeval und Bergarouge festgestellt. Wie schon 2012 bestätigte sich die starke Frostempfindlichkeit von Pinkcot und zeigten sich Bergarouge und Bergeval wiederum als vergleichsweise robust (Tabelle 5). Kioto wird trotz 53% geschädigter Blüten wegen ihres extrem hohen Blütenbesatzes wieder stark ausgedünnt werden müssen.

Eine weitere Bonitur auf Frostschäden wurde im jungen Bio-Marillenversuchsquartier 083 (Pflanzjahr 2018) durchgeführt (Tabelle 5). Entgegen früheren Ergebnissen schnitt die normalerweise frostwiderstandsfähige Sorte Vertige mit 85% geschädigten Fruchtknoten überraschend schlecht ab, während die Sorte Klosterneuburger dort mit durchschnittlich 48% geschädigten Fruchtknoten auch wesentlich weniger geschädigt worden war als die Klosterneuburger Selektionen im nahegelegenen Sortimentsquartier 081. Möglicherweise überstanden die jüngeren, noch niedrigeren Bäume von Klosterneuburger im Quartier 083 den Windfrost besser als die höheren Bäume im Quartier 081, da sie

aufgrund ihrer geringeren Dimension in der Südost-Handlage weniger stark dem eisigen Nordwind ausgeliefert waren.

Tabelle 5: Durchschnittliche Anzahl geschädigter Fruchtknoten am Kurztrieb in % im Quartier 141 und 083 zur ersten Bonitur (Werte einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Quartier 141		Quartier 083	
Bergeval	35,0a	Bergeval	26,0a
Bergarouge	39,0a	Klosterneuburger	48,0ab
Goldrich	51,0ab	Digat	64,0bc
Kioto	53,0ab	Vertige	85,0c
Pinkcot	79,0b		

Die Bonitur bzw. die stichprobenartig durchgeführte Überprüfung auf Frostschäden nach der zweiten Strahlungsfrostperiode Anfang April bestätigte im Wesentlichen das Schadausmaß der ersten Periode, hatte also nur mehr geringe weitere Schäden verursacht.

Für Marillen kann festgehalten werden, dass die Auswahl der unterschiedlichen Sorten eine entscheidende Rolle für die Blütenfrostempfindlichkeit spielt.

6 Literaturverzeichnis

CENTINARI, M., SMITH, M. S. AND LONDO, J. P. (2016): Assessment of freeze injury of grapevine green tissues in response to cultivars and a cryoprotectant product. *HortScience* 51(7): 856–860.

FORMAYER, H. UND GOLER, R. (2013): Auswirkung des Klimawandels auf die Eignung für den Weinbau in Österreich und Europa, in: *Weinbau und Klimawandel* Prettenhaler et Formayer, Medienfabrik Graz 117-148.

FORNECK, A., HERRERA, JC., FEHRINGER, C., DAMM, A., DREISIEBNER-LANZ S. (2019): Ölapplikationen als Frostpräventionsstrategie, *Der Winzer* (3/2019) 10-13.

GUILLAUMIE, S., DECROOQ, S., OLLAT N., DELROT, S., GOMÈS E., AND COOKSON S. J. (2020): Dissecting the control of shoot development in grapevine: genetics and genomics identify potential regulators, *BMC Plant Biology* 20:43 1-15, DOI: 10.1186/s12870-020-2258-0.

HÄCKEL, H. (2016): *Meteorologie*. 8. Hrsg. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.

HENDGEN, M., GÜNTHER, ST., SCHUBERT, S., LÖHNERTZ, O. (2021): Ethephon Activates the Transcription of Senescence-Associated Genes and Nitrogen Mobilization in Grapevine Leaves (*Vitis vinifera* cv. Riesling). *Plants* (Basel). 10(2): 333. doi: 10.3390/plants10020333

KOTHGASSER, M. (2018): Frostabwehr im Obst- und Weinbau, Die Vielfalt der Methoden und ihre Wirksamkeit unter besonderer Berücksichtigung der Bewindung, Diplomarbeit Karl-Franzens-Universität Graz

LAUER, W. UND BENDIX, J., (2006): *Klimatologie*. 2. Auflage Hrsg. Braunschweig: Westermann-Verlag.

MITTELSTÄDT, H. (2012): The occurrence of ice nucleation activity in pathogenic bacterial species. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection* 45:18, 2202-2212.

MÜLLER, M. UND SCHWAPPACH, P. (2014): Damit sich die Reben nix abfrieren. *Rebe & Wein*, 4, 22-24.

PETGEN, M. (2016): Schutz vor Spätfrost, *Der Winzer* 3, 20-23

REGNER, F., BRANDSTÄTTER, I., FERSCHEL, E., ROSNER F. (2022): Prävention gegen Frostschäden im Weinbau! *Der Winzer* 2, 11-15

SOJA, G., ZEHETNER, F., RAMPAZZO-TODOROVIC, G., SCHILDBERGER, B., HACKL, K., HOFMANN, R., BURGER, E., GRÜNBERGER, S., OMANN, I., (2010): Weinbau im Klimawandel: Anpassungs- und Mitigationmöglichkeiten am Beispiel der Modellregion Traisental, *Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft* 1-20.

STOPGEL (2018): Stop Gel Bougie Antigél. <http://stopgel.fr/de/contact/>