



## Rebbau-Frostschutzversuche

**Angesichts der Frühjahrsfröste 2016 und 2017 sowie aktueller Klimamodelle stellt sich die Frage, wie vermehrter Spätfrostgefahr begegnet werden kann. Die Befeurung gefährdeter Rebanlagen bzw. die Erwärmung mit Warmluftgeräten ist eine naheliegende Lösung. Der Bericht stellt eine Studie aus der Bündner Herrschaft vor, in der neben der Wirksamkeit solcher Heizmethoden auch die Feinstaubbelastung und die Vollkosten berücksichtigt wurden.**

HANS JÜSTRICH, REBBAUKOMMISSÄR KANTON GRAUBÜNDEN,  
PLANTAHOF, LANDQUART; GEORG THOMANN UND HANSPETER  
LÖTSCHER, AMT FÜR NATUR UND UMWELT, CHUR  
[hans.juestrich@plantahof.gr.ch](mailto:hans.juestrich@plantahof.gr.ch)

2016 und 2017 gab es in der Schweiz Spätfroste mit beträchtlichem Schadenpotenzial. Als Gegenmassnahmen entzündeten Winzer Frostkerzen, Rebenholz, Kaminbriketts, Holzpellets oder -scheite, die Wärme (aber auch Rauch) produzierten. Um verlässliche Daten zu Heizwirkung und Feinstaubbelastung zu erhalten, führten das Amt für Natur und Umwelt (ANU) und die Fachstelle Weinbau des Kantons Graubünden vom 21. bis 25. März 2018 auf 25 Aren einer zum Weingut Thomas Marugg gehörenden Parzelle im «Fläscher Feld» (Abb. 1) Heizversuche durch.

Geplant war, 300 oder 600 Frostkerzen bzw. Briketts pro Hektare anzuzünden sowie das Warmluftgebläse «FrostGuard» zu testen (Tab. 1).

Der Brikettversuch konnte schliesslich nicht durchgeführt werden, weil die Temperatur nach dem 25. März 2018 nicht mehr unter den Gefrierpunkt sank.



**Abb. 1: Lageplan der Versuchsfläche (50 × 50 m) der Parzelle 711 im Fläscher Feld.**



Abb. 2: Datenlogger für die Temperaturmessung.



Abb. 3: Feinstaubmessgerät Partector.

### Wie und was wurde gemessen?

ANU-Mitarbeitende installierten in den Rebzeilen der Versuchsfläche auf Höhe des Bindedrahts alle 4 m und quer dazu alle 6 m insgesamt 30 Temperatursensoren. In der Mitte des Rebbergs wurde die Temperatur in 1, 2 und 3 m über Boden gemessen (Abb. 2). Ca. 100 m südlich stand ein Windmessgerät, bei dem zusätzlich Temperatur-Vergleichswerte in Bodennähe, auf 1 und auf 2 m Höhe gemessen wurden.

Das Feinstaubmessgerät Partector (naneos, Windisch, Abb. 3) stand im Zentrum der Versuchsfläche auf einer Höhe von 1.5 m. Weiter wurde mittels Punktmessungen in einem Bereich von 5 bis 60 m entlang der Bewirtschaftungsstrasse die Feinstaubausbreitung erfasst.

### Brenndauer von Kerzen

Vorgängig wurde die Brenndauer von vier Frostkerzertypen gemessen. Wie Tabelle 2 zeigt, stimmten die Herstellerangaben zur Brenndauer mit den ermittelten Werten überein. Die Kerzen der Marke «Esteleo» überzeugten nicht, weil sie immer wieder erloschen und sich der Deckel nicht gut öffnen liess.

### Stundenaufwand und Kosten

Das Befeuern von Rebbergen mit Frostkerzen ist aufwendig. Gemäss Tabelle 3 verursacht das Aufstellen, Anzünden und Überwachen sowie das Entsorgen von 600 Kerzen/ha total 17.5 Stunden Arbeit (AKh), bei 300 Kerzen/ha 11.5 AKh. Hinzu kommen weitere 2.5 Std. für das Bereitstellen der Kerzen und der zum Anzünden nötigen Gasbrenner sowie das Versorgen der Paletten.

Tab. 1: Versuchsbedingungen 2018.

Datum	Befuerung	Wetterbedingungen
22.3.2018	600 Frostkerzen/ha	-3 bis -4 °C, optimale Versuchsbedingungen, wolkenlos, schwacher Wind aus Südosten, durchschnittliche Geschwindigkeit 2.8 m/s
24.3.2008	300 Frostkerzen/ha	Temperatur knapp über 0°C, wolkenlos, Wind aus Südost, durchschnittliche Geschwindigkeit 6.3 m/s
25.3.2018	FrostGuard Revolution R30, www.agrofrosthof.eu	Temperatur knapp über 0 °C, wolkenlos, schwacher Wind aus Südosten, durchschnittliche Geschwindigkeit 4.7 m/s

Tab. 2: Brenndauer von Frostkerzen.

Produkt	balthasar	Esteleo	Plastoflex 71	stopGel
Vertrieb	ökohum gmbh, Herrenhof	Esteleo Import, Buchs SG	LANDI Mittelthurgau, Leimbach	LANDI Mittelthurgau, Leimbach
Herstellerland	Schweiz	Lettland	Ungarn	Frankreich
Anzünden des Dochts	gut	mittel	mittel	genügend
Brenndauer gemäss Hersteller (Stunden)	> 10	—	10–12	8
Effektive Brenndauer (Stunden)	11.5	—	11	8.5–9

Tab. 3: Stundenaufwand pro Hektare.

Variante	Datum	Arbeit	Anzahl Mitarbeitende	Stundenaufwand	Traktorstunden
600 Kerzen/ha	21.3.2018	Kerzen transportieren	1	2	2
		Kerzen verteilen	2	5.5	3
		Kerzen richten, Deckel fixieren	1	2	
	22.3.2018	Kerzen anzünden	3	3	
	23.3.2018	Kerzen abräumen	2	4	2
Kerzen entsorgen		1	1	1	
300 Kerzen/ha	23.3.2018	Kerzen transportieren	1	1.5	1.5
		Kerzen verteilen		2	4
		Kerzen richten, Deckel fixieren	1	1	
	24.3.2018	Kerzen anzünden	2	2	
	24.3.2018	Kerzen abräumen	2	2	1
		Kerzen entsorgen	1	1	1
FrostGuard	24.3.2018	Gerät transportieren und aufstellen	2	2	1
	25.3.2018	Gerät in Betrieb nehmen und überwachen	1	1	
	25.3.2018	Gerät abtransportieren	1	1	1

Tab. 4: Kosten pro Hektare.

Variante	Aufwand/Bemerkungen	Ansatz Fr.	Kosten Fr.
600 Kerzen/ha	20 Arbeitsstunden	50.–	1'000.–
	8 Traktorstunden	44.–	352.–
	600 Frostkerzen inkl. MwSt.	12.50	7'500.–
	Kleinmaterial, z.B. Gasbrenner		60.–
	<b>Total</b>		<b>8'912.–</b>
300 Kerzen/ha	14 Arbeitsstunden	50.–	700.–
	5 Traktorstunden	44.–	220.–
	300 Frostkerzen inkl. MwSt.	12.50	3'750.–
	Kleinmaterial, z.B. Gasbrenner		60.–
	<b>Total</b>		<b>4'730.–</b>
FrostGuard	4 Arbeitsstunden	50.–	200.–
	1 Traktorstunde	44.–	44.–
	Propangas		400.–
	Amortisation FrostGuard (Fr. 8'500.– auf 15 Jahre)		565.–
	<b>Total</b>		<b>1'209.–</b>
Frost- und Hagelversicherung	Versicherungssumme Fr. 45'000.–/ha für Fläsch		<b>2'700.–</b>
Abschneiden der Frostreserven	10 Arbeitsstunden	50.–	<b>500.–</b>
Anbinden der Frostreserven	40 Arbeitsstunden	50.–	<b>2'000.–</b>

Tab. 5: Vom Hersteller stopGel empfohlene Anzahl Frostkerzen pro ha.

Temperatur (°C)	0 bis -2	-3	-4	-5 bis -6	-6 bis -7
Anzahl Frostkerzen pro ha	200	250–300	300–350	350–400	400–500

Tabelle 4 verdeutlicht, dass die Frostbekämpfung mit Kerzen mit Fr. 4700.– bei 300 Kerzen bzw. Fr. 8900.– bei 600 Stück/ha die höchsten Kosten verursacht. Jede weitere Frostnacht würde zu weiteren Kosten in dieser Grössenordnung führen. Beim FrostGuard sind es Fr. 1200.– pro Einsatz, sofern nur ein Gerät pro ha aufgestellt wird.

Die Frost- und Hagelversicherung kostet bei einer Versicherungssumme von Fr. 45'000.–/ha für Reben in Fläsch Fr. 2700.–. Am günstigsten ist es, Frostreserven stehen zu lassen, die beim Abschneiden mit Fr. 500.– und beim Anbinden mit Fr. 2000.– zu Buche schlagen.

Versicherung und Frostreserve haben den Vorteil, dass die Kosten unabhängig von der Anzahl Frostnächte sind.

### Unerwartet wenig Wärme

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen den Temperaturunterschied ( $\Delta T$ ) vor und nach dem Anzünden der Kerzen um 04:30 Uhr. Die Windverhältnisse beeinflussen erwartungsgemäss die Wärmeverteilung. Das schwarze Rechteck umreisst die Versuchsfläche. Die Grösse der Datenfelder widerspiegelt das Sensormess-

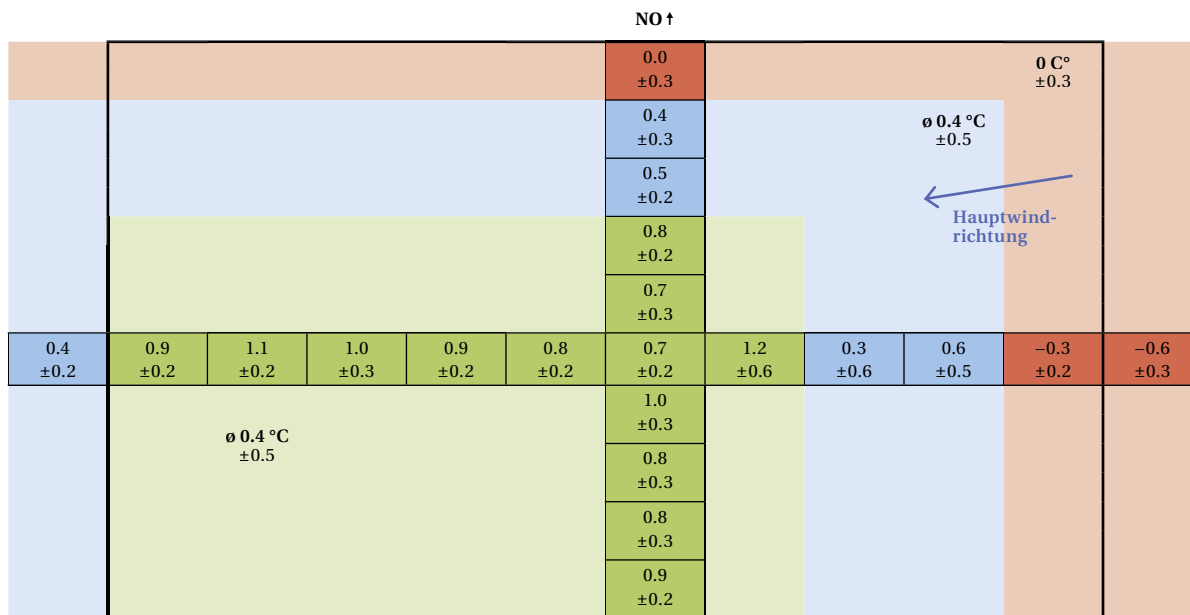


Abb. 4: ΔT in °C bei 600 Frostkerzen/ha.

■ ≤ 0 °C   ■ 0-0.7 °C   ■ ≤ 0.7 °C

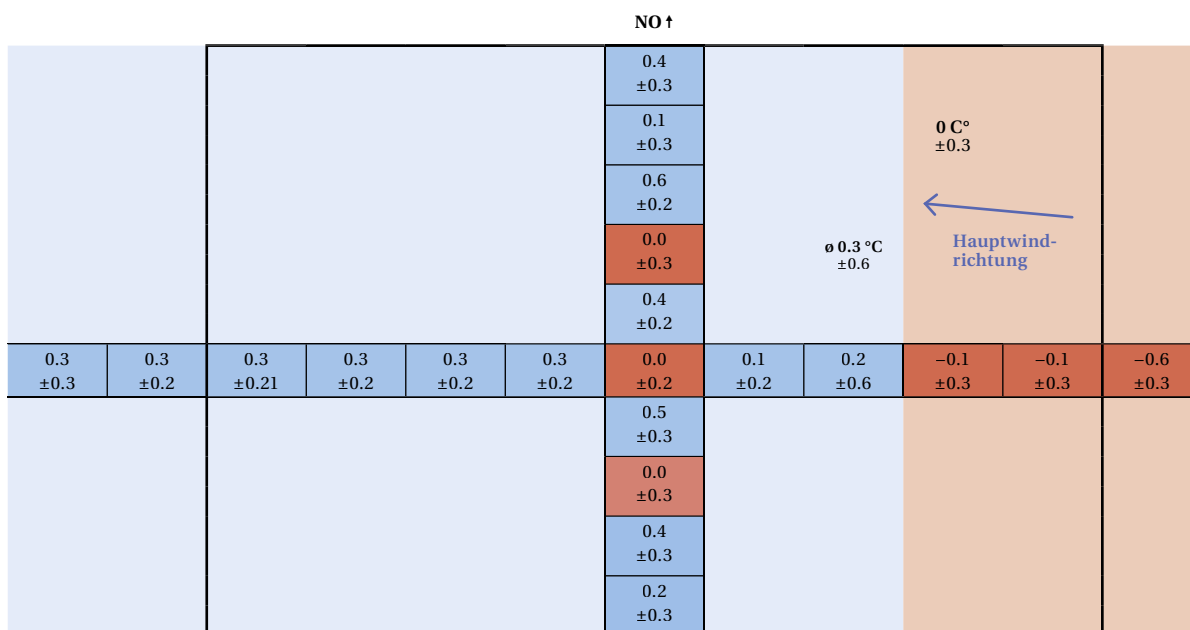


Abb. 5: ΔT in °C bei 300 Frostkerzen/ha.

■ ≤ 0 °C   ■ 0-0.7 °C   ■ ≤ 0.7 °C

feld (6×4 m). Die Temperaturwerte sind in drei Farbklassen eingeteilt (s. Legenden). Das ΔT wurde wie folgt berechnet: T2 (Durchschnittstemperatur nach Anzünden: Zeitraum 05:00 bis 06:20) minus T1 (Durchschnittstemperatur vor Anzünden: 03:00 bis 04:20). Angegeben ist zudem die Streuung der Einzeldaten um den Mittelwert (Standardabweichung)  $S = (S22 - S12) \frac{1}{2} [^{\circ}C]$ .

Die Referenztemperatur (ΔT) ausserhalb des Messareals nahm im 600er-Versuch um nur ca. 0.1 °C ab. Die Nachttemperatur blieb demnach recht konstant. Die (hochgerechnet) 600 Kerzen/ha erhöhten die

Temperatur im Versuchsfeld um rund 0.7 °C (Abb. 4). Die effektive Erwärmung betrug also im Mittel etwa 0.8 °C.

Das ΔT der Referenzmessung im Ansatz mit 300 Kerzen/ha lag bei 0.3 °C. Das heisst, dass die Vergleichstemperatur leicht sank. Die durchschnittliche Erwärmung im Versuchsfeld war ca. 0.2 °C (Abb. 5). Somit belief sich die Erwärmung durch die Kerzen im Mittel auf 0.5 °C.

Die Heizversuche zeigen, dass die Wirkung der Kerzen bei den herrschenden Bedingungen gering war und eine Erwärmung von maximal 1 °C resultierte. Sie wird ja auch von Wind und Topografie beeinflusst:

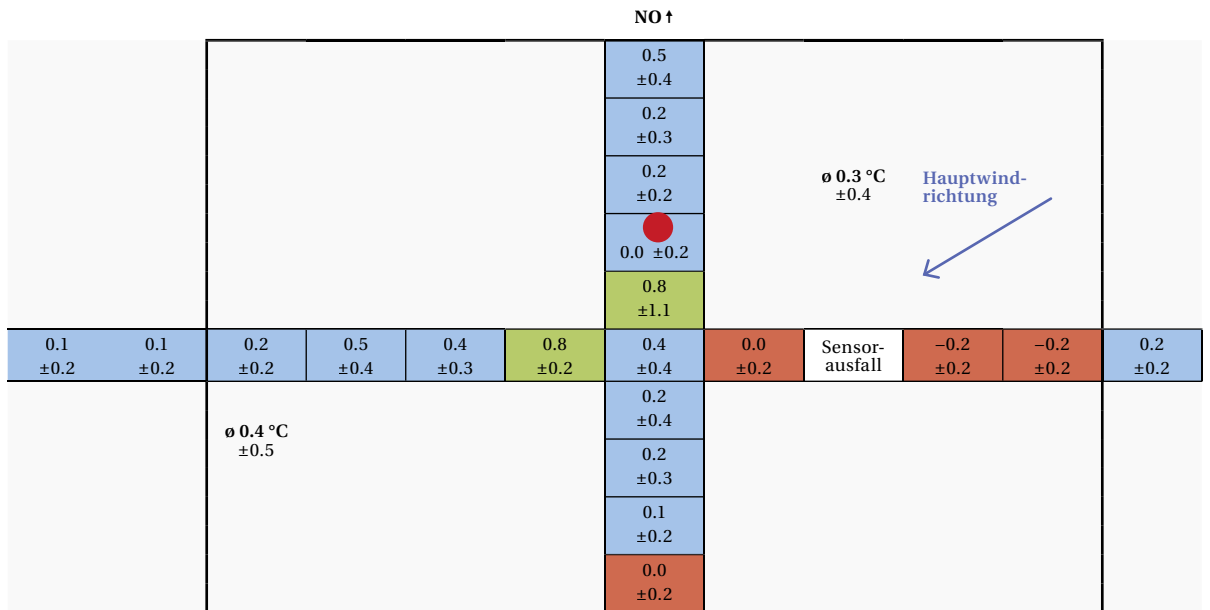


Abb. 6: Temperaturdifferenz in °C beim FrostGuard, \*Sensorausfall. Der rote Punkt markiert den Gerätestandort.



Abb. 7: FrostGuard Revolution R30.

Wind verteilt die Wärme rasch, die Wirkung bleibt gering. Die Topografie hat insofern Einfluss, als sich in Talböden und Mulden Kaltluftseen bilden können.

Auf der Webseite [www.stopgel.fr](http://www.stopgel.fr) finden sich Hinweise zur Anzahl Paraffinkerzen pro Hektare, die in Abhängigkeit von der Temperatur für einen effizienten Frostschutz nötig sein sollen (Tab. 5).

Gemäss Herstellerangaben reichen 400 bis 500 Kerzen/ha bei -6 bis -7 °C zur Verhinderung von Frostschäden. Es liegen uns zurzeit keine weiteren Untersuchungen oder Daten zu Befeuerversuchen vor. Ob die von den Kerzenherstellern angegebene Wärmewirkung erreicht werden kann, bleibt damit offen.

Es scheint wenig wahrscheinlich, dass der nicht zustande gekommene Versuch mit Kaminbriketts bezüglich Wärme- und Rauchentwicklung grundsätzlich andere Werte ergeben hätte.

Beim Einsatz des FrostGuard (Abb. 6 u. 7) resultierte eine eher bescheidene durchschnittliche Temperaturerhöhung von 0.3 °C auf einer Fläche von bestenfalls zehn Aren.

### Frostkerzen bilden Feinstaub

Durch das Beheizen mit Frostkerzen wird die Luft mit winzigen Staub- und Russteilchen belastet. Gemäss Luftreinhalte-Verordnung des Bundes (SR 814.318.142.1) beträgt der Immissionsgrenzwert für Schwebestaub (PM10: 24-h-Mittelwert) 50 µg/m<sup>3</sup>, der höchstens dreimal im Jahr überschritten werden darf.

Abbildungen 8 und 9 zeigen die Belastungen mit Feinstaub im Versuchsfeld und bei Punktmessungen im Abstand von 100 und 250 m nach Befeuern mit 600 bzw. 300 Frostkerzen/ha. Sie verdeutlichen die exponentielle leeseitige Abnahme der Feinstaubbelastung. Die Werte lagen im Abstand von 150 m bereits unter 50 µg/m<sup>3</sup>.

Bei 300 Frostkerzen/ha war die Feinstaubbelastung höher, was mit den aktuellen Windverhältnissen zusammenhing. Windgeförderte zusätzliche Verbrennung führte zu einer erhöhten Feinstaubbelastung. Die zusätzliche Wärme wurde jedoch durch den Wind rasch verweht.

### Lehren aus den Beheizungsversuchen

Brennende Frostkerzen in den Rebbergen ergeben wohl medienwirksame Bilder (Abb. 10), aber die Wärmeproduktion ist enttäuschend und die Kerzen führen zu einer erhöhten Feinstaub- und Russbelastung. Unter den örtlichen (topografischen) und meteorologischen Bedingungen der Versuche vom 21. bis 25. März 2018 war die Temperaturerhöhung während der Befeuerversuche und dem Einsatz eines Warmluftgebläses (FrostGuard) gering. Beim Einsatz von 600 Frostkerzen/ha ist von einer Erwärmung von 0.5 bis 1°C auszugehen, bei 300 Kerzen/ha und beim Warmluftgebläse von 0 bis 0.5 °C.

Angesichts der Kosten von Fr. 1200.– bis Fr. 9000.– pro ha scheint es sinnvoll, Alternativen wie das Stehenlassen von (echten) Frostreserven oder das

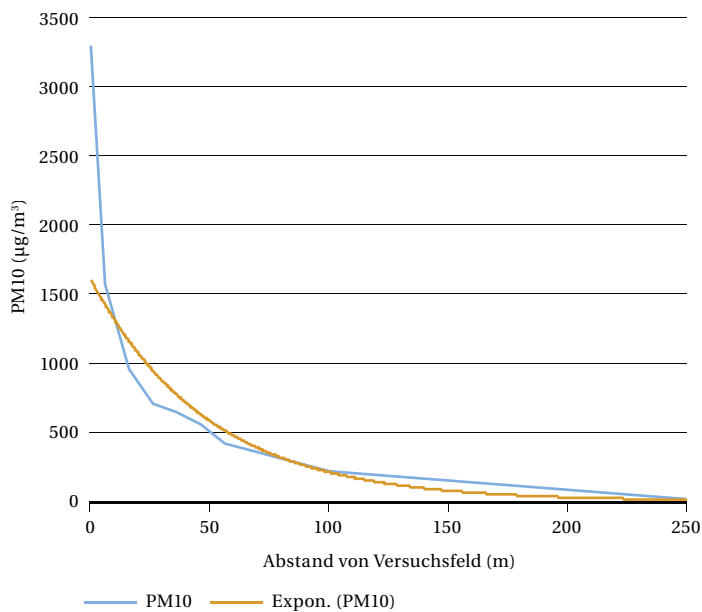


Abb. 8: Feinstaubbelastung bei 300 Frostkerzen/ha.

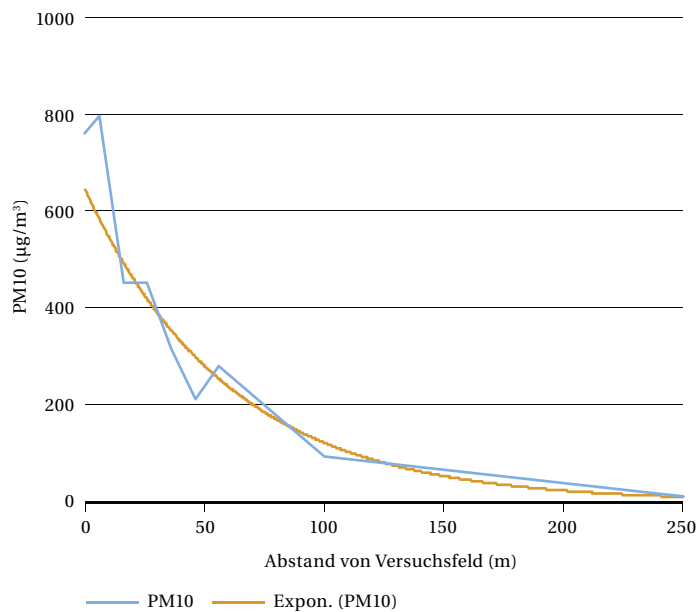


Abb. 9: Feinstaubbelastung bei 600 Frostkerzen/ha.



Abb. 10: Frostkerzen.

Abschliessen einer Hagel- und Frostversicherung zu prüfen. Aus lufthygienischer Sicht gilt es gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV), die Bevölkerung vor übermässiger Feinstaubbelastung zu schützen.

### Dank

Wir danken folgenden Personen für ihre tatkräftige Mithilfe bei den (nächtlichen!) Versuchen: Jonas Knecht (Winzerlehrling Plantahof), Mathias Küng, Leonhard Kunz, Thomas Marugg sen. und jun., Hans Peter Ruffner und Fluregna Schindler (Praktikantin ANU). ■

## Rebbau-Frostschutzversuche

Es liegt nahe, Spätfrostereignissen auch im Rebbau mittels Erwärmung mit Frostkerzen oder Warmluftgebläsen entgegenzuwirken. Da konkrete Angaben über die Wirkung solcher Ansätze fehlen, wurden im Frühjahr 2018 in der Bündner Herrschaft nicht nur die Wirksamkeit einer Beheizung, sondern auch deren Vollkosten und Feinstaubemissionen hinterfragt. Unter den lokalen Witterungsbedingungen vom 21. bis 25. März 2018 war die Temperaturerhöhung bei Befuerung oder dem Einsatz eines Warmluftgebläses (FrostGuard) gering. Mit 600 Frostkerzen/ha wurde eine Temperaturerhöhung

## R É S U M É

von nur 0.5 bis 1 °C erreicht, mit 300 Kerzen/ha oder dem Einsatz des Warmluftgebläses «FrostGuard» sogar nur 0 bis 0.5 °C. Dabei fallen Kosten zwischen Fr. 1200.– und Fr. 9000.– pro Hektare an. In Anbetracht des bescheidenen Wärmegewinns und der hohen Kosten scheinen das Stehenlassen von Frostreserven oder das Abschliessen einer Hagel- und Frostversicherung überlegenswerte Alternativen. Aus lufthygienischer Sicht darf zudem gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) die Bevölkerung keiner hohen Feinstaubbelastung ausgesetzt werden