© stock.adobe.com | Zeitgugga6897

2025 | LWG und KTBL

Frostschutzmaßnahmen – technische Verfahren in der Praxis

Inhalt

1 Einleitung ... 3
2 Frostschutzmaßnahmen ... 4
3 Typisierung der Geräte nach Bauart, Größe und Einsatzbereich ... 5
3.1 Nebelmaschinen ... 5
3.2 Frostkerzen ... 7
3.3 Beregnung ... 9
3.3.1 Überkronenberegnung – Kreis- oder Schlagregner ... 9
3.3.2 Überkronenberegnung – Reihenregner ... 11
3.3.3 Unterkronenberegnung – Mikrosprinkler oder Kreisregner ... 12
3.4 Frostheizgeräte ... 13
3.4.1 Frostbuster ... 14
3.4.2 FrostGuard ... 15
3.5 Frostöfen ... 17
3.5.1 AntiFrostVOEN ... 18
3.5.2 WIESEL ... 19
3.6 Windmaschinen ... 21
3.6.1 Stationäre Windmaschinen ... 21
3.6.2 Mobile Windmaschinen ... 23
3.7 Helikopter ... 24
3.8 Überdachung ... 25
4 Schlussbetrachtung ... 26
Literatur ... 29
Mitwirkende ... 29
Impressum ... 29

1 Einleitung

Infolge der klimatischen Veränderungen in den letzten Jahren werden die Winter und Frühjahre wärmer, was zu einem zeitigeren Vegetationsbeginn und somit früheren Austrieb von Obstbäumen und Weinreben führt. Fröste im April und Mai treten zwar seltener, aber weiterhin in regelmäßigen Abständen und immer häufiger als Schadfröste auf. Insbesondere Knospen- und Blütenorgane sowie junge Früchte oder Neuaustriebe können empfindsam auf Minustemperaturen im Frühjahr reagieren.

Im Obstbau können Spätfrostschäden dazu führen, dass Blüten und junge Früchte absterben, was die Ernteerträge erheblich verringert, auch die Qualität der Früchte kann beeinträchtigt werden (Abb. 1). Im Weinbau betrifft es vor allem die jungen Triebe und Blüten, was die Ernte und die Qualität der Trauben beeinträchtigen kann.

Abb. 1: Typische Frostschäden an den Rosettenblättern eines Apfelbaums (links, © Esteburg Jork) und abgestorbene Triebe einer Bogrebe im Weinbau (rechts, © Matthias Mend/LWG)

Frostschutzmaßnahmen werden also immer wichtiger, um die Ernte vor plötzlichen Kälteeinbrüchen zu schützen und die Risiken von Frostschäden zu minimieren.

Im Auftrag des KTBL haben Jonas Maußner und Alexander Zimmermann von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) mit Förderung des KTBL-Arbeitsprogramms Kalkulationsunterlagen das Projekt „Investitionen und Verfahrenskosten für Frostschutzmaßnahmen“ durchgeführt. In diesem Beitrag sind einzelne Ergebnisse zusammengefasst, weitere Forschungsergebnisse sind auf den Websites der LWG veröffentlicht: https://www.lwg.bayern.de/gartenbau/obstbau/319518/index.php.

Der Arbeitszeitbedarf für das jeweilige Arbeitsverfahren wird in diesem Beitrag detailliert aufgeschlüsselt. Dabei wird von einer Standardapfelanlage mit einer Fläche von einem Hektar (100 × 100 m) und einem Reihenabstand von 3,3 m sowie einem Pflanzabstand von 1 m ohne Hangneigung ausgegangen. Pflanz- und Reihenabstände bei anderen Kulturen wirken sich vor allem bei der Frostschutzberegnung auf die Investitions- sowie Installationskosten aus. Bei Reben ist aufgrund des geringeren Zeilenabstands mit höheren Kosten und bei Steinobst mit eher niedrigeren Kosten zu rechnen. Dies wurde bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

In den Kalkulationen wurde die Betriebsdauer in einer Frostnacht auf acht Stunden festgelegt. Je nach Witterungssituation kann diese kürzer oder auch länger sein. Alle Preisangaben sind ohne Mehrwertsteuer.

2 Frostschutzmaßnahmen

Es kann zwischen Strahlungs- und Windfrösten unterschieden werden: Strahlungsfröste treten bei wolkenlosem Himmel auf. Die aus dem Boden aufsteigende Warmluft entweicht nach oben und wenn gleichzeitig Kaltluft von den Höhenlagen ins Tal strömt, entsteht eine Inversionsschichtung mit sehr kalten Temperaturen in Bodennähe. Diese Fröste treten meist lokal auf, insbesondere in Senken und Tallagen.
Windfröste hingegen können infolge einer Kaltluftfront durch Luftmassen mit Minustemperaturen entstehen und einer ganzen Anbauregion Schäden zuführen; sie sind in den meisten Fällen schwierig abzuwehren.

Bevor technische Frostschutzmaßnahmen ergriffen werden, sind alle anderen Möglichkeiten zum Schutz vor Frost zu prüfen: Die Standortwahl ist von entscheidender Bedeutung. So sollten neue Obst- und Weinkulturen nicht in spätfrostgefährdete Lagen gepflanzt werden, z. B. Talsenken, Staulagen, Kälteseen. Zudem sollte auf die Sorten geachtet werden, in jeder Kultur gibt es anfällige und robuste Sorten.

Neben der Standortwahl ist auch das Kulturmanagement von großer Bedeutung. Die Kulturen sollten in einem guten Ernährungszustand sein, denn gut versorgte Knospen und Blüten können einen leichten Frost überstehen. Durch einen kurzen Bewuchs in der Fahrgasse sowie einen offen gehaltenen Boden in der Pflanzreihe im Frühjahr kann die Wärme des Bodens in Frostnächten besser abgestrahlt werden. Dies kann bei kritischen Temperaturen der ausschlaggebende Faktor bei der Vermeidung von Frostschäden sein. Zudem kann durch gezielte Wassergaben vor dem Frostereignis die Wärmeübertragung im Boden angeregt und die Luftfeuchtigkeit in der Anlage erhöht werden.

Um Schäden durch Spätfröste zu verringern, stehen verschiedene technische Maßnahmen zur Verfügung (Abb. 2). Sie führen zu Kosten, selbst wenn kein Frostereignis eintritt. Aktive Maßnahmen werden in Gefahrensituationen eingeleitet. Der Erfolg hängt vom richtigen Zeitpunkt ab. Ein zu später Start führt zu Kosten, ohne den Ertrag nachhaltig zu sichern. Zudem sind weitere Investitionen erforderlich, um im Bedarfsfall reagieren zu können.

Zur Kontrolle und Überwachung der Temperaturentwicklung von Anlagen im Obst- und Weinbau gibt es eine Vielzahl von Geräten. Diese sogenannten Frostwächter können via SMS, Telefonanruf, E-Mail oder App-Benachrichtigung den Nutzerinnen und Nutzern bei Unterschreiten einer vorher festgelegten Tiefst-, aber auch Höchsttemperatur informieren.

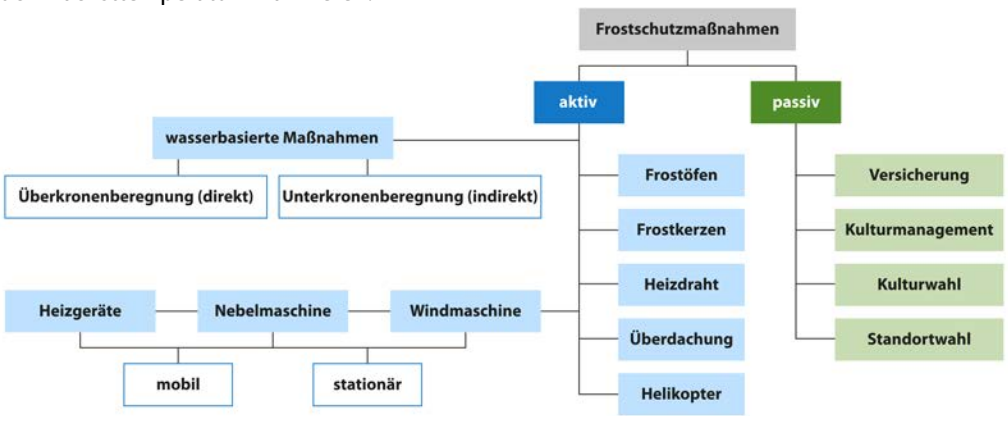

Abb. 2: Maßnahmen zur Abwehr von Spätfrösten (Maußner und Zimmermann 2022; verändert)

3 Typisierung der Geräte nach Bauart, Größe und Einsatzbereich

3.1 Nebelmaschinen

Nebelmaschinen wirken vor allem bei Strahlungsfrösten. Ein Modell auf dem Markt ist der FogDragon (Abb. 3). Die Maschine verbrennt einen Brennstoff im Feuerraum und verteilt entstehende Wärme, Rauch und Wasserdunst in der Plantage. Die warme Luft schützt gegen den Frost, während der Rauch die Bodenwärme nicht entfliehen lässt.

Abb. 3: Bei dem FogDragon handelt es sich um einen Anhänger mit zylindrischem Feuerraum und Wassertank (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Durch das Einbringen von zerstäubtem Wasser über Düsen erhöht sich zudem das Volumengewicht der ausgeblasenen warmen und rauchigen Luft, wodurch sich diese wie eine Nebeldecke über die Pflanzen setzen soll.

Der FogDragon besteht im Wesentlichen aus dem Fahrgestell, einem Wassertank, einem Brennraum und einem Gebläse mit angebauten Wasserdüsen, das für die Verteilung der Luft sorgt. Laut Hersteller können Hackschnitzel, Grünschnitt, Scheitholz, Heu- oder Strohballen verbrannt werden.

Die Maschine muss von einem Traktor gezogen und angetrieben werden. Bei einer Arbeitsbreite von 45 bis 60 m (laut Hersteller) muss ein entsprechender Wenderadius gewählt werden. Es gibt verschiedene Typen, die sich in Länge und Breite unterscheiden. Bei den folgenden Berechnungen wird von einer Maschine mit 5 ha Leistung je Frostnacht (8 h) ausgegangen (Tab. 1 und 2).

Tab. 1: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Maschinen	Betriebsstoffe	Menge	Kommentare
Bestücken am Hof (Heizmaterial)	2	15	30	Frostschutzgerät	-	-	nach Anbrennphase Bestückung mit feuchtem Holz zur längeren Brenndauer
				Nebelmaschine	Holzscheite (feucht)	0,5 Rm	
Wassertank füllen	1	10	10	Traktor	Wasser	200 l	-
Maschine am Traktor anbauen	1	3	3	Traktor Nebelmaschine	-	-	-
Maschine betriebsbereit machen	1	15	15	Traktor Nebelmaschine	-	-	-
Transport zum Feld		-	0	Traktor	-	-	-
Maschine starten		-	0	Traktor Nebelmaschine	-	-	-
Kontrolle und Fahrt	1	480	480	Traktor Nebelmaschine	-	-	ausgehend von 6 h Einsatz während Frostphase
Heizmaterial nachbestücken	1	10	10	Nebelmaschine	Holzscheite (feucht)	0,5 Rm	Brenndauer je nach Material etwa 1,5–2 h
Wassertank nachfüllen	1	10	10	Nebelmaschine	Wasser	200 l	Füllmenge reicht für etwa 3 h
Zum Betrieb transportieren	1	10	10	Traktor Nebelmaschine	-	-	-
Maschine abhängen	1	2	2	Traktor	-	-	-
Summe			**570 (9,5 AKh)**				

Tab. 2: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoffe	Einheit	Zeit h	Bedarf Einheiten/h	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Preis €/Einheit	Kosten €/Frostnacht
Diesel	l	9,5	8	76	1,90	144,40
Holzscheite, feucht	Rm	8,0	0,25	4	100	400,00
Wasser	m^3	8,0	0,050	0,400	1,00	0,40
Summe						**544,80 €**

Risiken beim Einsatz von Nebelmaschinen (Dreisiebner-Lanz und Aberer 2018, geändert):

- Geruch und Feinstaub können zu Belästigungen und eventuell zu gesundheitlichen Belastungen bei anwendenden oder anwohnenden Personen führen.
- Maßnahme funktioniert nur bei Windstille oder geringen Windgeschwindigkeiten zufriedenstellend.
- Erfolg hängt von einem ausreichenden Wasserdampf ab.
- Nebel darf Verkehr nicht behindern.

Des Weiteren gibt es Geräte, die ursprünglich aus dem Unterglasbereich kommen und mithilfe eines Glycerin-Wasser-Gemisches einen dichten Nebel in der Anlage erzeugen (Abb. 4).

Abb. 4: Nebelgeräte auf Basis von Glycerin und Wasser erzeugen besonders dichte Nebel (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

3.2 Frostkerzen

Frostkerzen wärmen die Umgebungsluft auf und schützen so die Blüten und Knospen vor kritischen Temperaturen (Abb. 5). Dabei ist die Wirkungsweise vor allem für Strahlungsfröste geeignet, eingeschränkt aber auch für Windfröste. Wind kann den Schutz mindern, bei schwachen Winden kann die Schutzwirkung aufrechterhalten werden, indem an der windzugewandten Seite mehr Kerzen aufgestellt werden. Ein guter Effekt wird in Kombination mit einer Überdachung erzielt.

Abb. 5: Frostkerzen werden im Bestand gleichmäßig verteilt, Ausnahmen bilden die windzugewandten Ränder sowie Senken, in denen sich Kalte Luft sammeln kann – in beiden Fällen sollten mehr Kerzen aufgestellt werden (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Je nach Hersteller sind die etwa 28 cm hohen Blecheimer mit 20 cm Durchmesser befüllt mit Paraffin (auf Erdölbasis) oder Stearin (auf Basis tierischer und pflanzlicher Öle). Sie beinhalten meist einen quadratischen Docht aus Pappe. Die Brenndauer liegt je nach Windverhältnissen zwischen 6 und 10 Stunden, bei langen

Frostnächten ist also ein zweiter Satz erforderlich. Je Minute werden rund 6 bis 9 g Brennstoff verbraucht. Nach Herstellerangabe müssen je nach angestrebter Temperaturerhöhung 200 bis 500 Kerzen je ha aufgestellt werden (Dreisiebner-Lanz und Aberer 2018).

Bei den diesem Beitrag zugrundeliegenden Kalkulationen wurde von einem Frostereignis von -2 bis -3 °C und 300 Kerzen ausgegangen, bei einem Preis von rund 14 €/St.

Verteilen, Anzünden und Einsammeln der Kerzen sind arbeitsintensiv und sollten vorher genau kalkuliert werden (Tab. 3).

Tab. 3: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AK/min	Maschinen	Betriebsstoff	Menge	Kommentare
Frostkerzen beladen am Hof	1	10	10	Traktor Anhänger Gabelstapler	Frostkerzen F	300 St	aufladen (144 Kerzen/Palette) verzurren (2 Paletten)
Frostkerzen zum Feld transportieren	1	10	10	Traktor Anhänger	-	-	
Palette auspacken und vorbereiten der Kerzen auf Hänger	2	10	20	-	-	2 St	-
Frostkerzen aufstellen	3	30	90	Traktor Anhänger	-	-	-
Frostkerzen: Deckel abnehmen und anzünden	2	30	60	Gasbrenner	Frostkerzen	300 St	-
Kontrolle	1	30	30	-	-	-	-
(optional: Deckel schließen)	2	20	40	-	-	-	-
Frostkerzen einsammeln	3	30	90	Traktor Anhänger	Frostkerzen	300 St	-
Transport zum Betrieb	1	10	10	Traktor Anhänger	-	-	-
Leere Behälter zur Lagerung/ Entsorgung aufstapeln	2	24	48	Traktor Anhänger Gabelstapler	Frostkerzen	300 St	auf 2 bis 4 Paletten
Summe			**408 (6,8 AKh)**				

Risiken beim Einsatz von Frostkerzen:

- Mit Folien überdachte Kulturen können durch den Ruß verschmutzen.
- Luftverschmutzung kann zu Akzeptanzproblemen in der Bevölkerung führen.
- Frostkerzen müssen kurzfristig verfügbar sein.
- Ein hoher AK-Bedarf muss kurzfristig gedeckt werden können.
- Für die Arbeitskräfte besteht Verbrennungsgefahr, zudem besteht Feuergefahr.
- Frostkerzen führen durch das Aufstellen und Einsammeln selbst dann zu Kosten, wenn sie nicht eingesetzt werden müssen.

Vor einem Einsatz muss die ansässige Feuerwehr und die zuständige integrierte Leitstelle informiert werden, um ein unnötiges Ausrücken zu vermeiden.

3.3 Beregnung

Die Schutzwirkung der Frostschutzberegnung liegt in der freiwerdenden Erstarrungswärme, die bei der Umwandlung des Wassers in Eis frei wird. Die freiwerdende Wärme erhöht die Temperatur der Pflanzenteile sowie der gesamten Anlage und verhindert ein Absinken in den kritischen Temperaturbereich. Es wird zwischen der Beregnung über den Kronen bzw. über den Pflanzen und unter den Kronen bzw. unter den Pflanzen unterschieden.

Risiken der Frostschutzberegnung:

- Boden kann vernässen, mit Wirkungen auf den Sauerstoffgehalt und die Befahrbarkeit.
- Pflanzennährstoffe und Pflanzenschutzmittel können ab- oder ausgewaschen werden.
- Ausfall der Beregnung (technisches Funktionsversagen oder Einfrieren der Leitungen und Düsen) kann zu Totalschaden führen.
- Bei Überkronenberegnung kann es bei Steinobst zu vermehrtem Astbruch kommen.
- Wasser muss auch bei Minusgraden und in großen Mengen verfügbar sein.
- Beregnungsanlagen führen durch die Installation selbst dann zu Kosten, wenn sie nicht eingesetzt werden müssen.
- Es kann zu verstärktem Fruchtfall, Nekrosen an Blättern sowie Wachstumsdepressionen am Blatt und an der Frucht kommen (Tumler o. J.)

3.3.1 Überkronenberegnung – Kreis- oder Schlagregner

Die Kreis- oder Schlagregner werden über den Baumkronen betrieben (Abb. 6). Die Überkronenberegnung bietet bis -7 °C einen sicheren Schutz (FAO 2005).

Abb. 6: Bei der Überkronenberegnung mit Kreis- oder Schlagregnern werden die Pflanzen ganzflächig mit Wasser überzogen (© stock.adobe.com | cachaco)

Bei der Überkronenberegnung benetzt das versprühte Wasser die Blüten und gefriert (Abb. 7). Die Beregnung muss so lange laufen, bis die 0 °C Feuchttemperatur wieder überschritten werden, weshalb ausreichend Wasser zur Verfügung stehen muss.

Je Hektar kann mit 30 bis 70 Regner gerechnet werden, das entspricht maximalen Abständen zwischen 12 × 12 m bis 18 × 18 m (Tumler o. J.). Im Kalkulationsbeispiel werden 30 Regner eingesetzt.

Abb. 7: Pfirsichblüten unter vor Frost schützendem Eismantel (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

In Tabelle 4 ist der Arbeitszeitbedarf für eine Anlage von 1 Hektar mit einer Reihenbreite 3,30 Meter und einem Meter Pflanzabstand berechnet.

Tab. 4: Arbeitszeitbedarf für die Installation einer Überkronenberegnungsanlage (1 Hektar)

Arbeitsgang	Stückzahl	Zeit min/Stück	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin/Aufbau
PE-Rohr befestigen	5 Reihen	60	2	300	600
Sprinkler an vorhandene Pfähle befestigen	30 Metallschlagregner	10	1	300	300
Mikroschläuche an PE-Rohr und Sprinkler befestigen	30 Mikroschläuche	2	1	60	60
An vorhandene Zuleitung anschließen	5 Reihen	15	1	75	75
Filter und Verschraubungen installieren	-	120	2	120	240
Summe					**1.275 (21,25 AKh)**

Die jährlichen Arbeiten für den Betrieb einer Überkronenberegnungsanlage belaufen sich mit dem Spülen und der Kontrolle vor Inbetriebnahme (3 AKh) und den Wartungsarbeiten (4 AKh) auf insgesamt 7 AKh. Für das Ein- und Ausschalten der Pumpe sowie der Kontrolle während des Betriebs fallen je Frostschutznacht (8 h) und Hektar 1 AKh an. Für eine Frostnacht (8 h) entstehen für Betriebsstoffe Kosten von 328 €/ha (Tab. 5).

Tab. 5: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoffe	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Strom	kW	0,50	16	8
Wasser	m^3	1,00	320	320
Summe				**328**

3.3.2 Überkronenberegnung – Reihenregner

Die Reihenregner zählen wie die Beregnung mit Kreis- oder Schlagregnern zu den wasserbasierten Methoden der Überkronenberegnung. Unterschied zu den Regnern ist dabei, dass sich die Flipper nicht im Kreis bewegen, sondern auf und ab im Baumstreifen (Abb. 8). Dadurch wird die Fahrgasse größtenteils nicht mit beregnet, sondern nur über den Bäumen in einer Breite von maximal 1 m. Dies führt zu einer Wassereinsparung von bis zu 50 % gegenüber den Kreis- oder Schlagregnern.

Das System zeigte sich 2014 bis 2017 in Versuchen der LWG aber windanfälliger als Kreis- oder Schlagregner (Müller 2018).

Abb. 8: Die Reihenregner verlaufen über den Pflanzen und bilden eine Art Wasservorhang (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Der Arbeitszeitbedarf für die Beregnung mit Reihenregnern ist in Tabelle 6 wiedergegeben. Die Daten wurden für eine Anlagen von 1 Hektar Größe mit einer Reihenbreite von 3,3 Meter sowie 1 Meter Pflanzabstand berechnet.

Tab. 6: Arbeitszeitbedarf für die Installation einer Reihenregneranlage (1 Hektar)

Arbeitsgang	Stückzahl	Zeit min/Stück	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin
PE-Rohr befestigen	28 Reihen	60	2	1.680	3.360
Sprinkler an vorhandene Pfähle befestigen	448 Sprinkler	10	1	4.480	4.480
Mikroschläuche an PE-Rohr und Sprinkler befestigen	448 Mikroschläuche	2	1	896	896
An vorhandene Zuleitung anschließen	28 Reihen	15	1	420	420
Summe					**9.156 (152,6 AKh)**

Die jährlichen Arbeiten für den Betrieb einer Überkronenberegnungsanlage belaufen sich mit dem Spülen und der Kontrolle vor Inbetriebnahme (3 AKh) und den Wartungsarbeiten (10 AKh) auf insgesamt 13 AKh. Für das Ein- und Ausschalten der Pumpe sowie der Kontrolle während des Betriebs fallen je Frostschutznacht (8 h) und Hektar 1 AKh an. Den Bedarf an Betriebsstoffen zeigt Tabelle 7.

Tab. 7: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoffe	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Strom	kW	0,50	16	8
Wasser	m^3	1,00	160	160
Summe				**168**

3.3.3 Unterkronenberegnung – Mikrosprinkler oder Kreisregner

Die Unterkronenberegnung gehört zu den wasserbasierten Frostschutzmethoden und wirkt indirekt. Denn es werden nicht die Baumkronen direkt bewässert, sondern der Boden breitflächig benetzt (Abb. 9). Dadurch kann die Bodenwärme besser abfließen, zum anderen wird Erstarrungswärme frei. Diese Energie erhöht die Temperatur in der Anlage.

Abb. 9: Bei der Unterkronenberegnung wird das Wasser mit Sprinklern im unteren Stammbereich ausgebracht, sodass sich ein Eisteppich auf dem Boden bildet (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Für die Unterkronenberegnung müssen in der Anlage Mikrosprinkler oder Kreisregner an einem Drahtgerüst unter der Baumkrone installiert sein und ausreichend Wasser zur Verfügung stehen. Diese Methode wird speziell in Kulturen angewendet, bei denen eine Überkronenberegnung zu Astbruch oder zu starker Vernässung der Blütenorgane führen würde (v. a. Steinobst). Es werden 25 bis 28 m^3 je Stunde und Hektar verregnet (Urbanietz 2022).

Mit der Beregnung sollte vor Frostbeginn begonnen werden, damit die Anlage nicht einfriert. Zudem ist die Wirkung eingeschränkt – es können maximal Fröste mit Temperaturen von -2 bis -3 °C abgewehrt werden und die zu schützende Fläche sollte mindestens 0,5 Hektar groß sein (Steinbauer 2018). Die Wirkung wird verbessert, wenn sie mit einer Folienüberdachung der Kultur kombiniert wird.

Die Berechnung des Arbeitszeitbedarfs für die Installation der Beregnung ist Tabelle 8 zu entnehmen.

Tab. 8: Arbeitszeitbedarf für die Installation einer Unterkronenberegnung (1 Hektar)

Arbeitsgang	Stückzahl	Zeit min/Stück	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin
PE-Rohr befestigen	28 Reihen	60	2	1.680	3.360
Draht für Befestigung PE-Rohr installieren	28 Reihen	60	2	1.680	3.360
Sprinkler an PE-Rohr befestigen	625 Sprinkler	2	1	1.250	1.250
An vorhandene Zuleitung anschließen	28 Reihen	15	1	420	420
Filter und Verschraubungen installieren	1	120	2	120	240
Summe					**8.630 (143,83 AKh)**

Die jährlichen Arbeiten für den Betrieb einer Unterkronenberegnungsanlage belaufen sich mit Spülen und Kontrolle vor Inbetriebnahme (2 AKh) und Wartungsarbeiten (4 AKh) auf insgesamt 6 AKh. Die Arbeiten je Frostschutznacht (8 h) und Hektar belaufen sich mit dem Ein- und Ausschalten der Pumpe sowie der Kontrolle während des Betriebes auf 1 AKh. Für eine Frostnacht (8 h) entstehen für Betriebsstoffe Kosten von 248 €/ha (Tab. 9).

Tab. 9: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoffe	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Strom	kW	0,50	16	8
Wasser	m^3	1,00	240	240
Summe				**248**

3.4 Frostheizgeräte

Frostheizgeräte wie der Frostbuster oder FrostGuard führen der Anlage durch die Verbrennung von Gas Wärme zu und verteilen diese durch ein Gebläse. Dadurch verdampft ein Teil des Reifes (Sublimation) und der verbleibende Reif erhält Energie aus der strömenden Luft. Je höher die Luftfeuchtigkeit ist, desto mehr Energie wird übertragen. Der Heißluftstrom muss spätestens alle 7 bis 10 Minuten dieselbe Stelle treffen bzw. Reihe passieren.

Die Frostheizgeräte lassen sich in mobile und stationäre Systeme unterscheiden.

Risiken beim Einsatz von Frostheizgeräten (Frostbuster/FrostGuard):

- Gas muss kurzfristig verfügbar sein.
- Heizgeräte können zu Verbrennungen an den Pflanzen führen.
- Geringe Luftfeuchtigkeit und nasse Pflanzen können die Frostgefahr bei Windfrösten erhöhen.
- Technisches Funktionsversagen kann im Bestand zu Totalschäden führen.
- Verfahren kann auf Akzeptanzmangel in der Bevölkerung stoßen, zumal es klimawirksame Verbrennungsreste freisetzt.
- Für den Einsatz des Frostbusters muss der Schlag befahrbar sein.
- Der Frostbuster muss über die gesamte Frostdauer durch die Anlage gezogen werden, was eine hohe Belastung des Fahrers bedeutet.

3.4.1 Frostbuster

Der Frostbuster ist eine an einen Traktor angehängte oder 3-Punkt-montierte Maschine und damit mobil. Er besteht aus einem Gasbrenner, welcher die Luft erwärmt (Abb. 10), und wirkt auch bei Windfrösten.

Abb. 10: Wärmequelle der Frostheizgeräte sind Propangasflaschen (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Die erwärmte Luft wird durch ein Gebläse und den beidseitigen Auslässen in der entsprechenden Anlage verteilt. Die Fläche, die er frostfrei halten kann, hängt von der Lage und der Form der Parzelle ab.

Das Gerät hat auf jeder Seite einen niedrigen Auslass, aus dem die Heißluft geblasen wird. Der Sollwert der Ausblastemperatur liegt bei 85 °C. Diese kann mit einem Regler eingestellt werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Zapfwellendrehzahl einen erheblichen Einfluss auf die Ausblastemperatur hat. Deshalb soll das Gerät mit 540 U/min gefahren werden. Eine weitere Unterschreitung führt dazu, dass das Gerät überhitzt und abschaltet.

Der Einsatz ist nur bei einer zusammenhängenden großen Fläche von mindestens 3 ha sinnvoll; laut Hersteller bläst das Gerät die Luft 40 bis 50 m tief in den Bestand. Die Flächenleistung liegt demnach zwischen 8 und 10 ha.

Der Frostbuster 252 hat ein Eigengewicht von 350 kg und kann mit sechs Propangasflaschen mit je 33 kg Gas bestückt werden. Der Verbrauch selbst liegt bei rund 35 kg je Stunde. Ein Wechsel der gesamten Flaschen dauert etwa 15 Minuten, vorausgesetzt die Ersatzflaschen sind direkt am Einsatzort deponiert. Der Arbeitszeitbedarf ist in der Tabelle 10 zusammengestellt. Für eine Frostnacht (8 h) entstehen für Betriebsstoffe Kosten von 665 €/ha (Tab. 11).

Tab. 10: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin/ Frostnacht	Maschinen	Betriebsstoffe	Menge
Gasflaschen auslagern/ bereitstellen	1	5	5	Gabelstapler	Propangas	6 St für 6 h = 8 Flaschen à 33 kg für 8 h = 264 kg
Maschine am Traktor anbauen	1	3	3	Schmalspurtraktor	-	-
Maschine bestücken und Flaschen anschließen	1	10	10	Schmalspurtraktor Frostbuster, angebaut	-	-
Maschine betriebsbereit machen und zum Feld transportieren; Maschinenstart	1	10	10	Schmalspurtraktor Frostbuster, angebaut	Werkzeug Leckspray	-
Kontrolle und Fahrt	1	480	480	Schmalspurtraktor Frostbuster, angebaut	-	-
Maschine zwischenbestücken	1	5	5	Gasflaschen	Propangas	2 Stück à 33 kg
Maschine zum Betrieb transportieren	1	10	10	Schmalspurtraktor Frostbuster, angebaut	-	-
Flaschen entkoppeln und abladen	1	10	10	-	-	-
Maschine abhängen und einlagern	1	5	5	Schmalspurtraktor Gabelstapler Gitterbox (Gasflaschen)	-	-
Summe			**538 (8,97AKh)**			

Tab. 11: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoffe	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Propangas, Gasflasche 33 kg	kg	2,00	264	528
Diesel	l	1,90	72	137
Summe				**665**

3.4.2 FrostGuard

Der FrostGuard ist ein stationäres Gasheizgerät, es kann zwischen sechs verschiedenen Varianten gewählt werden. Bei der von der LWG getesteten Ausführung B20 handelte es sich um die leichteste und günstigste Ausführung des FrostGuards. Die maximal Flächenleistung wird vom Hersteller mit 0,7 bis 1 ha angegeben.

Der FrostGuard erwärmt nicht die Atmosphäre, sondern kontrolliert den Phasenübergang von Dampf zu Reif (Desublimation), um die Knospen/Blüten zu schützen. Mit einem Heißluftstrom wird durch die 360°-Rotation alle sieben Minuten dieselbe Stelle in der Anlage getroffen. Dadurch verdampft ein Teil des Reifes (Sublimation) und der verbleibende Reif erhält Energie aus der strömenden Luft. Je höher die Luftfeuchtigkeit ist, desto mehr Energie wird übertragen. Der FrostGuard B20 hat ein Eigengewicht von etwa 218 kg. Das Gerät ist bereift und verfügt über eine Zugstange, es kann per Traktor oder Hand in der Anlage bewegt werden (Abb. 11). Angetrieben wird der B20 über Propangas. Dafür gibt es von der Firma Agrofrost einen speziell entwickelten Flaschenhalter für sechs 33-kg-Propangasflaschen. Die Halterung kann hochgebockt werden,

sodass beim Betrieb die erhitzte Luft unter den Gasflaschen durchströmt. Die warmen Abgase werden über einen Schlauch in das Flaschengestell geleitet. Durch Öffnungen unter jeden Flaschenhalter werden bei der Benutzung die Gasflaschen erwärmt, was einen temperaturunabhängigen Betrieb gewährleistet. Durch einen Zündschlüssel wird der B20 angeschaltet. Über den Gashebel und die Gaszufuhr kann die gewünschte Leistung eingestellt werden.

Abb. 11: Das stationäre Gasheizgerät FrostGuard mit Flaschengestell im Einsatz (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Der Hersteller empfiehlt den Motor nur bei Vollgas laufen zulassen und eine Temperatur am Auslass zwischen 75 und 85 °C. Die Drehzahl wird am Display angezeigt, die Temperatur wird mit einem mitgelieferten Thermometer per Hand an dem etwa 30 cm über den Boden bewegenden Auslassrohr gemessen. Eine Auto-Start-Funktion ist nicht verfügbar.

Das Gerät rotiert selbstständig in etwa sieben Minuten um 360°. Etwa 15 Minuten nach dem Start sollte das Gerät und die Temperatur nochmals kontrolliert werden. Der B20 kann dann ohne weitere Beaufsichtigung bis zum Ausschalten in den Morgenstunden durchlaufen. Der Gasverbrauch wird mit etwa 10 kg je Stunde angegeben. Somit müssen die sechs Propangasflaschen nach etwa 20 Stunden Betriebszeit ausgetauscht werden.

Der Arbeitszeitbedarf liegt bei 2,5 Arbeitskraftstunden je Frostnacht (Tab. 12), die Betriebsstoffkosten für Propangas betragen 156 € je Frostnacht.

Tab. 12: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h)

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Maschinen	Betriebsstoff	Menge
Maschine bestücken und Flaschen anschließen	2	22	44	Traktor Frostschutzgerät	Propangas	2,4 Flaschen à 33 kg
Maschine zum Feld transportieren	1	15	15	Traktor Frostschutzgerät	-	-
Gasflaschen in Halterung zum Feld transportieren	1	15	15	Radlader	-	-
Maschine betriebsbereit machen	1	6	6	Frostschutzgerät	-	-
Maschinen starten	1	1	1	Frostschutzgerät	-	-
Kontrolle	1	5	5	-	-	-
Maschine abbauen	1	6	6	-	-	
Maschine zum Betrieb transportieren	2	30	60	Traktor Frostschutzgerät Radlader	-	-
Summe			**152 (2,53 AKh)**			

Für das Frostheizgerät ist für Wartungsarbeiten im Jahr rund 1 Arbeitskraftstunde einzuplanen. Für eine Frostnacht (8 h) entstehen für Betriebsstoffe Kosten von 156 €/ha (Tab. 13).

Tab. 13: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoff	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/ Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Propangas, Gasflasche 33 kg	St	65,00	2,4 Flaschen (80 kg)	156

3.5 Frostöfen

Der Schutzeffekt von Frostöfen entsteht durch die Erhöhung der Umgebungstemperatur. Dabei ist die Wirkungsweise vor allem für Strahlungsfröste geeignet, eingeschränkt aber auch für Windfröste. Der Wind kann den Schutz mindern, bei schwachen Winden kann die Schutzwirkung aufrechterhalten werden, indem an der windzugewandten Seite mehr Öfen aufgestellt werden.

Frostöfen sind anders als Forstkerzen wiederverwendbar, wodurch im Gegensatz zu den Frostkerzen keine weitere Entsorgung notwendig ist. Die Brennstoffe sind allerdings feuchtigkeitsempfindlich, weshalb sie nur unmittelbar vor dem Frost aufgestellt werden können.

Risiken beim Einsatz von Frostöfen:

- Brennmaterial muss kurzfristig verfügbar sein.
- Technisches Funktionsversagen kann im Bestand zu Schäden führen.
- Frostöfen führen durch das Aufstellen und Einsammeln selbst dann zu Kosten, wenn sie nicht eingesetzt werden müssen.
- Je nach verwendetem Brennstoff können die Umwelt belastende oder Anwohner belästigende Verbrennungsprodukte entstehen.

3.5.1 AntiFrostVOEN

Der AntiFrostVOEN ist aus einem Stück gefertigt und besteht aus dem Korpus, einem Vorratsbehälter mit Deckel und einem Lüftungsschlitz für einen guten Luftdurchzug (Abb. 12). Er kann ohne weiteres Zusammenbauen aufgestellt werden.

Abb. 12: AntiFrostVOEN im Einsatz (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Der Ofen wird mit handelsüblichen Holzpellets befüllt. Zusätzlich müssen für ein sicheres Entzünden Anzündwürfel vor Befüllung in das Lochblech gelegt werden.

Der Hersteller verspricht bei einer Füllung zwischen 25 und 30 kg eine Brenndauer bis zu sechs Stunden, die Öfen können aber nachgefüllt werden. Vorgabe sind bei diesem Typ 70 Öfen je ha im Freiland bzw. 40 Öfen je ha in Kombination mit einer Überdachung. Bei einem Nachbefüllen des Vorratsbehälter wird eine Atemschutzmaske empfohlen, da es zu einer erhöhten Kohlenmonooxidkonzentration kommen kann. Durch die Konstruktion des Ofens tritt jedoch wenig Rauchbildung auf.

Der Arbeitszeitbedarf für einen Hektar ist in Tabelle 14 beschrieben. Die Kosten für die Holzpellets (lose) belaufen sich auf 1.680 €/ha (2.100 g × 0,80 €).

Tab. 14: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Maschinen	Betriebsstoff	Menge
Frostöfen aufladen am Hof	2	7,5	15	Gabelstapler 70 Frostöfen	-	
Heizmaterial beladen am Hof	2	7,5	15	Gabelstapler	Holzpellets	2.100 kg
Frostöfen und Heizmaterial zum Feld transportieren	1	10	10	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	
Frostöfen aufstellen in der Anlage (ohne Transport zum Feld)	2	3,5 je Ofen	245	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal) 70 Frostöfen	-	70 St/ha
Frostöfen bestücken	2	1,5 je Ofen	105	-	Holzpellets	30 kg je Ofen für 8 h
Frostöfen anzünden	2	0,5 je Ofen	35	Gasbrenner	-	-
Frostöfen Betrieb					-	-
Kontrolle	1	20	20		-	-
Frostöfen einsammeln	2	2 je Ofen	140	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	-
Transport zum Betrieb	1	10	10	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	-
Frostöfen einlagern (auf Paletten in Halle)	2	15	30	Gabelstapler 70 Frostöfen Paletten	-	-
Summe			**625 (10,42 AKh)**			

3.5.2 WIESEL

Der WIESEL Frostofen (Abb. 13), bestehend aus Edelstahl, verspricht nach Herstellerangaben eine Brenndauer bei voller Bestückung (20 kg) von bis zu sechs Stunden. Befeuert werden kann er mit Hartholz oder Torfbriketts. Um die gewünschten Erfolge zu erzielen, sollen 300 Frostöfen je Hektar aufgestellt werden.

Abb. 13: Der Frostofen WIESEL besteht aus Edelstahlzylindern (© Fruit Security GmbH)

Der Ofen hat eine Höhe von etwa einem Meter und hat den Durchmesser entsprechend für eine Schichtung mit Briketts (je Schicht 3 Briketts). Im oberen und unteren Drittel sind jeweils Löcher, die für einen Luftdurchzug sorgen. Dieser kann mittels eines Edelstahlstreifens verändert werden. Mit im Lieferumfang ent-

halten ist ein Deckel mit passender Fixierungsspange. Der WIESEL-Ofen wird in Einzelteilen geliefert. Der Zusammenbau gestaltet sich relativ einfach und selbsterklärend, nimmt jedoch viel Zeit in Anspruch.

Die Öfen müssen gerade und reihenmittig stehen, um ein Umfallen bzw. Verbrennungsschäden an den Bäumen zu vermeiden. Bei Hanglagen bietet der Hersteller Stäbe an, auf denen der Ofen aufgesteckt werden kann.

Die genormten Briketts werden in 10-kg-Einheiten plastikverpackt geliefert. Das Plastik darf nicht mit in den Ofen gestellt werden, somit muss jedes Brikett einzeln geschichtet werden. Unter die Briketts soll nach Herstellerempfehlung Anzündholz und Zündwolle eingebracht werden, um ein schnelles Brennen zu ermöglichen. Beim Anzündholz ist darauf zu achten, dass es nicht zu lang geschnitten wird, um es ohne Probleme auf den Boden des Ofens aufzubringen. Für jeden Anzündvorgang werden zudem etwa drei Anzündwollen benötigt. Bei einer Bestückung laut Hersteller mit 20 kg (8 Schichten) Briketts muss die Schließspange weggelassen werden, da sich die Briketts beim Brennvorgang ausdehnen. Der Deckel ist jedoch nach ausreichendem Brennen zu schließen, damit mehr Warmluft seitlich ausströmt. Bei einer Schichtung von nur 6 Reihen ist ein Schließen mit der Spange von Anfang an möglich.

Es werden so viele Öfen wie Frostkerzen benötigt – in diesem Beitrag wurde mit 300 Öfen je Hektar gerechnet. Für deren einmaligen Aufbau sind 2 Arbeitskräfte 450 Minuten – also 900 Minuten gesamt bzw. 3 Minuten je Ofen – beschäftigt. Der Einsatz in einer Frostnacht ist dabei mit einem Arbeitszeitbedarf von knapp 39 AKh zu rechnen (Tab. 15). Die Holzbriketts für eine Frostnacht kosten 5.850 € (Tab. 16).

Tab. 15: Arbeitszeitbedarf für 300 Frostöfen je Frostnacht (8 h) und Hektar

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Maschinen	Betriebsstoffe	Menge
Frostöfen aufladen am Hof	2	20	40	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal) Gabelstapler	-	-
Heizmaterial beladen am Hof	2	10	20	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal) Gabelstapler	Heizbriketts, 30 kg/Ofen	9.000 kg
Frostöfen und Heizmaterial zum Feld tranportieren[1)]	2	10	20	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	-
Frostöfen aufstellen in der Anlage bei Reihendurchfahrt	3	50 (0,5 AKmin/Ofen)	150	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	-
Frostöfen bestücken	3	200 (2 AKmin/Ofen)	600	-	-	-
Frostöfen anzünden	3	50 (0,5 AKmin/Ofen)	150	Gasbrenner	Anzündholz, 1 kg/Ofen Kerosinanzünder, Würfel, 4 St/Ofen	70 280
Kontrolle	1	60	60	Gasbrenner	-	-
Heizmaterial nachbestücken	3	50 (0,5 AKmin/Ofen)	150	-	-	-
Frostöfen einsammeln	3	50 (0,5 AKmin/Ofen)	150	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)	-	-
Frostöfen zum Betrieb transportieren	2	10	20	Schmalspurtraktor Tieflader (schmal)		
Frostöfen einlagern	2	30	60	Gabelstapler Paletten		
Summe			**1.420 (23,7 AKh)**			

[1)] Es sind aufgrund der Ofenmenge und -größe Mehrfachfahrten erforderlich.

Tab. 16: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h) und Hektar

Betriebsstoff	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Holzbriketts	kg	0,65	9.000	5.850
Anzündholz, Weichholz, gesackt	kg	1,00	70	70,00
Anzündwürfel, kerosinbasiert	St	0,03	280	8,40

3.6 Windmaschinen

In einer Strahlungsfrostnacht ist die Luft bei Windstille oder Windgeschwindigkeiten von unter 1,5 m je Sekunde (Steinbauer 2018) in 15 bis 20 m Höhe wärmer als die Luft in Kulturhöhe, da warme Luft nach oben entweicht. Diese Inversionswetterlage oder Inversionsschicht wird beim Einsatz von Windmaschinen genutzt, indem die warme und die kalte Luftschicht miteinander vermischt werden. Die meisten Windmaschinen drücken die warme Luft in die kalte Luftschicht. Je mehr Volumen sie mischen können, ein desto größerer Temperaturanstieg kann erzielt werden.

Die Windmaschinen werden in stationäre und mobile Systeme unterschieden, beide können mit einem Heizgerät kombiniert werden, was den positiven Effekt unterstützen soll. Beide Systeme sind sehr laut. Der Einsatz in unmittelbarer Nähe zu Wohnhäusern wird aufgrund der Lärmemissionen deshalb nicht empfohlen.

Risiken beim Einsatz von Windmaschinen:

- Technisches Funktionsversagen oder zu hohe Windgeschwindigkeiten können im Bestand zu Totalschäden führen.
- Schaden kann bei falscher Wetterlage vergrößert werden.
- Verfahren kann aufgrund des Lärms auf Akzeptanzmangel in der Bevölkerung stoßen.
- Mobile Windmaschinen führen durch das Aufstellen selbst dann zu Kosten, wenn sie nicht eingesetzt werden müssen.
- Mit steigender Hangneigung ist die Wirkung eingeschränkt, Hanglagen mit einer Steigung über 25 % sind ungeeignet (Steinbauer 2018).
- Bäume und Reben können die Flächenleistung mindern, wenn sie den erzeugten Luftstrom bremsen.
- Bei stationären Geräten ist eine Baugenehmigung erforderlich.

3.6.1 Stationäre Windmaschinen

Stationäre Windmaschinen sind meist etwa 10 m hoch, um mit den oft nochmals 6 m langen Flügeln die Luftschichten ausreichend mischen zu können. Strahlungsfröste bis -3 °C sind kein Problem (Steinbauer 2018). Im Schnitt kann mit einer Flächenleistung von 6 Hektar und einem Schutzradius von 150 m gerechnet werden. Die Randbereiche des Schlages lassen sich nicht immer schützen, für geneigte Flächen gibt es spezielle Windmaschinen.

Es kommen vor allem horizontal arbeitende Windmaschinen zum Einsatz. Sie bestehen aus mehreren Bauteilen. Der Flügel ist auf maximale Luftverdrängung ausgelegt. Das Getriebe sorgt für die entsprechende Übersetzung eines verbauten Motors, der mit Flüssiggas oder Diesel angetrieben wird. Der Turm insgesamt wird auf einem Betonsockel befestigt. Die Lautstärke einer Windmaschine ist mit der eines Hubschraubers zu vergleichen. Der Gastank sollte für den mehrtägigen Betrieb ausgelegt sein (Abb. 14).

Abb. 14: Für eine stationäre Windmaschine ist ausreichend Platz einzuplanen, der zu Lasten der Kulturfläche geht (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Für den Aufbau eines stationären Windrades in Eigenleistung – also Erdarbeiten, Fundament betonieren, Tank aufstellen und Inbetriebnahme – fallen rund 68 Arbeitskraftstunden an. Dazu kommen Investitionskosten für das Windrad, Baumaterialien und einen Tank für Flüssiggas oder Diesel sowie die Baggermiete. Der Investitionsbedarf liegt damit zwischen 11.000 und 13.000 € (ohne MwSt.) plus etwa 53.000 € für das Windrad zuzüglich der Lohnkosten.

Für die Wartung werden jährlich 2 Personen mit jeweils 5 Stunden benötigt. Die Betriebsstoffkosten für Öl, Filter und Schmiermittel liegen bei 120 €/Jahr. Der Arbeitszeitbedarf in einer Frostnacht ist mit 2 Arbeitskraftstunden hingegen gering (Tab. 17). Der Bedarf für Diesel und Flüssiggas beträgt 160 bzw. 600 Liter (Tab. 18).

Tab. 17: Arbeitszeitbedarf je Frostnacht (8 h)

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin/Frostnacht
Einschalten	1	30	30
Kontrolle	1	60	60
Ausschalten	1	30	30
Summe			**120 (2 AKh)**

Tab. 18: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h)

Betriebsstoff	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/h	Bedarf Einheiten/ Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Flüssiggas, im Tank	l	0,80	75	600	480
Alternativ Diesel	l	1,90	20	160	304

3.6.2 Mobile Windmaschinen

Mobile Windmaschinen arbeiten nach der gleichen Wirkungsweise wie fest verbaute Geräte. Je nach Modell werden die mobilen Windmaschinen entweder durch die Traktorzapfwelle oder durch einen separaten Motor angetrieben (Abb. 15). Die Bauhöhe und die Leistung sind geringer als bei stationären Maschinen. Mobile

Windräder haben eine Höhe von 6 bis 10,5 m, stationäre hingegen (s. o.) von 10 bis 10,5 m. Eine mobile Windmaschine kann maximal 4 Hektar frostfrei halten.

Für den Aufbau einer mobilen Windmaschine werden knapp 3 Arbeitskraftstunden benötigt, hinzu kommen für jede Frostnacht noch 2 Arbeitskraftstunden (Tab. 19 und 20).

Abb. 15: Mobile Windmaschinen benötigen aufgrund der enormen Kräfte, die auf das Gerät wirken, eine stabile Aufständerung (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Tab. 19: Arbeitszeitbedarf für den Auf- und Abbau einer mobilen Windmaschine

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Maschinen
Maschine zur Anlage fahren	1	15	15	Traktor Windmaschine
Ausrichten und Probelauf	1	120	120	-
Maschine abbauen und zum Betrieb fahren	1	30	30	-
Summe			**165 (2,75 AKh)**	

Tab. 20: Arbeitszeitbedarf für den Betrieb einer mobilen Windmaschine in einer Frostnacht (8 h)

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin/Frostnacht
Maschine einschalten	1	30	30
Kontrolle	1	60	60
Maschine ausschalten	1	30	30
Summe			**120 (2 AKh)**

Die Kosten für Diesel und die Wartung sind in den Tabellen 21 und 22 zusammengefasst.

Tab. 21: Betriebsstoffbedarf je Frostnacht (8 h)

Betriebsstoff	Einheit	Preis €/Einheit	Bedarf Einheiten/h	Bedarf Einheiten/Frostnacht	Kosten €/Frostnacht
Diesel	l	1,90	6	48	91,20

Tab. 22: Jährliche Wartungsarbeit und Kosten

Arbeitsgang	AK	Zeit min/AK	Zeit AKmin	Betriebsstoffe	Kosten €/a
Windrad warten (abschmieren, Ölwechsel, Testlauf)	1	300	300	Öl, Filter, Schmiermittel	120
Summe			**300 (5 AKh)**		**120**

3.7 Helikopter

Der Helikoptereinsatz basiert auf einem ähnlichen Wirkungsprinzip wie die Windmaschine. Durch Überfliegen der Obstplantagen und Rebanlagen wird versucht, Warmluft mit Kaltluft zu vermischen bzw. die Warmluft wieder Richtung Boden zu drücken. Für den Einsatz des Helikopters ist jedoch ein sehr großer Flächenverbund notwendig, um die Flächenleistung von 20 bis 50 Hektar effizient ausnutzen zu können.

Bei Versuchen der LWG wurden Rebflächen alle 10 bis 15 Minuten in einer Höhe von 15 bis 25 Metern überflogen. Dabei wurden Temperaturerhöhungen von 1,5 bis 2 °C an der Bodenoberfläche gemessen (Müller 2018). Die Vedana GmbH empfiehlt Überfliegungen im Fünfminutentakt, was einer Befliegung von 5 ha je Stunde entspricht.

In Deutschland besteht ein generelles Nachtflugverbot, was einen Hubschraubereinsatz erst zur morgendlichen Dämmerung erlaubt. Ein Schaden durch Spätfröste kann dann schon gesetzt sein. Zudem muss zur Frostschutzbekämpfung tief geflogen werden, sodass ein Einsatz sehr gefährlich sein kann. Der Hubschraubereinsatz zur Spätfrostbekämpfung kommt in Deutschland daher nur sehr selten vor.

Die Kosten berechnen sich nach Flugminuten, für eine Einsatzfläche von 14 bis 18 Hektar wurden Kosten von 250 bis 400 €/ha genannt (Daten erhoben von LWG 2018, https://lwg.bayern.de).

Risiken bei einem Hubschraubereinsatz:

- Durch das Nachtflugverbot besteht kein Schutz gegen Frost in der Nacht.
- Tiefflüge sind riskant und bergen die Gefahr eines Absturzes.
- Technisches Funktionsversagen kann im Bestand zu Totalschäden führen.
- Hubschrauber kann nur bei Inversionslage eingesetzt werden.

3.8 Überdachung

Einen Schutz vor Spätfrösten können auch Kulturschutzeinrichtungen bieten. Dabei sind aber die Überdachungsvarianten sowie die zusätzlichen Maßnahmen entscheidend. Kaum zusätzlichen Schutz vor Spätfrösten bieten geschlossene Hagelnetze.

Bei geschlossenen Folienüberdachungen, z. B. bei Kirschen, kann von einer ungefähren Temperaturerhöhung von etwa 0,5 °C bei Strahlungsfrösten ausgegangen werden. Bei kalten Windfrösten bietet eine einfache Folienüberdachung daher keinen Schutz. Frostschutz ist allerdings eher ein Nebeneffekt: Überdachungen sollen vor Niederschlag schützen, damit Kirschen kurz vor der Ernte nicht aufplatzen und Kernobst vor Sonnenbrand und Hagel schützen.

Effektiv haben sich zusätzliche Spätfrostmaßnahmen unter den geschlossenen Foliendächern, z. B. Unterkronenfrostschutzberegnung, Frostöfen, Frostheizgeräten, gezeigt. Durch die Überdachung mit Folien wird die erzeugte zusätzliche Wärme spürbar länger in der Anlage gehalten als im Freiland. Dadurch kann auch bei sehr kalten Nächten ein ausreichender Frostschutz gegeben sein. Eine noch bessere Wirkung haben Frostschutzmaßnahmen unter komplett mit Folie geschlossenen Anlagen, wie beispielsweise Folientunneln.

Für das jährliche Öffnen und Schließen von Überdachungen im Anbau von Kirschen werden etwa 110 AKh benötigt. Eine hohe, breite Arbeitsbühne ist für diese Tätigkeit unverzichtbar. Bei ungünstigen Bedingungen und mangelnder Bühnentechnik kann der Zeitaufwand wesentlich höher liegen (Kockerols 2022). Die Gerüste werden über 20 Jahre, die Folien inklusive Plaketten und Bungee über 10 Jahre abgeschrieben. Die jährlichen Kosten für das Gerüst und die Folien liegen bei etwa 7.000 €/ha. Für das Öffnen und Schließen wird mit 1.600 bis 1.900 €/ha (inklusive Maschinenkosten) gerechnet und für Reparaturen 0,5 % vom Investitionswert veranschlagt. Nach 20 Jahren Standzeit muss das Betongerüst und auch die Folie demontiert und entsorgt werden. Die Kosten für die Entsorgung sowie für die Arbeitsstunden der Demontage werden auf etwa 5.000 € geschätzt (Kockerols 2022).

Risiken beim Einsatz von Überdachungen:

- Durch das Mikroklima können phytosanitäre Probleme auftreten.
- Es muss sichergestellt sein, dass keine kalte Luft unter die Überdachung gelangt.
- Die Befruchtung der Blüten kann leiden, wenn die Orientierung der Bienen eingeschränkt wird (Tumler o. J.)

4 Schlussbetrachtung

Präventive Maßnahmen wie die richtige Standort- und Kulturauswahl bilden die Grundlage zur Vermeidung von Spätfrösten. Aber auch das Kulturmanagement spielt eine wichtige Rolle. So können Obstbäume und Rebstöcke in einem guten Ernährungszustand mit gut versorgten Knospen und Blüten einen leichten Frost überstehen. Ein kurzer Bewuchs in der Fahrgasse sowie ein offen gehaltener Boden in der Pflanzreihe im Frühjahr tragen dazu bei, dass die Bodenwärme in Frostnächten besser abgestrahlt wird und somit schützend wirkt.

In der Praxis sind darüber hinaus Maßnahmen erforderlich, mit denen in akuter Gefahrenlage aktiv reagiert werden kann. Die Frostschutzberegnung ist die wirksamste Maßnahme, um Schäden durch Spätfrost im Obst und Weinbau vorzubeugen – zudem bei Strahlungsfrösten als auch bei Windfrösten bis 3 m/s wirksam (Steinbauer 2018). Sofern Wasser nicht in ausreichender Menge vorhanden ist, sind stationäre Windmaschinen und Frostschutzkerzen eine Alternative. Aufgrund der hohen Kosten sind Frostschutzkerzen bei häufiger Frostgefahr keine wirtschaftliche Lösung. Frostheizgeräte setzen im Vergleich zu Forstkerzen und Frostberegnung nur geringe Energiemengen frei, können aber in Kombination mit Folienüberdachung eine Alternative sein. Mobile Geräte haben technisch und verfahrensbedingt in der Regel eine vergleichsweise kleine Flächenleistung.

Für die meisten Kulturen kann im Hinblick auf ihre Wirkung im Freiland nachfolgende Reihung (absteigend) der Maßnahmen konstatiert werden (Empfehlung der Autoren):

1. Frostschutzberegnung über Krone, Kreisregner
2. Windmaschinen, stationär
3. Frostschutzberegnung über Krone, Reihenregner
4. Frostkerzen
5. Frostöfen
6. Frostschutzberegnung unter Krone
7. Windrad, mobil
8. Gasheizgerät, mobil
9. Gasheizgerät, stationär
10. Nebelmaschine, mobil

Welche Technik letztendlich als Schutzmaßnahme zum Einsatz kommt, hängt auch von der Verfügbarkeit von Wasser ab und wie hoch der Anteil zusammenhängender Flächen ist (Abb. 16).

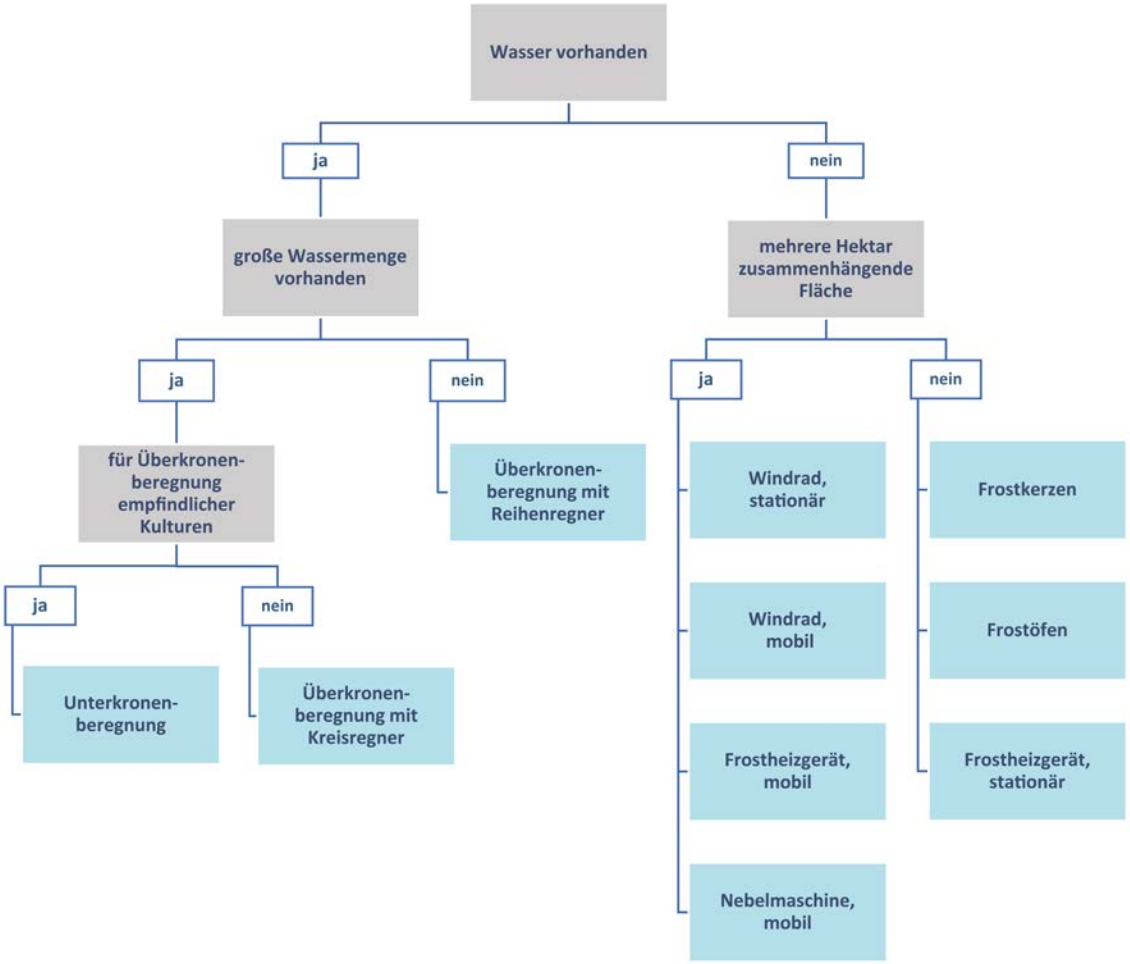

Abb. 16: Entscheidungshilfe für den Einsatz verschiedener Frostschutzmaßnahmen (© Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau – LWG)

Für die in Kapitel 3 vorgestellten Frostschutzmaßnahmen fasst Tabelle 23 die Flächenleistung zusammen.

Tab. 23: Flächenleistung von Frostschutzmaßnahmen (Herstellerangaben)

Technische Maßnahme	Flächenleistung ha/Frostnacht
Nebelmaschine, mobil (FogDragon)	5
Frostkerzen (300 Stück)	1
Frostschutzberegnung	1)
Frostheizgerät, mobil (Frostbuster)	8–10
Frostheizgerät, stationär (FrostGuard)	0,75 (0,7–1,0)
Frostofen (AntiFrostVOEN; 70 Stück)	1 2)
Frostofen (WIESEL; 300 Stück)	1 3)
Windmaschine, stationär	6
Windmaschine, mobil	4
Helikopter	20–50
Überdachung	1)

1) Die Anlage kann flexibel auf die Schlaggröße geplant werden.

2) In Kombination mit Überdachung 40 Öfen je Hektar.

3) In Kombination mit Überdachung 50 bis 160 Öfen; aus Autorensicht aufgrund der Rußentwicklung und Verschmutzung der Folien nicht zu empfehlen.

Die im Projekt erhobenen Investitionskosten und Maßnahmenvergleiche finden Sie hier: www.lwg.bayern.de/gartenbau/obstbau/319518/index.php.

Literatur

Dreisiebner-Lanz, S.; Aberer, A. (2018): Bekämpfungsmaßnahmen. In: Masterplan Klimarisiko. Fachtagung am 16.02.2018, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, S. 46–47 und 52–61

FAO (2005): Frost protection: fundamentals, practice, and economics. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y7223e, Zugriff am 25.05.2025

Kockerols, M.; Kramer, K.; Wiebusch, J.-H. (2022): Investitionsbedarf und Kosten von Kulturschutzeinrichtungen für den Obstbau. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Gartenbau/Kultureinrichtungen/48_Investitionsbedarf_und_Kosten_von_Kulturschutzeinrichtungen_2022.pdf, Zugriff am 27.05.2025

Maußner, J.; Zimmermann, A. (2022): Investitionen und Verfahrenskosten für Frostschutzmaßnahmen. Endbericht zum Projekt KU 6b_22, Veitshöchheim, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, unveröffentlicht

Müller, M. (2018): Untersuchungen zur Schadensminderung bei Spätfrösten in fränkischen Weinbergen". https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/lwg_projekt-a1222_spaetfrostvermeidung_im_weinbau_2018.pdf, Zugriff am 26.05.2025

Steinbauer, L. (2018): Bekämpfungsmaßnahmen. In: Masterplan Klimarisiko. Fachtagung am 16.02.2018, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, S. 47–50

Tumler, E. (o. J.): Frostschutz im Steinobst – was geht? https://www.weinbau.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e8dea7fb20872573c125773e003fe786/2991e5d4f306bc5ac12583da003415ad/$FILE/Frostschutz%20im%20Steinobst.pdf, Zugriff am 26.05.2025

Urbanietz, A. (2022): Gut gerüstet für das anstehende Frühjahr. Obstbau 3, S. 179–183

Mitwirkende

Jonas Maußner, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim

Alexander Zimmermann, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim

Werner Achilles, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt

Christian Reinhold, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt

Dr. Ute Schultheiß, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt

Impressum

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon: +49 6151 7001-0
E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Eingetragen im Vereinsregister beim Amtsgericht Darmstadt,
Aktenzeichen 8 VR 1351
Vereinspräsidentin: Prof. Dr. Nicole Kemper
Hauptgeschäftsführer: Daniel Eberz-Eder
Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Daniel Eberz-Eder

© KTBL 2025