

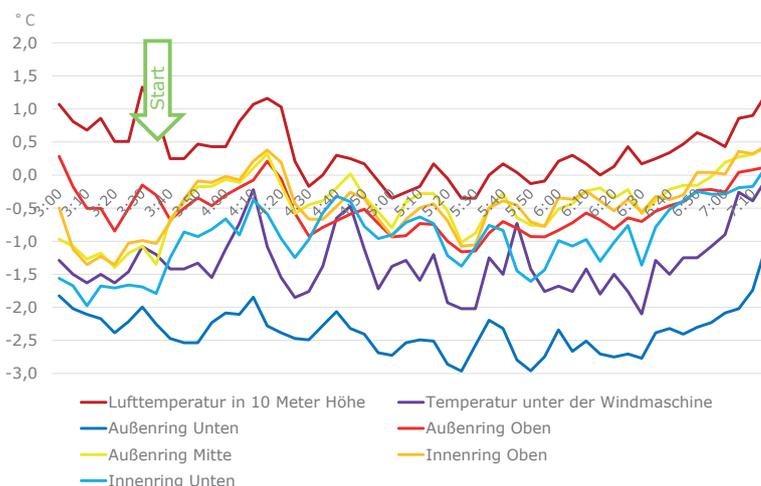
Dr. Leonhard Steinbauer

# Messreihen mit der Windmaschine während der heurigen Spätfrostserie

Auch im Jahr 2020 gab es wieder einmal massive Spätfrostereignisse. Das bedeutet, dass in den letzten fünf Jahren viermal Spätfrostschäden aufgetreten sind! Im heurigen Jahr war die phänologische Entwicklung der Obstgehölze nicht so weit wie in den Jahren 2016 und 2017, weshalb die kritischen Temperaturen tiefer angesiedelt waren. Die Spätfüröste sind in den Nächten vom 30. März bis 2. April und vom 14. auf den 15. April aufgetreten. Eine weitere Eigenschaft des Frostjahres 2020 war das vermehrte Auftreten von Windfrösten. Windfröste haben den Nachteil, dass sie nur schwer oder überhaupt nicht bekämpfbar sind.

Schon im Jahr 2019 haben wir die Windmaschine zweimal gegen Spätfüröste eingesetzt. Dabei konnten wir beobachten, dass die Wirkung der Windmaschine in zwei Bereichen nicht befriedigend war. Einerseits direkt unter der Rotationsachse des Propellers, andererseits im unteren Teil der Anlage, und zwar im am weitesten entfernten Bereich (Grafik 1). Unter der Windmaschine war die Minderwirkung spürbar, da in diesem Bereich mit etwa 10 Meter Radius der Luftstrom fehlte. Auch sichtbar geworden ist diese Zone in den frühen Morgenstunden, da dort Raureif entstanden ist.

Im untersten Teil der Anlage konnten wir uns die fehlende Wirkung nur so erklären, dass der Hang „wegkippt“ und deshalb die wärmere Luft von der Windmaschine über ihr Ziel darüber geblasen wird.



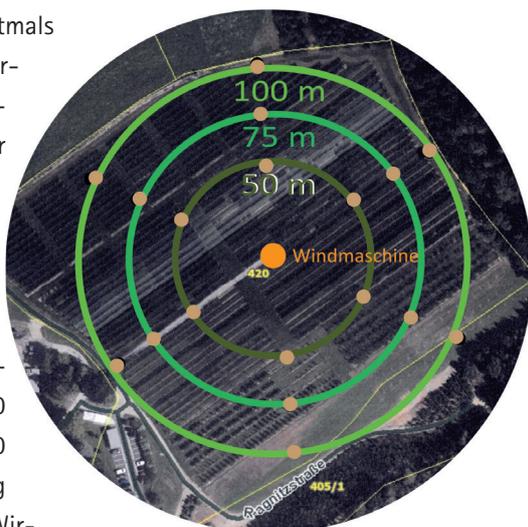
Einsatz der Windmaschine am 22.03.2019 – Temperaturverlauf in den verschiedenen Bereichen

Denn die maximal mögliche Korrektur unterschiedlicher Hangneigungen innerhalb eines Feldstückes ist mit 6 Grad beschränkt. Darüber hinaus garantiert der Hersteller die frostbekämpfende Wirkung der Windmaschine auf bis zu sieben Hektar Fläche. Das heißt, dass auch in 150 Metern Entfernung kein wesentlicher Wirkungsverlust auftreten darf. Denn ein Kreis mit 150 Meter Radius hat eine Fläche von 7 Hektar Größe ( $A = \pi \times r^2 \mid 150^2 \times 3,14$  ergibt 70.650 m<sup>2</sup>).

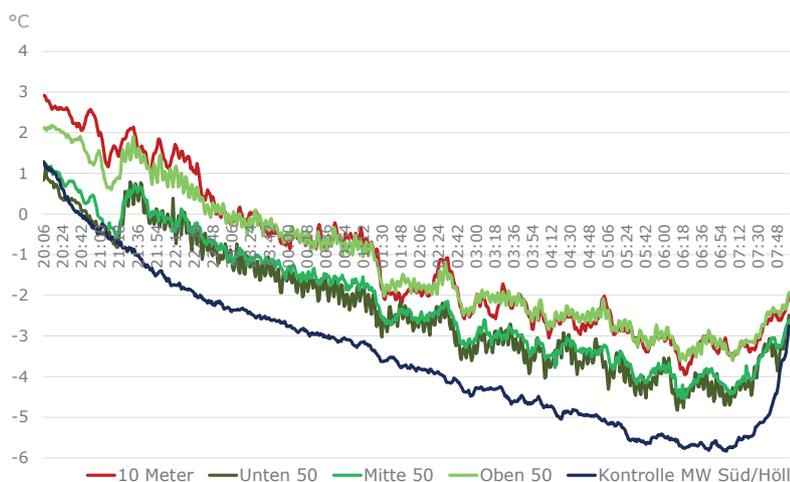
Um diese Versuchsfrage definitiv abzuklären, haben wir die Platzierung der Sensoren neu geplant und deren Anzahl erhöht. Dabei haben wir sechs Achsen im Winkel von 60 Grad um die Windmaschine gelegt. Auf jeder dieser Achsen haben wir Sensoren in 50, 75 und 100 Metern Entfernung in einer Höhe von 60 Zentimeter über dem Boden montiert (Skizze 1). Mit dieser neuen Anordnung haben wir in jeder Entfernung und Lage (Oben, Mitte und Unten) zwei Sensoren für die Temperaturaufzeichnungen; die Mes-

sungen erfolgten heuer erstmals im Minutentakt. Für die Erfassung der Kontrolltemperaturen montierten wir zwei Sensoren außerhalb des Einflussbereiches der Windmaschine in ähnlicher topografischer Lage.

Die Auswertung des Morgenfrostes am 2. April 2020 hat ergeben, dass in 50 und 75 Metern Entfernung in allen Bereichen keine Wirkungsunterschiede aufgetreten sind (Grafiken 2 und 3).



Skizze 1: Platzierung der Sensoren - Es wurden sechs Achsen im Winkel von 60 Grad um die Windmaschine gelegt. Auf jeder dieser Achsen sind Sensoren in 50, 75 und 100 Metern Entfernung in einer Höhe von 60 Zentimeter über dem Boden montiert.



Grafik 2: Wirkung in 50 m Entfernung - Frostnacht 1.4. bis 2.4.2020



Grafik 3: Wirkung in 75 m Entfernung - Frostnacht 1.4. bis 2.4.2020

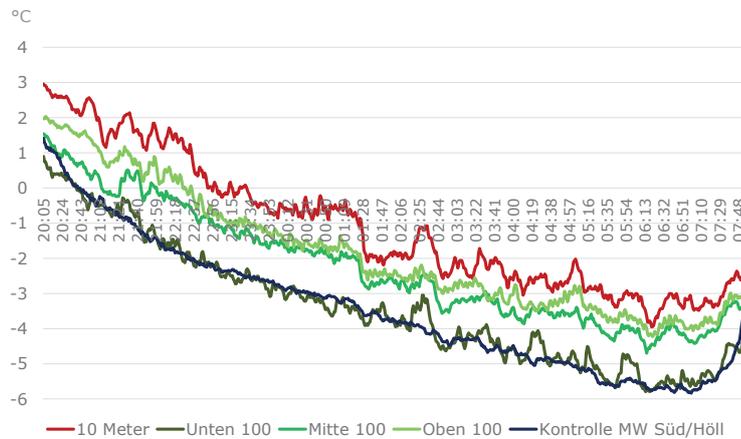
In 100 Metern jedoch fielen die Temperaturen im untersten Teil der Anlage synchron mit der Kontrolle ab (Grafik 4). Vergleicht man dagegen die drei Entfernungsstufen der Variante „Mitte“ sind keine Wirkungsunterschiede in Abhängigkeit von der Entfernung feststellbar (Grafik 5). Daher ist der Wirkungsverlust im untersten Bereich in der Tat auf das „Wegkippen“ des Hanges zurückzuführen (Grafik 10). Die wärmere Luft verfehlte ihr Ziel.

Für die Anpassung einer umlaufenden Windmaschine an die Hangneigung gibt es nur zwei Möglichkeiten: den „Dogleg“ und den „Contourhead“. Beide Möglichkeiten ermöglichen eine Korrektur um bis zu 6 Grad. In Summe sind 12 Grad Hangneigungskorrektur möglich, das sind anders ausgedrückt 21,256 Prozent Gefälle.

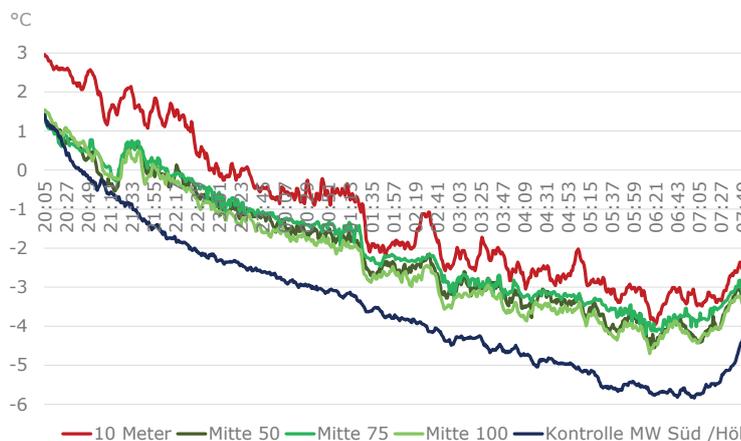
Da der „Dogleg“ eine fixe Korrektur mittels gekrümmtem Mast darstellt und nur der „Contourhead“ (Foto) einen variablen Hangausgleich ermöglicht, darf der Neigungsunterschied innerhalb der zu schützenden Anlage niemals größer als 6 Grad,



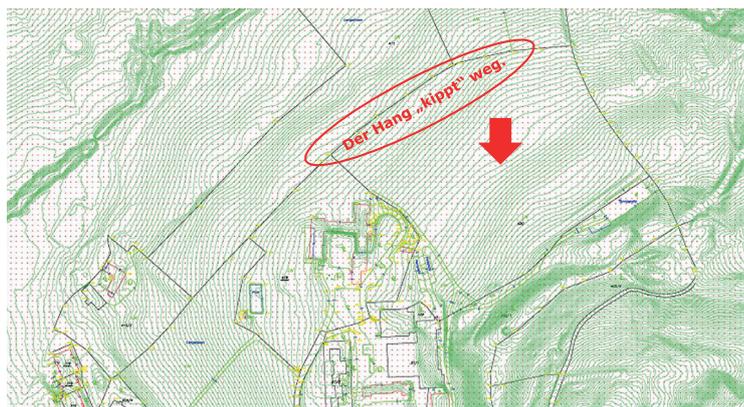
Der Contourhead ermöglicht einen variablen Hangausgleich



Grafik 4: Wirkung in 100 m Entfernung – Frostnacht 1.4. bis 2.4.2020



Grafik 5: Wirkung in 50, 75 und 100 m Entfernung – Frostnacht 1.4. bis 2.4.2020



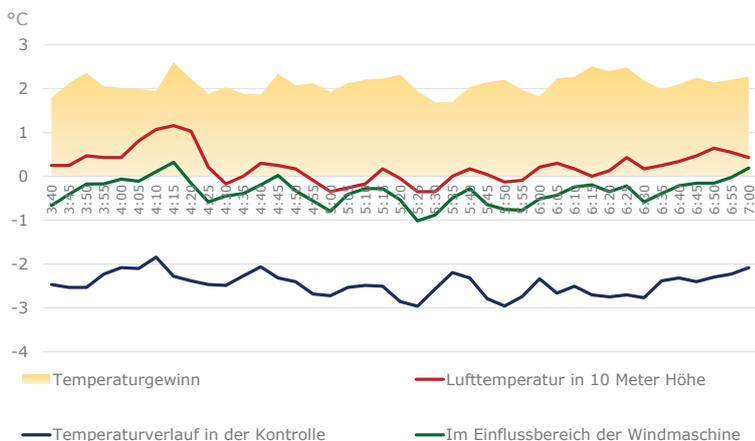
Grafik 10: Der Wirkungsverlust im untersten Bereich auf das „Wegkippen“ des Hanges zurückzuführen.

beziehungsweise 10,6 Prozent sein. Wird dieses Ausmaß überschritten, ist mit einem abrupten Wirkungsverlust zu rechnen.

Neben der geeigneten Topografie ist auch die Windsituation in der Frostnacht ein limitierender Faktor für die Wirksamkeit der Windmaschine. Windbewegungen verhindern oder verzögern die Luftschichtung, weshalb der Temperaturunterschied zwischen der angesaugten wärmeren Höhenluft und der kalten Luft, die aus der Kultur verdrängt wird, kleiner wird. Am 22. März 2019 hatten wir einen klassischen Strahlungsfrost ohne Windbewegungen. Die Luft konnte sich in Ruhe schichten, die kälteste Luft direkt über dem Boden und die Temperaturdifferenz zwischen 60 Zentimeter und 10 Meter Höhe hat etwa 2,5° Celsius betragen. Der durchschnittliche Temperaturgewinn durch den Einsatz der Windmaschine lag in dieser Frostnacht bei etwa 2° Celsius (Grafik 11).

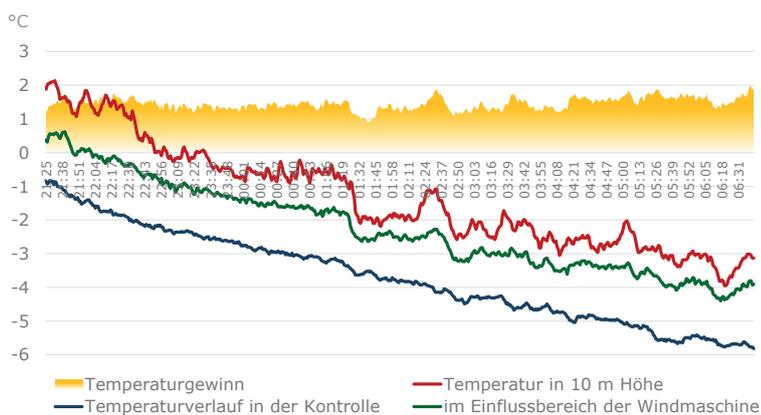
Die Frostbekämpfung im Jahr 2020 war von zwei Faktoren geprägt. Erstens war die Dauer der Bekämpfungsnotwendigkeit je Nacht außergewöhnlich lange und zweitens beruhigte sich das Windgeschehen in diesen Näch-





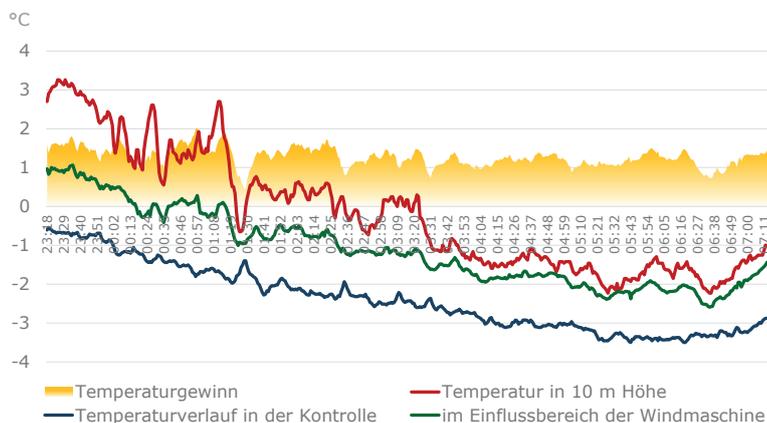
Grafik 11: Temperaturgewinn - Einsatz der Windmaschine am 22.03.2019

ten später als in normalen Jahren. In der Nacht vom 1. auf den 2. April wurde es erst gegen halb vier Uhr in der Früh wirklich windstill. Erst zu dieser Zeit stieg der Temperaturgewinn auf 1,5 bis 2° Celsius (Grafik 13); zuvor schwankte der Wert zwischen 1 und 1,5° Celsius.



Grafik 13: Temperaturgewinn - Einsatz der Windmaschine am 01.04.2020

Besonders schön abgebildet hat sich ein Windstoß am 15. April gegen halb zwei Uhr nachts (Grafik 14). Die in 10 Meter Höhe gemessenen Werte sach-



Grafik 14: Temperaturgewinn - Einsatz der Windmaschine am 14.04.2020

ten plötzlich von plus 2,7 auf minus 0,65° Celsius ab; das ist ein Temperatursturz um 3,35° Celsius. In der Kontrolle hat sich der Wind zum Unterschied positiv ausgewirkt, weil er die kältere Luft ausgeräumt hat – der Peak geht in die Gegenrichtung und es wurde kurzfristig sogar ein halbes Grad wärmer. Wegen der windbedingten Zerstörung der Schichtung lag der Temperaturvorteil in dieser Frostnacht nur bei etwa einem Grad Celsius.

## Fazit

In den letzten beiden Versuchsjahren konnten mit dem Einsatz der Windmaschine durchschnittliche Temperaturgewinne zwischen 1° und 2° Celsius erreicht werden. In windigen Frostnächten lag der mögliche Temperaturgewinn am unteren Ende der genannten Bandbreite. Auch Frostkerzen bringen in diesen Nächten nur die halbe Leistung, weil bei Wind keine wirksamen Konvektionsströme auftreten können. Windfröste sind grundsätzlich problematisch, denn auch die Frostberegnung hat ihre Einsatzgrenze bei Windgeschwindigkeiten von drei Metern pro Sekunde. In der Vergangenheit lag das Verhältnis von Strahlungs- und Windfrösten in der Steiermark bei 80:20; hoffentlich bleibt es auch in Zukunft bei dieser Relation.