

# Reduzierung der Spätfrostschäden im Wein- und Obstbau

Ein Leitfaden für Wein- und Obstbau,  
Beratung, Handel und Politik der ARGE  
FrostStrat

Entstanden aus den Ergebnissen des Projekts  
„FrostStrat“  
Ruprechtshofen, August 2022



Dieser Leitfaden entstand aus den Ergebnissen des Projektes  
„FrostStrat“ (2019 - 2022)

## Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium  
Land- und Forstwirtschaft,  
Regionen und Wasserwirtschaft



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



Partner ARGE FrostStrat



Die Inhalte dieses Leitfadens können gerne mit Angabe der Quelle verwendet werden.  
Zitiervorschlag: ARGE FrostStrat (2020): Reduzierung der Spätfrostschäden im Wein- und Obstbau

### Impressum:

1. Auflage, August 2022


Für den Inhalt verantwortlich:

ARGE FrostStrat, 3244 Ruprechtshofen

Redaktion: Jose Carlos Herrera, Ferdinand Regner, Monika Riedle-Bauer, Franz G. Rosner, Andreas Schuller, Johannes Straßmayer, Lothar Wurm

Produktion: Print Alliance HAV Produktions GmbH, Bad Vöslau

## Wissenschaftliche Partner ARGE FrostStrat

 HBLA und Bundesamt  
Klosterneuburg  
Wein- und Obstbau



## Aktive Partner



## Unterstützende Partner

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



## Ziele dieses Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden „Reduzierung der Spätfrostschäden im Wein- und Obstbau“ richtet sich an alle, denen die Reduktion von Spätfrostschäden eine Anliegen ist. Sie soll sowohl Wein- und Obstbauer:innen als auch Handel, Berater und Politik auf die Spätfrostgefahr aufmerksam machen und über mögliche Gegenmaßnahmen informieren.

Im Zentrum des Leitfadens steht die Frage, ob und wie Spätfroste rechtzeitig erkannt und reduziert werden können. Im Rahmen des EIP-Agri-Projektes „FrostStrat“ wurden zum Ersten die technischen Möglichkeiten der Wetterdatenerhebung und deren Prognostizierbarkeit analysiert. Zum Zweiten standen Maßnahmen zur Frostbekämpfung im Fokus, es wurden das Verbesserungspotential bestehender Methoden beleuchtet und auch neue Strategien entwickelt.

In der hier vorliegenden Broschüre werden die Projektergebnisse eingebettet und in einem generellen Überblick dargestellt. Dazu kommen ergänzende Vorschläge, welche rund um Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren zur Erhebung von Wetterdaten und Möglichkeiten und Grenzen von Wetterprognosen beitragen. Zusätzlich werden die Pro- und Kontra-Argumente der verfügbaren Maßnahmen zur Frostbekämpfung gegeneinander abgewogen und die Anforderungen der einzelnen Strategien diskutiert. Die Ergebnisse dieser Überlegungen für die Praxis werden übersichtlich dargestellt.








Dieser Leitfaden soll den Betrieben Möglichkeiten in die Hand geben, effizienter vorzugehen. Er soll dazu anregen, sich in die Komplexität der Materie Spätfroste zu vertiefen.

## Inhalt

<b>1. Spätfrost und Spätfrostarten</b>	
1.1. Spätfrostarten .....	6
1.2. Wetterdatenerhebung - Frühwarnsystem .....	7
<b>2. Vorbeugende Maßnahmen</b>	
2.1. Lagen- und Sortenwahl .....	8
2.2. Erhöhung Bodenwassergehalt .....	9
2.3. Mulchen oder Bodenbearbeitung .....	9
2.4. Abdeckung .....	9
2.5. Frostangepasster Rebschnitt .....	10
2.6. Verzögerung des Austriebs mit Öl .....	11
2.7. Frostschutz durch phytochemische Stimulation .....	12
<b>3. Frostberechnung</b>	
3.1. Überkronenberechnung .....	13
3.2. Sprinkler, Unterkronenberechnung .....	14
<b>4. Bewindung</b>	
4.1. Stationäre und mobile Windräder .....	15
4.2. Helikopter .....	16
<b>5. Zufuhr von Wärme</b>	
5.1. Paraffinkerzen .....	17
5.2. Öfen .....	18
5.3. Heizdraht .....	19
5.4. Heißluftgebläse .....	20
5.5. Räucherung/Nebelmaschinen .....	21



## Zusammenfassung: „FrostStrat“ in 7 „Geboten“

-  1 Bei der Auswahl eines Standortes ist auch das Frostrisiko zu bewerten, dabei sind sowohl das Spätfrost- als auch das Winterfrostrisiko einzubeziehen. Für die Beurteilung des Frostrisikos spielen neben der Kulturart die Seehöhe, Ausrichtung und Geländeformation eine wichtige Rolle. Kuppenlagen, obere Lagen von Hängen, „kalte“ Lagen mit späterem Austrieb und Kälteseen in Mulden oder an Waldrändern sind hilfreiche Indizien. Solche Lagen sind möglichst zu vermeiden.
-  2 Spät blühende Sorten, Sorten mit einem späten Austrieb und frostresistentere Sorten im Obst- und Weinbau sollten bei der Wahl einbezogen werden. Dafür liegen Erfahrungen aus den letzten Jahren vor, die in der Beratung bekannt sind.
-  3 Eine ausreichende Risikoabsicherung durch eine Frostversicherung sollte bei bestimmten Obstarten, Lagen und Sorten erwogen werden. Eine wirtschaftliche Abwägung zwischen den Kosten eines Ertragsausfalls und dem Versicherungsaufwand ist dabei notwendig.
-  4 Für den rechtzeitigen Beginn von Frostbekämpfungsmaßnahmen ist es notwendig, dass zumindest alle 15 Minuten Wetterdaten der gefährdeten Anlage übermittelt werden. Eine gleichzeitige Kontrollmessung außerhalb der behandelten Anlage ist ebenso erforderlich. Diese sind für die Setzung von Maßnahmen gegen Spätfrost als auch für den rechtzeitigen Einsatz und das Aussetzen der Bekämpfungsmaßnahme von Bedeutung. Dabei kann der Wind ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen, ob z.B. eine Überkronenberegnung eingesetzt werden kann oder nicht.
-  5 Vorbeugende und vorbereitende Maßnahmen sollten dort gemacht werden, wo eine Spätfrostgefahr mit größerer Wahrscheinlichkeit eintreten könnte. Je nach Maßnahme können diese in Zeiten getroffen werden, wo noch keine akute Gefahr und somit Ressourcenengpässe bestehen. Allerdings können sie sich nachträglich als nicht notwendig herausstellen und fallen somit als zusätzlicher Aufwand an.
-  6 Die Schaffung und Installation einer Infrastruktur zur Frostbekämpfung, z.B. der Ankauf und die Installation z.B. einer Überkronenberegnung, eines Heizdrahtes oder Windrads verursacht hohe Kosten. Auch das Anlegen von Wasserbecken für Wasserreserven zur Frostberegnung bedürfen behördlicher und baulicher Vorlaufzeiten.
-  7 Im Falle eines Kaltwettereinbruchs können Materialien für eine Spätfrostbekämpfung kurzfristig, wenn überhaupt nur eingeschränkt und oft nur zu hohen Anschaffungspreisen angekauft werden. Eine rechtzeitige und zeitlich antizyklische Disposition und Einlagerung sollte vorgenommen werden.

# 1. Spätfrost

Der Klimawandel führt zunehmend zu früheren Knospenaufbruch und Frost empfindlichen Stadien und damit steigt bei Kaltwettereinbruch und Zufuhr von polarer oder arktischer Luftmassen die Spätfrostgefahr. Nach Austrieb des jungen, grünen Gewebes im Frühjahr reichen Temperaturen unter  $-2^{\circ}\text{C}$ , um Erfrierungen zu verursachen. Der Taupunkt ist als Maß für eine bestimmte Luftfeuchtigkeit heranzuziehen. Sinkt die Lufttemperatur unter den Taupunkt entsteht Nebel.

## 1.1. Spätfrostarten:

- **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 Strahlungsfrosten 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 vor 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, die sich aufgrund der Zellzerstörung schwarz verfärben („Schwarzer Frost“).



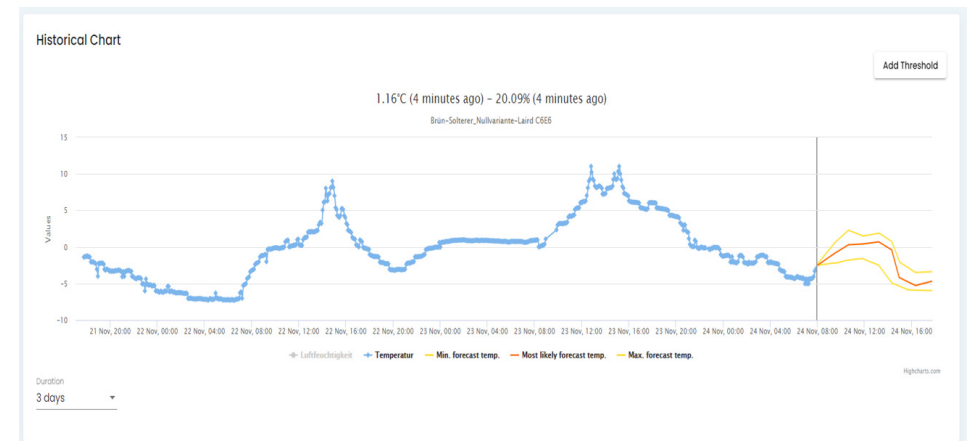
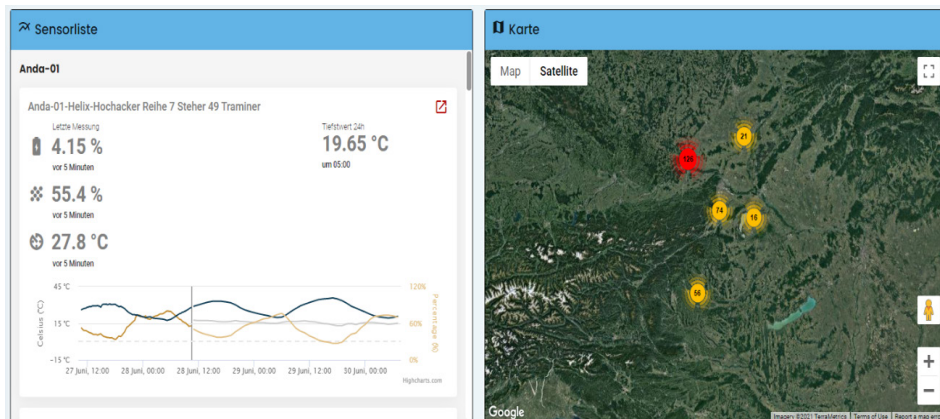
## 1.2. Wetterdatenerhebung - Frühwarnsystem

Die Lufttemperatur und die Taupunkttemperatur sind für eine kritische Frostbeurteilung heranzuziehen.

Für Gegenmaßnahmen bei Spätfrost sind je nach Art der Maßnahme Vorlaufzeiten einzuplanen. Um verlässliche Frostprognosen zu bekommen, ist ein dichtes Wettersensorennetz erforderlich, da kleinregional erhebliche Temperaturunterschiede bestehen. Abweichungen von bis zu 4° C bei nur wenigen hundert Metern Abstand entscheiden, ob eine Spätfrostbekämpfung sachlich und wirtschaftlich sinnvoll ist oder nicht. Eine richtige Wetterprognose stellt eine große Herausforderung für die kleinregionale und aktuelle Datenbereitstellung dar. Je dichter die Wettersensoren Daten liefern und je länger zurück Wetterdaten einbezogen werden können, umso wahrscheinlicher können selbstlernende Prognosemodelle eine hohe Prognosegüte liefern.

Bei den aktuell erfassten Wetterdaten liegt das Hauptaugenmerk auf „Rohwetterdaten“ und einer zumindest 15-minütigen Übermittlungsfrequenz. Neben der Sensorenqualität für die richtige Erhebung von Wetterdaten spielt die Datenübertragungsmöglichkeit eine wichtige Rolle. Abgelegene Talsohlen sind stark frostgefährdet und liegen teils außerhalb einer Datenübertragungsmöglichkeit. Die Installation von z.B. Gateways als Zwischensendestationen wurde in Betracht gezogen. Weiters wurden Sensoren verwendet, die stromunabhängig und stromsparend mit Batterien oder Akkus betrieben und leicht gewartet werden können, bei geringem Wartungsbedarf.

Die Sensordichte hängt von der topografischen Situation ab. Bei Hanglagen wurde versucht eine Messung auf der Hangsohle, Hangmitte und Anhöhe zu realisieren.





## 2. Vorbeugende Maßnahmen

Die Standort- und Sortenwahl sowie die Risikominimierung durch eine Frostversicherung sind generell zu überlegen.

Die Abgabe der Bodenwärme oder die Wärmekapazität des Wasser kann genutzt werden. Technische Maßnahmen wie Rebschnitt und Austriebsverzögerung sollten im Weinbau in Erwägung gezogen werden.

### 2.1. Standort- und Sortenwahl

**Wirkungsweise:** Die Standortwahl in Hinblick auf den Klimawandel zur Sicherung des Anbaus von besonders Spätfrost anfälligen Obstarten wie z.B. Marille ist eine existenziell wichtige Fragestellung, die aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre genutzt werden muss. Bei einigen spätfrostgefährdeten Obstarten z.B. Marillen wurden deutliche Sortenunterschiede beobachtet.

**Vorteile:** keine zusätzlichen Kosten bei einer Neuanlage; Reduktion der Betriebskosten, da keine Kosten für Spätfrostbekämpfungsmaßnahmen anfallen

**Nachteile:** regional begrenzte Flächenverfügbarkeit; Einschränkung der Sortenauswahl

**Zu Bedenken:** Sortenwahl und Lagenverfügbarkeit muss gegenüber Marktnachfrage abgewogen werden

## 2. Vorbeugende Maßnahmen

Die Standort- und Sortenwahl spielt eine bedeutende Rolle bei vielen Obstarten und entscheidet neben der Qualität auch über die Wirtschaftlichkeit. In kritischen Situationen sollte die Möglichkeit einer Frostversicherung erwogen werden.

### 2.1. Standort- und Sortenwahl

In den letzten Jahren traten in vielen österreichischen Obst- aber auch Weinregionen drastische Spätfrostschäden auf. Allerdings konnten auch Lagen verifiziert werden, die weniger stark von Frostschäden betroffen sind. Dieses Wissen sollte in Zukunft für Neuanlagen genutzt werden.

Die zwei Frostperioden am Versuchsstandort Klosterneuburg (NÖ) im März und Anfang April 2020 führten die Bedeutung der Frostwiderstandsfähigkeit von Marillensorten vor Augen. Die Versuchsanlage steht in einer grundsätzlich günstigen Lage allerdings können nur sehr begrenzte Frostschutzmaßnahmen bei Windfrost durchgeführt werden. Die Windfrostperiode im März führte vor allem bei Frühsorten wie Tsunami zu starken Schäden, wobei die Frühsorte Pricia, neben zahlreichen anderen späterblühenden Sorten überraschend gut abschnitt. Letztlich ist neben der Art des Frostes, der Dauer und Tiefe der Frosttemperatur, dem phänologischen Stadium, der Blütenqualität (Pflege im Vorjahr!), bei Strahlungsfrost die Baumhöhe, eben auch eine genetische Widerstandsfähigkeit mitentscheidend für das Schadensausmaß. Auch 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 unter Umständen noch stark ausgedünnt werden müssen. Dabei darf man sich allerdings nicht täuschen lassen, da einige Sorten wie Koolgat zwar reichlich Blüten entwickeln, bei diesen aber häufig der Fruchtknoten fehlt. Vielversprechend erscheint auch die Testung alter Marillensorten, da sich einige Sorten wie „Wahre Ananas“, „Rotmaler“ oder „Schöllschitzer“ als deutlich frostwiderstandsfähiger erwiesen als die Referenzsorten Klosterneuburger und Ungarische Beste.

An der Versuchsstation Haidegg (Stmk) haben extreme Spätblüher wie Spätblühender Taffetapfel oder Eslacher Luiken die Frostjahre 2016 und 2017 gut überstanden. In diesen Frostjahren ist auch die Birnensorte Pear 1, bei den Kirschen die Sorte Stardust und bei den Pfirsichen die Verarbeitungssorte Babygold 6 positiv aufgefallen. Rebsorten wie Sauvignon blanc oder Welschriesling waren aufgrund des späteren Austriebs weniger anfällig.



## 2.2. Erhöhung Bodenwassergehalt

**Wirkungsweise:** geringe Wirkung durch Wärmespeicherung des Wassers

**Vorteile:** Sättigung des Bodens mit Wasser verbessert die Wärmeabgabe; rasche und wenig aufwendige Methode

**Nachteile:** Infrastruktur von Überkronenanlage oder Unterkronensprinkler; Verfügbarkeit Wasserressource

**Zu Bedenken:** Begrünung kurz und Baumstreifen bewuchsfrei halten

## 2.3. Mulchen oder Bodenbearbeitung

**Wirkungsweise:** Wärmeabstrahlung des Bodens erhöhen

**Vorteile:** Kostengünstige und einfache Maßnahme

**Nachteile:** Befahrbarkeit muss gegeben sein; Erosionsgefahr in Steil- und Hanglagen; beim Mulchen wird auch die Verdunstungskälte, die durch den Grasmulch entsteht, reduziert

## 2.4. Abdeckung

**Wirkungsweise:** Wärmeabstrahlung des Bodens nutzen

**Vorteile:** Je nach Art kostengünstige und einfache Maßnahme

**Nachteile:** Ausbringung auf den Boden hat eine negative Auswirkung; eine Infrastruktur über dem Boden ist je nach Art kostenintensiv

**Zu Bedenken:** Optimale Ausnützung der Bodenwärme

## 2.2. Erhöhung Bodenwassergehalt

Wasser hat eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität. Wenn der Boden einen hohen Wassergehalt aufweist und somit eine große Wärmemenge gespeichert hat, kann diese bei einem Frostereignis theoretisch auch abgegeben werden.

Laut Literatur kann eine mehrtägige Bodenbewässerung in den oberen 30 cm zu einem Wärmepuffer, der – unter Beachtung des Punkt 1.2. – eine Wärmeabstrahlung bewirkt, führen. Die Befahrbarkeit ist zu diesem Zeitpunkt problematisch und muss für den Pflanzenschutz oder anderen Maßnahmen mitberücksichtigt werden. Eine Tropfbewässerung ist dafür nicht geeignet.

Andererseits kann im Weinbau die Chlorose durch eine Bodenverdichtung gefördert werden. Im Versuchsjahr 2022 hat der Einsatz von Kaltwasser keine Verzögerung sondern eine Beschleunigung der Entwicklung stimuliert.

## 2.3. Mulchen oder Bodenbearbeitung

Der Boden speichert Wärme und strahlt diese in Frostnächten ab. Kurz gehaltene Begrünung transpiriert weniger und es bildet sich weniger Tau und weniger Verdunstungskälte. Bei hoher Begrünung steigt die Frostgefahr massiv an.

Jede Bodenabdeckung vermindert diese Wärmeabgabe. Optimal wäre ein offener Boden. Aus diesem Grunde sollte kein hoher Bewuchs in der Anlage sein und die Begrünung möglichst kurzgehalten werden. Mulchen kurz vor dem Spätfrostereignis allerdings, ist durch die isolierende Wirkung des verbleibenden Mulchmaterials kontraproduktiv.

Andererseits führt das Offenhalten des Bodens in Steil- und Hanglagen zu einer hohen Erosionsgefahr, diese Tatsache sollte bei der Planung mitberücksichtigt werden.

## 2.4. Abdeckung

Das Abdecken von Kulturen führt zu einer Hemmung der Wärmeverluste durch Abstrahlung. Folien- oder Vliesabdeckungen können eingesetzt werden. Das Material, aus dem ein Foliendach besteht, hat einen entscheidenden Einfluss auf den Effekt, PVC kann die Wärmestrahlung abfangen und zurückhalten. Eine zusätzliche Beheizung erhöht den Effekt. Vlies verhindert kaum die Wärmeverluste, kann aber in Kombination mit Reifbildung oder einer Frostbegrünung eine gute Frostschutzwirkung entwickeln.

## 2.5. Frostangepasster Rebschnitt

**Wirkungsweise:** Frostrute, Frostkopf, Minimalschnitt, doppelter Zapfenschnitt

**Vorteile:** Einfache vorbeugende Maßnahme mit guter aber unterschiedlicher Wirkung

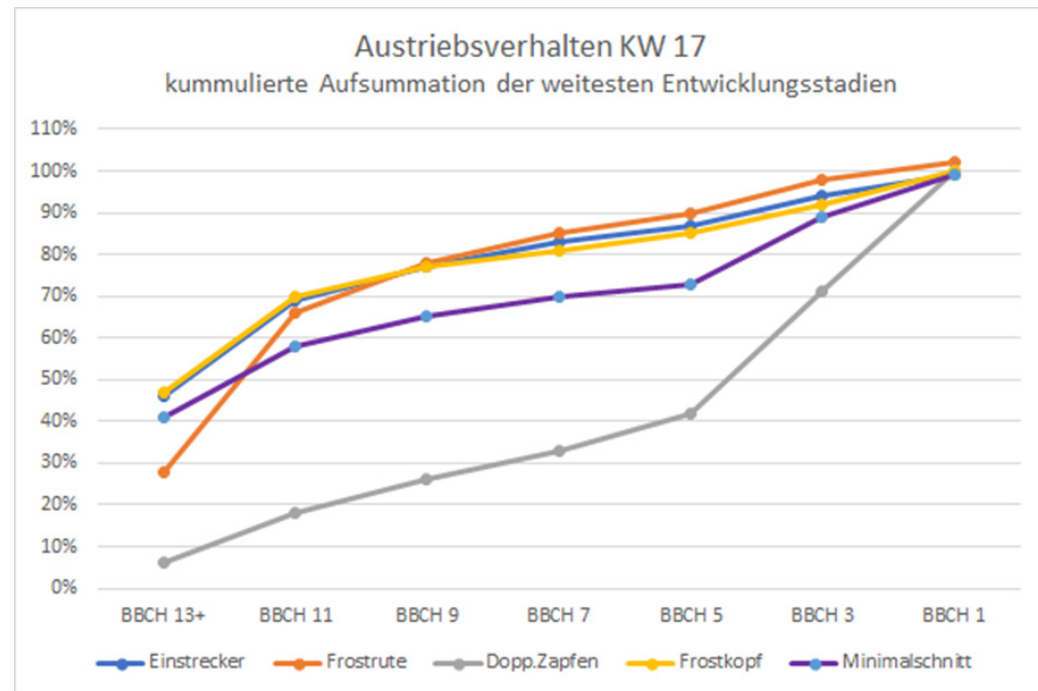
**Nachteile:** Zusätzlicher Arbeitsaufwand; Reifeverzögerung möglich

**Zu Bedenken:** Nur im Weinbau verwendbar; Schnittkorrektur nach Frostperiode; doppelter Zapfenschnitt kann Austrieb mindestens 2 Wochen verzögern, während die anderen Schnittmaßnahmen primär mit der größeren Anzahl an Trieben und einem teilweisen Ausfall arbeiten

## 2.5. Frostangepasster Rebschnitt

Die verwendeten Schnittmethoden entwickelten in der Regel mehr Triebe als herkömmliche Schnittverfahren und haben daher bei Spätfrostereignissen mit Teilschädigung eine ausreichende Anzahl, die übrig bleibt. 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 entsteht der Unterschied zwischen Minimalschnitt und anderen Schnittvarianten.

Der Doppelte Zapfenschnitt hingegen bringt eine wesentliche Verzögerung der Entwicklung in der Phase der größten Spätfrostgefahr mit sich. 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.



## 2.6. Verzögerung des Austriebs mit Öl

**Wirkungsweise:** Zweifache Applikation kann durch reduzierte Sauerstoffzufuhr bis zu 1 Woche Austriebsverzögerung bewirken

**Vorteile:** Vorbeugende Maßnahme, Kosten für Material gering

**Nachteile:** Personal- und zugmaschinenaufwendige Maßnahme durch zweifache Applikation; erst nachträgliche Beurteilung, ob Bekämpfung überhaupt erforderlich war

**Zu Bedenken:** Produktunterschiede, Wirkungsunterschiede bei Konzentration, Zeitpunkt der Applikation und Verlauf des Frostgeschehens

## 2.6. Verzögerung des Austriebs mit Öl

Die Empfindlichkeit gegenüber Frost steigt mit zunehmender Entwicklung der Rebknospe 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. Solange die Knospe noch mit Wolle bedeckt ist, reicht der Schutz bis zu ca.  $-4^{\circ}\text{C}$ . Ab dem Erscheinen von Blattgrün fällt die Grenze auf ca.  $-2^{\circ}\text{C}$  und ein ganz entwickelter Trieb mit abgespreizten Blättern verträgt maximal  $-1^{\circ}\text{C}$  über längere Zeit. Dazu kommen noch Faktoren wie Bodenverhältnisse, Rebsorte, Luftfeuchte usw. Folglich kann die Austriebsverzögerung die Schädigung der Reben verringern oder sogar vermeiden. Dies hängt vor allem davon ab, wann in der Vegetationsentwicklung der Frost zuschlägt und wie tief die Temperaturen absacken. Nachteilig ist, dass die Maßnahmen als Prophylaxe gesetzt werden müssen und der Aufwand dafür schon entsteht ohne zu wissen, ob er tatsächlich nötig wäre. Zu hohe Umgebungstemperaturen können zu negativen Auswirkungen (Phytotoxizität, Knospennektrose) führen. Dennoch sind die Maßnahmen günstiger als thermische oder technische Verfahren. In diesem Ansatz wurde nach Alternativen für eine Austriebsverzögerung gesucht bzw. auch versucht, die Öl Applikation zu verbessern.

Eine, den Austrieb verzögernde Behandlung wird auch in Zukunft nur mit Öl Basis sinnvoll sein. Mittlerweile wurde die dazu nötigen Präparate zumindest zeitweise (vorübergehend) zugelassen. Die durchschnittliche Verzögerungswirkung von einer Woche kann aber sehr wohl entscheidend sein, ob ein Frostereignis Schaden anrichtet oder harmlos bleibt.

Eine Studie der BOKU unter kontrollierten und semi-kontrollierten Bedingungen (Gewächshaus) an Grünem Veltliner und Zweigelt stand im Zusammenhang mit der Verwendung von Pflanzenöl zur Verzögerung des Knospenbruchs bei Weinreben. 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 direkten negativen Auswirkungen zu beobachten waren, solange das Öl vor dem Knospenbruch angewendet wurde. 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 diesem Fall führte Zweigelt zu einer größeren Verzögerung des Knospenaufbruchs im Vergleich zu Grüner Veltliner) zusammenzuhängen.

## 2.7. Frostschutz durch phytochemische Stimulation

**Wirkungsweise:** Stoffwechselveränderung

**Vorteile:** Vorbeugende Maßnahme; Kosten für Material gering

**Nachteile:** Personal- und zugmaschinenaufwendige Maßnahme durch zweifache Applikation; nachträgliche Beurteilung, ob Bekämpfung überhaupt erforderlich war.

**Zu Bedenken:** Produktunterschiede; Wirkungsunterschiede bei Konzentration, Zeitpunkt der Applikation und Verlauf des Frostgeschehens

## 2.7. Frostschutz durch phytochemische Stimulation

Die Empfindlichkeit gegenüber Frost steigt mit zunehmender Entwicklung der Knospe und des Triebes. Während geschlossene Knospen noch sehr robust sind und tiefe Minus Temperaturen keinen Schaden anrichten, sinkt mit dem Knospenschwellen die Stabilität gegen Frost massiv ab. Ab dem Erscheinen von Blattgrün fällt die Grenze auf ca.  $-2^{\circ}\text{C}$  und ein ganz entwickelter Trieb mit abgespreizten Blättern verträgt maximal  $-1^{\circ}\text{C}$  über längere Zeit. Das junge Blattgewebe bietet aber genug Oberfläche, um mit Substanzen besprüht zu werden, die den Stoffwechsel verändern können.

In einem Klimaschrank (Modell KMF 115) wurden primär Stecklinge der Sorten Grüner Veltliner, Zweigelt und Donauriesling bei stimulierten „natürlichen“ Frostnächten mit einer Temperaturabfolge untersucht. Dabei waren Programme im Einsatz, die eine Tiefsttemperatur von  $-2$  bis  $-4,5^{\circ}\text{C}$  aufwiesen. Sie waren in ihrem Temperaturverlauf realen Frostnächten nachgebildet worden. Das nötige Pflanzmaterial wurde unter möglichst homogenen Bedingungen im Gewächshaus herangezogen. Da der Schrank aber eine Luftumwälzung braucht um eine Gradientenausbildung zu verhindern, wurde ein Kunststoffschirm so angebracht, dass keine direkte Bewindung der Reben erfolgen konnte. Einige wenige Versuche konnten auch im Freiland durchgeführt werden. Dies erschien umso wichtiger als die Luftfeuchtigkeit im Schrank unter Frostbedingungen nicht reguliert werden kann. Als pragmatische Annäherung wurde eine flache Wasserschale in den Schrank positioniert.

Die Applikation von verschiedenen Substanzen um die Stabilität der Rebe gegenüber Frost zu verbessern beruht auf einer Veränderung des Stoffwechsels und der damit zusammenhängenden Wirkungsweisen. Von den eingesetzten Substanzen konnten folgende Substanzen eine verbesserte Frostwiderstandsfähigkeit erreichen: Harnstoff, Crop Aid,  $\text{NaHCO}_3$ , Syneco AF 5, Zn-Chelat, Super fifty. Das Ausmaß der Schutzwirkung war unterschiedlich und beträgt nur einen schmalen Bereich von ca.  $1^{\circ}\text{C}$ . Alle anderen eingesetzten Substanzen konnten keine ausreichende Wirkung unter den gegebenen Bedingungen entwickeln.



## 3. Frostberegnung

Die Frostberegnung bewirkt, dass die grünen Organe bei Frost mit einem Eismantel umhüllt werden. Durch die Kristallisation der Wassermoleküle kommt es zu einer Freisetzung von Erstarrungsenergie. Beim Gefrieren um 1 Liter Wasser wird rund 0,1 kWh Wärmeenergie freigesetzt. Das entspricht etwa der Energiemenge, die man benötigt um 1 Liter Wasser von 0 Grad auf 80 Grad Celsius zu erhitzen. Wenn rd. 125 Liter Wasser zu Eis erstarren, ergibt sich somit etwa die gleiche Energiemenge, die in 1 Liter Heizöl enthalten ist.

### 3.1. Überkronenberegnung

**Einsatzbereich:** bei Temperaturen bis zu  $-7^{\circ}\text{C}$  zielführend

**Vorteile:** Sehr gute Wirkungsweise, geringe Betriebskosten, lange Nutzungsdauer

**Nachteile:** rd 4 mm Wasser/Stunde/ha; Infrastruktur

**Zu Bedenken:** Richtiger Einschaltzeitpunkt; Beginn bei weit über  $0^{\circ}\text{C}$  erforderlich; Wind  $< 3$  km/h; Moniliabekämpfung bei Steinobst problematisch; Abbrechen der Äste bei starker und anhaltender Beregnung möglich; Risiko des Zusammenbruches von Hagelschutznetzkonstruktionen und anderen Witterungsschutzsystemen, wenn mehrere Nächte hintereinander beregnet werden muss und am Tag das Eis nicht taut

### 3.1. Überkronenberegnung

Bei einer vorhandenen Beregnungsanlage kann die Infrastruktur auch für die Frostberegnung genutzt werden. Kritisch ist die ausreichende Verfügbarkeit der erforderlichen Wassermenge. Der Bedarf 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 Verschlämmen des Bodens oder Probleme bei der Befahrbarkeit auftreten. Zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen vor und nach der Frostberegnung werden gegebenenfalls zur Reduktion des Krankheitsdruckes empfohlen.

Die Überkronenberegnung wird im Obstbau insbesondere Apfelanbau erfolgreich eingesetzt, während im Weinbau üblicherweise die Infrastruktur fehlt und auch Probleme aufgrund der Eislast auf den Trieben bestehen.

Bei Wind steigt die Verdunstungskälte an der Pflanzenoberfläche, sodass ein gegenteiliger Effekt einsetzen kann und ab 3 Metern pro Sekunde keine Frostberegnung empfohlen wird.

### 3.2. Sprinkler, Unterkronenberegnung

**Einsatzbereich:** bis zu  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Vorteile:** je nach Sprinklerart gute Wirkungsweise und Wassereinsparungspotential gegenüber Überkronenberegnung

**Nachteile:** Wasserbedarf: je nach Art geringer als Überkronenberegnung; Vereisungs- und Verstopfungsgefahr; sehr hohe Windanfälligkeit bei Sprinklern (Verteilungsproblematik)

**Zu Bedenken:** Richtiger Einschaltzeitpunkt, Beginn weit über  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Wind  $< 3\text{ km/h}$ , Moniliabekämpfung bei Steinobst problematisch, Abbrechen der unteren Äste bei starker und anhaltender Beregnung möglich

### 3.2. Sprinkler, Unterkronenberegnung

Im Gegensatz zur Überkronenberegnung werden bei Sprinklern geringere Wassermengen für die Frostberegnung benötigt, da diese nur auf den Rebstock oder Baum und nicht über die Fahrgasse gerichtet sind. Allerdings kann es zu Verstopfungen und Vereisungen kommen. Die erhöhte Windanfälligkeit sowie eine unzureichende Wasserverteilung können zu einer unbefriedigenden Wirkung führen.

Die Unterkronenberegnung setzt – wie bei der Überkronenberegnung ausgeführt – eine entsprechende Infrastruktur und eine sachgerechte Anwendung voraus. Dabei wird die Erstrahlungswärme am Boden frei und steigt nach oben. Mit einer Überdachung kann ein zusätzlicher Effekt erzielt werden, welcher aber maximal Fröste im Temperaturbereich von  $-2$  bis  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  abwehrt. Im Gegensatz zu der sonst üblichen Empfehlung, die Begrünungen rechtzeitig vorbeugend zur Reduzierung von Frostschäden zu mulchen, wird davon bei Unterkronenberegnung abgeraten. In diesem Fall soll nämlich eine möglichst große Oberfläche am Boden vorhanden sein.

## 4. Bewindung

Die Grundvoraussetzung für eine Bewindung ist eine entsprechende inversive Wetterlage d.h. wärmere Luftschichten über dem Boden bei Strahlungsfrost.

### 4.1. Stationäre und mobile Windräder

**Einsatzbereich:** von inverser Temperatur abhängig, bis zu  $-3\text{ °C}$

**Vorteile:** Effektive Maßnahme bei inverser Wetterlage

**Nachteile:** Treibstoffverbrauch; Genehmigungsverfahren bei stationären Windrädern oft problematisch, Lärmbelästigung, für Steillagen ungeeignet

**Zu Bedenken:** Inverse Wetterlage Voraussetzung; Zusatznutzen durch Beheizung

### 4.1. Stationäre und mobile Windräder

Windmaschinen saugen mit einem Propeller aus höheren Luftschichten warme Luft an und verdrängen mit der warmen Luft die Kälte (Absinken der kalten Luft durch höhere Dichte). Bei ebenen Flächen wird ein Anstellwinkel zwischen  $2^\circ$  und  $6^\circ$  eingestellt, bei Hangneigung ein entsprechend höherer, welcher produktbedingt begrenzt ist und auch mit einem gekröpften Mast ausgeglichen werden kann. Während stationäre Windräder bis zu rd. 12 Meter hoch sind, reichen mobile Windräder rd. 6 Meter in die Höhe. Eine Kombination mit einer Zusatzheizung ist möglich.

Stationäre Windräder sind leistungsstärker aber auch energieaufwendiger (Strom, Flüssiggas oder Diesel). Problematisch ist die Lärmbelästigung, welche bei einer behördlich notwendigen Genehmigung von Anrainern beansprucht werden kann.

Mobile Anlagen sind für kleinere Flächen geeignet und mit Antrieben z.B. über ein Trägergerät aktiv und benötigen keine behördliche Genehmigung.

Die SIS-Technologie (selective inverted sink) beruht auf der Wirkung eines Propellers, der die bodennahe Luft horizontal ansaugt und senkrecht nach oben bläst. Durch diese Zirkulation und Vermischung der Luftmassen kann vor allem in Senken die Bildung eines Kaltluftsees verhindert werden. In Becken und in geschlossenen Tallagen, in denen kein Nachfließen von Kaltluft möglich ist, könnte ein Effekt erreichbar sein. Allerdings zeigen bisherige Praxisdaten nur eine kleinflächige und relativ geringe Wirkung.



## 4.2. Helikopter

**Einsatzbereich:** von inverser Temperatur abhängig, bis zu  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Vorteile:** effektive Maßnahme bei inverser Wetterlage

**Nachteile:** Flugeinsatz erst bei Dämmerung möglich (30 Minuten vor Sonnenaufgang); 18 km/h Fluggeschwindigkeit; Lärmbelästigung

**Zu Bedenken:** Inverse Wetterlage Voraussetzung

## 4.2. Helikopter

Beim Überfliegen der Anlage mit einem Helikopter drücken die Rotorblätter die warmen oberen Luftschichten nach unten. Die Vermischung der warmen Oberschicht mit der kalten Unterschicht bewirkt eine Temperaturerhöhung in Bodennähe.

Die Größe des Helikopters ist für die Flughöhe und das wiederholende Zeitintervall des Überfluges ausschlaggebend. In Österreich liegt die Flughöhe bei 10-15 m und einem Intervall von rd. 10 bis 15 Minuten bezogen auf die frostgefährdet Fläche. Der Helikopter kann somit auf einer Fläche von 25 und 40 ha wirksam sein. Die Fluggeschwindigkeit beträgt rd. 10 Knoten = 18 km/h. Dabei sind die Kontrolle und das Verhältnis warmer zu kalter Luft in die Planung der Maßnahme einzubeziehen.

Neben den Überstellungskosten fallen rd. € 30 pro Minute netto an. Der Helikopter kann auf eine Fläche von 25 und 40 ha wirksam sein. Somit kann dieser Einsatz auch betriebswirtschaftlich interessant sein. Voraussetzung ist, dass alle Grundstückseigentümer sich beteiligen.

Der Einsatz darf erst 30 Minuten vor Sonnenaufgang erfolgen (keine Nachtflugenehmigung), sodass kritische Temperaturen davor nicht bekämpft werden können. Aus diesem Grunde ist auch eine rechtzeitige Überstellung des Helikopters zum Einsatzbereich einzuplanen.





## 5. Zufuhr von Wärme

Die Zuführung von Wärme in Wein- und Obstanlagen ist mit einem hohen Energieeinsatz verbunden. Je nach Temperaturdifferenz wird ein mehr oder weniger dichtes Netz an Heizquellen benötigt. Auch die Erziehungsform von Obstanlagen muss dabei mitberücksichtigt werden.

### 5.1. Paraffinkerzen

**Einsatzbereich:** bis zu  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Vorteile:** effiziente Wirkungsweise

**Nachteile:** Hohe Kosten, hoher Arbeitsbedarf; Einlagerungsbedarf, Umweltverschmutzung

**Zu Bedenken:** Beeinträchtigung von Foliendach; 300 bis 600 Kerzen pro ha

### 5.1. Paraffinkerzen

Frostkerzen sind bei allen Frostarten einsetzbar. Bei Wind verkürzt sich die Brenndauer. Je nach Temperaturdifferenz werden zwischen 300 und 600 Kerzen pro ha aufgestellt und entzündet. Bei Wind ist an den Rändern die Anzahl an Kerzen zu erhöhen. Mit geschlossenen Hagelnetzen kann die Temperatur um ein weiteres Grad erhöht werden, jedoch muss eine eventuelle Verrußung bei der Kerzenwahl mitberücksichtigt werden.

Als Vorbereitungsmaßnahmen sind die Kerzen vorzufinanzieren und auf Lager zu halten, da bei Frostnächten ein kurzfristiger Einkauf durch die hohe Nachfrage kaum möglich ist. Auch der Arbeitsaufwand für das Aufstellen und Anzünden der Kerzen ist beträchtlich. Je nach Fabrikat der Kerzen variieren diese hinsichtlich Raumentwicklung, Preis, Brenndauer, Durchmesser und Befüllung.





## 5.2. Öfen

**Einsatzbereich:** bis zu  $-3\text{ °C}$

**Vorteile:** Gute Wärmewirkung

**Nachteile:** hoher Arbeits- und Heizaufwand; Einlagerungsbedarf; Umweltverschmutzung; Wärmeeffekt mit biogenem Material geringer als mit Paraffin

**Zu Bedenken:** Bauart und Aufstellichte entscheidend, Höhe der Öfen ist der Kulturform anzupassen

## 5.2. Öfen

Das Verbrennen von festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen bewirkt eine Energiefreisetzung als Konvektions- und Strahlungswärme. Der Einsatz von Metallöfen, die mit Brennmaterialien befüllt werden, findet in Wein- und Obstanlagen Anwendung. Dabei werden als Quelle Heizöl, Propangas oder feste Brennstoffe (Holz, Kohle, ...) verwendet. Zukünftig sollten jene Materialien verwendet werden, die leicht verfügbar, kostengünstig und umweltschonend sind. Die Verwendung von Pellets, Hackgut und Holzbriketts bietet sich dafür an, wobei das Hackgut weniger Wärme abgegeben hat.

Der Wirkungsgrad erhöht sich, wenn mehr Heizquellen für die gleiche Menge Brennstoff verwendet werden. In Analogie zu den Paraffinkerzen werden bei Wind, in Randbereichen oder Senken wird eine höhere Anzahl aufgestellt. Die Höhe des Ofens ist an die Erziehungshöhe der Kultur, welche es zu schützen gilt, anzupassen.





### 5.3. Heizdraht

**Einsatzbereich:** bis zu -4 °C

**Vorteile:** Sehr gute Wärmeentwicklung im Weinbau

**Nachteile:** Hohe Ausbringungs- und Betriebskosten, Stromanschluss mit hoher Leistung

**Zu Bedenken:** Aufgrund hoher Kosten nur für teure Lagenweine wirtschaftlich vertretbar.

### 5.3. Heizdraht

Eine kosten- und ressourcenintensive Gegenmaßnahme sind Heizdrähte aus Widerstandskabeln, die um den Kordon oder Fruchtbogen gewickelt werden und im aktiven Zustand Wärme an die berührten Rebteile und die Umgebungsluft abgeben. Neben der Verkabelung ist vor allem der Stromanschluss oder die Erzeugung der Elektrizität ein kritischer Aspekt, welcher in abgelegenen Lagen – aber nicht nur dort - zu berücksichtigen ist. Ein realistischer Energiebedarf kann pro Laufmeter Widerstandskabel mit 15 Watt Energieverbrauch angenommen und somit für die Gesamtlänge aller zu schützenden Rebzeilen berechnet werden. Folglich muss mit einer Versorgung von 50 kW pro ha gerechnet werden. Bei Stromentnahme aus dem Netz können zusätzlich zum Strompreis noch Preiszuschläge wegen Spitzenverbräuchen anfallen. Ein großflächiger Einsatz ist wegen der Systemgrenzen wie Zuleitungen und Verfügbarkeit der Elektrizität auszuschließen. Eine Alternative wäre ein eigener Generator.





## 5.4. Heißluftgebläse

**Einsatzbereich:** bis zu -2 °C

**Vorteile:** Einfache Handhabung, große Schlagkraft

**Nachteile:** sehr kleinräumige Effekte, hohe Kosten pro Flächeneinheit, hoher Energiebedarf, Windproblematik, Befahrbarkeit, für Hang- und Steillagen bedingt einsetzbar

**Zu Bedenken:** Investitionskosten

## 5.4. Heißluftgebläse

Bei dieser Maßnahme wird mit Gasturbinen die Luft erwärmt und in die Anlagen eingeblasen, um die Umgebungsluft zu erwärmen. Die Reichweite hängt vom Gerät ab. Während der Frostbuster ein mobiles Gerät ist, welches durch die Anlage gezogen wird, ist FrostGuard eine stationäre Variante, die sich am Platz dreht. Die Angaben der Erzeuger betreffend die Größe der Flächenleistung, die pro Gerät geschützt werden können, wurden in der Praxis nicht erreicht.





## 5.5. Räucherung/Nebelmaschinen

**Einsatzbereich:** fraglich

**Vorteile:** Verminderung der Abstrahlung

**Nachteile:** Bei Strahlungsfrösten, Umweltbelastung, Anrainerproblematik, in Hang- und Steillagen nicht geeignet, behördliche Genehmigung

**Zu Bedenken:** Großflächige Anwendung erforderlich

## 5.5. Räucherung/Nebelmaschinen

Der Effekt des Räucherns beruht darauf, dass durch die „Vernebelung“ die Wärmeabstrahlung vom Boden vermindert wird. Auch verlangsamt sich die Erwärmung bei Sonnenaufgang, so dass die Erwärmung der Zellen sich verlangsamt und die Pflanzenzellen weniger platzen. Nur bei Strahlungsfrost und einer vollständigen Vernebelung kann ein Effekt auftreten, wenn flächendeckend ein Einsatz erfolgt. Bei Hang- und Steillagen ist dies kaum möglich.

Das Abbrennen von biogenen Materialien in Wein- und Obstanlagen ist länderspezifisch mit Meldepflichten und speziellen Bestimmungen verbunden. Als äußerst problematisch ist die Rauchbelastung für die ausführenden Personen und Anrainer anzusehen. Sowohl die Gefährdung des angrenzenden Straßenverkehrs als auch der Betrieb von Niedrigenergiehäusern, welche für diesen Zeitpunkt abzuschalten sind, müssen im Vorfeld berücksichtigt werden.

Üblicherweise werden feuchtes Stroh, Heu, Holz u.a. angezündet bzw. mit feuchtem Material abgedeckt. Die Wirkungsweise wird als sehr gering eingestuft.

Kunstnebel, der z.B. bei Feuerwehrübungen eingesetzt wird, zeigt Probleme bei einer gleichmäßigen Verteilung und langen Verweildauer auf größeren Flächen. Nachdem vorwiegend Rauch und weniger Wasserdampf vorliegt, ist auch kein ausreichender Wärmepuffer vorhanden.



