Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau

Abschlussbericht

Projekt A/12/22

„Untersuchungen zur Schadensminderung bei Spätfrösten in fränkischen Weinbergen“

Projektleitung

Markus Müller

Beginn und Laufzeit des Vorhabens

Januar 2015 bis Dezember 2017

Projektträger

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München

Veitshöchheim, April 2018

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau,
Abteilung Weinbau, Sachgebiet Rebschutz und –physiologie,
An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation 1

2. Ergebnisse und deren Beurteilung 2

2.1 Verhinderung von Wärmeabstrahlung durch Nebelmaschinen 2

2.2. Luftumwälzung 3

2.2.1 Selective inverted sink (SIS) 3

2.2.2 Windmaschine (Windrad) 4

2.2.3 Hubschrauber 9

2.3 Beregnung 13

2.4 Wärme(-energie) aktiv zuführen 15

2.4.1 Frostschutzkerzen 15

2.4.2 Heizdraht 19

2.5 Physiologische Verfahren 21

2.5.1 Pflanzenstärkungsmittel 21

2.5.2 Double pruning (Doppelter Rebschnitt) 21

2.5.3 Ölapplikation 27

3. Gesamt Resümee 33

4. Literatur 35

Abbildungsverzeichnis (Copyright LWG)

Abbildung 1: Einsatz einer Nebelmaschine..... 2
Abbildung 2: SIS-Gerät..... 3
Abbildung 3: Standort der Windmaschine (Windrad)..... **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
Abbildung 4: Windrad der Firma Amarillo mit Generator und Flüssiggastank..... 5
Abbildung 5: Drohne mit Infarotkamera zur Bestimmung der Oberflächentemperatur..... 7
Abbildung 6: Oberflächentemperaturenim Umfeld des Windrads..... 8
Abbildung 7: Übersichtskarte Helikoptereinsatz..... 9
Abbildung 8: Vom Helikopter überflogene Testfläche..... 9
Abbildung 9: Hubschrauber beim Frosteinsatz in Sommerach..... 12
Abbildung 10: Oberflächentemperaturen nach Überflug durch Hubschrauber..... 12
Abbildung 11: Beregnung - Eispanzer und Eiszapfen an niedergezogenen Rute..... 13
Abbildung 12: Beregnung - schützender Eispanzer an den aufgebrochenen Rebknospen..... 13
Abbildung 13: Einsatz von Frostschutzkerzen..... 15
Abbildung 14: (a) Heizdraht wird an der Rute entlang geführt..... 19
Abbildung 15: (b) Rute mit Heizdraht umwickelt..... 19
Abbildung 16: (c) Rebstamm mit Heizdraht umwickelt..... 19
Abbildung 17: Unterschiedliche Beerenreife in der doppelt geschnittenen Variante..... 25
Abbildung 18: Linke Rute mit Öl besprüht, rechte unbehandelt..... 28

Grafikverzeichnis

Grafik 1: Windrad - Windmessungen in horizontaler Achse 2013..... 6
Grafik 2: Windrad - Windmessungen in vertikaler Achse 2013..... 6
Grafik 3: Windrad - Temperaturverlauf am 29.04.2016..... 7
Grafik 4: Hubschrauber - Höhenprofil der Temperatur am 29.04.2016 um 4:00 Uhr..... 10
Grafik 5: Hubschrauber - vergleichender Temperaturverlauf am 29.04.2016..... 11
Grafik 6: Frostschutzkerzen - Temperaturverlauf am 29.04.2016..... 16
Grafik 7: Frostschutzkerzen - Temperaturverlauf am 20.04.2017..... 17
Grafik 8: Double pruning - Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2015..... 22
Grafik 9: Double pruning - Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2016..... 22
Grafik 10: Double pruning - Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2017..... 23

Grafik 11: Double pruning - Blühverlauf bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2015 23
Grafik 12: Double pruning - Blühverlauf bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2016 24
Grafik 13: Double pruning - Blühverlauf bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2017. 24
Grafik 14: Double pruning - Aromaprofil der Müller-Thurgau Weine des Jahrganges 2013; verkostet vier Monate nach der Füllung. 26
Grafik 15: Double pruning - Aromaprofil der Müller-Thurgau Weine des Jahrganges 2013; verkostet 16 Monate nach der Füllung. 26
Grafik 16: Ölapplikation – Austrieb bei der Rebsorte Silvaner 2015 28
Grafik 17: Ölapplikation – Austrieb bei der Rebsorte Silvaner 2016 29
Grafik 18: Ölapplikation - Blühverlauf bei der Rebsorte Silvaner 2016..... 29
Grafik 19: Ölapplikation – Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2015 30
Grafik 20: Ölapplikation – Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2016 30
Grafik 21: Ölapplikation – Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau 2017 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beregnung – Frostschäden nach Regnertypen /-fabrikaten 2016 und 2017 14
Tabelle 2: Beregnung - Ernteerträge mit wassersparenden Regnern 2016 und 2017..... 14
Tabelle 3: Frostschutzkerzen - Ernteerträge und Qualitätsparameter 2017..... 17
Tabelle 4: Heizdraht - Ernteerträge/Qualitätsparameter 2016 und 2017 20
Tabelle 5: Double pruning - Ernteerträge und Qualitätsparameter 2014 bis 2017..... 25
Tabelle 6: Ölapplikation - Ernteerträge und Qualitätsparameter 2015 bis 2017 32
Tabelle 7: Ölapplikation - Ernteerträge und Qualitätsparameter 2015 bis 2017 32
Tabelle 8: Zusammenfassende Bewertung der im Spätfrostprojekts geprüften Verfahren..... 33

1. Ausgangssituation

Die Gefahr von Ertragsausfällen in der Traubenproduktion ist je nach Region von verschiedenen Faktoren abhängig. Während biotische Erreger und Schädlinge wirksam und kostengünstig reguliert werden können, sind Gegenmaßnahmen bei extremen Witterungseinflüssen wesentlich aufwändiger und zudem ungenügend auf Wirksamkeit geprüft.

Dies gilt insbesondere für Spätfrostschäden an der Rebe im kontinental geprägten Klima Frankens. Nach Austrieb des jungen, grünen Gewebes im Frühjahr reichen Temperaturen ab -2°C, um Erfrierungen an der Rebe zu verursachen (Barlow et al, 2010 und Jones und Wilson 2010). Das Schädigungsmaß ist abhängig von einer Vielzahl von Faktoren, insbesondere der Dauer der Frosteinwirkung, der Luftfeuchtigkeit, dem Entwicklungsstand der Rebe und der Rebsorte.

Das Spätfrostrisiko steigt mit dem fortschreitenden Klimawandel deutlich an. Phänologische Aufzeichnungen der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) ab dem Jahr 1968 zeigen ein immer früheres Austreiben der Reben. Die Gefahr von Kälteeinbrüchen besteht aber nach wie vor bis Mitte Mai. Hierdurch verlängert sich unter fränkischen Verhältnissen die Zeitspanne in der ein Spätfrostschaden verursacht werden kann um zwei bis drei Wochen (Inouye, 2000 und Kartschall 2014).

Eine solche Kombination aus frühem Austrieb und einem Kälteeinbruch führte Anfang Mai 2011 zu flächendeckenden Schäden im deutschen Weinbau. In vielen fränkischen Weinbergen wurden teilweise verheerende Spätfrostschäden verzeichnet (EBERENZ, 2011, BRENDEL, 2011). Der dadurch entstandene wirtschaftliche Schaden war für den Einzelbetrieb existenziell gefährdend (MEISSNER, 2011). Für Franken wurden 2011 Schäden in Höhe von bis zu 80 Mio. Euro geschätzt (Fränkischer Weinbauverband 2011).

Derzeit liegen nur wenige aktuelle Informationen vor, wie Schäden solcher Frostereignisse in Franken vermindert oder verhindert werden können. Aus den Erfahrungen anderer Weinbauländer ergaben sich verschiedene Ansatzpunkte für das fränkische Weinbaugebiet. Diese wurden im Rahmen des seit April 2012 an der LWG laufenden Spätfrostprojekts auf ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit geprüft. Ziel war es, ein Maßnahmenpaket zu entwickeln, das der Weinwirtschaft hilft, künftigen Spätfrostschäden vorzubeugen.

In der ersten Projektphase von A/12/22 zur Vermeidung von Spätfrost in Weinbergen (Laufzeit Januar 2012 bis Dezember 2014) konnten bereits erste Versuche durchgeführt werden. Aufgrund der fehlenden Frostereignisse während dieser ersten Projektlaufzeit konnten aber erst im Jahr 2014 Versuche im Freiland gestartet werden. Im Folgeprojekt (zweite Projektphase) sollten nun alle erfolgversprechenden Maßnahmen im Freiland unter Praxisbedingungen getestet werden und weitere Ansätze zur Vermeidung von Spätfrostschäden verfolgt werden.

2. Ergebnisse und deren Beurteilung

Anhand der Literaturrecherche und im Rahmen des Gesamtprojekts wurden folgende Verfahren der Frostvorbeugung bzw. -abwehr untersucht.

2.1 Verhinderung von Wärmeabstrahlung durch Nebelmaschinen

Viele Winzer wissen aus Erfahrung, dass Frostschäden ausbleiben, wenn sich nachts in Senken Nebelbänke bilden. Die feinen Wassertröpfchen sind in der Lage, aus dem Boden aufsteigende Wärme aufzunehmen und zu speichern. Außerdem verhindern sie, dass absinkende Kaltluft bis zum Boden gelangt und damit die Reben schädigt.

Nachdem die früher eingesetzten Räucheröfen aus Gründen des Immissionsschutzes verboten wurden, recherchierte die LWG nach einer umweltfreundlichen Alternative. In diesem Zusammenhang stieß man auf Kunstnebel, der etwa in Diskotheken, Konzerten oder auch für Feuerwehr-Übungen verwendet wird. In den Jahren 2012 und 2013 wurde ein entsprechender Versuch im Freiland (Weinberg) durchgeführt. Trotz großer Nebelmaschine konnte keine gleichmäßige Verteilung und lange Verweildauer des Nebels gewährleistet werden. Der erzeugte Nebel bestand vorwiegend aus Rauch und weniger aus Wasserdampf, wodurch kein ausreichender Wärmepuffer entstand. Dieser Ansatz zur Prävention von Spätfrostschäden erwies sich somit als unwirksam.

Abbildung 1: Einsatz der Nebelmaschine. Die schnelle Verdriftung und Auflösung des Nebels bzw. Rauchs ist trotz leistungsstarken Geräts gut erkennbar

2.2. Luftumwälzung

2.2.1 Selective inverted sink (SIS)

Das Prinzip der “selective inverted sink“ -Technologie (SIS) beruht auf dem horizontalen Ansaugen bodennaher kalter Luft mittels eines Propellers. Diese Luft wird durch einen Schacht senkrecht nach oben geblasen und soll zu einer Zirkulation und Vermischung der Luftmassen führen. Bei Versuchen in Nord- und Südamerika konnte durch den Einsatz des SIS-Systems eine durchschnittliche Temperaturerhöhung von 2°C erreicht werden. Im Vergleich zu den weiter verbreiteten Windrändern verursacht das SIS-Verfahren nur etwa ein Drittel der Kosten pro Hektar und kann vor allem in Senken die Bildung eines Kaltluftsees verhindern (Arias et al, 2010 und Guarga 2011)

Der Hersteller Shurfarms mit Sitz in Colton, Kalifornien, wurde zwecks Beschaffung eines Geräts im Juni 2012 kontaktiert. Nach der ursprünglichen Zusage, ein Gerät zu Testzwecken zur Verfügung zu stellen, zeigte sich spätestens bei der Auswahl des passenden Standorts im Frühjahr 2013, dass diese Zusage nicht eingehalten wird. Deshalb wurden Erkundigungen angestellt, ein gebrauchtes Gerät zu kaufen. Anfang des Jahres 2014 wurde ein solches SIS-Gerät aus Spanien von der LWG erworben und getestet. Das Gerät ist nur für den Einsatz in Beckenlagen bzw. geschlossenen Tallagen geeignet, in denen das Nachfließen von Kaltluft von oben unterbunden ist. Solche Becken- und geschlossenen Tallagen existieren jedoch in Franken kaum.

Bei einem Praxistest im April 2014 konnte die Wirkungsweise des SIS-Gerätes nicht bestätigt werden. Die Sogwirkung unmittelbar an der Maschine war deutlich messbar, bereits 20 Meter entfernt aber ging diese gegen Null. Die Wind- und Temperaturmessungen erfolgten am Boden und in Höhe der Reben, und zwar in alle Richtungen. Es konnte kein Einfluss auf die Temperatur nachgewiesen werden.

Der Einsatz solcher SIS-Geräte ist somit im fränkischen Weinbau nicht zu empfehlen, da einerseits die Geländebedingungen nicht gegeben sind und andererseits die Reichweite der SIS-Geräte nicht ausreichend ist.

Abbildung 2: SIS-Gerät - Beim Einsatz wird die Kaltluft von unten angesaugt und nach oben ausgeworfen.

2.2.2 Windmaschine (Windrad)

Bei einer gleichzeitigen Konstellation von Inversion und Strahlungsforst kann bodennahe Kaltluft mit wärmeren, höher geschichteten Luftmassen verwirbelt werden.

In Regionen mit Spätfrostrisiko außerhalb Europas haben sich fest installierte technische Einrichtungen bereits etabliert. Die hohen Fixkosten sollen hier durch die hohe Zahl der kritischen Tage relativiert werden. Mit bis zu zwölf Meter hohen gasbetriebenen Windmaschinen wird unter anderem in Neuseeland und den USA die wärmere Luft aus höheren Schichten mit der absinkenden Kaltluft (höhere Dichte) am Boden verwirbelt und somit im Bereich der Rebe eine Temperaturerhöhung erzielt. Je nach Temperaturdifferenz zwischen Boden und Luft können hierdurch bei annähernder Windstille Temperatursteigerungen im Bereich der Rebe von bis zu 3,5°C erreicht werden (Snyder und de Melo-Abreu, 2005).

Im Zuge der ersten Projektphase (2012-2014) wurde eine mobile Windmaschine der Firma Amarillo erworben, um eigene Versuchserfahrungen und -ergebnisse zu generieren. Dieses Gerät hat einen sechs Meter hohen Mast und einen Flüssiggasmotor mit einer Leistung von 129 PS. Auf Empfehlung des Herstellers wurde ein Standort auf Himmelstädter Gemarkung in der Weinlage „Himmelstädter Kelter“ ausgewählt. Er befindet sich im Bereich eines Hangfußes zwischen erstem und zweitem Rebzug.

Abbildung 3: Standort der Windmaschine (Windrad) in der Weinlage „Himmelstädter Kelter“

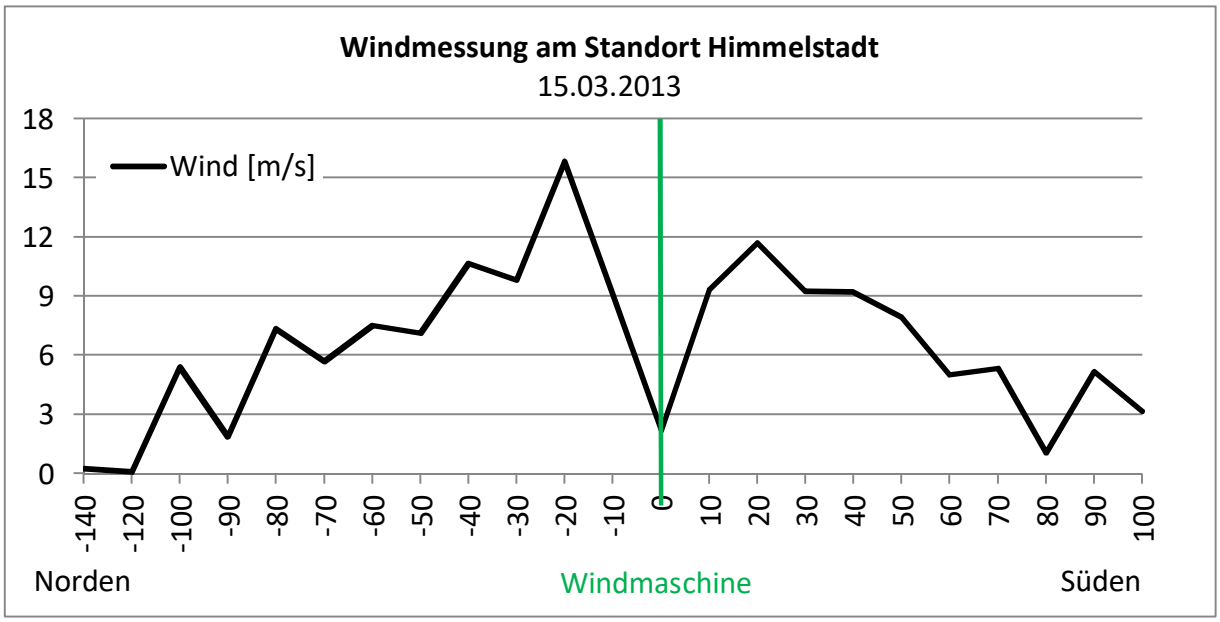
*Abbildung 4: Windrad der Firma Amarillo mit Generator und Flüssigg*astank am Standort Himmelstadt

Aufgrund fehlender robuster Inversionswetterlagen in den Versuchsjahren 2013 und 2014 konnte damals keine abschließende Bewertung zur Vermeidung von Spätfrostschäden erfolgen.

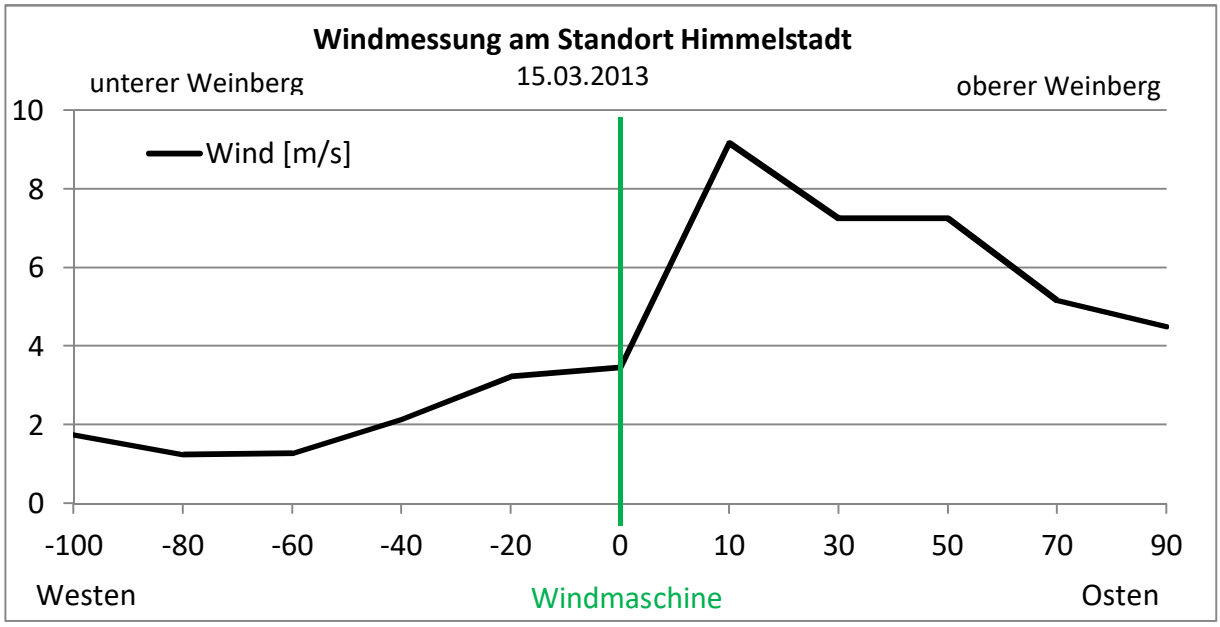
Begleitende **Messungen der Geräuschemissionen** zur Ermittlung erforderlicher Mindestabstände zu Wohngebieten ergaben, dass bei diesem Windradtyp aus Lärmschutzgründen ein Mindestabstand von 1.500 Metern zu Mischgebieten und 2.500 Metern zu reinen Wohngebieten empfohlen werden muss. Diese Messung fand in Abstimmung mit dem Sachgebiet 50, Technischer Umweltschutz, der Regierung von Unterfranken statt.

Außerdem wurden Messungen zur maximal schützbaren Fläche durchgeführt. Dazu wurde in einem festgelegten Raster die Windgeschwindigkeit gemessen. Es zeigte sich, dass die horizontale Luftumwälzung bis zu einer Entfernung von 100 m zufriedenstellend ist.

Die gemessenen Unterschiede der Windgeschwindigkeiten auf der Nord-/Südachse waren geländebedingt. Bei hängigem Gelände wie auf der Ost-/Westachse (10% Neigung) gegeben, verringerte sich die vor Frost schützbare Fläche deutlich. So konnte hangaufwärts bis zu 90 Metern noch eine gute Verwirbelung gemessen werden, während diese hangabwärts bereits nach 40 Metern nahezu vollständig fehlte (Graphik 1 und 2).

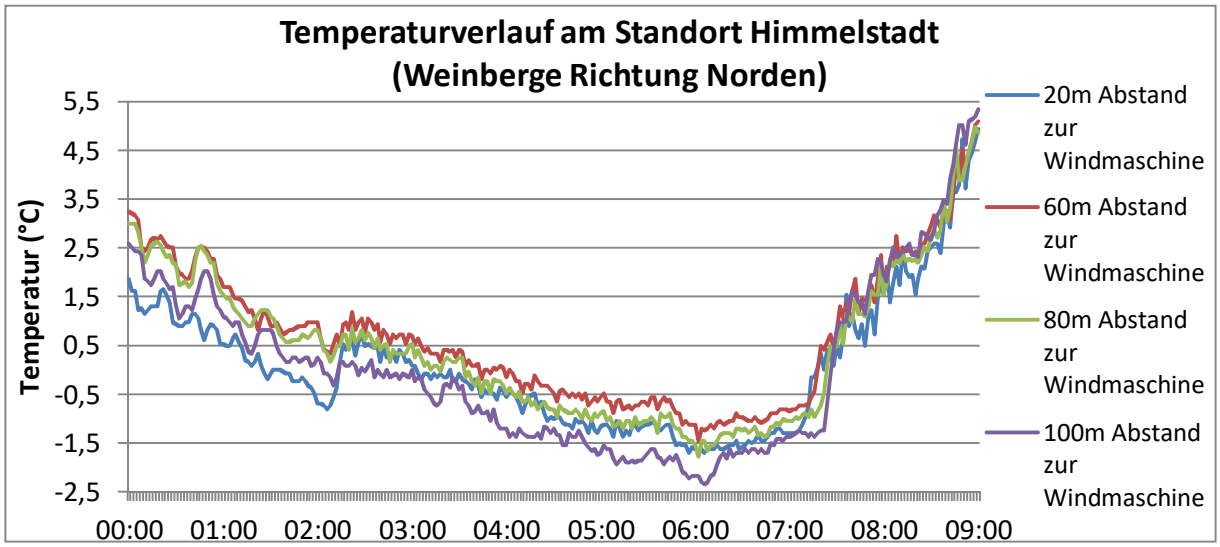


Grafik 1: Windmessungen in horizontaler Achse am 15.03.2013 in Himmelstadt



Grafik 2: Windmessungen in vertikaler Achse am 15.03.2013 in Himmelstadt

Im Jahr 2016 wurde für den 29.04.2016 eine Frostnacht prognostiziert und das Windrad angeschaltet. Zu Beginn des Versuchs wurde die Lufttemperatur am Boden und bis zu einer Höhe von 24 m gemessen. Hierbei konnte jedoch wiederum keine Inversionslage festgestellt werden. Dennoch lief das Windrad, um die Flächenleistung mittels Temperatursensoren zu erfassen. Es wurde um 2:00 Uhr morgens in Gang gesetzt. Die Auswertung der Temperatursensoren (in Höhe des Austriebs = ca. 1m über Boden) zeigte eine Abschwächung der Wirkung des Windrads mit zunehmender Entfernung (Graphik 3). Die Wellenbewegungen der Temperaturkurven kommen durch das Drehen des Rotorkopfes des Windrads um die eigene Achse zu Stande.



Grafik 3: Temperaturverlauf am 29.04.2016. Die verschiedenfarbigen Linien ergeben sich aus den Messwerten von Temperatursensoren in verschiedenen Abständen zum Windrad (Messungen in Höhe des Austriebs). Das Windrad wurde gegen 2:00 Uhr morgens eingeschaltet.

Die Temperaturerhöhung war bei einem Abstand von 100 Metern zum Windrad deutlich abgeschwächt. Je geringer die Entfernung zum Windrad war, desto stärker waren die Luftdurchmischung und damit die Temperaturerhöhung in Bodennähe. Auf Grund der fehlenden Schichtung von Warm- und Kaltluft konnte an diesem Tag eine Frostverhinderung allerdings nicht gewährleistet werden. Generell gilt, dass die Leistung eines Windrads ausreichend sein muss, um die erforderliche Luftbewegung von 1,8 m/sec zur Auflösung einer Inversionslage sicher zu stellen.

Nach der Abschaltung des Windrads, um 7.00 Uhr morgens, wurde direkt im Anschluss mittels einer Drohne mit Infrarotkamera zusätzlich die Oberflächentemperatur, in diesem Fall die Temperatur am Boden gemessen, um die Wirkung des Windrads großflächig bestimmen zu können.

Abbildung 5: Drohne mit Infarotkamera zur Bestimmung der Oberflächentemperatur des Bodens

Nach Auswertung der Messdaten konnte leider kein genauerer Wirkungsradius der Windmaschine bestimmt werden, da die Verwirbelung der Windmaschine an diesem Morgen einen zu geringen Effekt hatte (keine Inversionslage).

In Abbildung 6 sind die Oberflächentemperaturen südlich und nördlich des Windrads abgebildet. Hierbei sind eindeutig wärmere Flächen zu erkennen (in oranger und rötlicher Farbe). Dies hat nicht unmittelbar etwas mit dem Einsatz des Windrades zu tun, sondern ist ein Effekt des Oberflächenbewuchses (Begrünung), der in seiner Höhe innerhalb der Rebfläche wechselte. Darüber hinaus wies meist nur jede zweite Zwischenreihe eine Begrünung auf.

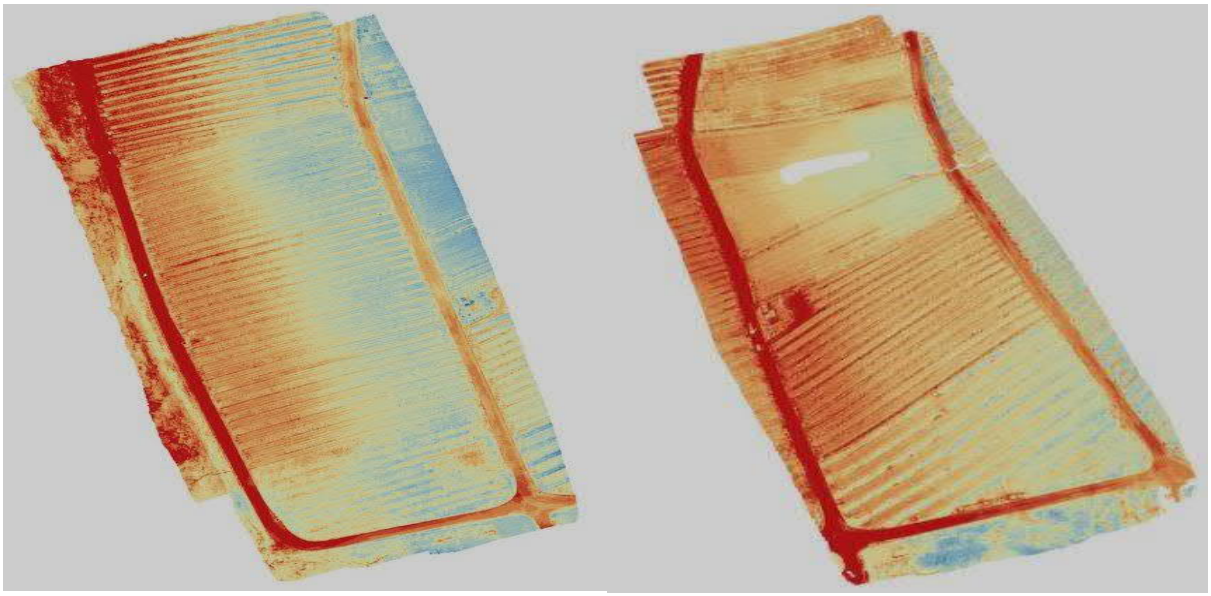


Abbildung 6: Oberflächentemperaturen westlich (linke Karte) und östlich (rechte Karte) des Windrads. Rote Flächen mit höherer Temperatur (niedriger Unterbewuchs), blaue Flächen mit niedrigerer Temperatur (höherer Unterwuchs). Während der Messung lag keine Inversion vor.

Hohe Begrünungen in Weinbergen können im Vergleich zu kurz geschnittenem Bewuchs die Oberflächentemperatur um bis zu 2°C senken.

Generell kann der Einsatz des Windrads bei Strahlungsfrost Spätfrostschäden an Reben verhindern und ist deshalb als ein Instrument zur Vermeidung von Ernteausfällen einsetzbar. Dabei ist aber aus Lärmschutzgründen auf ausreichende Abstände zu Bebauungen zu achten.

2.2.3 Hubschrauber

Ebenfalls auf dem Prinzip der Vermischung kalter und warmer Luftmassen beruht der Einsatz von Helikoptern. Vor allem aus Neuseeland und Australien ist bekannt, dass damit ein effektiver Frostschutz betrieben werden kann.

Durch den „downwash“ genannten abwärts gerichteten Luftdruck der Rotorblätter hält sich der Hubschrauber bauartbedingt in der Luft. Dieser Abwärtswind kann zum Frostschutz genutzt werden, weil er für eine starke Verwirbelung der Luftmassen sorgt und damit bei Inversion warme Luft von oben nach unten befördert.

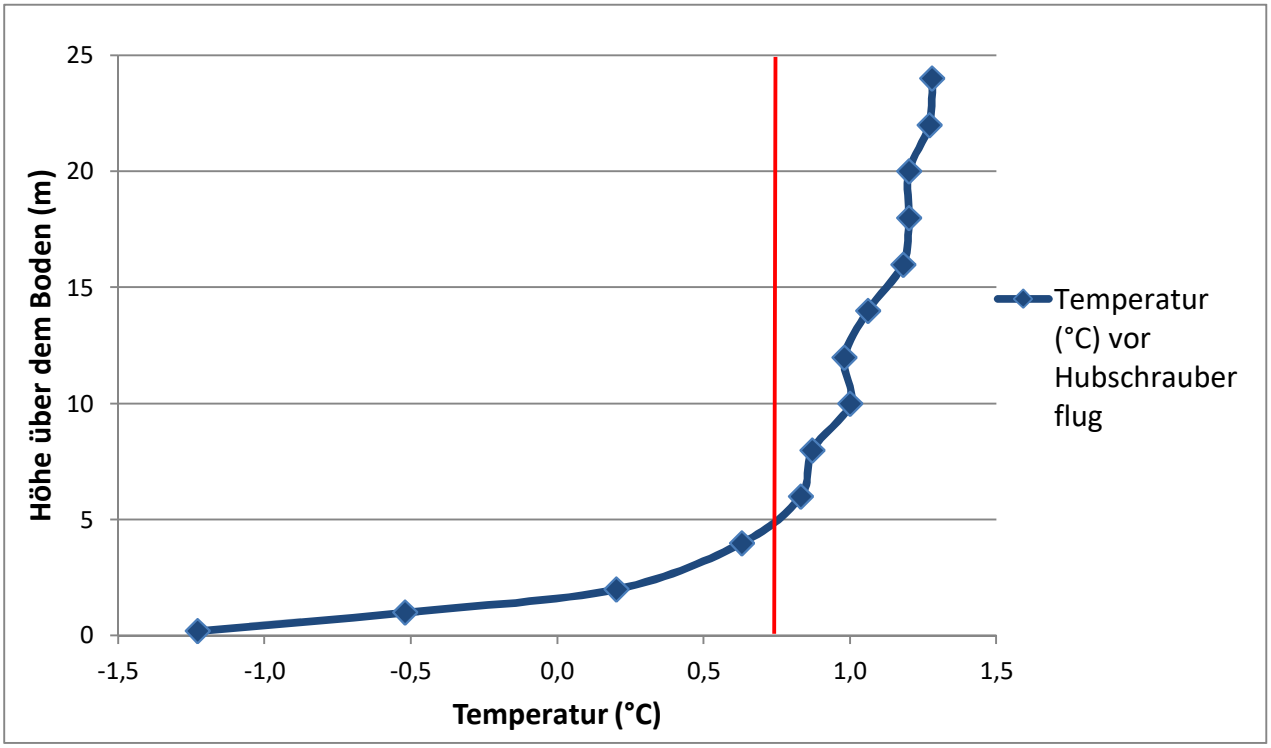
Deshalb wurde bereits 2014 eine 14 Hektar großes Areal an der Mainschleife zwischen Sommerach, Nordheim und Volkach als Testfläche ausgewählt, das als besonders frostgefährdet gilt und mit Temperatursensoren ausgestattet (Abbildungen 7 und 8).

Abbildung 8 (rechts): Helikoptereinsatz zur Vermeidung von Spätfrostschäden in der Mainschleife.

Abbildung 7 (links): Überflogene Testfläche mit einer Größe von 14 Hektar. Die Sensoren (gelbe Zahlen) befinden sich in Höhe des Austriebs

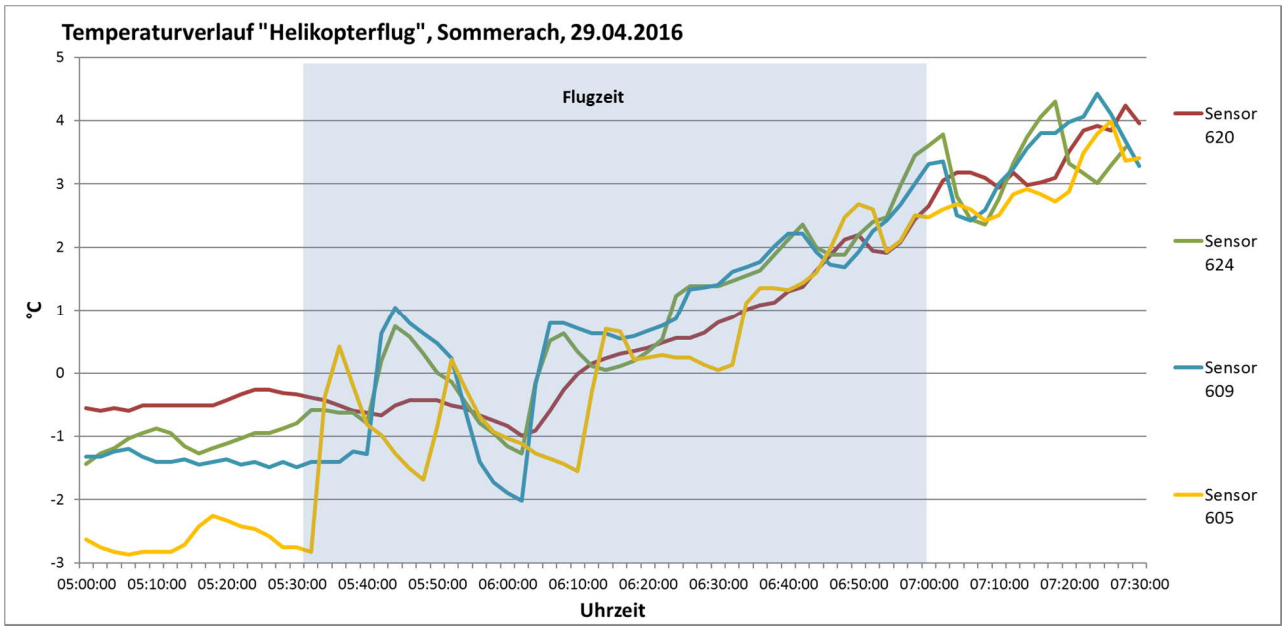
Im Jahr 2016 wurde, wie auch schon 2014 der private Helikopteranbieter Helix Fluggesellschaft mbH / Neuenstein beauftragt, die Fläche zu überfliegen. Dies ermöglichte eine realistische Einschätzung der Verfügbarkeit, der anfallenden Kosten und der Flächenleistung eines privaten Flugunternehmens.

In der Nacht vom 29.04.2016 wurde vor dem Hubschrauberflug ein Höhenprofil der Temperatur (Graphik 4) erstellt. Am besagten Standort konnte um 4:00 Uhr ein leichter Bodenfrost mit einer Temperatur von -1,2°C festgestellt werden. Zudem zeigt Graphik 4 einen Temperatursprung ab einer Höhe von 4-6 m auf Werte um +1,0°C. Damit konnte eine klassische Inversionslage nachgewiesen werden.



Grafik 4: Höhenprofil der Temperatur am 29.04.2016 um 4:00 Uhr morgens in Sommerach. Erst im Anschluss an diese Messung flog der Helikopter.

Direkt beim Beginn des Helikopterflugs zeigte sich daher eine rasche und starke Verwirbelung der unterschiedlich temperierten Luftmassen (Grafik 5). Hierdurch kam es je nach Lage der Rebparzellen in der Versuchsfläche zu einer Erhöhung der Temperatur um bis zu 3,5°C. Sensor 605 war an der tiefsten Stelle der Versuchsfläche angebracht, an der sich die Kaltluft am stärksten sammelte (wie sich an der deutlich niedrigeren Ausgangstemperatur zeigte). Gerade hier konnten mit dem Hubschraubereinsatz die Temperaturen aus dem Gefahrenbereich angehoben und Frostschäden vermieden werden.



Grafik 5: Vergleichender Temperaturverlauf am 29.04.2016 in Sommerach.

Der Helikopter musste alle Rebflächen nach ca. 10 bis 15 Minuten wieder überfliegen, damit eine ständige Verwirbelung gewährleistet blieb. Dies gilt generell auch für Praxisflächen. An den Wellenbewegungen der Temperaturgraphen ist das Überfliegen des jeweiligen Sensors erkennbar. Der Hubschrauber überflog die Weinberge in einer Höhe von 15-25 Metern, um den Effekt des „downwash“ optimal zu nutzen.

Beachten: Das in Deutschland geltende Nachtflugverbot birgt das Risiko, dass noch vor einem Flug in den Morgenstunden, Frostschäden in der Nacht entstehen können. So lagen die Temperaturen in der Versuchsfläche teilweise bereits ab 4:00 Uhr im Minusbereich. Der Hubschrauber durfte jedoch frühestens 30 Minuten vor Sonnenaufgang fliegen - an diesem Tag um 5:30 Uhr. Frostschäden an den ausgetriebenen Augen konnten hier trotz der frühen Minustemperaturen aber nicht beobachtet werden.

Beim Helikoptereinsatz vom 29.04.2016 wurde zuletzt der östliche Teil der Versuchsfläche überflogen. Unmittelbar im Anschluss daran wurde per Drohne (ausgestattet mit Infrarotkamera) die Oberflächentemperatur auf der gesamten Versuchsfläche erfasst. In Abbildung 10 sind die beiden letzten Schleifen des Helikopterfluges deutlich in der Temperaturkarte zu erkennen. Der rote rechte Teil der Karte visualisiert hier Temperaturerhöhungen an der Bodenoberfläche von 1,5 bis 2°C.

Abbildung 9: Hubschrauber beim Frosteinsatz in Sommerach

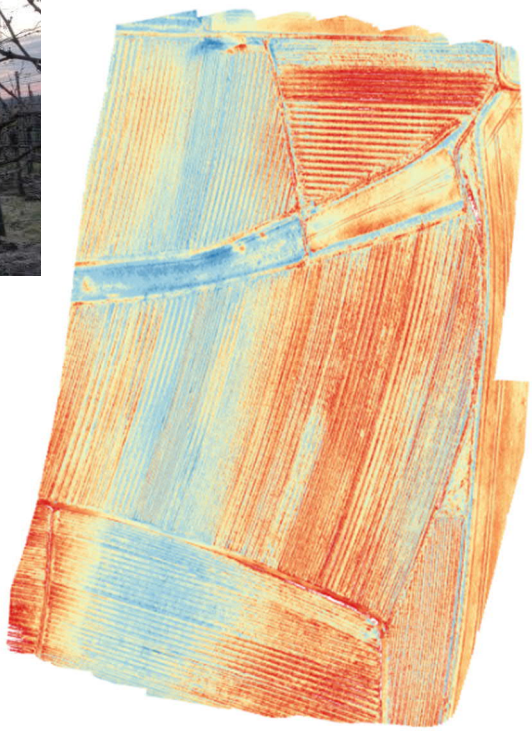


Abbildung 10: Oberflächentemperaturen auf der Versuchsfläche in Sommerach nach Überflug

Der Hubschrauber kann als geeignetes Instrument zur Frostbekämpfung betrachtet werden. Der rasche und stabile Temperaturanstieg sowie die große Flächenleistung sprechen für einen praxistauglichen Einsatz bei Frostnächten mit Inversion und Strahlungsfrost.

Die Kosten für einen Einsatz setzen sich aus Bereitstellungskosten (Anflug des Helikopters am Vorabend) und den tatsächlichen Einsatzkosten für die Überfliegung der Rebfläche zusammen. Die genaue Abrechnung erfolgt nach Flugminuten.

Die anfallenden Kosten sind mit 250 – 400 €/ pro Hektar Rebfläche vergleichsweise gering und variieren je nach überflogener Fläche. Die angegebene Kostenspanne bezieht sich auf eine Einsatzfläche von 14-18 Hektar.

Der Einsatz eines Helikopters ist nur bei gemeinschaftlichem Einsatz über eine größere Fläche sinnvoll.

2.3 Beregnung

Die Frostberegnung ist in Südtirol seit Jahrzehnten zur erfolgreichen Frostprävention im Wein- und Obstbau im Einsatz. Bei diesem Verfahren werden die grünen Reborgane bei Frost mit einem Eismantel umhüllt. Durch die Kristallisation der Wassermoleküle kommt es zu einer Freisetzung von Erstarrungsenergie. Dadurch kann ein wirksamer Schutz bis -7 °C gewährleistet werden (Snyder und de Melo Abreu, 2005).

Allerdings ist der Gebrauch von herkömmlichen Beregnungsanalagen (vollständige Überkopfberegnung) durch den enorm hohen Wasserbedarf eingeschränkt. In einer Stunde werden bis zu 40 m^3 Wasser pro Hektar benötigt. Die Beregnung muss zudem rechtzeitig vor Einsetzen der Frostphase beginnen und so lange fortgesetzt werden bis die Lufttemperatur wieder im positiven Bereich ist. Für die meisten Rebflächen Frankens steht diese enorme Wassermenge nicht zur Verfügung.

Auf einer Versuchsfläche der LWG wurde deshalb im Jahr 2013 eine Frostberegnung mit neuen, **wassersparenden Regnern** installiert. Insgesamt wurden vier verschiedene Systeme der Firmen Netafim, Ben Jaakow und PIP getestet. Die Hersteller dieser Systeme versprechen Wassereinsparungen bis zu 66%, indem nur ein 60cm breites Band in der Rebzeile beregnet wird und zum anderen die Regner einen pulsierenden Wasserstrahl abgeben. Ein erster Praxistest wurde 2014 durchgeführt. Es zeigte sich aber, dass diese Systeme sehr windanfällig sind und deshalb eine gezielte und kontinuierliche Beregnung der Rebzeilen nicht immer gewährleistet ist. Bei drei der Systeme konnten daher Lücken des Eisschutzes in der Rebzeile beobachtet werden. Infolgedessen wurde das Versuchsdesign geändert und der Aufbau der Beregnungsanlage im Jahr 2015 optimiert.

In den Jahren 2016 und 2017 wurden in mehreren Nächten im April Minusgrade in der Versuchsfläche gemessen und die Beregnungsanlage angeschaltet.

Abbildung 12: Eispanzer und Eiszapfen an der niedergezogenen Rute

Abbildung 11: Gut schützender Eispanzer an den aufgebrochenen Rebknospen bei herkömmlicher Beregnung.

In beiden Jahren kam es zu Frostschäden von bis 60% in den nicht beregneten Kontrollvarianten (Tabelle 1). Aus Tabelle 2 ist darüber hinaus ersichtlich, dass in beiden Jahren der Regner der Firma PIP niedrigere Ernteerträge als die Kontrolle aufweist. Dies ist auf die ungenaue Wasserverteilung und damit auf die nicht ausreichende Wärmefreisetzung zurückzuführen.

In den verschiedenen Beregnungsvarianten wurden teilweise größere oder gleiche Frostschäden wie in der Kontrolle bonitiert. Die Ertragssicherung in den beregneten Varianten war im Versuch verglichen mit dem Aufwand und den Kosten der Anlagen nicht immer zufriedenstellend.

Frostschäden an den Hauptaugen der Bogrebe; Bonituren am 11.05.2016 bzw. dem 11.05.2017

Tabelle 1: Vergleich verschiedener wassersparender Regnertypen /-fabrikate.

Silvaner	Frostschaden 2016 (% erfrorener Hauptaugen)	Frostschaden 2017 (% erfrorener Hauptaugen)
Kontrolle	60	49
Netafim kontinuierlich	40	51
Netafim pulsierend	58	56
Ben Jaakow	38	51
PIP	46	59

Tabelle 2: Ernteerträge der Beregnungsvarianten mit wassersparenden Regnern

Silvaner	Ertrag 2016 (kg/Stock)	%	Ertrag 2017 (kg/Stock)	%
Kontrolle	2,6	100	2,5	100
Netafim kontinuierlich	2,7	105	2,6	107
Netafim pulsierend	2,4	93	2,8	114
Ben Jaakow	3,0	117	2,7	111
PIP	1,9	73	2,2	90

Eine Empfehlung für die Beregnung mit diesen wassersparenden Regnern als zuverlässiges Verfahren zur Vermeidung von Frostschäden kann derzeit noch nicht gegeben werden.

Hier bedarf es weiterer Ergebnisse, Erfahrungen und gegebenenfalls einer entsprechenden Optimierung der Systeme.

Im Vergleich zu konventionellen Beregnungsanlagen im Weinbau (Gerlachsheim / Tauberfranken) ist die Einsparung des Wasserverbrauchs aber -wie bereits erwähnt- enorm. Die herkömmliche Frostberegnung (Überkronenberegnung) kann indessen sowohl bei Wind- als auch bei Strahlungsfrost empfohlen werden, wenn eine entsprechende Anlage bereits vorhanden ist und die benötigten Wassermengen verfügbar sind.

2.4 Wärme(-energie) aktiv zuführen

2.4.1 Frostschutzkerzen

Nachdem früher „Frostkiller“-Kerzen der Firma Texaco weit verbreitet zum Einsatz kamen, wurden 2012 bis 2014 Vergleiche mit der zwischenzeitig angebotenen umweltfreundlicheren Paraffinkerze „StopGel“ angestellt. Diese in Frankreich produzierte Frostschutzkerze kann auf Vorrat angeschafft und dann bei Meldung einer drohenden Frostnacht ausgebracht werden.

Bei einem Frostereignis von -2°C bis -3 °C müssen 200 - 300 Kerzen pro Hektar aufgestellt und angezündet werden. Daraus ergeben sich aktuell Kosten zwischen 1.700.- und 2.550.- Euro je Hektar und Nacht.

Bei einem nächtlichen Einsatz sollte vorab die örtliche Feuerwehr verständigt werden, um mögliche Fehlalarme zu vermeiden.

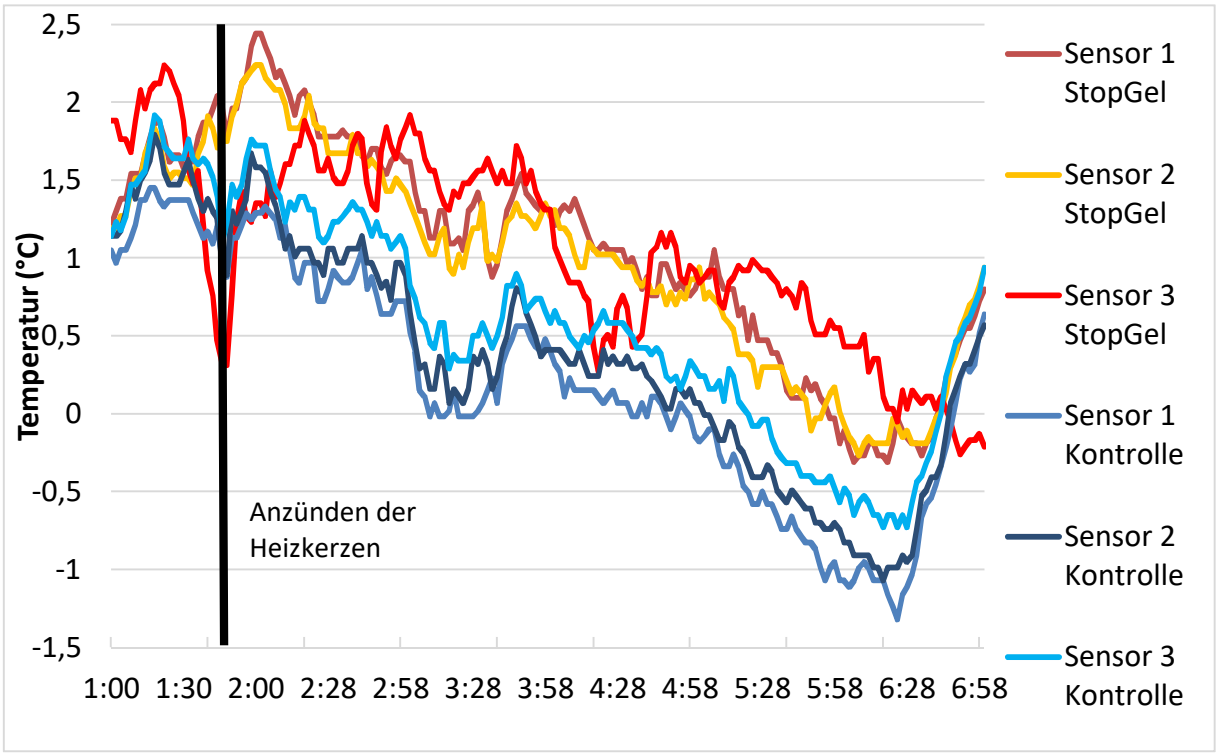
Abbildung 13: Einsatz von Heizkerzen „StopGel“ im Weinberg am Standort Sulzfeld

In der Lage Sulzfelder Cyriakusberg wurden bereits im Frühjahr 2013 nach angekündigter Frostnacht 300 Kerzen pro Hektar zwischen den Rebzeilen verteilt aufgestellt und in der Zeit von 4:00 bis 6:00 Uhr angezündet. Leider fielen 2013 die Temperaturen nicht wie angekündigt unter 0°C. Die Temperaturen sanken lediglich bis auf +7°C ab, dann bewölkte sich der Himmel und es wurde nicht mehr kälter.

In der Variante mit den StopGel-Heizkerzen konnte mittels Sensoren ein Temperaturanstieg von 1°C gegenüber der Kontrolle gemessen werden.

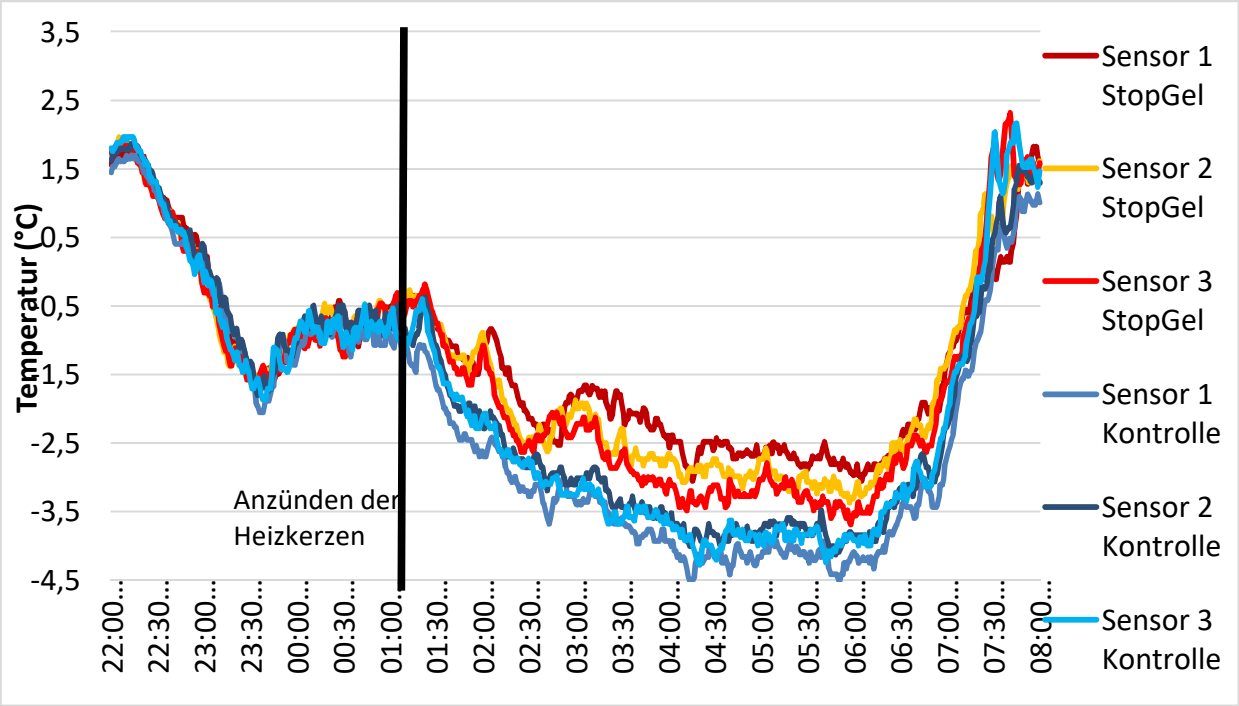
Der Versuch wurde unter Praxisbedingungen in den Jahren 2016 und 2017 auf der gleichen Fläche wiederholt. Die Testfläche wurde wiederum auf zwei Blöcke aufgeteilt: Block 1 unbeheizt, Block 2 beheizt mit StopGel-Kerzen. In beiden Blöcken standen je drei Sensoren zur Ermittlung der Lufttemperatur in Höhe der ausgetriebenen Knospen/Augen.

In beiden Jahren wurden 300 Kerzen pro Hektar aufgestellt. In beiden Jahren konnte hierdurch die Temperatur um bis zu 1,5°C angehoben werden. Im Versuchsjahr 2016 fiel die Temperatur in den beheizten Rebflächen kurzzeitig unter 0°C.



Grafik 6: Temperaturverlauf am 29.04.2016 am Standort Sulzfeld in Höhe der Austriebe (ca. 1m über Boden).Deutlich erkennbar: Die Temperaturkurven der StopGel-Varianten liegen alle um etwa 1°C über denen der unbeheizten Kontrolle.

Im darauffolgenden Jahr 2017 sank die Temperatur dafür umso stärker - selbst in den beheizten Rebzeilen zeitweise bis auf -3,5°C. Deshalb hätten hier im Nachhinein betrachtet mehr als 300 Heizkerzen pro Hektar aufgestellt werden müssen.



Grafik 7: Temperaturverlauf am 20.04.2017 in Sulzfeld in Höhe der Austriebe (ca. 1m über Boden.Die Temperaturkurven der StopGel-Varianten liegen auch hier im Durchschnitt um etwa 1°C über denen der unbeheizten Kontrolle.

Dennoch wurden im Jahr 2017 erstaunlicher Weise keine Frostschäden in der beheizten Fläche beobachtet (Tabelle 3.). Auf der unbeheizten Kontrollfläche aber wurde die Erntemenge durch den Spätfrost um ca. 50% verringert.

Tabelle 3: Ernteerträge und Qualitätsparameter der Kontrolle und der StopGel Variante im Jahr 2017

Müller-Thurgau 2017	Ertrag (kg/Stock)	%	°Oechsle	Gesamtsäure (g/L)
Kontrolle	2,3	53	81	8,5
Stopgel	4,4	100	76	7,8

Die Wirkung der Heizkerzen wurde in den Jahren 2016 und 2017 bestätigt. Es zeigte sich aber auch, dass die Angaben des Herstellers zur erforderlichen Kerzenzahl zu niedrig waren und insbesondere bei Luftbewegung mehr Kerzen aufgestellt werden müssen, da hier mehr Wärme abgeführt wird. Hinzu kommt, dass bei höheren Windgeschwindigkeiten, wie sie bei Windfrost auftreten können, die Brenndauer zusätzlich stark reduziert ist, so dass die Kerzen maximal sechs Stunden brennen. Dies lässt sich durch die verbesserte Sauerstoffzufuhr und die dadurch bedingte stärkere Flammenbildung erklären.

Die vom Hersteller für die Kerzen angegebene Brenndauer lag bei 8-10 Stunden.

Ergänzender Tastversuch

Weitere, neu auf dem Markt befindliche Frostschutzkerzen auf Paraffinbasis:

In Ergänzung zu den im Rahmen des Projekts durchgeführten Versuchen mit der Frostschutzkerze StopGel wurden ausgangs Winter 2018 in einem Tastversuch verschiedene Paraffinkerzen mit der Paraffinkerze StopGel verglichen. Dabei handelte es sich um die Kerzen: Stop-Ice, Plastoflex und EWA Frost FRO 4000. Die Kerzenpreise lagen zwischen 7,75 € und 8,50 € (Nettopreis bei Anlieferung einer LKW-Ladung).

Im Rahmen des Tastversuchs ging es vor allem um die Ermittlung der Brenndauer, die Rauchentwicklung und den Preis pro Stunde Brenndauer.

Während zwischen den Preisen der verschiedenen Kerzen nur geringe Unterschiede bestanden, zeigten sich in der Brenndauer erhebliche Unterschiede (10:00 Stunden bis 12:55 Stunden). Hieraus ergaben sich entsprechend deutlich unterschiedliche Preise pro Stunde Brenndauer:

Stop-Ice: 0,71 € / StopGel: 0,92 / Plastoflex: 0,61€ / EWA Frost FRO 4000: 0,69 €.

Es wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass es sich hier lediglich um einen Tastversuch ohne Wiederholungen gehandelt hat. Je nach Witterungssituation (Temperatur, Luftbewegung, Sauerstoffgehalt der Luft) können sich hier abweichende Werte ergeben.

Beim Einsatz von Paraffinkerzen in Weinbergen bei angrenzender Bebauung wird vorrangig der Einsatz der StopGel-Kerze empfohlen, da sie eindeutig die geringste Rauchentwicklung aufweist. Eine Differenzierung zwischen den übrigen Kerzen, die alle zu einer höheren Rauchentwicklung neigten, war nicht erkennbar.

2.4.2 Heizdraht

Die Verwendung von Heizdrähten, die um die niedergezogene Fruchtrute beziehungsweise den Kordonarm gewickelt werden, ist eine weitere potentielle Maßnahme. Die abgegebene Energie soll den Saftstrom erwärmen und dadurch auch die bereits entwickelten grünen Triebe und Blätter vor Frost schützen (Lamb, 2009).

Den hohen Kosten von ca. 12.000 Euro pro Hektar steht nach bisherigen Erfahrungen eine gute Wirksamkeit dieser vollautomatischen Methode gegenüber.

An getopften Rebpflanzen konnten diese Heizdrähte einen Schutz bis -4°C sicherstellen. Bei einem entsprechenden Versuch am 05.03.2013 wurden die Temperaturen des Saftstroms der Pflanze in einer Frostnacht vergleichend gemessen. Je nach Pflanze konnte die Temperatur des Saftstroms um 4 bis 7°K gegenüber der Umgebungstemperatur erhöht werden. Dadurch wiesen die „erwärmten“ Pflanzen im Vergleich zur Kontrolle keine Frostschäden auf.

Des Weiteren wurde ein Feldversuch, bestehend aus einer Kontrolle und drei verschiedenen Umwickelungsvarianten, angelegt. Der Heizdraht wurde hierzu entweder (a) nur am Biegedraht entlanggeführt und mit Bändern befestigt, (b) um die Bogrebe /den Kordonarm der Rebe gewickelt oder (c) um den Stamm gewickelt. Variante (b) soll den Vorteil bieten, dass der Heizdraht dauerhaft an der Rebe verbleiben kann und nicht jährlich beim Rebschnitt abgebaut werden muss.

Abbildung 14: (a) Heizdraht wird an der Rute entlang geführt

Abbildung 15: (b) Rute mit Heizdraht umwickelt

Abbildung 16: (c) Rebstamm mit Heizdraht umwickelt

Der Freilandversuch bestätige in den Jahren 2016 und 2017 die Ergebnisse des Topfversuchs. Trotz deutlicher Minustemperaturen und Frostschäden in der Kontrolle konnte der Ertrag gesichert werden.

Speziell die Varianten, in denen der Heizdraht an der Bogrebe / am Kordon anlag oder diese umwickelt, zeigen deutlich höhere Erträge zur Ernte. Selbst wenn der Heizdraht um den Stamm gewickelt ist, sind die Frostschäden erheblich reduziert. Dies stützt die Annahme, dass der Saftstrom der Pflanze selbst und nicht nur die unmittelbare Umgebung erwärmt wird.

Tabelle 4: Ernteerträge/Qualitätsparameter von Kontrolle und Heizdraht - Variante im Freilandversuch.

Müller-Thurgau	Ertrag 2016 (kg/Stock)	%	Ertrag 2017 (kg/Stock)	%
Kontrolle	0,8	100	2,2	100
um Bogrebe gewickelt 2016	1,7	230	3,9	173
an Bogrebe entlanggeführt	2,4	317	3,7	163
um Stamm gewickelt	1,4	187	3,3	147

(Anmerkung: Im Jahr 2017 erfolgte die Umstellung auf Kordonerziehung)

Das Heizdraht-Verfahren wurde 2017 in Württemberg kommerziell erfolgreich von einem Winzer gegen Spätfrost eingesetzt. Zur Sicherung der Stromversorgung stellte dieser ein dieselbetriebenes Stromaggregat in den Weinberg.

Die Methode „Heizdraht“ kann bei Strahlungs- und Windfrost empfohlen werden.

2.5 Physiologische Verfahren

2.5.1 Pflanzenstärkungsmittel

Der Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln ist aus anderen pflanzlichen Kulturen, wie beispielsweise Zierpflanzen (WARTENBERG, 2009 und 2010) bekannt. Die natürliche Widerstandsfähigkeit der Pflanzen soll hierdurch erhöht werden. Im Projekt wurden drei spezielle Pflanzenstärkungsmittel („Veritas“, „Magical“ und „CropAid“) getestet. Zudem wurde ein im Weinbau zugelassenes Kupferpräparat („Cuprozin“) appliziert. Hierbei soll die antibakterielle Wirkung des Kupfers eiskristallbildende Bakterien abtöten und somit Frost bzw. Eis direkt an der Rebe verhindern.

Besagte Mittel wurden in den Jahren 2015 und 2016 mehrmals an Topfreben in unterschiedlichen Konzentrationen und bei geringen bis mittleren Frostgraden geprüft.

Die Versuchsergebnisse waren jedoch nicht zufriedenstellend und wurden daher im Jahr 2017 nicht wiederholt. Bei höheren Brühekonzentrationen der Pflanzenstärkungsmittel traten sogar deutliche phytotoxische Reaktionen an den Reben auf.

Keines der Mittel kann daher im Weinbau zur Verhinderung von Spätfrostschäden empfohlen werden.

2.5.2 Double pruning (Doppelter Rebschnitt)

Der Grundgedanke beim Einsatz dieser Methode ist, dass durch eine Verzögerung des Austriebs die Anfälligkeit der Rebe gegen Spätfrost verringert werden kann.

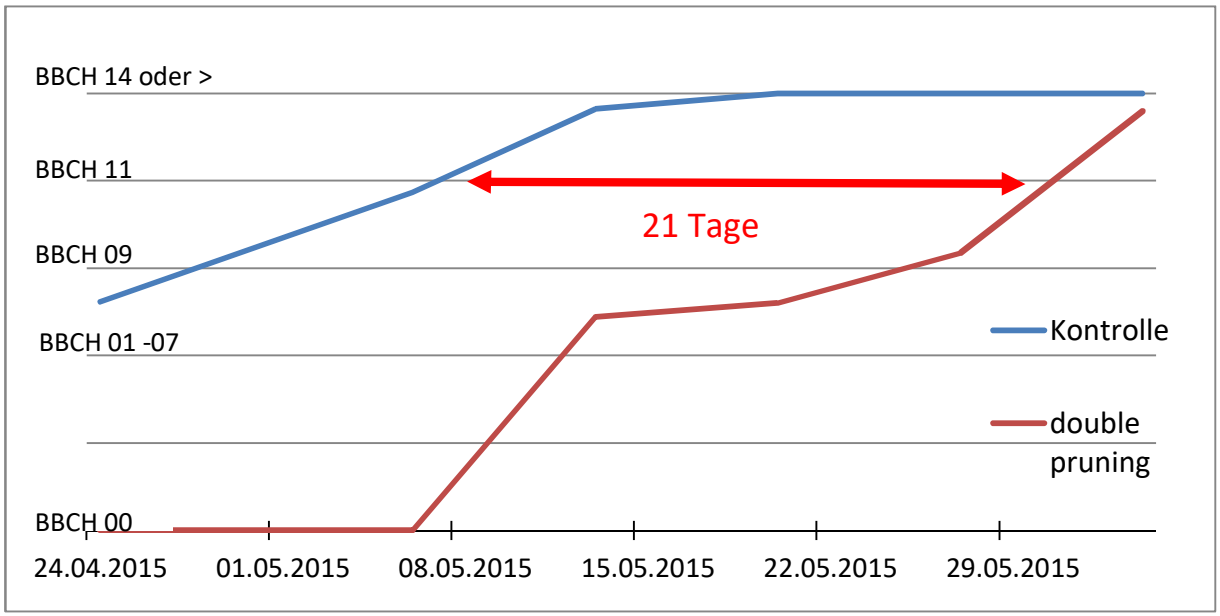
Das in Nordamerika bekannte Verfahren des „double pruning“ nutzt die apikale Dominanz der Triebe, das heißt die Tatsache, dass am Trieb höher sitzende Augen früher austreiben als unten befindliche. Dieses System setzt die Kordonerziehung des Rebstocks voraus. Die Ruten werden dabei im Winter lediglich auf eine Länge von 60 cm eingekürzt. Sind nach einem Spätfrostereignis die am Ende der Rute zuerst ausgetriebenen Augen geschädigt, werden die unteren kordonnahen Augen genutzt, die meist noch nicht ausgetrieben haben.

Nach der Spätfrostgefahr erfolgt der zweite eigentliche Rebschnitt, bei dem die Ruten auf ein bis zwei Augen zurückgesetzt werden. Dann erst erfolgt der Austrieb des fruchtbaren, basalen Hauptauges.

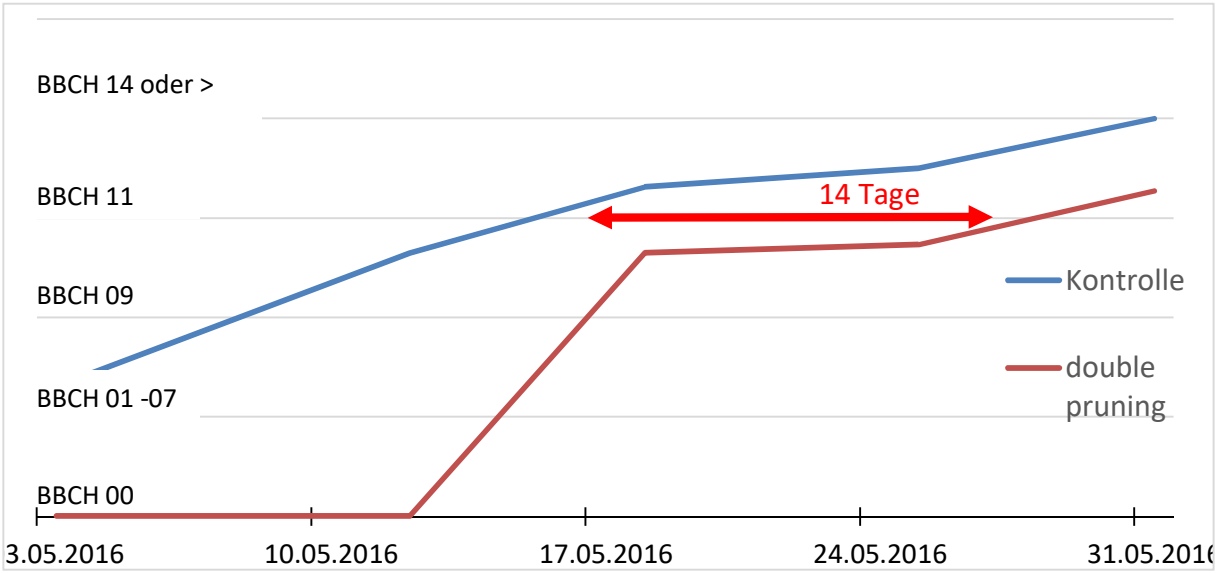
Versuche in den Jahren 2013 und 2014 zeigten einen um bis zu 30 Tagen verzögerten Austrieb. Allerdings wurde hierdurch der Entwicklungsunterschied nicht kompensiert und die Reife der Trauben innerhalb eines Rebstockes vollzog sich zu inhomogen. Zudem bestanden Zweifel an der Beeren- und Weinqualität.

Auswirkungen des Double pruning auf den Austrieb

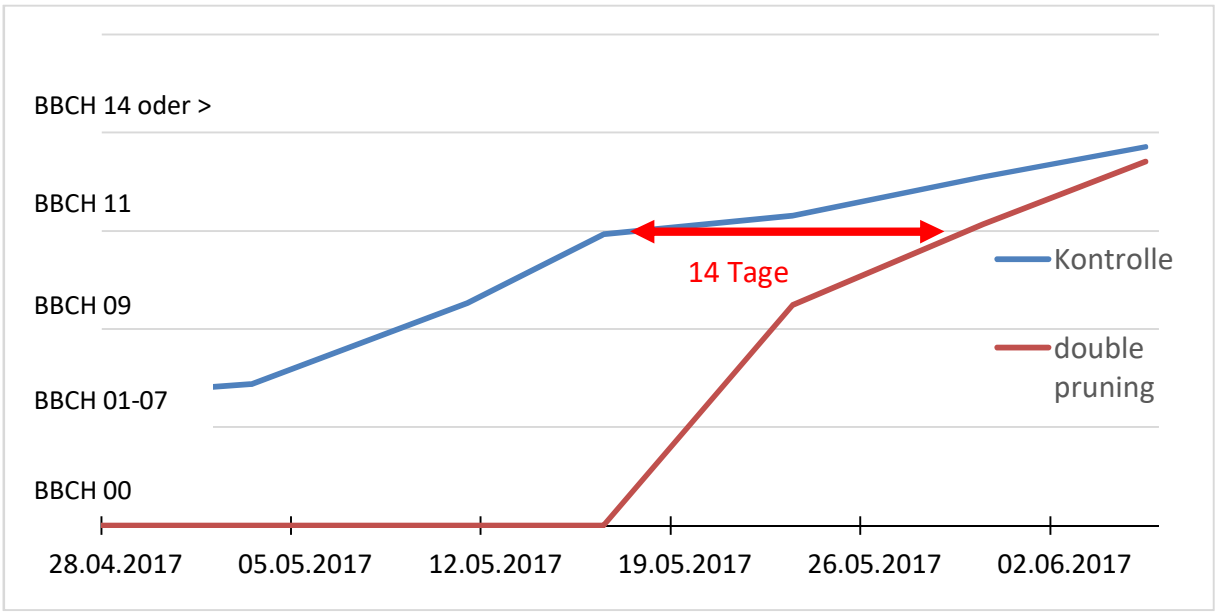
Die Graphiken 8 bis 10 zeigen den Verlauf des Austriebs in den Jahren 2015 bis 2017 der Rebsorte Müller-Thurgau auf dem Standort Veitshöchheimer Wölflein. Hierbei ist zu beobachten, dass 2015 die Verzögerung bei der doppelt geschnittenen Variante 21 Tage bis zum Erreichen des 1-Blatt-Stadiums (BBCH 11) beträgt. In den Jahren 2016 und 2017 war die Entwicklung 14 Tage hinter der Kontrolle. In beiden Jahren kam es zu Spätfrostereignissen in der Versuchsfläche mit teilweise erheblichen Ertragseinbußen.



*Grafik 8: Austriebsverlauf der basalen Augen bei der Rebsorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2015**.*



*Grafik 9: Austriebsverlauf der basalen Augen bei der Rebsorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2016**.*

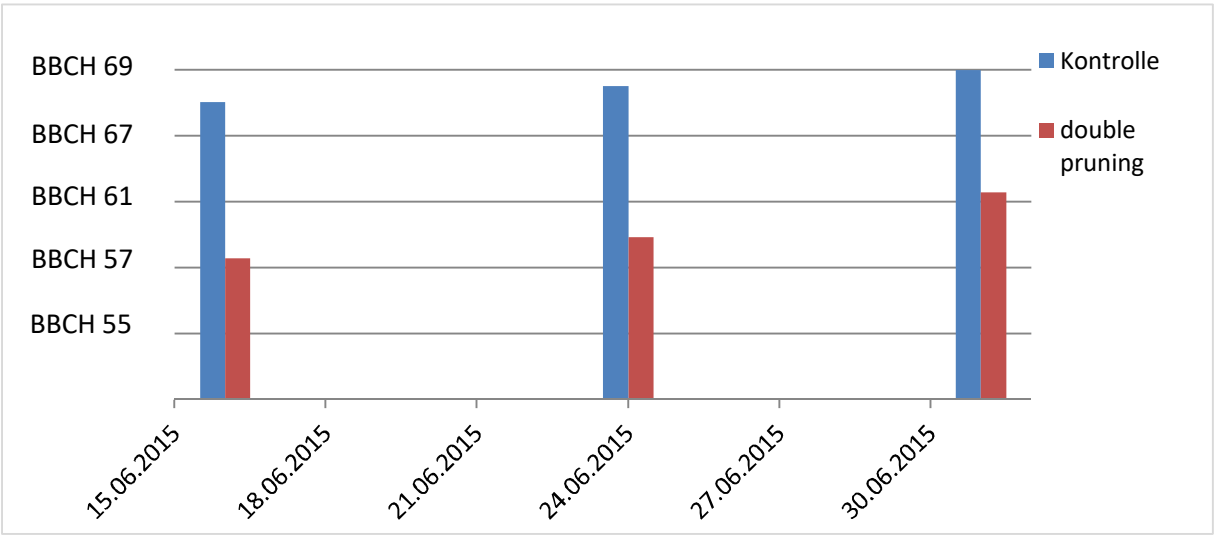


*Grafik 10: Austriebsverlauf der basalen Augen bei der Rebsorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2017.***

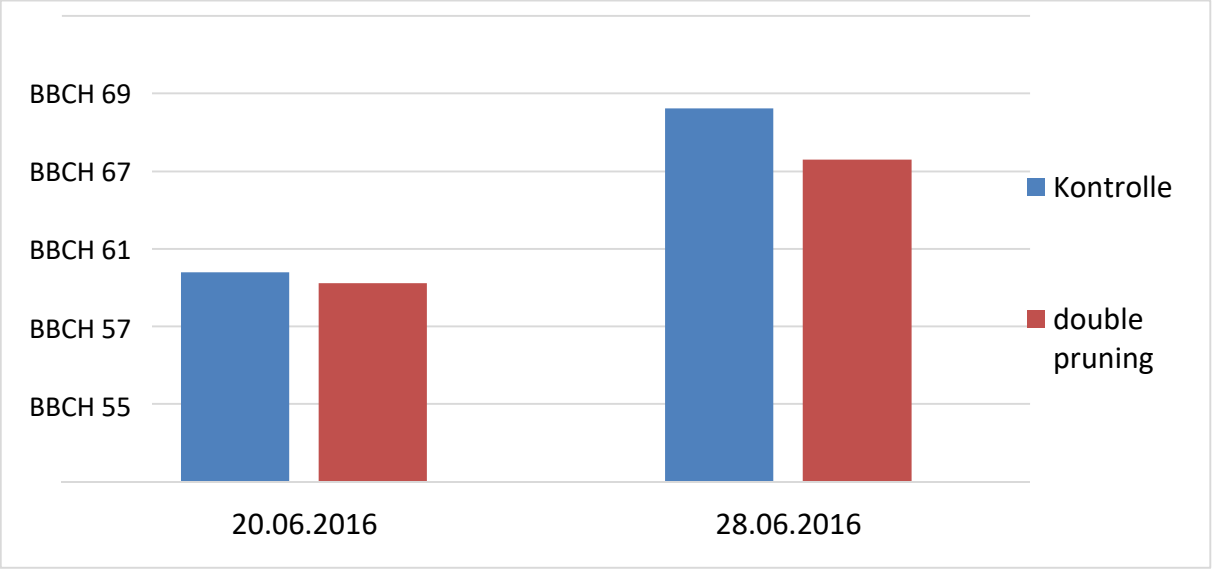
Auswirkungen des Double pruning auf den Blühverlauf:

Der Blühverlauf im Jahr 2015 zeigt deutliche Unterschiede in der Entwicklung der beiden Schnittvarianten. Hier setzte sich die Verzögerung vom Austrieb bis zur Blüte fort. Bereits am 2. Boniturtermin am 25.06.2015 war die Kontrolle größtenteils durchgeblüht, wohingegen die Variante „double pruning“ am 30.06.2015 erst am Blühbeginn stand.

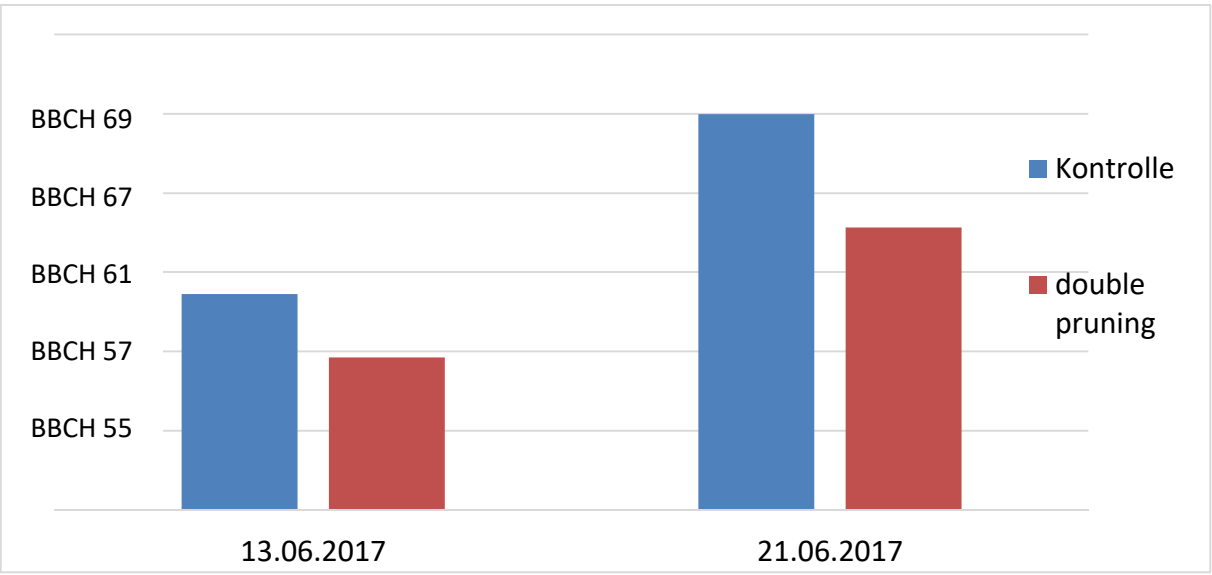
Im darauf folgenden Jahr waren die Unterschiede in der Blüteentwicklung deutlich geringer. Hier ist der spätere Austrieb der Schnittvariante zur Blüte nahezu kompensiert. Die Blühentwicklung im Jahr 2017 ähnelte wiederum der des Jahres 2015.



*Grafik 11: Blühverlauf Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2015**. Zur Blüte waren noch deutliche Entwicklungsunterschiede zwischen Kontrolle und „double pruning“ vorhanden.*



*Grafik 12: Blühverlauf Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2016**.Die Unterschiede sind hier deutlich geringer als im Vorjahr bzw. sind nicht gegeben. Ähnliches gilt auch für die nachfolgende Graphik 13, die für das Jahr 2017 steht.*



*Grafik 13: Blühverlauf der Sorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr **2017.***

Problem / Risiko des „double pruning“:

Der Austrieb der basalen Augen kann durch den doppelten Rebschnitt generell nicht vollständig unterdrückt werden. Tritt kein Frost auf, entwickeln sich früh ausgetriebene Augen schneller im Vergleich zu spät austreibenden Augen.

Diese Unterschiede setzen sich bis zur Ernte fort. Dadurch kann sich die Reife der Trauben eines Rebstocks inhomogen vollziehen (Abbildung 17). Man erhält im Lesegut also Trauben mit unterschiedlichen Reifegraden. Dies wiederum kann zu Problemen bei einer maschinellen Ernte führen.

Abbildung 17: Unterschiedliche Beerenreife in der doppelt geschnittenen Variante

Auswirkungen des double pruning auf den Ertrag

Durch den doppelten Rebschnitt wurden in den Jahren 2013 (nicht aufgeführt) und 2014 die Ernteerträge teilweise um 50 % reduziert (Tabelle 5).

Zusätzlich waren sowohl die Zuckereinlagerung als auch die Gesamtsäurewerte negativ beeinflusst. Im Jahr 2014 wies die Schnittvariante „double-pruning“ 5° Oechsle weniger und 1,5 g/L Gesamtsäure mehr auf als die Kontrolle.

Die Trockenheit im Jahr 2015 führte zu ähnlichen Erträgen in den beiden Varianten, da beide nicht bewässert wurden. Die qualitativen Unterschiede waren ähnlich wie die im Vorjahr. Die Kontrollvariante konnte zur Ernte 7°Oechsle mehr ausweisen, bei 1 g/L niedrigerem Säuregehalt.

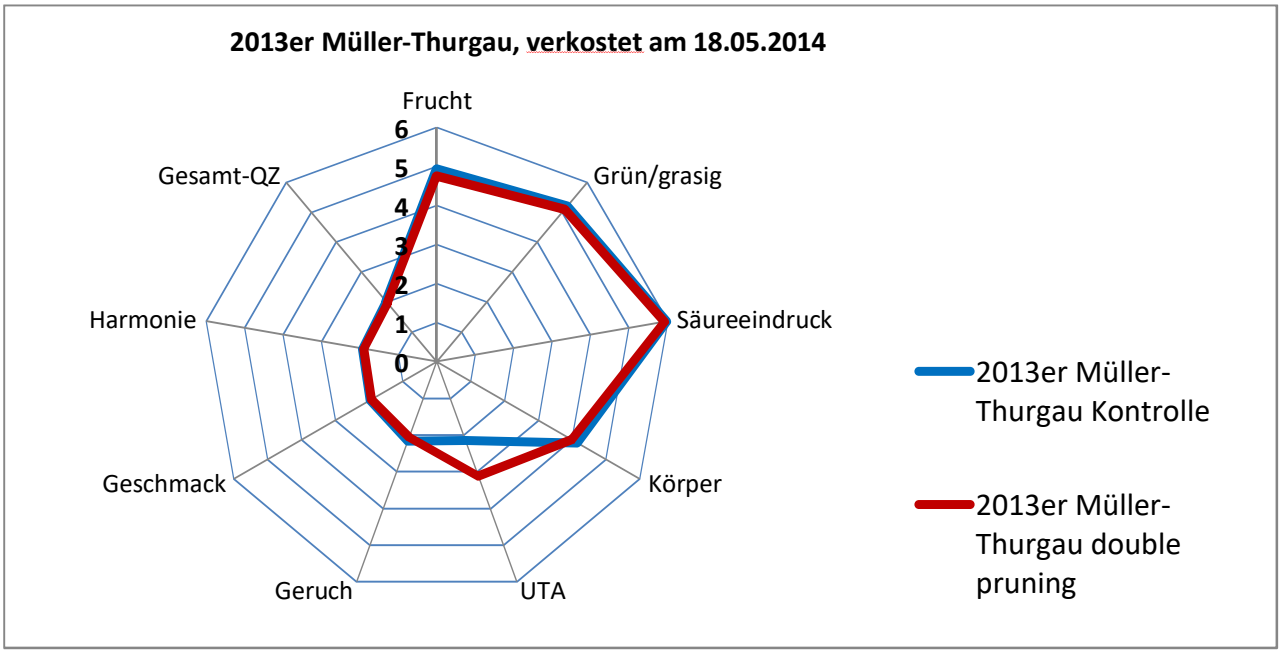
Spätfrostereignisse in den Jahren 2016 und 2017 führten zu Ertragseinbußen in den Kontrollvarianten und zu deutlich höheren Erträgen in der „double pruning“-Variante. Auch hier waren Qualitätsunterschiede messbar, allerdings waren diese weniger stark ausgeprägt.

Tabelle 5: Ernteerträge und Qualitätsparameter in der Kontrolle / doppelt geschnittenen Variante

	2014		2015		2016		2017	
Müller-Thurgau	Kontrolle	double pruning	Kontrolle	double pruning	Kontrolle	double pruning	Kontrolle	double pruning
# Stöcke	43	84	42	82	42	126	38	42
Ertrag/Stock (kg)	4,2	2,0	2,2	1,9	0,9	2,7	2,1	3,6
°Oechsle	74	69	81	74	87	84	80	76
G-Säure (g/L)	7,3	8,8	6,0	7,0	6,0	6,4	8,2	9,2

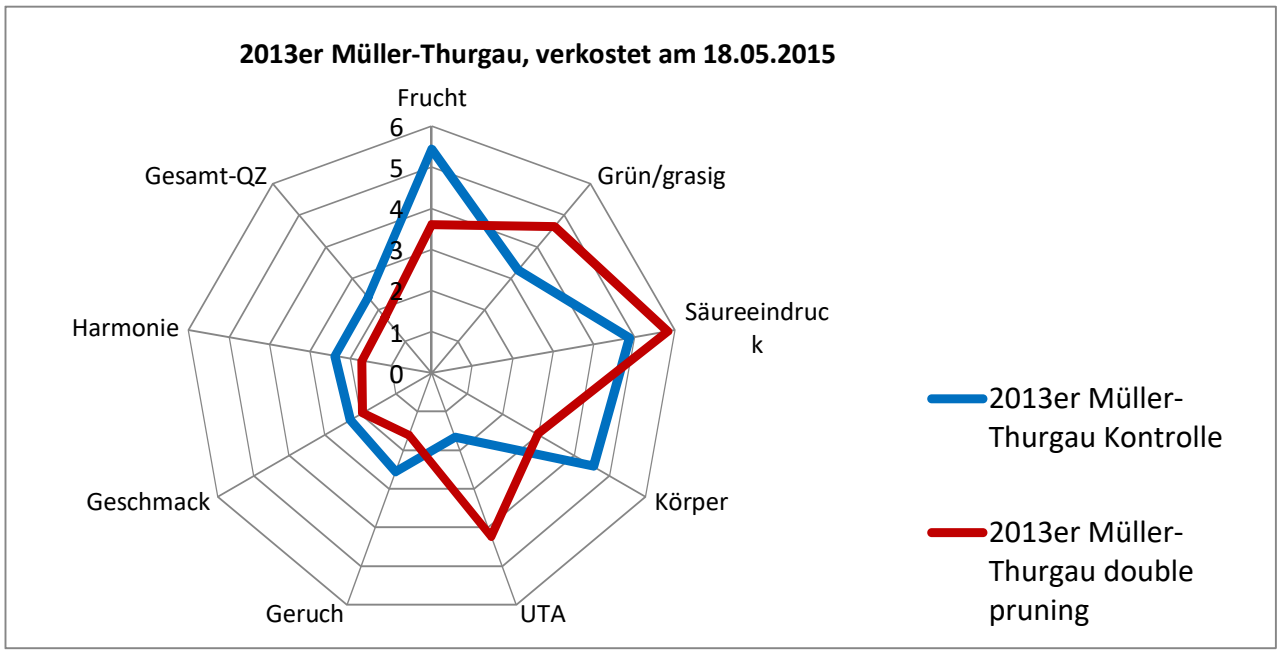
Auswirkung des double pruning auf die Weinqualität

Aus beiden Varianten (Kontrolle / double-pruning) wurde 2013 Wein nach einem einheitlichen standardisierten Protokoll an der LWG ausgebaut. Ein Prüfpanel-Team verkostete die beiden Weine am 18.05.2014. Hierbei waren kaum Unterschiede in der Beschreibung und der Intensität der Aromen erkennbar.



Grafik 15: Aromaprofil der Müller-Thurgau Weine des Jahrganges 2013; verkostet vier Monate nach der Füllung.

Die selben Weine wurden am 18.05.2015 ein zweites Mal von einem Prüfpanel-Team verkostet. Nach einem Jahr Lagerung auf der Flasche wurden die Weine sehr unterschiedlich bewertet:



Grafik 14: Aromaprofil der Müller-Thurgau Weine des Jahrganges 2013; verkostet 16 Monate nach der Füllung.

Die Variante double pruning wurde eher als „grün/grasig“ beschrieben mit einer erhöhten Tendenz zur untypischen Alterungsnote.

Die Kontrollvariante hingegen beschrieben die Prüfer als „fruchtig“. Tendenziell wurde die Kontrollvariante nach 16 Monaten Flaschenreife als der bessere Wein bewertet.

Fazit zum double pruning

Durch den doppelten Rebschnitt wird zwar eine Austriebsverzögerung erreicht. Allerdings wird dieser Unterschied in der phänologischen Entwicklung meist nicht kompensiert, wodurch qualitative Einbußen entstehen.

Insbesondere bei einer langjährigen Bewirtschaftung mit einem zweiten Austrieb besteht grundsätzlich das Risiko einer eingeschränkten Reservestoffeinlagerung und damit von Verlusten in der Beeren- und Weinqualität.

In Bezug auf die Fruchtbarkeit der basalen Augen werden weitere Sortenunterschiede zu untersuchen sein. Rebsorten wie Traminer oder Lemberger, deren basale Augen nahezu unfruchtbar sind, bergen ein erhöhtes Risiko von Ertragsausfällen bei dieser Maßnahme.

Aus den genannten Gründen kann der doppelte Rebschnitt für unsere Klimazone nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

2.5.3 Ölapplikation

Die Applikation von hochkonzentrierten Pflanzenölen auf die noch geschlossene Knospe verzögert ebenfalls den Austrieb im Frühjahr.

Versuche im Nordwesten der USA an Hybridsorten zeigten deutliche Sortenunterschiede. Austriebs-Verzögerungen von bis zu 20 Tagen wurden gegenüber der unbehandelten Variante beobachtet. Dieser Rückstand in der Entwicklung wurde unter nordamerikanischen Verhältnissen und bei den dortigen Sorten bis zur Lese vollständig kompensiert.

An der LWG wurden in einem Tastversuch 2013 verschiedene Öle auf ihre Wirksamkeit geprüft. Durch das Verkleben der Knospen wird der Gasaustausch der Pflanze verringert und die Zellatmung verlangsamt.

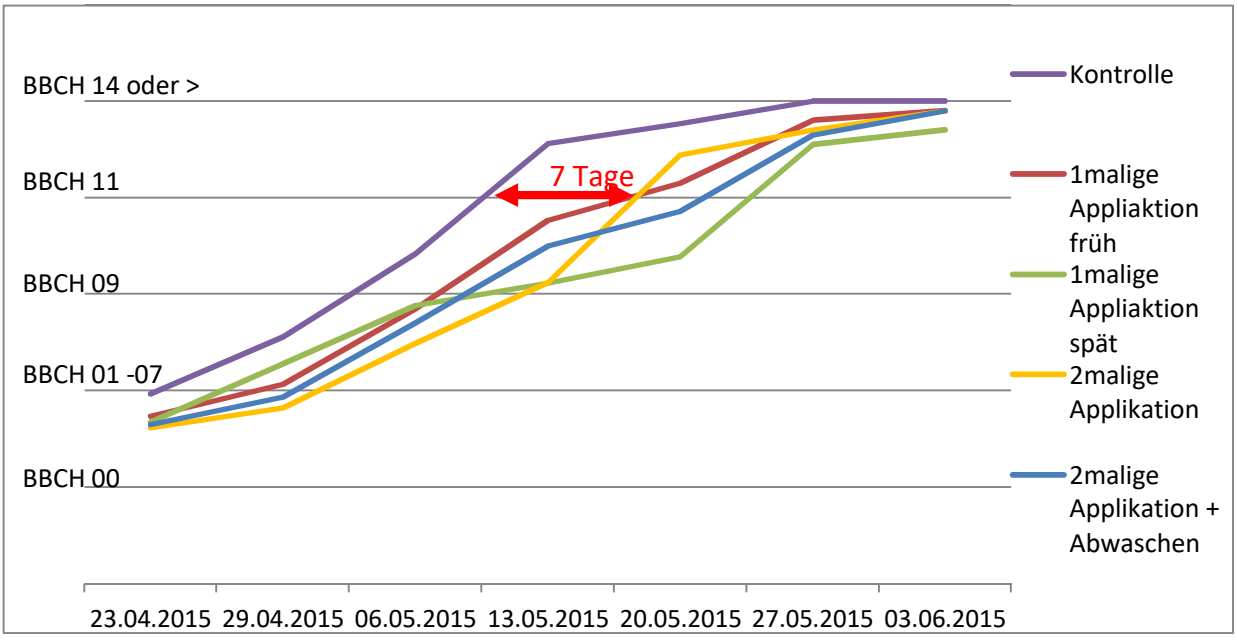
Ab den Versuchsjahren 2014 wurde das Öl mit der stärksten Austriebs-Verzögerung (Rapsöl 10 %ig + Netzmittel ProNet Alfa) weiter geprüft. Auch wurde versucht, den Austrieb mit mehrmaligen Applikationen (maximal drei Spritzungen) und durch unterschiedliche Behandlungstermine weiter zu verzögern.

Da eine dreimalige Applikation dieser Rapsölmischung zu erheblichen Austriebs-Verzögerungen von 40 Tagen führte wurde diese Variante von 2015 an nicht mehr weiter verfolgt. Stattdessen wurde versucht, nach einer zweimaligen Applikation das Öl nach Ende der Spätfrostgefahr wieder mit Wasser abzuwaschen.

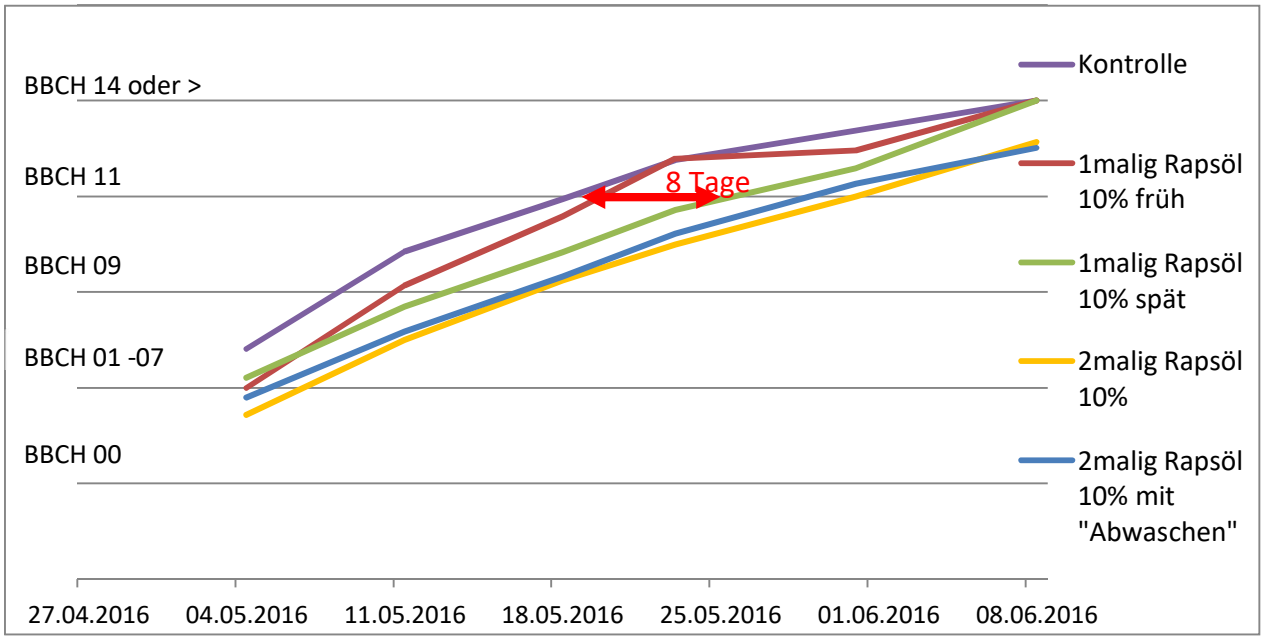
Abbildung 18: Linke Rute mit Öl besprüht, rechte unbehandelt

Ölapplikation und der Austrieb bei der Rebsorte Silvaner

Die Ergebnisse von 2015 und 2016 zeigen bei der Rebsorte Silvaner einen verzögerten Austrieb von zwei bis acht Tagen bei einer einmaligen Applikation und von circa 14 Tagen bei einer zweimaligen Applikation (Graphik 16 und 17).



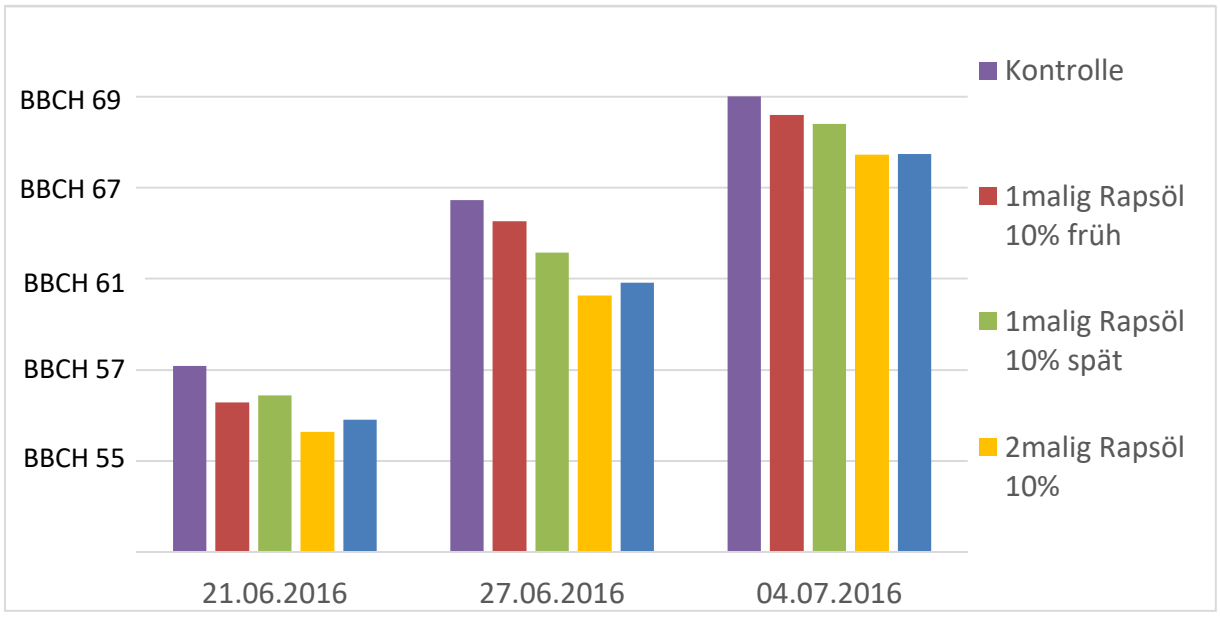
Grafik 16: Austriebs-Verlauf der Sorte Silvaner am Standort Himmelstadt im Jahr 2015. Applikationstermine: früh 9. März, spät 9. April, 2-malig 9. März und 9. April 2015



Grafik 17: Austriebs-Verlauf der Sorte Silvaner am Standort Himmelstadt im Jahr 2016. Applikationstermine: früh 17. März, spät 9. April, 2malig 17 März und 9. April 2016

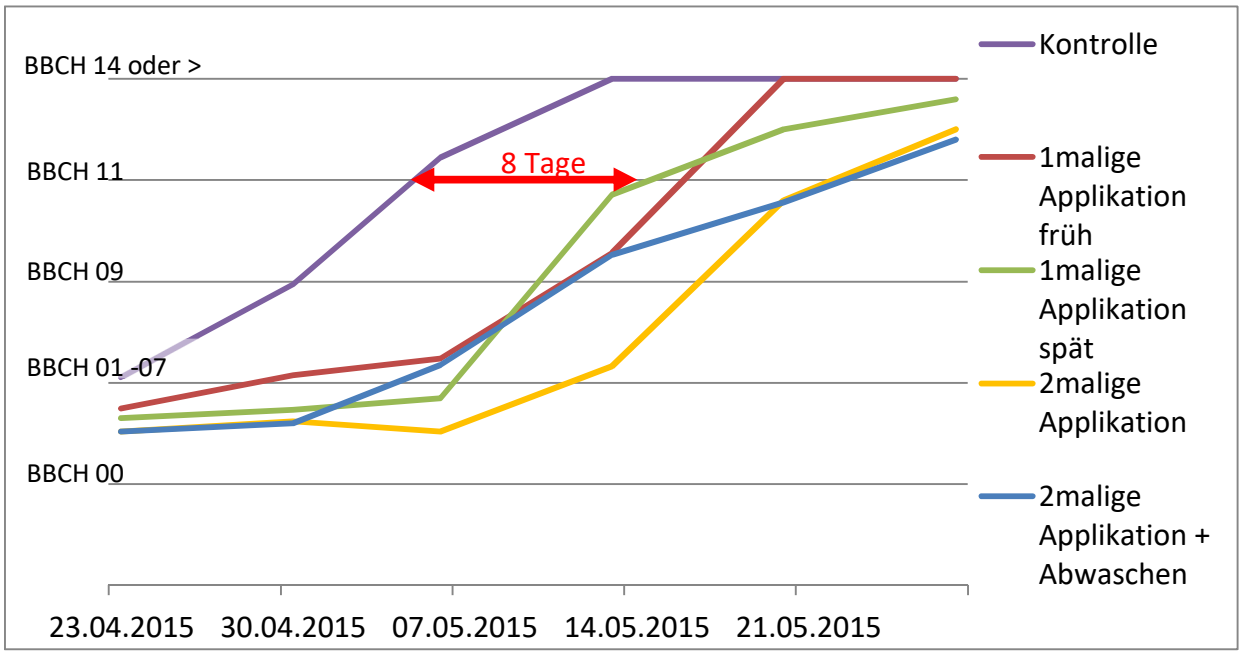
Der spätere Start in der Rebenentwicklung durch den Öleinsatz in den Jahren 2016 und 2017 war bereits bei der Blütebonitur nahezu kompensiert. Exemplarisch ist der Verlauf der Blüte bei Silvaner im Jahr 2016 in Graphik 18 aufgeführt.

Ölapplikation und der Austrieb bei der Rebsorte Müller-Thurgau

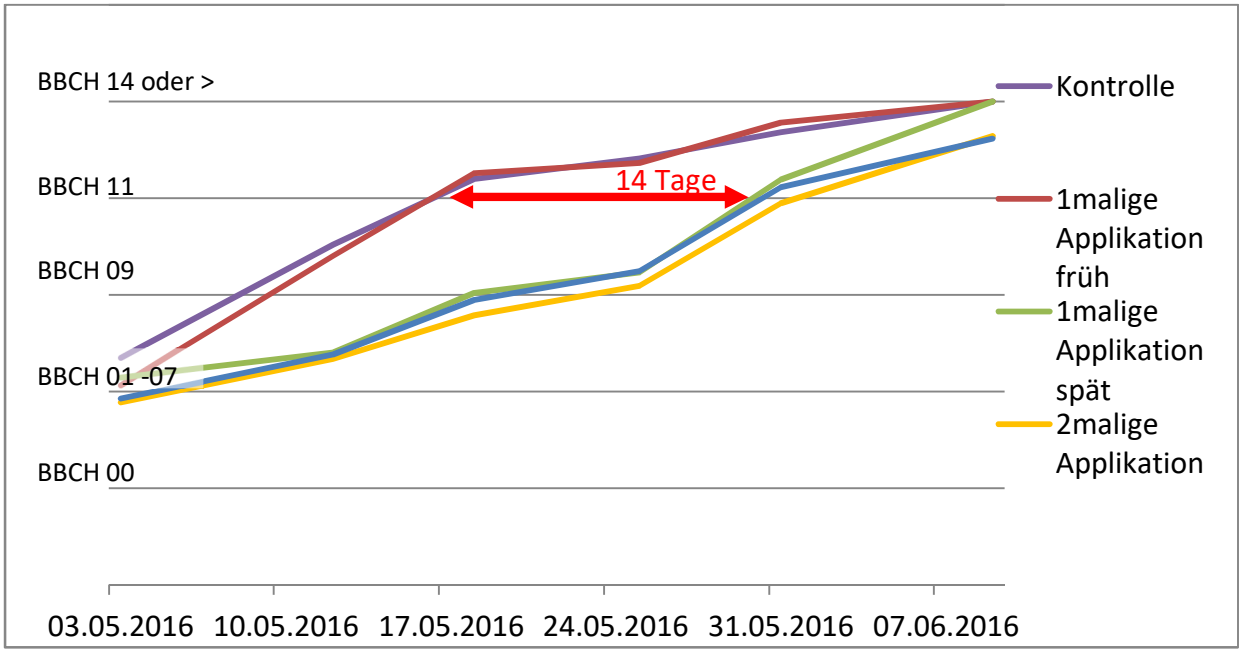


Grafik 18:Blühverlauf der Sorte Silvaner am Standort Himmelstadt im Jahr 2016

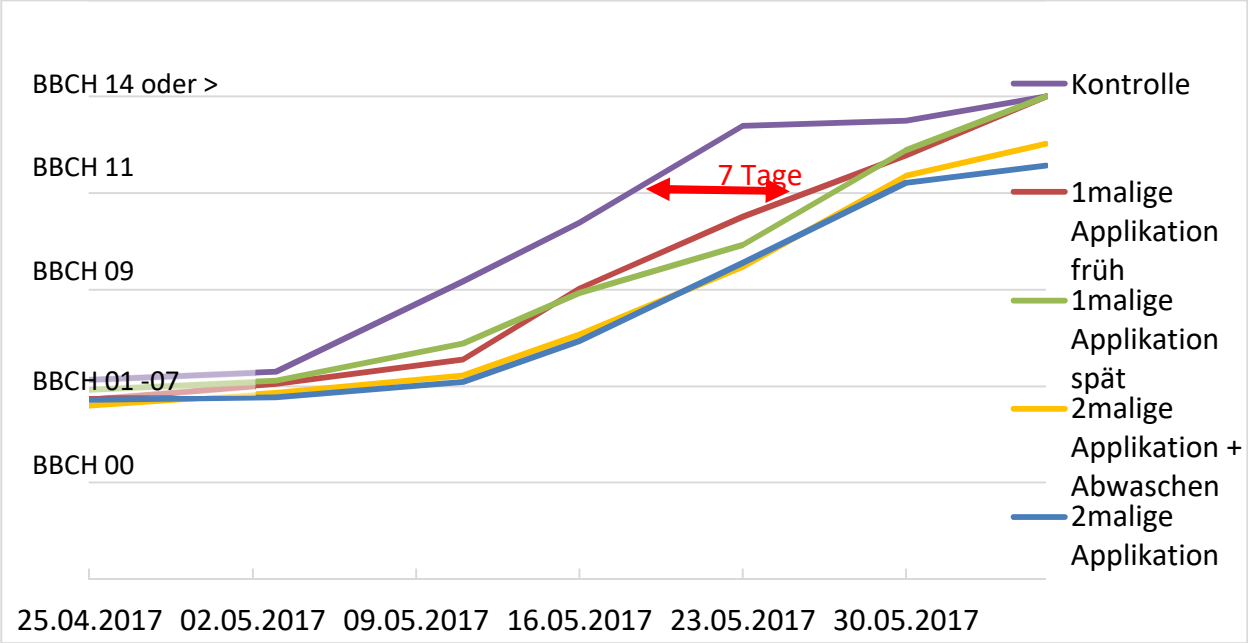
Die Austriebs-Verzögerung bei der Sorte Müller-Thurgau (Graphiken 19-21) betrug bei einer einmaligen Applikation zwischen 7 und 14 Tagen und bei einer zweimaligen Behandlung zwischen 12 bis 21 Tage. Einzig im Jahr 2016 führte die frühe einmalige Applikation Ende Februar zu keiner Austriebs-Verzögerung.



Grafik 19: Austriebs-Verlauf der Sorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr 2015. Applikationstermine: früh 9 März, spät 9. April, 2malig 9. März und 9. April 2015



Grafik 20: Austriebs-Verlauf der Sorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr 2016. Applikationstermine: früh 17. März, spät 9. April, 2malig 17. März und 9. April 2016



Grafik 21: Austriebs-Verlauf der Sorte Müller-Thurgau am Standort Veitshöchheim im Jahr 2017. Applikationstermine: früh 15. März, spät 11. April, 2malig 15. März und 11. April 2017

Fazit zur Ölapplikation

Generell ist die Austriebs-Verzögerung bei einer einmaligen frühen Applikation von Rapsöl geringer als bei einer späten Applikation; den größten Effekt hat eine zweimalige Applikation. Das „Abwaschen“ des Öls nach Ende der Spätfrostgefahr hat keine Folgen für die spätere Rebenentwicklung.

Ähnlich wie bei der Rebsorte Silvaner wird der Rückstand der Entwicklung auch bei der Sorte Müller Thurgau bis zur Blüte kompensiert

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Jahre 2015 und 2016 wurde die Verzögerung der Rebenentwicklung jeweils vollständig kompensiert.

Die maximale Qualitätsabweichung innerhalb aller Varianten betrug maximal 4°Oechsle bei Müller-Thurgau und 2°Oechsle bei Silvaner. Die Säurewerte bei Silvaner sind bei einer zweimaligen Applikation leicht erhöht. Bei Müller-Thurgau sind die Säuregehalte nahezu identisch.

Durch die Applikation von Ölen wird die Erntemenge reduziert, bei einer doppelten Applikation teilweise stark, was wiederum die Kompensation der Beerenreife fördert (Tabelle 6 und 7).

Tabelle 7 Ernteerträge und Qualitätsparameter bei der Sorte Silvaner, Jahre 2015 bis 2017

Silvaner	2015			2016			2017		
	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)
Kontrolle	2,3	79	9,2	3,1	84	10,1	3,3	73	10,9
1malig Rapsöl 10% früh	1,7	81	9,1	2,5	85	10,7	3,5	74	11,1
1malig Rapsöl 10% spät	2,5	81	9,7	2,0	85	11,3	3,1	74	12,6
2malig Rapsöl 10%	1,8	80	9,6	1,3	86	11,8	3,0	72	12,2
2malig Rapsöl 10% + Abwaschen	1,9	81	10,2	1,4	85	11,5	2,9	73	12,9

Tabelle 6:Ernteerträge und Qualitätsparameter bei der Sorte Müller-Thurgau, Jahre 2015 bis 2017

Müller-Thurgau	2015			2016			2017		
	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)	Ertrag (kg/Stock)	°Oechsle	Gesamt-säure (g/L)
Kontrolle	2,7	76	6,1	1,7	85	6,0	2,1	80	8,4
1malig Rapsöl 10% früh	1,8	77	6,0	2,7	81	6,6	2,5	77	9,7
1malig Rapsöl 10% spät	1,5	78	6,4	0,9	83	7,0	1,7	76	10,1
2malig Rapsöl 10%	1,3	79	6,5	0,7	82	6,8	1,8	78	9,0
2malig Rapsöl 10% + Abwaschen	1,5	78	6,7	0,9	81	7,1	1,6	77	9,3

Der Einsatz von Rapsöl 10%ig in den Jahren 2015-2017 zeigte positive Ergebnisse, das heißt eine ausreichende Austriebs-Verzögerung bei vollständiger Kompensation der Beerenreife war gegeben.

Allerdings sind die Beeinträchtigungen bei einer Überdosierung der Öle und hinsichtlich der Reaktion anderer Rebsorten derzeit nur ungenügend erforscht.

Unbedingt zu beachten ist, dass die Öle mit der im Versuch eingesetzten Dosierung und Zielsetzung in Deutschland bislang nicht zugelassen sind.

3. Gesamt Resümee

Die nachfolgende Tabelle 8 gibt einen Überblick über die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse.

Tabelle 8: Zusammenfassende Bewertung der im Rahmen des Spätfrostprojekts geprüften Verfahren

Verfahren	Anwendung bei		Kosten/ Arbeitsaufwand	wichtige Anmerkungen
	Strahl.-frost	Wind-frost		
Nebel-maschine	nein	nein		Dieses Verfahren erwies sich als unwirksam und kann nicht empfohlen werden.
SIS Gerät	nein	nein		Dieses Verfahren erwies sich als unwirksam und kann nicht empfohlen werden.
Wind-maschine (Windrad)	ja	nein	Ab 30.000 €, zusätzliche Kosten für Gas und Gastank; Windräder können vollautomatisiert in Betrieb genommen werden.	Flächenabdeckung je nach Modell von 1 - 5 ha; Abstands- oder Lärmbegrenzungen beachten; ab einer Masthöhe von 10m ist eine stationäre Windmaschine genehmigungspflichtig.
Hub-schrauber	ja	nein	250 - 400 €/ha (Kosten für Anflug und tatsächliche Flugminuten), d.h. kosten- und arbeitsgünstige Lösung bei hoher Schlagkraft.	Je nach Maschinengröße bis zu 25 ha schützbar; in der Nähe von Ortschaften Problem der Lärmbelästigung; Flug nur bei Tag (frühestens 30 Minuten vor Sonnenaufgang) möglich.
Beregnung	ja	ja	Hohe Kosten für Installation und Wartung; zusätzliche Ausgaben für Wasser-bevorratung; Automatisierung möglich	Effektiver Schutz bei Einsatz konventioneller Beregnungs-anlagen; zu neuen, wasser-sparenden Regnern sind weitere Erfahrungen nötig; bei Neuinstallation Kombination mit Tröpfchenbewässerung möglich.

Verfahren	Anwendung bei		Kosten/ Arbeitsaufwand	wichtige Anmerkungen
	Strahl.-frost	Wind-frost		
Fortsetzung				
Heizkerzen	ja	ja	1.700 € bis 2.600 € pro ha; zusätzlich hoher Personal-aufwand: Aufstellen, Anzünden und Löschen der Kerzen.	Wirksames Verfahren; Einsatz muss der örtlichen Feuerwehr mitgeteilt werden; Die Brenndauer ist bei Windfrost reduziert.
Heizdraht	ja	ja	10.000 € pro ha für die Installation; zusätzlich Ausgaben für Strombeschaffung (Stromaggregat); Automatisierung möglich	Die Mechanisierung von Pflegemaßnahmen im Weinberg kann durch die Maßnahme eingeschränkt sein; Umstellung auf Kordon-erziehung empfehlenswert.
Pflanzen-stärkungs-mittel	nein	nein		Dieses Verfahren erwies sich als unwirksam und kann daher nicht empfohlen werden.
double pruning	ja	ja	Der Vorschnitt im Winter kann maschinell erfolgen, der zweite Rebschnitt muss manuell erfolgen.	Wenig Erfahrungswerte zu Sorten-unterschieden; Maßnahme muss vor der Frostgefahr eingeleitet werden; bleibt ein Frostereignis aus sind Unterschiede in der Reifeentwicklung zu erwarten und der Ertrag ist verringert.
Ölapplikation (Rapsöl)	ja	ja	Geringe Kosten für Öl und Applikation, da kleine Zielfläche.	Keine Zulassung für die Verwendung der Öle in dieser Konzentration und zu diesem Zweck in Deutschland; Maßnahme muss vor der Frost-gefahr eingeleitet werden; Keine Erfahrungswerte im Hinblick auf Sorteneignung/-unterschiede.

Weiterhin ist zu beachten:

Eine betriebsspezifische Kosten-Nutzen-Rechnung ist für die Investition in eine Frostbekämpfungsmaßnahme unerlässlich. Hierbei ist zu analysieren wie oft die einzelnen Weinberge von Spätforstereignissen betroffen sind und wie stark ein Ertragsausfall im jeweiligen Betrieb die Erlöse verringert.

Ein Traubenerzeuger wird mit einem geringeren finanziellen Verlust kalkulieren müssen als ein direktvermarktendes Weingut. Zudem müssen Direktvermarkter beachten, dass bei Ertragsausfällen bestimmte Lieferverträge/Kundenerwartungen eventuell nicht mehr erfüllt werden können.

Im Übrigen müssen sich Weingüter bzw. Traubenerzeuger entscheiden, ob sie gemeinschaftlich in eine Frostprävention (Hubschraubereinsatz, Windrad oder Beregnungsanlage) oder in einzelbetriebliche Maßnahmen (Heizkerzen, Heizdrähte) investieren wollen.

Es besteht zudem die Möglichkeit das Risiko von Ertragsausfällen durch Spätfrostereignisse im Rahmen einer Hagelversicherung abzufangen.

Darüber hinaus kann jeder Winzer durch das Stehenlassen einer Frostrute das Risiko von Frostschäden kostengünstig erheblich reduzieren.

4. Literatur

- ARIAS, M., ARBIZA, H. und MENDINA, M. (2010): Two experiences of frost damage control in vineyards with selectively extraction of coldest air: Alto Valle, Argentina and Napa Valley, California USA, Acta Horticulturae 872: 407- 414.
- BARLOW, S., NEEDS, S., TROUGHT, M., Hill, T. und Dunn, G. (2010), Improved Frost Management in the Goulburn & Yarra Valleys, Final Report, Grape and Wine Research & Development Corporation, Projekt Nummer RT 06/04-1, Melbourne, Australia.
- BERNAUER, G. (2011): Katastrophaler Spätfrost erschüttert den Weinbau. Rebe & Wein 6/2011, 4.
- BERNAUBER, G. (2011): Spätfrost 4. Mai – vorläufige Schadensbilanz. Rebe & Wein 6/2011, 4.
- BORK, O. (2013): Spätfrostschäden im Weinbau - Untersuchungen zur Verminderung des Schadaufkommens sowie zum Vorkommen eiskernbildender (INA) Bakterien an Topfreben und Rebholz (*Vitis vinifera* L.). Bachelor Thesis, Hochschule Geisenheim University
- BRENDEL G. (2011): Böses Erwachen im Weinberg. Bay. Landw. Wochenblatt (BLW) 19; 15.
- EBERENZ, W. (2011): Ertrag eiskalt gestutzt. Rebe & Wein 6/2011, 12.
- FLICK, G. 2010: Strategien zum Schutz vor Spätfrostschäden bei Rebanlagen in Norddeutschland und Schweden. Dt. Weinbaujahrbuch 2010 (61), 33-42.

- FRIEDEL, L. (2011): Wo kann der Staat helfen? BLW 22; 18.
- GUARGA, R. (2011): SIS frost protection. http//www.frostprotection.com; Uruguay (download: 09.08.2011)
- INOUYE, D. (2000): The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change, Ecology Letters, 3: 457-463.
- JONES, J. UND WILSON, S. (2010): Arming against frost. Fact sheet, Grape and Wine Research & Development Corporation, Melbourne, Australia.
- KARTSCHALL, T. (2014): Klimafolgenabschätzung Weinbau auf der Internetplattform "klimafolgenonline.com". Präsentation FDW-Tagung, Neustadt/Weinstraße
- LAMB, D. (2009): Electrically heated cables protect vines from frost damage at early flowering, Australian Journal of Grape and Wine research, 15, 79 - 84.
- MAAß, U. UND SCHWAB, A. (2011): Chronologie des Kälteschocks. Rebe & Wein 6/2011, 23-24.
- MEISSNER, G. (2011): Den Frostschaden sieht man erst auf den zweiten Blick. Main-Post, 01.08.2011; http://www.mainpost.de/regional/franken/Den-Frostschaden-sieht-man-erst-auf-den-zweiten-Blick;art1727,6266119.
- RIES, R. UND SCHULTZ; H.R. (2011): Spätfrostschäden 2011: Ableitungen aus 1981. Der Deutsche Weinbau 11; 24-25.
- SCHWAPPACH, P. (2011): Frostschäden im Weinbau: Zwischen 2 und 100%. Das Deutsche Weinmagazin 10; 14-15.
- SNYDER, R. L. UND DE MELO-ABREU, J. P. (2005): Frost Protection: fundamentals, practice and economics, vol. 1; FAO Environment and Natural Resources Service Series, No. 10 - FAO, Rome.
- WARTENBERG, S. (2009): Zweimalige Vorbehandlung mit 0,05 % Cropaid NPA erhöhte die Frostfestigkeit von Pelargonien-Fertigware deutlich. www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Pi09CropaidTast09.doc.pdf. (download: 11.08.2011).
- WARTENBERG, S. (2010): Frostschutz von Balkonpflanzen? Pillnitzer Fachseminar „Vorbereitung der Verkaufssaison bei Beet- und Balkonpflanzen", 03.02.2010. www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/CropaidFSBB030210Internet.pdf. (download: 09.08.2011)
- WITTE, K. (1959): Frostschadensverhütung durch Geländeheizung und Beregnung. AID-Schriftenreihe Nr. 114.

Liste der Fachveröffentlichungen:

- MÜLLER, M.: Frostschäden entgegen wirken - Teil 1: physiologische Maßnahmen. Rebe und Wein, 2/2016, 23-26.
- MÜLLER, M.: Frostschäden entgegen wirken - Teil 2: direkte Maßnahmen. Rebe und Wein, 3/2016, 22-24.
- MÜLLER, M.: Prävention von Spätfrostschäden – Erkenntnisse und Empfehlungen aus Franken. Der Winzer (Österreich), 4/2017