

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XIV
1. Einleitung	1
2. Bisheriger Wissensstand	4
2.1 Die Klimatologie des Spätfrostes	4
2.1.1 Definition des Schadereignisses Spätfrost in Abgrenzung zum Winterfrost.....	4
2.1.2 Das Wetterphänomen Spätfrost	4
2.1.2.1 Wetterlage	4
2.1.2.2 Tagesgang der Temperatur	5
2.1.2.3 Ausbildung einer nächtlichen Inversion durch Strahlungsfrost	6
2.1.2.4 Sonderfall Windfrost	7
2.1.3 Der Gefahrenzeitraum: Vom Rebenbluten bis zu den Eisheiligen.....	8
2.1.4 Geländeklimatologie des Spätfrostes.....	10
2.1.4.1 Entstehen von Kaltluft.....	10
2.1.4.2 Abfluss der Kaltluft ins Tal	11
2.1.4.3 Kaltluftstauung und Kaltluftseen.....	12
2.1.4.4 Besonderheiten der Kaltluftproblematik	15
2.1.4.5 Gebiete und Lagen mit hoher und niedriger Gefährdung	16
2.1.5 Erfassen und Kartieren von frostgefährdeten Lagen	17
2.2 Frost und Frostschaden an der Rebe aus physiologischer Sicht.....	19
2.2.1 Definition von Frostschaden: Die letale Zerstörung von Zellmembranen	19
2.2.1.1 Der Gefriervorgang in der Pflanzenzelle – ein Schadmechanismus in 3 Stufen	20
2.2.2 Differenzierung der Frostschadensgefahr im Jahresverlauf	21
2.2.2.1 Jahreszyklus der Rebe	21
2.2.2.2 Frostabwehr und Kohlenhydratmetabolismus im jahreszeitlichen Verlauf.....	21
2.2.3 Frostresistenz und Akklimatisierung im Winter	24
2.2.3.1 Sekundärschäden durch Winterfrost	27
2.2.4 Physiologische Prozesse und Frostschäden im Frühjahr	31
2.2.4.1 Das Rebenbluten	32
2.2.4.2 Regulierende Faktoren der Blutung	32
2.2.4.3 Der Kohlenhydrat-Haushalt der Rebe während des Rebenblutens.....	33
2.2.4.4 Der Austrieb der Reben.....	34
2.2.4.5 Der Frostschaden beim Spätfrostereignis	35
2.2.4.6 Einfluss der Feuchte	36
2.2.4.7 Einfluss der Pflanzenernährung.....	37
2.2.4.8 Einfluss des Entwicklungsstadiums und der Rebsorte	37
2.2.4.9 Weitere Unterschiede zum Winterfrost	37
2.3 Rebsorten und ihre Unterschiede bezüglich der Spätfrostgefährdung.....	38
2.3.1 Austriebszeitpunkt und Gefahrenzeitraum.....	39
2.3.2 Die Beiaugenfruchtbarkeit als Schadkompensation.....	41

2.4 Möglichkeiten der Frostschadensabwehr	43
2.4.1 Präventive Frostschutzmaßnahmen	43
2.4.1.1 Lagenauswahl der Anbaufläche	44
2.4.1.2 Verbesserung der Geländeklimatologie	45
2.4.1.3 Bodenbewuchs und Bodenbearbeitung	46
2.4.1.4 Die Form der Rebenerziehung	46
2.4.1.5 Physiologische Verfahren zur Austriebsverzögerung	48
2.4.2 Aktive Frostabwehr	48
2.4.2.1 Lufttrübung	48
2.4.2.2 Heizen	49
2.4.2.3 Frostberegnung.....	50
2.4.2.4 Luftverwirbelung.....	51
2.4.3 Die Funktionsweise von Windmaschinen	52
2.4.3.1 Vertikaler Luft- und Temperaustausch	53
2.4.3.2 Eigenrotation der Windmaschine um ihre vertikale Standachse	53
2.4.3.3 Einsatzgrundlagen: Starttemperatur und Einsatzdauer	53
2.4.3.4 Einfluss von Wetterlage und Geländeform auf die Leistungsfähigkeit von Windmaschinen.....	54
3. Material und Methoden	56
3.1 Messung der Temperaturschadenschwellen mittels Klimakammer	56
3.1.1 Definition der Messmethode	56
3.1.2 Methodik zum Feststellen der Gefriertemperatur.....	57
3.1.2.1 Kontrolliertes Stufenkühlverfahren	57
3.1.2.2 Differential Temperature Analysis (DTA)	58
3.1.2.3 Entscheidung für das kontrollierte Stufenkühlverfahren	59
3.1.2.4 Die Klimakammer des Typs WEISS WKL 64	60
3.1.2.5 Entwicklung der exakten Messmethode	61
3.1.3 Das Rebenmaterial als Versuchsgut.....	62
3.1.3.1 Herkunft des Rebenmaterials	62
3.1.3.2 Versuchsmaterial aus der Stecklingsanzucht.....	63
3.1.3.3 Versuchsmaterial von Freilandreben	63
3.1.4 Präparierung des Rebenmaterials als Probengut	64
3.1.5 Entwicklungsstadien nach BBCH-Code	64
3.1.6 Testverlauf in der Klimakammer.....	65
3.1.7 Optisches Erkennen und Bonitur des Schadens.....	66
3.1.8 Statistische Auswertung der gemessenen Schadtemperaturen.....	67
3.2 Phänologische Austriebsbonitur	69
3.3 Rebenentwicklung nach Schaden durch Beiaugenaustrieb	70
3.3.1 Schadenssimulation 2013	70
3.3.1.1 Rebsorten und Standort	70
3.3.1.2 Zeitpunkt der Maßnahme	71
3.3.2 Realer Spätfrostschaden 2014.....	72
3.3.2.1 Betroffene Parzelle	72
3.3.2.2. Schadenereignis.....	72
3.3.3 Bonitur des Beiaugenaustriebs in den Schadenparzellen.....	73
3.3.4 Bonitur des Rebenertrags.....	73

3.4 Methode zur Feststellung der Flächenwirksamkeit von Windmaschinen.....	74
3.4.1 Messungen mit dem Hand-Anemometer	74
3.4.2 Messung und Bestimmung der Luftströmungsgeometrie mittels Luftprüfstand ..	74
3.4.3 Simulationsberechnungen zu Luftströmungsgeometrie, Reichweite und Temperaturwirkung mit ANSYS-CFX.....	75
3.4.4 Luft-Abdriftmessung mit Farbstoff gemäß ISO 22866	76
4. Ergebnisse	79
4.1 Ergebnisse der Temperaturschadsschwellen-Messungen mittels Klimakammer	79
4.1.1. Schadsschwellen differenziert nach Entwicklungsstadium	81
4.1.2 Schadsschwellen differenziert nach Rebsorten.....	83
4.1.3 Schadsschwellen differenziert nach Herkunft des Versuchsmaterials	87
4.1.4 Statistische Überprüfung der Schadsschwellen-Ergebnisse bezüglich ihrer Zusammenhänge	89
4.2 Phänologische Austriebsbonitur	93
4.2.1 Rebenaustrieb im Jahre 2013	93
4.2.2 Rebenaustrieb im Jahre 2014	94
4.2.3 Rebenaustrieb im Jahre 2015	94
4.2.4 Rebsortenunterschiede im Rebenaustrieb	95
4.2.5 Austriebsverhalten von Hybridrebsorten.....	98
4.2.6 Dauer der Gefährdung einzelner Rebsorten im Frühjahr	100
4.3 Der Beiaugenaustrieb nach Frostschäden	106
4.3.1 Simulationsversuch im Jahre 2013.....	106
4.3.1.1 Das Austriebsverhalten der Beiaugen	106
4.3.1.2 Entwicklung der Trauben	107
4.3.1.3 Der Verlauf der Traubenreife.....	110
4.3.1.4 Traubenertrag und -qualität.....	114
4.3.2 Spätfrostschaden Wallertheim 2014.....	116
4.3.2.1. Geschädigte Rebenorgane	116
4.3.2.2 Die Reaktion der Pflanze auf den Schaden	117
4.3.2.3 Räumliche/quantitative Verteilung der Schäden	118
4.3.2.4 Traubengenese und Traubenertrag	121
4.3.2.5 Traubenreife	124
4.4 Ermittlung der Flächenwirksamkeit von Windmaschinen.....	125
4.4.1 Ergebnisse der Hand-Anemometer-Messungen.....	125
4.4.2 Ergebnisse der Messungen am Ultraschallprüfstand	126
4.4.3 Ergebnisse der Simulationsberechnungen.....	126
4.4.3.1 Gebläseleistung	126
4.4.3.2 Flächenleistung	129
4.4.3.3 Auflösungsvermögen von Kaltluftseen	131
4.4.3.4 Auflösungsvermögen in geneigtem Gelände.....	132
4.4.4 Ergebnisse der Reichweitenmessung mit Fluoreszenzspektrographie.....	134

5. Diskussion.....	136
5.1 Frostschadensgefahr und Temperaturschadschwellen	136
5.2 Austriebsverhalten und Gefahrenzeitraum.....	139
5.3 Die Bedeutung des Beiaugenaustriebs nach einem Spätfrostschaden.....	143
5.4 Die Wirksamkeit von Windmaschinen zur Spätfrostabwehr	146
5.5 Die Frostgefährdung für Weinreben gestern, heute und morgen – ein Ausblick ...	148
6. Zusammenfassung.....	154
7. Literaturverzeichnis.....	158
8. Anhang.....	170