

Aus dem Institut für Technik
Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz
Hochschule Geisenheim University

und

dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I
Professur für Pflanzenbau
Prof. Dr. Bernd Honermeier
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Hagelsimulation an *Vitis vinifera* L. cv. Müller-Thurgau unter
besonderer Berücksichtigung des Erziehungssystems
Minimalschnitt im Spalier

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.)
im Fachbereich Agrarwissenschaft, Ökotropologie und
Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von:

Christian Philipp Kaiser
aus Worms

Gießen, 2018

Mit Genehmigung des Fachbereichs Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen

Prüfungskommission:

1. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz

2. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Honermeier

Prüfer: Prof. Dr. Ernst-Heinrich Rühl

Prüfer: Prof. Dr. Rolf-Alexander Düring

Vorsitzender: Prof. Dr. Joachim Aurbacher

Tag der Disputation: 21. Dezember 2018

**Erklärung gemäß der Promotionsordnung des Fachbereichs 09
vom 07. Juli 2004 § 17 (2)**

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Bechtheim, 16. Juli 2018

Christian Philipp Kaiser

Danksagung

Die Anfertigung der vorliegenden Arbeit hat sehr viel Engagement, Arbeitskraft und wissenschaftliche Fachkenntnis gefordert. Damit verbunden waren viele schlaflose Nächte, aber auch viel Spaß und Freude nach der Bewältigung unterschiedlichster Hürden. Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung von zahlreichen Menschen und Institutionen nicht zu realisieren gewesen. Daher bedanke ich mich vielmals bei allen, die zur Verwirklichung beigetragen haben, vielen herzlichen Dank!

Ganz besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz und Herrn Prof. Dr. Bernd Honermeier für die Annahme der Arbeit, für die Betreuung während der Promotion und die stetige Bereitschaft zur Diskussion der Ergebnisse bedanken.

Das Abenteuer der Promotion war neben den angefallenen Kosten anfangs mit vielen offenen Fragen verbunden. Ohne die Hilfe der VEREINIGTEN HAGEL VVaG, die einerseits finanzielle Mittel und Schadensdaten zur Verfügung stellte und andererseits bereits bei der Planung mit Fachwissen das Projekt stets unterstützte, hätte diese Ausarbeitung niemals in dem vorliegenden Umfang erstellt werden können. Besonders herzlich sei in diesem Zusammenhang Herrn Dr. Rainer Langner, Herrn Hans-Ulrich Eppler und Herrn Dr. Heinzbert Hurtmanns gedankt.

Des Weiteren danke ich vielmals den Weingütern Kratz und Runkel, die Versuchsflächen zur Verfügung stellten und mich während der Hagelsimulationen, der Ernte sowie beim Weinausbau tatkräftig unterstützten. Darüber hinaus konnte stets auf das Know-how der Weingüter für wissenschaftliche und verfahrenstechnische Vorgehensweisen zurückgegriffen werden.

Außerdem sei den Geisenheimern Instituten für Rebenzüchtung und Oenologie gedankt. Diese Institute unterstützten die Arbeit in der wissenschaftlichen Vorgehensweise. Des Weiteren trugen sie zum Weinausbau und der Organoleptik bei. Hierfür möchte ich Herrn Prof. Dr. Ernst-Heinrich Rühl, Herrn Dr. Maximilian Freund und Herrn Roger Grundel außerordentlich danken.

Viele Freunde, Bekannte und Familienmitglieder – besonders meine Eltern und meine Schwester – waren stets zur Stelle und halfen an unterschiedlichsten Punkten während der Promotion. Daher sei euch auch vielmals und herzlich gedankt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung und Fragestellung	- 1 -
2 Literaturübersicht	- 3 -
2.1 Wetter und Klima	- 3 -
2.1.1 Witterungsverlauf im Jahr 2016	- 6 -
2.1.2 Witterungsverlauf im Jahr 2017	- 7 -
2.1.3 Entstehung von Hagel	- 9 -
2.1.4 Jahreszeitliche Wahrscheinlichkeit eines Hagelschlages	- 15 -
2.1.5 Hagelabwehr	- 17 -
2.1.5.1 Passiver Hagelschutz	- 17 -
2.1.5.2 Aktiver Hagelschutz	- 19 -
2.2 Weinanbau in Deutschland	- 22 -
2.2.1 Pflanzenphysiologie von <i>Vitis vinifera</i> L.	- 24 -
2.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf <i>Vitis vinifera</i> L.	- 28 -
2.2.3 Auswirkungen eines Hagelschlages an <i>Vitis vinifera</i> L.	- 29 -
2.2.4 Minimalschnitt-Systeme	- 32 -
2.2.5 Ausgewählte Mostinhaltsstoffe und deren Analytik	- 41 -
3 Material und Methoden	- 47 -
3.1 Versuchsanlagen	- 47 -
3.2 Hagelsimulation	- 53 -
3.3 Datenerhebung	- 60 -
3.3.1 Phänologische Stadien	- 60 -
3.3.2 Verrieselung	- 61 -
3.3.3 Befallsstärke von <i>Botrytis cinerea</i> und <i>Plasmopara viticola</i> an den Beeren	- 61 -
3.3.4 Durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock	- 62 -
3.3.5 Traubenertrag pro Rebstock	- 62 -
3.3.6 Einzelbeerengewicht	- 64 -

3.3.7	Ertrags- und Mostgewichtsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016.....	- 64 -
3.3.8	Traubenverarbeitung, Mostanalyse und Weinausbau.....	- 65 -
3.3.9	Schnittholzertrag	- 66 -
3.3.10	Organoleptik.....	- 67 -
3.4	Datenverarbeitung und Statistik.....	- 68 -
4	Ergebnisse	- 69 -
4.1	Versuchsjahr 2016.....	- 69 -
4.1.1	Bonituren und Massebestimmungen.....	- 70 -
4.1.1.1	Phänologische Stadien 2016.....	- 70 -
4.1.1.2	Befallsstärke von <i>Plasmopara viticola</i> an den Beeren 2016.....	- 72 -
4.1.1.3	Befallsstärke von <i>Botrytis cinerea</i> an den Beeren 2016	- 73 -
4.1.1.4	Traubenertrag pro Rebstock 2016.....	- 73 -
4.1.1.5	Einzelbeerengewicht 2016.....	- 75 -
4.1.1.6	Ertragsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016 ...	- 76 -
4.1.1.7	Mostgewichtsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016	- 77 -
4.1.2	Ausgewählte Mostinhaltsstoffe.....	- 79 -
4.1.2.1	Mostgewicht 2016.....	- 79 -
4.1.2.2	Gesamtsäure 2016	- 80 -
4.1.2.3	Äpfelsäure 2016	- 81 -
4.1.2.4	Weinsäure 2016	- 82 -
4.1.2.5	Kalium 2016.....	- 83 -
4.1.2.6	YAN 2016	- 84 -
4.1.3	Organoleptik der 2016er Weine	- 85 -
4.2	Versuchsjahr 2017.....	- 90 -
4.2.1	Bonituren und Massebestimmungen.....	- 90 -
4.2.1.1	Phänologische Stadien 2017	- 90 -
4.2.1.2	Verrieselung 2017	- 93 -
4.2.1.3	Befallsstärke von <i>Plasmopara viticola</i> an den Beeren 2017	- 94 -
4.2.1.4	Befallsstärke von <i>Botrytis cinerea</i> an den Beeren 2017	- 94 -
4.2.1.5	Durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock 2017	- 96 -
4.2.1.6	Traubenertrag pro Rebstock 2017.....	- 97 -
4.2.1.7	Einzelbeerengewicht 2017.....	- 99 -

4.2.1.8	Schnittholzertrag 2017.....	- 100 -
4.2.2	Ausgewählte Mostinhaltsstoffe.....	- 102 -
4.2.2.1	Mostgewicht 2017.....	- 102 -
4.2.2.2	Gesamtsäure 2017	- 103 -
4.2.2.3	Äpfelsäure 2017	- 104 -
4.2.2.4	Weinsäure 2017	- 106 -
4.2.2.5	Kalium 2017.....	- 107 -
4.2.2.6	YAN 2017	- 108 -
4.2.3	Organoleptik der 2017er Weine	- 109 -
5	Diskussion.....	- 112 -
5.1	These I: Versuchsdesign, Witterung und Vegetationsverlauf.....	- 113 -
5.2	These II: Hagelschaden in SHB und MSS	- 118 -
5.3	These III: Kompensation von Hagelschäden	- 127 -
5.4	These IV: Mostinhaltsstoffe	- 129 -
5.5	These V: Ertragsdepression im Folgejahr.....	- 133 -
	Zusammenfassung	- 136 -
	Summary	- 137 -
	Literaturverzeichnis	- 138 -
	Anhang.....	- 151 -

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Witterungsverlauf im Jahr 2016	- 7 -
Abb. 2: Witterungsverlauf im Jahr 2017	- 8 -
Abb. 3: Schematischer Querschnitt einer Kumulonimbuswolke	- 11 -
Abb. 4: Schematische Darstellung der Entstehung von Hagel.....	- 12 -
Abb. 5: [A] Querschnitt durch ein Hagelschloß	- 13 -
Abb. 6: Hagelhäufigkeitsverteilung der Jahre 2006 bis 2016	- 16 -
Abb. 7: [A] Installiertes Hagelschutznetz	- 18 -
Abb. 8: Anlage und Differenzierung der Gescheinsanlagen	- 25 -
Abb. 9: Typischer Reifeverlauf von Beeren.....	- 42 -
Abb. 10: [A] Schematische Darstellung eines Michelson-Interferometers	- 46 -
Abb. 11: [A] Orthobildaufnahme des Südosten von Rheinland-Pfalz.....	- 48 -
Abb. 12: Ortho Bildaufnahme der Spalier Halbbogen (SHB) Parzelle	- 50 -
Abb. 13: Ortho Bildaufnahme der Minimalschnitt im Spalier (MSS) Parzelle	- 51 -
Abb. 14: Illustration des Versuchsaufbaues.....	- 53 -
Abb. 15: Trockeneis für die Hagelsimulationsversuche	- 54 -
Abb. 16: [A] Druckluftkompressor, [B] Trockeneisdosiergerät.....	- 56 -
Abb. 17: Durchführung des künstlichen Hagelschlages in der SHB-Anlage	- 57 -
Abb. 18: Trockeneisverteilung während der Simulation „leichter“ Schaden	- 58 -
Abb. 19: Trockeneisverteilung während der Simulation „mittlerer“ Schaden.....	- 59 -
Abb. 20: Trockeneisverteilung während der Simulation „schwerer“ Schaden	- 59 -
Abb. 21: [A] Kabelbindermarkierung am Rebstamm SHB-Anlage	- 63 -
Abb. 22: Befallsstärke von <i>Plasmopara viticola</i> an den Beeren 2016 [%].....	- 72 -
Abb. 23: Traubenertrag 2016 [kg Stock ⁻¹].....	- 73 -
Abb. 24: Beerengewichte 2016 [g Beeren ⁻¹ x 100]	- 75 -
Abb. 25: Traubenertrag 2017 der im Versuchsjahr 2016 künstlich hagelgeschädigten Versuchsglieder [kg Stock ⁻¹].....	- 76 -

Abb. 26: Mostgewichte 2017 der im Versuchsjahr 2016 künstlich hagelgeschädigten Versuchsglieder [°Oechsle]	- 77 -
Abb. 27: Mostgewichte der Versuchsglieder 2016 [°Oechsle]	- 79 -
Abb. 28: Gesamtsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l ⁻¹]	- 80 -
Abb. 29: Äpfelsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l ⁻¹]	- 81 -
Abb. 30: Weinsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l ⁻¹]	- 82 -
Abb. 31: Kalium-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [mg l ⁻¹].....	- 83 -
Abb. 32: YAN-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [mg l ⁻¹]	- 84 -
Abb. 33: Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine SHB (25.05.2017)	- 86 -
Abb. 34: Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine MSS (25.05.2017)	- 87 -
Abb. 35: Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine SHB (08.02.2018)	- 88 -
Abb. 36: Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine MSS (08.02.2018)	- 89 -
Abb. 37: Verrieselung der Beeren 2017 [%].....	- 93 -
Abb. 38: Befallsstärke von <i>Botrytis cinerea</i> an den Beeren 2017 [%]	- 94 -
Abb. 39: Durchschnittliche Traubenanzahlen je Rebstock 2017	- 96 -
Abb. 40: Traubenertrag 2017 [kg Stock ⁻¹].....	- 97 -
Abb. 41: Beerengewichte 2017 [g Beeren ⁻¹ x 100]	- 99 -
Abb. 42: Schnittholzgewicht 2017 des einjährigen Holzes [g Rebstock ⁻¹].....	- 100 -
Abb. 43: Mostgewichte der Versuchsglieder 2017 [°Oe].....	- 102 -
Abb. 44: Gesamtsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l ⁻¹]	- 103 -
Abb. 45: Äpfelsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l ⁻¹]	- 104 -
Abb. 46: Weinsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l ⁻¹]	- 106 -
Abb. 47: Kalium-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [mg l ⁻¹].....	- 107 -
Abb. 48: YAN-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [mg l ⁻¹]	- 108 -
Abb. 49: Säure und Körper / Fülle der 2017er Weine SHB (08.02.2018)	- 110 -
Abb. 50: Säure und Körper / Fülle der 2017er Weine MSS (08.02.2018)	- 111 -
Abb. 51: [A] natürlicher Hagelschaden vom 09.07.2017 an <i>V. vinifera</i> L.	- 114 -

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich verschiedener 30-jähriger Wettermittelwerte	- 4 -
Tab. 2: Einteilung von Hagelniederschlag (Hagelintensitätsskala Stand 2008)....	- 14 -
Tab. 3: Literaturübersicht zur Hagelabwehr mittels AgI-Impfung.....	- 21 -
Tab. 4: Schematische Darstellung des randomisierten Blockdesigns	- 49 -
Tab. 5: Beschreibung der Versuchsanlagen	- 52 -
Tab. 6: Beschädigungsgrad, km h^{-1} und Trockeneismenge zur Hagelsimulation. -	57 -
Tab. 7: Boniturtermine der phänologischen Stadien 2016 und 2017.....	- 60 -
Tab. 8: Zeitpunkte der Bonituren von <i>Botrytis cinerea</i> und <i>Plasmopara viticola</i> ...	- 62 -
Tab. 9: Traubenernte-Termine in den Versuchsjahren 2016 und 2017	- 64 -
Tab. 10: Bonitur des Rebenaustriebes 2016	- 70 -
Tab. 11: Bonitur der Rebblüte 2016	- 70 -
Tab. 12: Bonitur der Fruchtreife 2016	- 71 -
Tab. 13: Vergleich der Schadensquoten 2016	- 74 -
Tab. 14: Ergebnis des Dreieckstests der 2016er Weine	- 85 -
Tab. 15: Ergebnis des Dreieckstests der 2016er Weine	- 86 -
Tab. 16: Bonitur des Rebenaustriebes 2017	- 90 -
Tab. 17: Bonitur der Rebblüte 2017	- 91 -
Tab. 18: Bonitur der Fruchtreife 2017	- 92 -
Tab. 19: Vergleich der Schadensquoten 2017	- 98 -
Tab. 20: Ergebnis des Dreieckstests der 2017er Weine	- 109 -
Tab. 21: Traubenertrag 2017 zum Schnittholzertrag SHB	- 125 -
Tab. 22: Traubenertrag 2017 zum Schnittholzertrag MSS	- 126 -
Tab. A23: Pflanzenschutzplan 2016	- 151 -
Tab. A24: Pflanzenschutzplan 2017	- 152 -

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
AgI	Silberjodid
AKh	Arbeitskraftstunden
ATR	attenuated total reflection
BBCH	Code der Phänologie einer Pflanze
BLV	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CCN	Kondensationskeimen
DLR	Dienstleistungszentrum ländlicher Raum
FAN	Free amino nitrogen
FTIR	Fourier-Transformations-Infrarot
et al.	et alii
Erziehungss.	Erziehungssystem
GA ₃	Gibberellinsäure
IN	ice forming nuclei
k. A.	keine Angaben
k. M.	keine Merkmalsausprägung
MIR	mittlerer Infrarotbereich
MS	Minimalschnitt
MSS	Minimalschnitt im Spalier
N. N.	Normal-Null
Oe	Oechsle
OIV	Organisation Internationale de la Vigne et du Vin
p	Signifikanz-Wert
SE	Spalier-Erziehung (Halb-, Pendel-, Flachbogen)
SHB	Spalier-Halbbogen

Tab.	Tabelle
<i>V. vinifera</i> L. cv.	<i>Vitis vinifera</i> Linné cultivated variety
VG	Versuchsglied
WMO	World Meteorological Organization
YAN	Yeast assimilable nitrogen

1 Einleitung und Fragestellung

Im deutschen Weinbau ist in den letzten fünf bis zehn Jahren eine neue Rebenerziehungsform, der Minimalschnitt (MS), verstärkt anzutreffen. Dieser bietet gegenüber den herkömmlichen Spalier-Erziehungen (SE) wie Halb-, Pendel- und Flachbogen zahlreiche Vorteile. So kann bspw. mit der MS-Erziehung der jährliche Arbeitszeitbedarf (bei Vollernterlese) von üblichen 200 Arbeitskraftstunden pro Hektar (AKh ha⁻¹) auf ca. 65 AKh ha⁻¹ reduziert werden, da diese Erziehungsform eine gänzlich maschinelle Bewirtschaftung ermöglicht (BECKER et al. 2007). Neben dem niedrigeren Arbeitszeitbedarf sind von Seiten der Praxis außerdem Thesen zu vernehmen, dass MS-Anlagen eine höhere Toleranz gegenüber abiotischen Faktoren aufweisen, wie z. B. starke Sonneneinstrahlung, Starkniederschläge, Spätfröste als auch Hagel.

Durch den Klimawandel nehmen die Wetterextreme zu, wodurch das Risikomanagement im Pflanzenbau für landwirtschaftliche Betriebe einen immer wichtigeren Stellenwert einnimmt, da ein Verlust der gesamten Jahresernte existenzbedrohend sein kann (GÖMANN et al. 2015). Als Baustein im Risikomanagement wird u. a. auch das MS-Schnittsystem diskutiert. Da es sich jedoch um ein relativ neues Erziehungssystem handelt, gibt es gerade hierüber für den deutschen Weinbau verhältnismäßig wenig wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse. Daher soll diese Ausarbeitung mit dem Schwerpunkt Hagelschlag einen Beitrag dazu leisten, die Auswirkungen eines Hagelschlages in diesem neuen Erziehungssystem in Deutschland besser einschätzen und evaluieren zu können. Aus diesem Grund wurde in zwei Weinbergen (Minimalschnitt im Spalier (MSS) und konventioneller Spalier-Halbbogen (SHB)) ein Hagelschlag mit verschiedenen Intensitäten im Vor- und Nachblütebereich an *Vitis vinifera* L. cv. Müller-Thurgau simuliert, um zu überprüfen, ob sich die Meinung der Praktiker mit wissenschaftlichen Fakten belegen lässt.

Einleitung und Fragestellung

Im Rahmen dieser Ausarbeitung sollen folgende Thesen beantwortet werden:

- I. Kann an grünen Organen von *V. vinifera* L. künstlich ein Schadbild erzeugt werden, das mit einem Hagelschaden durch natürlichen Hagelschlag vergleichbar ist?
- II. Verursacht Hagelschlag mit derselben Intensität in SHB- und MSS-Erziehungssystemen von *V. vinifera* L. – bei verschiedenen phänologischen Stadien – unterschiedlich starke Hagelschäden?
- III. Kann *V. vinifera* L. Hagelschäden kompensieren und wenn ja, in welchem Umfang?
- IV. Sind Veränderungen der Mostinhaltsstoffe im Frischmost durch einen Hagelschlag – zu unterschiedlichen phänologischen Stadien – in SHB- und MSS- Erziehungssystemen von *V. vinifera* L. nachzuweisen?
- V. Verursachen Hagelschäden an *V. vinifera* L. Ertragsdepressionen im Folgejahr?

2 Literaturübersicht

2.1 Wetter und Klima

Als Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort zu einer gegebenen Zeit zu verstehen. Um diesen aktuellen Zustand der Atmosphäre beschreiben zu können, werden meteorologische Parameter verwendet, wie z. B.: Niederschlagsart und -menge, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Temperatur, Solarstrahlung sowie Sonnenscheinstunden, Windrichtung und -geschwindigkeit (HÄCKEL 2012). Wird die Schichtung der Atmosphäre betrachtet, so ist das Wettergeschehen überwiegend in der untersten Schicht der Troposphäre vorzufinden (SPANDAU & WILDE 2008). Bei der Beobachtung des Wetters an einem bestimmten Ort, z. B. im mitteleuropäischen Raum, können über eine längere Zeitspanne je nach Jahreszeit unterschiedliche Wettersituationen vorliegen. In Deutschland sind bspw. im Winter Kältetemperaturen bis zu -37 °C (12.02.1929 in Hüll / Niederbayern) oder im Sommer Hitzetage bis 40 °C (08.08.2003 Roth b. Nürnberg) möglich (HÄCKEL 2012). Zusammenfassend kann das Wetter als stets wechselnder Zustand der Atmosphäre über einen kurzen Beobachtungszeitraum an einem bestimmten Ort bezeichnet werden. Die Wetterzustandsänderung über mehrere Tage wird als Witterung bezeichnet.

Das Klima bezieht sich hingegen auf den typischen Wetterverlauf über einen konkreten, längeren Zeitraum und hat einen größeren räumlichen Bezug. Üblicherweise wird bei einer Klimabetrachtung eine Zeitspanne von mindestens 30 Jahren gewählt, wodurch u. a. Statistiken mit Mittel-, Maximum- und Minimumwerten, Kälte- und Wärmesummen sowie Korrelationen erstellt werden können. Neben den Mittelwerten wird auch die Anzahl und -dauer von Wetterextremen erfasst (SPANDAU & WILDE 2008; SCHÖNWIESE 2013). Sowohl beim Wetter wie auch beim Klima gibt es eine Vielzahl an Faktoren, die diese beeinflussen, so z. B. geografische Breite, Höhenlage und Relief, Land- / Wasserverteilung, atmosphärische Zirkulation, Meeresströmung, Sonnenstrahlung, Landnutzung. Darüber hinaus sind eingeteilte

Literaturübersicht

Klimazonen nicht starr, sondern in Veränderung, wenngleich hierfür größere Betrachtungszeiträume notwendig sind. Das Klimasystem der Erde besteht aus mehreren untergeordneten Systemen, wie z. B. dem Wasser- und Kohlenstoffkreislauf. Dabei wird die Antriebskraft von der Solarstrahlung der Sonne zur Verfügung gestellt. Diese Systeme sind im dynamischen Austausch untereinander, sodass eine Veränderung in einem System auch einen Einfluss auf ein anderes haben kann. Bei einem Vergleich von Klimadaten, bspw. von verschiedenen Regionen, werden die Daten stets in feste Bezugszeiten von jeweils 30 Jahren (z. B. 1931 bis 1960) gesetzt, die sogenannten Klimanormal- bzw. Klimastandardperioden (HÄCKEL 2007; SPANDAU & WILDE 2008; HÄCKEL 2012).

Um einen ersten Eindruck vom Klima in der Region zu gewinnen, in der die Versuchsanlagen für diese Untersuchung gepflanzt sind, können in **Tab. 1** vier verschiedene 30-jährige Mittelwerte eingesehen werden.

Tab. 1: Vergleich verschiedener 30-jähriger Wettermittelwerte (1951 bis 1981), Wetterstation Alzey (RLP, Deutschland)

langjähriges Mittel	Jahrestemperatur in 2 m, $\bar{\theta}$ a ⁻¹ [°C]	Niederschlag $\bar{\theta}$ Jahressumme [l m ⁻²]	Sonnenstunden $\bar{\theta}$ Jahressumme [h]
1951-1980	9,30	510,90	1627
1961-1990	9,40	585,60	1594
1971-2000	9,70	565,00	1612
1981-2010	10,00	564,00	1649

Quelle: AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018

In der Landwirtschaft wie auch im Weinbau ist das vorherrschende Klima besonders wichtig, da jede Pflanze neben dem Boden und den darin enthaltenen Nährstoffen, Wasser und Sonnenenergie zum Wachsen benötigt, um Photosynthese betreiben zu können (KADISCH et al. 1999; BAUER et al. 2008; KELLER 2010). Letztlich ist der Ertrag und die Qualität der Bodenerzeugnisse in hohem Maße vom großräumigen Klima abhängig, das auch Makroklima genannt wird. Hierunter sind die typischen Wetterbedingungen einer Region zu verstehen, die meist über die Wetterfaktoren Temperatur, Luftdruck, -feuchtigkeit, Wind, Niederschlag und Sonneneinstrahlung

Literaturübersicht

definiert werden. Innerhalb einer kleineren Region, bzw. Weinbaulage, kann das Klima durch topografische Merkmale differieren, sodass vom Mesoklima gesprochen wird. Zu diesen Merkmalen zählen vor allem die Hangneigung und -richtung sowie die Höhenlage über N. N.. Auch findet die Beeinflussung durch einen Fluss oder eine Talsohle im Mesoklima Berücksichtigung. Wird vom Klima in kleinen Bezugssystemen gesprochen, wie bspw. einer Rebanlage, wird dies auch als Mikroklima bezeichnet. Gerade bei benachbarten Rebanlagen können kleinklimatische Unterschiede festgestellt werden, die sich in der Temperatur, Luftfeuchte und dem Besonnungsgrad von Laubwand und Trauben bemerkbar machen. Im Gegensatz zum Makroklima kann das Mikroklima durch Bodenbewirtschaftungsart, -beschaffenheit, Zeilenrichtung, Laubwandhöhe und Gassenbreite sowie Laubwand- und Traubenarchitektur beeinflusst werden (KADISCH et al. 1999; KELLER 2010).

Die Landwirtschaft und das Klima sind zwei sehr eng miteinander verwobene Systeme, die sowohl voneinander profitieren als auch Nachteile aus der Partnerschaft haben können. Das Klima wird zumindest teilweise durch die Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen und vornehmlich durch die damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen beeinflusst. Da es sich dabei um sensible und veränderbare Systeme handelt, sind diese im stetigen Wandel. Global betrachtete Studien haben aufgezeigt, dass die Landwirtschaft einen Anteil von ca. 15 % am Klimawandel hat (PACHAURI et al. 2014). Damit einhergehend sind Zunahmen von Wetterextremen zu verzeichnen wie Überflutungen, Starkniederschläge, Sturm, Dürren sowie Hagel. Dadurch wurden die Erträge der Landwirtschaft beeinträchtigt und die Entschädigungsleistungen der Pflanzenbauversicherer stiegen im selben Zeitraum (GÖMANN & FRÜHAUF 2016). Klimavorhersagen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts prognostizieren eine weitere Zunahme an Extremwetterlagen, wodurch sich das Produktionsrisiko für landwirtschaftliche Betriebe weiter erhöhen wird (MOHR 2013; PACHAURI et al. 2014; BUTH et al. 2015; GÖMANN et al. 2015).

2.1.1 Witterungsverlauf im Jahr 2016

Nachfolgend ist der Witterungsverlauf des Jahres 2016 anhand von Messwerten der Wetterstation vom DLR (Dienstleistungszentrum ländlicher Raum) in Bechtheim (ca. 5 km von der Versuchsfläche entfernt) aufgeführt. Das Jahr 2016 stellte viele Winzer bezüglich des Pflanzenschutzes vor große Herausforderungen, da die Monate April, Mai und Juni mit 229 l m^{-2} deutlich niederschlagsreicher waren als der Referenzzeitraum (1961 bis 1990) mit 182 l m^{-2} . Durch diese lang anhaltende Regenperiode mit verhältnismäßig warmen Temperaturen waren ideale Infektionsbedingungen für *Plasmopara viticola* gegeben (WAGENITZ 2017). Bei der Betrachtung der Niederschlagsverteilung des Jahres 2016 war erkennbar, dass im Frühjahr ca. 26 % mehr Regen als im Referenzzeitraum niederging. Jedoch stellte sich im Juli bis spät in den September eine Schönwetterperiode mit hohen Temperaturen und wenig Niederschlag ein, was zu Traubenverletzungen durch Sonnenbrand führte. Rein rechnerisch fielen im Jahr 2016 ca. 5 % weniger Niederschlag als im Referenzzeitraum. Die abweichende Verteilung vom langjährigen Mittel stellte somit eine große Herausforderung dar (ANONYM 2016; WAGENITZ 2017). Bei der Anzahl der Sonnenstunden fällt auf, dass im Jahr 2016 gegenüber den Jahren 1961 bis 1990 ca. 18 % mehr Sonnenstunden aufgezeichnet wurden (AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018).

Literaturübersicht

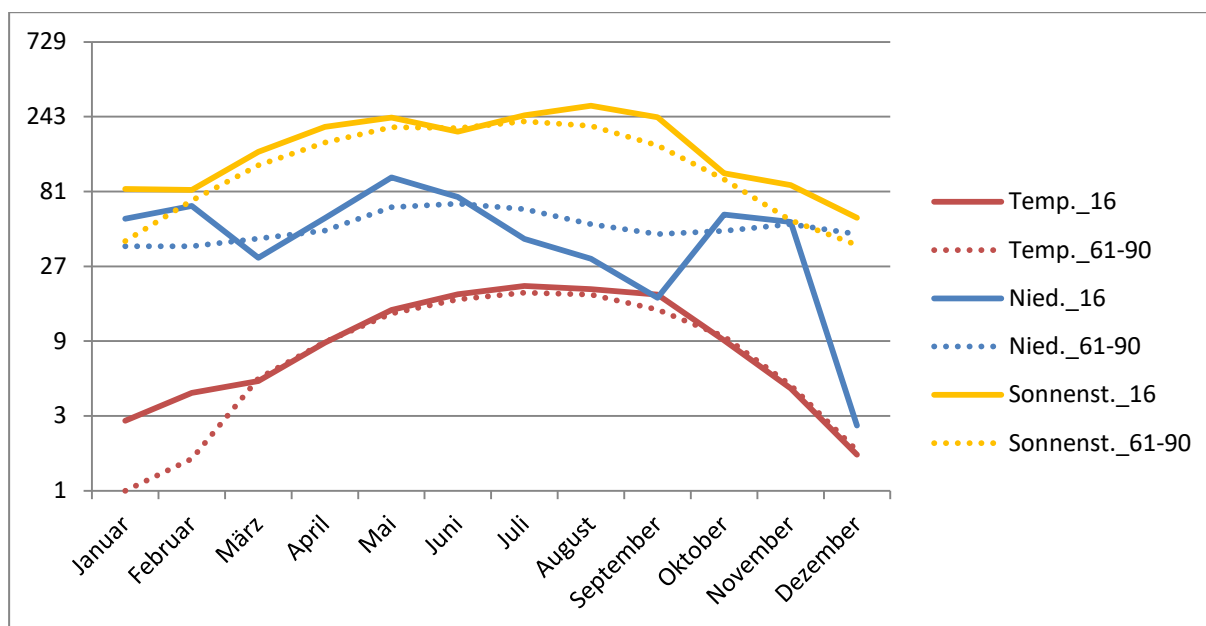


Abb. 1: Witterungsverlauf im Jahr 2016, Temp._16= Monatsmitteltemperatur (°C) in 2 m, Temp._61-90= Monatsmitteltemperatur (°C) des langjährigen Mittels von 1961 bis 1990, Nied._16= Summe des Monatsniederschlages (l m^{-2}), Nied._61-90= Summe des Monatsniederschlages (l m^{-2}) gemittelt über das langjährige Mittel von 1961 bis 1999, Sonnenst._16= Summe der monatlichen Sonnenstunden (h), Sonnenst._61-90= Summe der monatlichen Sonnenstunden (h), gemittelt über das langjährige Mittel von 1961 bis 1990

Quelle: AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018, eigene Darstellung

2.1.2 Witterungsverlauf im Jahr 2017

Neben dem Versuchsjahr 2016 konnte auch für das Jahr 2017 der Witterungsverlauf durch die Wetterstation in Bechtheim des DLR dokumentiert werden (vgl. Kapitel 2.1.1). Das Jahr 2017 begann mit deutlichem Niederschlagsdefizit und erhöhten Sonnenscheinstunden. Gerade in den Monaten Januar bis April wurden nur $\approx 55 \text{ l m}^{-2}$ Niederschlag festgestellt. Für den Referenzzeitraum (1961 bis 1990) wurden $\approx 159 \text{ l m}^{-2}$ angegeben, somit ergab sich ein rechnerisches Defizit von 65 %. Des Weiteren waren die Monatsdurchschnittstemperaturen von Februar und März $\approx 3^\circ\text{C}$ wärmer als das langjährige Mittel. Dies führte zu einem sehr frühen Rebenaustrieb, der bis zu vier Wochen früher als gewöhnlich stattfand. Begleitet wurden diese erhöhten Temperaturen von intensivem Sonnenschein, sodass für die Monate Januar bis April ein Plus von ≈ 300 Sonnenscheinstunden aufgezeichnet werden

Literaturübersicht

konnte. Jedoch sanken die Minimumtemperaturen, in zwei Meter Höhe an der Wetterstation, in den Morgenstunden des 19. und 20.04.2017 auf $-1,9^{\circ}\text{C}$ bzw. $-3,8^{\circ}\text{C}$, sodass in Folge dieser starken Abkühlung der Luft teilweise, je nach Rebsorte und Weinlage, starke Frostschäden hervorgingen. Trotz des Spätfrostes war über alle phänologischen Stadien eine Verfrühung feststellbar, sodass die Hauptlese in Rheinhessen bereits in der ersten Septemberwoche begann. Aufgrund des niederschlagsreichen Augustes ($\approx 68\%$ mehr Niederschlag als 1961-1990) mussten vor allem frühe Rebsorten fäulnisbedingt vor der physiologischen Reife geerntet werden. Späte Rebsorten (bspw. Riesling) konnten durch die anschließende trockene und sonnenreiche Wetterphase zum idealen Zeitpunkt gelesen werden. Durch Unwetter mit spätem Hagelschlag und den Spätfrostschäden wurde in Rheinhessen $\approx 20\%$ weniger geerntet als im Jahr 2016 (KERN 2017; AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018).

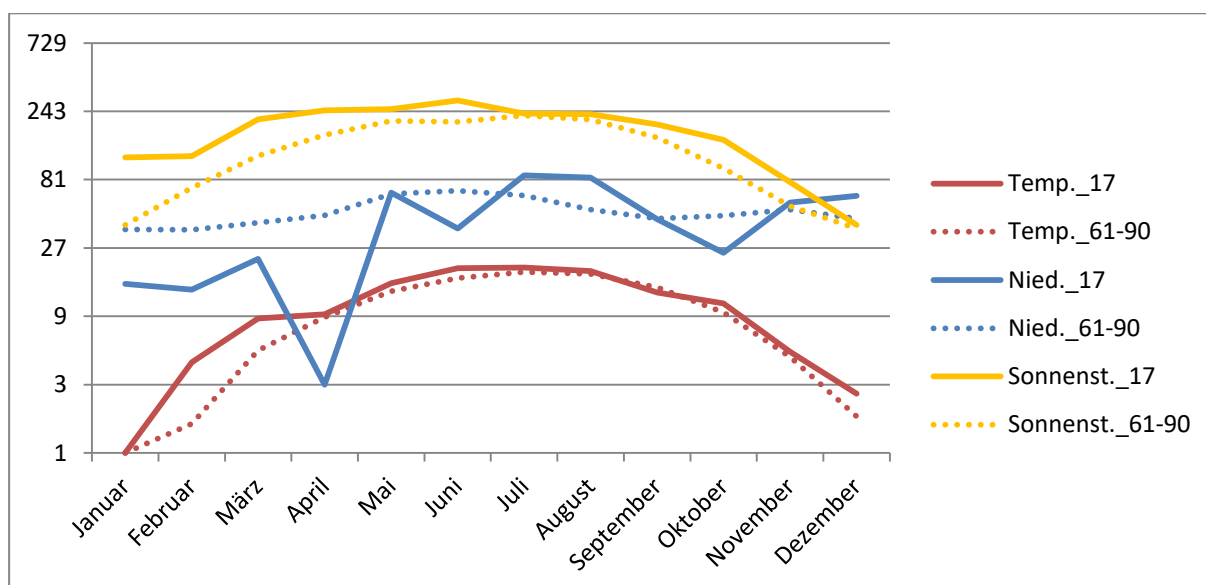


Abb. 2: Witterungsverlauf im Jahr 2017, Temp._16= Monatsmitteltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) in 2 m, Temp._61-90= Monatsmitteltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) des langjährigen Mittels von 1961 bis 1990, Nied._16= Summe des Monatsniederschlages (l m^{-2}), Nied._61-90= Summe des Monatsniederschlages (l m^{-2}) gemittelt über das langjährige Mittel von 1961 bis 1999, Sonnenst._16= Summe der monatlichen Sonnenstunden (h), Sonnenstu._61-90= Summe der monatlichen Sonnenstunden (h), gemittelt über das langjährige Mittel von 1961 bis 1990

Quelle: AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018, eigene Darstellung

2.1.3 Entstehung von Hagel

Wie im Kapitel 2.1 ‚Wetter und Klima‘ beschrieben, ist das Wettergeschehen in der Troposphäre vorzufinden, die folglich auch als Wetterschicht bezeichnet wird. Ein großer Bestandteil dieser Wetterschicht ist Wasser, welches dort in allen drei Aggregatzuständen vorzufinden ist: in gasförmiger Form als Wasserdampf, flüssig als Regen und fest in Form von Schnee oder Eis (HÄCKEL 2012; MOHR 2013).

Die Mechanismen, die zur Entstehung eines Hagelschlages führen, sind sehr komplex und zum Zeitpunkt der Anfertigung dieser Ausarbeitung noch nicht vollends wissenschaftlich entschlüsselt. Jedoch sind bereits einige allgemeingültige Theorien und Definitionen getroffen worden. So ist ein Hagelniederschlag nach der World Meteorological Organization (WMO) als fester gefrorener Niederschlag mit einer Mindestgröße von 5 mm definiert, bei geringeren Durchmessern wird von Graupel gesprochen (WMO 1975). Zur Bildung eines Hagelniederschlages sind Gewitterstürme notwendig, die auch als konvektive Wettersysteme bezeichnet werden. Charakteristisch für konvektive Wettersysteme sind eine thermische Instabilität der Atmosphäre. Diese entsteht, wenn verschiedene Luftpakete in horizontaler und vertikaler Ausrichtung, aufgrund ihrer unterschiedlichen Temperatur, die Höhe ändern. In Deutschland können sich diese Gewitterstürme ausbilden, wenn bspw. schwüle Mittelmeerluft auf kühlere Luftschichten trifft. Dieses Wetterereignis wird auch als Kaltfrontgewitter bezeichnet (ORLANSKI 1975; KNIGHT & KNIGHT 2001; HÄCKEL 2007, 2012; MOHR 2013). Darüber hinaus können Gewitter entstehen, wenn feuchte Luftmassen zügig bodennah erwärmt werden und ungehindert bis zur Tropopause aufsteigen. Diese Charakteristik ist typisch für Wärmegewitter die aus extrem schwülen Witterungen hervorgehen (LANGNER et al. 2002). Die benötigte Energie für solche Gewitterstürme wird durch physikalische Prozesse, wie z. B. der Verdunstung (Energie wird entzogen) und durch Kondensation (Energie wird freigesetzt) bereitgestellt und umgewandelt (MOHR 2013). Hagel tritt meist nur in Gebieten mit lokaler Begrenzung auf, da über die Hälfte aller landwirtschaftlichen Schadensfälle im Pflanzenbau durch Hagelschlag aus Wärmegewittern resultieren, die eine geringe räumliche Ausdehnung aufweisen. Jedoch können aus Kaltfronten heraus intensive Hagelniederschläge entstehen, die Hagelzüge von 10 km Breite und mehr als 100 km Länge bilden. Diese verlaufen meist unter Einfluss des Golfstromes

Literaturübersicht

von Südwesten nach Osten (KNOLL 1964; ORLANSKI 1975; LANGNER et al. 2002). Jedoch ist die räumliche Verteilung sowie die Hagelschlagwahrscheinlichkeit in einem bestimmten Gebiet unregelmäßig, wie langjährige Schadensaufzeichnungen von Pflanzenbauversicherungen zeigen (LANGNER et al. 2002).

Bildet sich aus diesen Wetterlagen eine Gewitterwolke, auch Kumulonimbuswolke genannt, enthält jene meist große Mengen an Wasserdampf. In diesen Wolken sind nur geringe Mengen an Eis-Kristallisationskeimen (engl.: ice forming nuclei, IN) vorhanden sowie Temperaturen von bis zu -40 °C , sodass eine große Menge unterkühltes Wasser vorzufinden ist. Durch die stetige Kondensation der unterkühlten Tropfen wird latente Wärme freigesetzt, die wiederum als kinetische Energie in eine Vertikalbewegung von Luftpaketen umgesetzt wird, was als Prozess der Feuchtkonvektion bezeichnet wird (AMS 2000; MOHR 2013). Die durch das Kondensieren des Wassers zusätzlich entstandene Konvektion hat zur Folge, dass in diesen Wolken sehr starke Aufwinde mit Windgeschwindigkeiten von mindestens 20 m s^{-1} erreicht werden. Diese in der Wolke aufsteigenden Luftpakete werden ab einer Höhe von ca. 8.000 m von der Tropopause, die bis zu ca. 12.000 m reichen kann, daran gehindert weiter emporzusteigen. Daher breiten sich diese Luftpakete zunehmend seitlich am oberen Ende der Wolke aus, wodurch die typische Amboss-Wolken-Form einer Kumulonimbuswolke zu erklären ist (vgl. **Abb. 3**) (HÄCKEL 2012).

Literaturübersicht

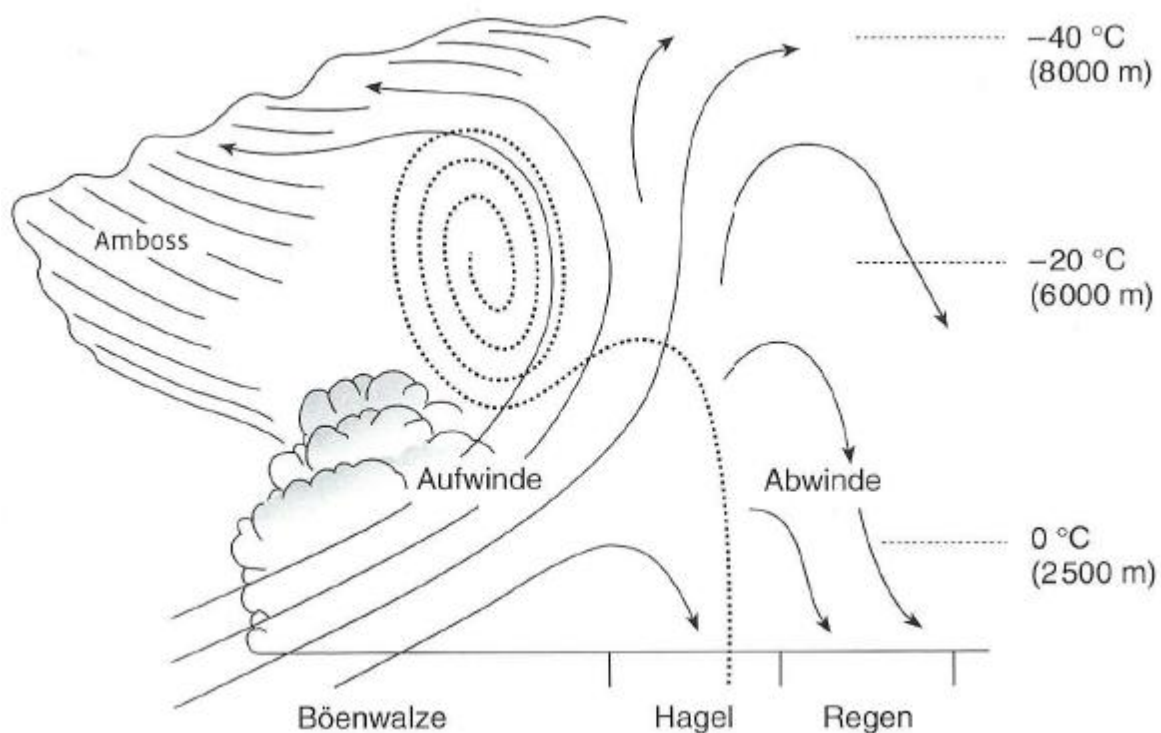


Abb. 3: Schematischer Querschnitt einer Kumulonimbuswolke, Punktlinie deutet möglichen Verlaufsweg eines Hagelschloßes

Quelle: HÄCKEL 2007

Die Entstehung von Hagelschloßen ist letztlich auf die Bildung von Eiskristallen und unterkühlten Tropfen aus der Dampfphase zurückzuführen, was auch als Nukleation bezeichnet wird. Dies geschieht entweder als homogene oder heterogene Nukleation. Bei der homogenen Nukleation bilden sich Eiskristalle nur aus unterkühltem Wassertröpfchen (supercooled water). Dies ist erst bei Temperaturen $< -35\text{ °C}$ möglich, auch entstehen verhältnismäßig kleine und instabile Eiskristalle. Folglich ist die homogene Nukleation von untergeordneter Bedeutung in der Troposphäre (PRUPPACHER & KLETT 1997; FEICHTER 2003; MOHR 2013).

Die heterogene Nukleation wird noch weiter in Eis- und Flüssigwassernukleation unterteilt. Damit eine Eisnukleation stattfinden kann, werden spezielle IN benötigt. Diese sind meist wasserunlösliche Aerosolpartikel, wie bspw. Rußpartikel, Mineralstäube oder auch Silberjodid. Dementsprechend entstehen Eiskristalle bei der Eisnukleation durch Deposition (Aggregatsänderung von gasförmig zu fest), was durch das Zusammentreffen von unterkühltem Wasserdampf und IN ausgelöst wird. Ab welchem Gefrierpunkt Eiskristalle gebildet werden können, ist maßgeblich von

Literaturübersicht

der mikrophysikalischen Eigenschaft der IN abhängig. Je nach Art und Beschaffenheit von Rußpartikel oder Mineralstaub sind Gefrierpunkte von -20°C bis -10°C notwendig. Bei Silberjodid hingegen erhöht sich der Gefrierpunkt auf -8°C bis -4°C (PRUPPACHER & KLETT 1997; MOHR 2013).

Unter der Flüssigwassernukleation ist die Bildung von Wassertropfchen durch Kondensation von Wasserdampf an Kondensationskeimen (engl.: cloud condensation nuclei, CCN) zu verstehen. Als CCN können Aerosole dienen, die durch ihre mikrophysikalischen Eigenschaften das Anlagern von Wasser ermöglichen (DUSEK et al. 2006; MOHR 2013).

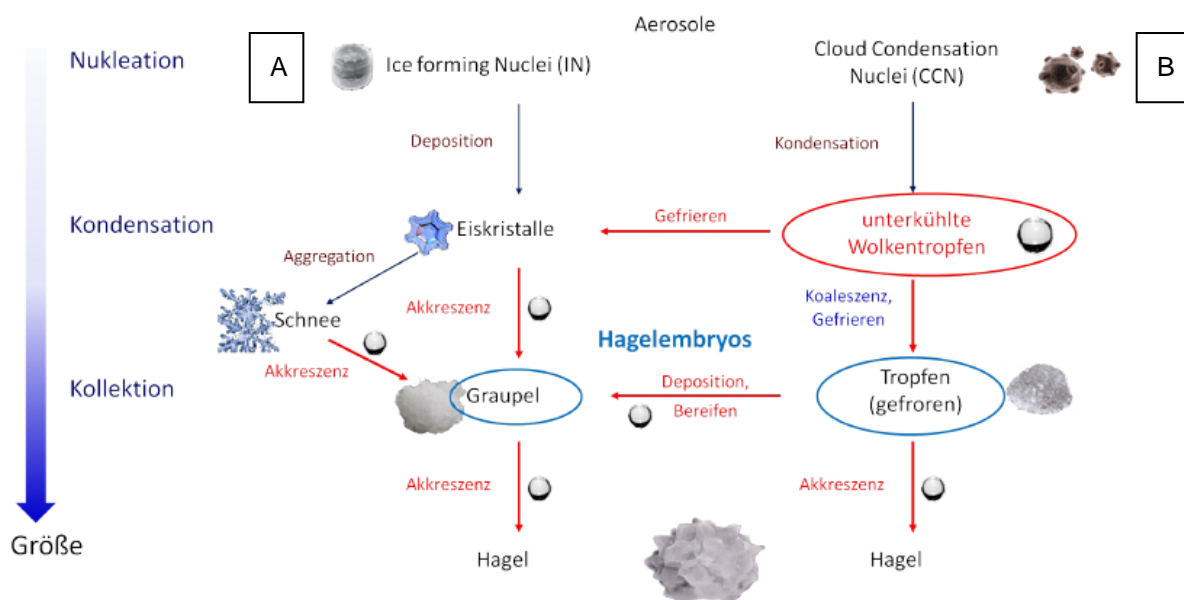


Abb. 4: Schematische Darstellung der Entstehung von Hagel als heterogenen Eis- [A] und Flüssigwassernukleation [B]
 Quelle: KNIGHT & KNIGHT 2001, überarbeitet von MOHR 2013

Treffen in der Wolke unterkühlte Wassertropfchen auf Eiskristalle bzw. Schnee, so können Graupel oder gefrorene Tropfen entstehen, die auch als Hagelembryos bezeichnet werden. Wassertropfchen können durch Koagulation (Kollisionen) und Koaleszenz (Zusammenfließen von Wassertropfchen) anwachsen (vgl. **Abb. 4**) (ORLANSKI 1975; PRUPPACHER & KLETT 1997; MOHR 2013).

In **Abb. 3** ist ein schematischer Querschnitt durch eine solche Gewitterwolke aufgezeigt. Die gepunktete Linie stellt einen möglichen Verlauf eines Hagelembryos

bis hin zum Verlassen der Wolke als Hagelkorn dar. Nachdem aus dem Hydrometeor ein schwereres Hagelschloß herangewachsen ist, besteht die Möglichkeit, dass es von der Erdanziehungskraft verstärkt in Richtung Erdoberfläche beschleunigt wird. Beim Herabfallen in der Wolke kann dieses erneut von Aufwinden in der Kumulonimbuswolke erfasst und in Richtung der Tropopause befördert werden. Sowohl auf dem Weg zum oberen Ende der Wolke als auch auf dem anschließenden Weg zum unteren Ende vermag das Hagelkorn durch Anlagerung von Eisschichten weiter zu wachsen und an Gewicht zu gewinnen. So ist es auch zu erklären, dass Hagelschloße oft einen schichtartigen Aufbau und / oder unterschiedliche Formen haben (vgl. **Abb. 3** und **Abb. 5**).

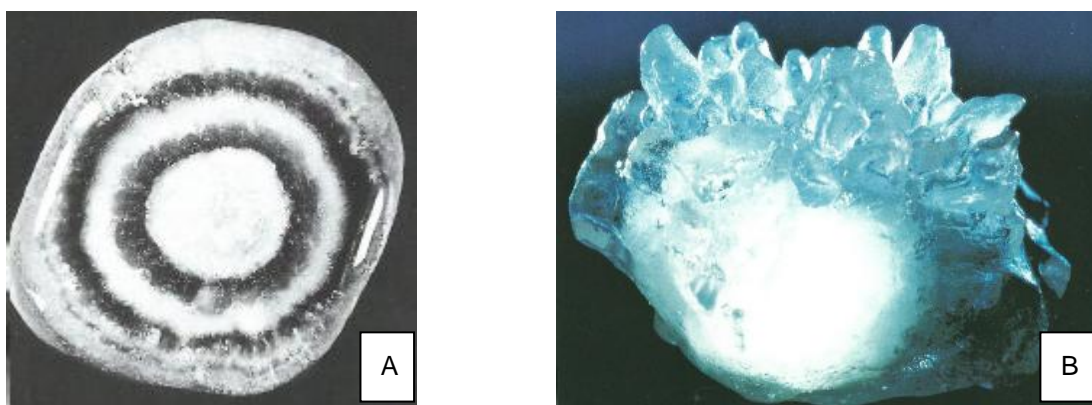


Abb. 5: [A] Querschnitt durch ein Hagelschloß, schichtartiger Aufbau; [B] Hagelschloß, Form verdeutlicht Aggregation von verschiedenen großen Hagelschloßen

Quelle: HÄCKEL 2007

Dieser Vorgang kann sich einige Male wiederholen bevor das Hagelkorn seitlich aus der Wolke herausfällt oder seine Masse größer wird als die Kraft des Aufwindes und es zu Boden stürzt. Neben der Erdbeschleunigung kann der Hagel durch die Abwinde der Wolke eine zusätzliche Beschleunigung in Richtung Erdoberfläche erfahren. Erreichen die Hagelschloße beim Verlassen der Wolke einen Durchmesser von mehr als 10 cm, tauen sie für gewöhnlich auf dem Weg zum Erdboden nicht mehr auf, sodass ein Hagelschlag die Folge ist (HÄCKEL 2007; KASCHUBA 2008; HÄCKEL 2012; SCHÖNWIESE 2013). In **Tab. 2** ist eine Übersicht aufgeführt, die zeigt wie sich die Hagelgröße auf das Schadensausmaß auswirkt.

Literaturübersicht

Tab. 2: Einteilung von Hagelniederschlag (Hagelintensitätsskala Stand 2008)

Durchmesser [mm]	Fallgeschwindigkeit [km h ⁻¹]	Aufprallenergie [Joule]	Vergleichsbeschreibung	Schadenspotenzial
5 - 10	35 - 49	0,005 - 0,046	Linsen / Erbsen	Kleinhagel: meist nur agrarrelevante Schäden
15 - 20	49 - 69	0,222 - 0,7	Haselnuss / 20 Cent Stück	kleiner bis mittelgroßer Hagel: überwiegend Schäden im Agrarbereich, besonders schlimm in Kombination mit Sturm
25 - 30	78 - 92	1,8 - 6,7	1 Euro / Taubenei	mittelgroßer Hagel: erste Schäden an Autos und Glasflächen, schwere Schäden im Agrarbereich
40 - 50	98 - 110	11,4 - 28,1	Tischtennisball I / Hühnerei	großer Hagel: bedeutende Schäden auch an Autoscheiben, schwere Schäden im Agrarbereich mit nachhaltiger Schädigung
55 - 70	115 - 130	40,8 - 107,5	Billardkugel / Tennisball	Großhagel: Indiz für Superzelle, Beschädigung von Dachziegeln und Dachfenster, Totalschäden in der Landwirtschaft, Tod von Vögel und Kleintieren, Gefahr von Prellungen und Platzwunden bei Menschen
75 - 100	134 - 155	140,5 - 445,5	Baseball / Gänseei	sehr großer Hagel: faustgroßer Hagel, meist nur außerhalb des Hauptniederschlages, schwere Schäden an Dächern, Durchschlagen von Welldächern, Dachziegeln, Dachfenstern, Totalschäden im Agrarbereich, abschlagen von größeren Ästen, für Mensch und Tier Verletzungen oder sogar Tötung möglich
105 - 200	159 - 219	542,7 - 7115	Kokosnuss / Volleyball	Riesenhagel: (gaint hail), meist nur außerhalb des Hauptniederschlages, vereinzelt extreme Schäden, katastrophale und extreme Schäden in allen Bereichen, Lebensgefahr für Mensch und Tier, Straßenschäden, Schäden an Mauerwerk / Dachstuhl möglich

Quelle: verändert nach KASCHUBA 2008

2.1.4 Jahreszeitliche Wahrscheinlichkeit eines Hagelschlages

Wie zuvor im Kapitel 2.1.3 ‚Entstehung von Hagel‘ beschrieben, sind Gewitter für die Entstehung von Hagel notwendig. Die Gewitterhäufigkeit in Deutschland ist sehr unterschiedlich. So ist in nördlichen Städten, wie z. B. Hannover, Kiel oder Lübeck, mit durchschnittlich 20 Gewittertagen pro Jahr zu rechnen. Richtung Süden nehmen die Gewitterhäufigkeit sowie die Hagelgefährdung zu und steigen besonders in Richtung der Alpen an. In Städten wie Freiburg, Stuttgart oder München werden im Jahresdurchschnitt 30 Gewitter dokumentiert. Neben den räumlichen Unterschieden schwankt die Wahrscheinlichkeit auch im Laufe eines Jahres, wobei im mitteleuropäischen Raum der Juli der gewitterreichste Monat ist (KNOLL 1964; HÄCKEL 2012; PUNGE & KUNZ 2016; PUSKEILER et al. 2016). In Mitteleuropa verlaufen großräumige Hagelzüge oftmals unter dem Einfluss des Golfstromes von Südwesten nach Osten (LANGNER et al. 2002). In Simulationsmodellen zeigte MOHR (2013) auf, dass sich das Hagelrisiko seit 1978 in Deutschland erhöht hat und bis zum Jahre 2050 noch weiter steigen könnte.

Nachfolgend ist in **Abb. 6** eine Hagelhäufigkeitsverteilung für die Jahre 2006 bis 2016 anhand von Schadensdaten der VEREINIGTEN HAGEL aus allen deutschen Weinanbaugebieten aufgezeigt. Die Verteilung ist nach Monaten mit eingetretenen Versicherungsfällen (April bis Oktober) der entsprechenden Jahre aufgelistet und über die entschädigte Fläche auf der Ordinatenachse aufgetragen. Unter dem Begriff entschädigte Fläche ist zu verstehen: Jede versicherte Weinbergsfläche, die bei der VEREINIGTEN HAGEL gegen Hagelschlag versichert war und für die im Zuge der Schadenregulierung ein finanzieller Ausgleich geleistet wurde.

Literaturübersicht

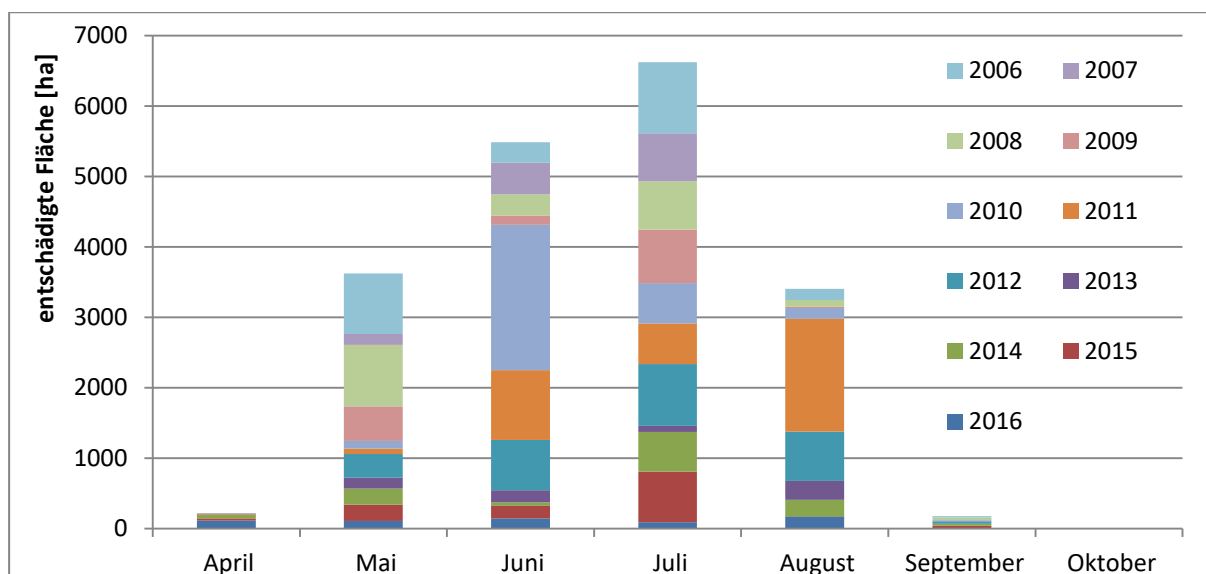


Abb. 6: Hagelhäufigkeitsverteilung der Jahre 2006 bis 2016 an *Vitis vinifera* L., Schadensdaten aus allen deutschen Weinanbaugebieten, keine Hagelschäden in den Monaten Januar bis März sowie November und Dezember

Quelle: VEREINIGTE HAGEL VVAG 2018a

Wie aus Abb. 6 hervorgeht, traten Schäden in den Jahren 2006 bis 2016 von April bis September auf, wobei die Monate mit nennenswerten Hagelschäden Mai, Juni, Juli und August waren. Besonders viele Schäden durch einen Hagelschlag an *Vitis vinifera* L. waren 2006 in den Monaten Mai (861 ha) und Juli (1.007 ha) sowie 2011 im Juni (992 ha) und August (1.604 ha) sowie 2012 in den Monaten Juni (714 ha), Juli (878 ha) und August (703 ha) zu verzeichnen. Die Monate April, September und Oktober sind mit einer geschädigten Fläche von < 220 ha deutlich weniger gefährdet gewesen. Darüber hinaus ist aus der **Abb. 6** ersichtlich, dass im Betrachtungszeitraum 2006 bis 2016 der Monat Juli mit einer geschädigten Fläche von 6.624 ha der hagelintensivste Monat war.

2.1.5 Hagelabwehr

Seit Anbeginn der Wetteraufzeichnungen gab es immer wieder Gewitterzellen, die durch Hagelschlag, u. a. in der Landwirtschaft und besonders im Weinbau, schwere Schäden verursachten, wie z. B. in den Jahren 2004 und 2005 im Markgräflerland, 2009 am Bodensee, 2010 in der Pfalz (LITTEK et al. 2011) oder 2011 an der Mittelmosel, in der Ortenau und dem Wonnegau (RUPP 2012). Aufgrund des hohen Gefahrenpotenzials wurden im Laufe der Zeit verschiedene Methoden entwickelt, einen Hagelschaden abzuwehren bzw. zu minimieren. Bei der Vermeidung von Hagelschäden gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Strategien. Zum einen existieren passive Möglichkeiten wie Versicherungen, die nach einem Hagelschaden den Verlust finanziell ausgleichen oder Hagelnetze, deren Ziel es ist, erst gar keinen Schaden entstehen zu lassen. Zum anderen kann durch aktives Bekämpfen von Gewitterwolken versucht werden, einen Hagelschlag zu vermeiden oder abzumildern (LITTEK et al. 2011; SANDER 2014). Nachfolgend sollen diese zwei grundlegend verschiedenen Möglichkeiten näher erörtert werden.

2.1.5.1 Passiver Hagelschutz

Um den monetären Ertragsausfall abzusichern, bietet sich eine Hagelversicherung an. Hierbei legt der Winzer jährlich in einem Anbauverzeichnis einen Hektarwert (ha-Wert) für seine Parzellen fest, der im Schadensfall als Berechnungsgrundlage dient. So erstattet der Versicherer, z. B. bei einem 50 %-igen Ertragsverlust durch Hagelschlag, einer ein ha großen Parzelle die Hälfte des ha-Wertes. Unter den deutschen Pflanzenbauversicherern ist der übliche Versicherungsgegenstand der mengenmäßige Ertragsverlust von Bodenerzeugnissen eines Jahres. Nach Eintritt eines Versicherungsfalles zeigt der Versicherungsnehmer seinen Schaden dem Versicherer an. Der Versicherer entsendet wiederum Gutachter, die den prozentualen mengenmäßigen Ertragsverlust (Schadensquote) durch Bonituren feststellen. Für die Kulturart Wein kann mittels Zusatzversicherungen neben dem Rebholz (bspw. Junganlagenversicherung) auch die Qualität über eine pauschale Erhöhung der Schadensquote mit abgesichert werden. Des Weiteren können

Literaturübersicht

Selbstbehalte oder Eigenanteile vereinbart werden, hierbei trägt der Versicherungsnehmer entweder feste Prozentpunkte von jeder Schadensquote eines betroffenen Schlages oder einen von der Versicherungssumme abhängigen fixen Geldwert selbst (VEREINIGTE HAGEL VVAG 2018b).

Zur Berechnung der Versicherungsprämie eines Betriebes ist die Versicherungssumme (ha-Wert x Fläche) maßgebend, da von der Versicherungssumme ein fester prozentualer Wert als Prämie zu entrichten ist. Je nach örtlichem Hagelrisiko und der Versicherungsdichte schwankt dieser Wert. Der bundesweite durchschnittliche Beitragssatz für die Kultart Wein belief sich im Jahr 2017 auf 3,2 %. Folglich beträgt die Prämie um einen ha Rebland gegen Hagelschlag zu versichern 320 €, bei einem angenommenen ha-Wert von 10.000 € (VEREINIGTE HAGEL VVAG 2018a).

Neben einer Versicherung stellt das Hagelschutznetz eine weitere Möglichkeit des passiven Hagelschutzes dar. Dieses wird an bestehenden Rebanlagen durch seitliches Bespannen der Laubwand in Zeilenrichtung angebracht.



Abb. 7: [A] Installiertes Hagelschutznetz der Firma Whailex an Weinreben, [B] installiertes Insektenschutznetz der Firma Whailex

Quelle: [A] eigene Aufnahme 2017, [B] WHAILEX 2018

Diese Hagelschutznetze besitzen i. d. R. eine Maschenweite von 8 mm x 3 mm und haben die primäre Aufgabe, die darunter liegende Kultur vor mechanischen Beschädigungen durch Hagelschlag zu schützen. Neben diesen Punkten gibt es noch sekundäre Vorteile, wie z. B. bis zu 80 % AKh-Ersparnis bei der Heftarbeit,

Literaturübersicht

erhöhter Schutz vor Vogel- und Wespenfraß, Reduzierung der photosynthetisch aktiven Strahlung um 15 % - 20 % sowie ein ca. 0,50 °C kühleres Mikroklima, sodass sich die Sonnenbrandgefahr reduziert. Darüber hinaus verändert sich die relative Luftfeuchte kaum, wodurch in normalen Jahren keine erhöhte Infektionsgefahr von *Plasmopara viticola*, *Oidium tuckeri* oder *Botrytis cinerea* zu erwarten ist. Die Anschaffungskosten betragen ca. 13.500 € ha⁻¹, bei einer Nutzungsdauer von ca. 15 Jahren. Außerdem sind leichte mechanische Verletzungen der grünen Rebteile und Trauben durch Wind möglich. Auch werden 1 - 1,5 AKh ha⁻¹ für das Auf- und Abkurbeln der Netze mit einer Handkurbel benötigt. Ferner können auch batteriebetriebene Bohrmaschinen für das Aufkurbeln verwendet werden, sodass sich durch einen höheren Kosteneinsatz Zeitvorteile generieren lassen (LITTEK et al. 2011).

Neben dem Hagelschutznetz kann ein engmaschiges Insektenschutznetz (0,27 mm x 0,77 mm) in Rebanlagen installiert werden. Dieses wird hauptsächlich zur Prävention von *Drosophila*-Arten und weiteren Fluginsekten verwendet. Darüber hinaus bietet es einen gewissen Regenschutz für die darunter befindlichen Früchte (WHAILEX 2018).

2.1.5.2 Aktiver Hagelschutz

Bei dieser Hagelschutz-Strategie wird aktiv versucht, eine Gewitterzelle physikalisch zu manipulieren, um Hagelschäden abzumildern oder zu verhindern. Hierbei sind vornehmlich die Methoden Hagelkanone und Silberjodid-(AgI)-Impfung der Gewitterzellen zu nennen. Das Prinzip der Hagelkanone beruht darauf, dass durch den Schalldruck einer kontrollierten Explosion die Aufwinde in einer Gewitterwolke unterbrochen werden sollen, wodurch die Bildung von Hagel verhindert werden soll (WIERINGA & HOLLEMAN 2006; LUX 2018). Bei der Gewitterzellenimpfung werden hingegen kleine Silberjodid-Partikel in die Wolken gebracht, die als Kristallisationskeime dienen (vgl. Kapitel 2.1.3 ‚Entstehung von Hagel‘). Aufgrund der höheren Anzahl der Kondensationskeime entstehen anstelle von großen Hagelkörnern mehr kleinere Hagelschloße, die im Idealfall beim Herabfallen auftauen und auf der Erdoberfläche als Regen ankommen (LUX 2018).

Literaturübersicht

Die AgI-Impfung kann über stationäre Generatoren am Boden sowie Raketen, die in die Gewitterzellen geschossen und dort durch eine Detonation das Gemisch freisetzen oder mittels an Flugzeugen montierten Silberjodid-Aceton-Brenner praktiziert werden (DESSENS et al. 2016). In jüngster Zeit können auch AgI-Fackeln aus Flugzeugen oberhalb von Gewitterwolken abgeworfen werden, um so das Silberjodid genauer platzieren zu können (RUPP 2012). Bei der aktiven Hagelabwehr ist die Methode der Wolkenimpfung mittels Flugzeug und eines Silberjodid-Aceton-Brenners in den westlichen Industrieländern am verbreitetsten. Die Methode der Hagelkanone und der Wolkenimpfung sind sehr umstritten, da die wissenschaftlichen Wirkungsnachweise im Freiland äußerst schwierig zu führen sind. Dies resultiert vornehmlich aus dem Problem, dass eine Einteilung in Nullvariante und Behandlung nahezu unmöglich ist (RUPP 2012; ALTMAYER & GERLING 2015). Darüber hinaus kann mit heutigen Messverfahren nicht aufgezeigt werden, ob eine geimpfte Wolke ohne den Einsatz von Silberjodid natürlicherweise ohne Hagelniederschlag geblieben wäre, bzw. eine nicht geimpfte Gewitterzelle, die zu Hagelschäden geführt hat, durch den Einsatz einer Impfung keinen Hagel hervorgerufen hätte (BECKER 2012; HÄCKEL 2012; RUPP 2012). Aus verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen ist bislang kein eindeutiger Trend über die Wirksamkeit abzuleiten. Daher soll die nachfolgende **Tab. 3** ‚Literaturübersicht zur Hagelabwehr mittels AgI-Impfung‘ eine Orientierung über die Literatur und deren Kernaussagen im Bezug auf die Wirksamkeit der Wolkenimpfung mit AgI bieten.

Neben dem Ziel den Hagelschlag durch die AgI-Impfung zu vermeiden, besitzt das Silberjodid auch eine antimikrobielle Wirkung, die das Potenzial hat die Umwelt negativ zu verändern (ALTMAYER & GERLING 2015). ALTMAYER & GERLING (2015) entnahmen in ihrer Untersuchung immer wieder Proben an Seen, Flüssen und Gewässern nach Einsätzen des Hagelfliegers im Weinanbaugebiet Pfalz. Jedoch blieben die Konzentrationen an AgI unter der Nachweisgrenze von $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$.

Literaturübersicht

Tab. 3: Literaturübersicht zur Hagelabwehr mittels AgI-Impfung

Publikation	Methode der AgI Ausbringung	Methode der Hagelschlag-Feststellung	Kernaussage
KRAUSS & SANTOS 2004	Flugzeug, AgI-Aceton-Brenner	Wetterradar	2,2-mal mehr Niederschlag (Regen) aus geimpften Wolken
SVABIK 2005	Flugzeug, AgI-Aceton-Brenner	Polystyrol-Platten (eng. Hailpads), Versicherungs-Daten, Wetterstationen	Untersuchungszeitraum 1981 bis 2000, Veränderung des Hagelkornspektrums: Spektrum bis 5 mm Zunahme um 15 %. Abnahme der Klassen 10, 15 und 20 - 35 mm, Abnahme der Tage mit Hagel von 4,60 auf 3,80, keine klare Tendenz zur Zu- oder Abnahme der durchschnittlichen Energiewerte eines Hagelschlages
CHEN & XIAO 2010	Simulation an einem 3-D Wolkenmodell	Simulation an einem 3-D Wolkenmodell	20 % - 30 % mehr Niederschlag, sowohl als Regen, Graupel, Hagel durch Wolkenimpfung
DESSENS et al. 2016 'The French network'	Boden AgI-Generatoren	Polystyrol-Platten (eng. Hailpads)	ca. 50 % reduzierte kinetische Hagelenergie (kleinere Hagelschloße), in einem 531 km ² großem Gebiet mit 120 g AgI 3h ⁻¹ . Referenzgebiet 531 km ² mit 11 g 3h ⁻¹
DESSENS et al. 2016 'The Catalonia network'	Boden AgI-Generatoren	Polystyrol-Platten (eng. Hailpads)	schwache negative Korrelation (-0,23) der größten Hagelkörner zwischen geimpften Gewitterzellen im Versuchszeitraum 2000 - 2004 und in nicht geimpften Gewitterzellen (2005 - 2009)
SCHMID 1967	Boden AgI-Generatoren	Wetterstationen	20 - 40 % mehr Niederschlagsmenge (Regen) nach Wolkenimpfung gegenüber ungeimpften Wolken, leichte Zunahme von Tagen mit Hagelschlag
IRIBARNE & GRANDOSO 1965	Boden AgI-Generatoren	% Schaden sowie Schadensfläche durch Sachverständige einer Versicherung an <i>V. vinifera</i> L.	bei Gewittern aus Kaltfronten ca. 53 % weniger Schaden, bei allen übrigen Wetterbedingungen eine Schadenszunahme von 38 % (durchschnittlicher Schaden einer Region)

2.2 Weinanbau in Deutschland

Zur Kultivierung der Weinrebe sind zahlreiche Erziehungsformen bekannt. Je nach geografischem Standort und Produktionsziel kommen andere Erziehungsformen der Rebe zur Anwendung (KADISCH et al. 1999; MEND 2013). So werden bspw. an stürmischen und trockenen Küstenregionen Weintrauben in kleinen gegrabenen Senken ohne Unterstützungsvorrichtung produziert. Auch werden teilweise aufwendige Pergolakonstruktionen (wie z. B. in Südtirol) aufgestellt, um der Rebe eine Unterstützungsvorrichtung zum Wachsen zu bieten. (KADISCH et al. 1999; KELLER 2010). Im deutschen Weinbau hat sich die Spalierdrahtrahmenerziehung etabliert, da diese für unsere Breitengrade ideale Bedingungen zur Traubenproduktion und Mechanisierung bietet. Darüber hinaus verschafft diese Erziehungsform die Möglichkeit, das Fruchtholz (Bogrebe) als Flach-, Halb- oder Pendelbogen am Drahtrahmen zu fixieren, wodurch unterschiedliche Zielerträge mit entsprechenden Qualitäten möglich werden (KADISCH et al. 1999). Gängige Praxis bei modernen konventionellen Rebanlagen sind Gassenbreiten von zwei Metern bei einem Stockabstand von 1,0 m bis ca. 1,3 m (FRÖBA et al. 2013). Je nach Rebsorte, angestrebter Weinqualität, Besonnungsgrad, Zeilenrichtung und Topografie kann der Winzer entsprechend die Pflanzdichte über die Gassenbreite und den Stockabstand anpassen. Um eine ausreichende Belichtung der Laubwand sicherstellen zu können, wird im deutschen Weinbau darauf geachtet, dass bei Weißweinsorten das Verhältnis von Laubwandhöhe zu Laubwandabstand ca. 1:1 beträgt, für Rotweinsorten werden Werte von $>1:1,2$ empfohlen (MÜLLER 2005).

Aufgrund der begrenzten Wasserverfügbarkeit, besonders in niederschlagsarmen Regionen sowie auf Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität, steht die Rebe in direkter Konkurrenz zur Begrünung des Weinberges. Daher ist in den meisten deutschen Weinbauregionen keine ganzflächige Begrünung über das gesamte Jahr ohne qualitative sowie mengenmäßige Einbußen möglich (SCHULTZ et al. 2012). Gängige Praxis ist eine alternierende Bewirtschaftung, wobei eine begrünte und eine offen gehaltene Gasse seitlich im Wechsel folgen (KADISCH et al. 1999). Eine alternative Methode zur Bodenbewirtschaftung stellt das ganzflächige Ausbringen von Herbiziden sowie die Dauerbegrünung dar. GRUBER (2013) zeigte mit seinen Untersuchungen auf, dass in Steillagen zwischen den Bodenmanagementstrategien

Literaturübersicht

ganzflächiger Herbizideinsatz, Rotations- und Dauerbegrünung keine großen Unterschiede im Wasserhaushalt festzustellen waren. Die dennoch vorhandenen Abweichungen im vegetativen Wachstum der Rebstöcke, der verschiedenen Bodenbewirtschaftungsverfahren, begründete er mit Effekten aus der Stickstoffverfügbarkeit. Eine signifikant abweichende Bodenbewirtschaftungsstrategie stellte jedoch das Abdecken der Rebgassen mit Rindenmulch dar. Jedoch waren diese Unterschiede nicht zu steuern, wobei Dauer und Intensität stark von Jahrgangseffekten abhängigen (GRUBER 2013).

Diese sogenannte Rotationsbegrünung hat jedoch zur Folge, dass bei Starkregenereignissen, hauptsächlich bei verschlammungsanfälligen Bodentypen und in Hanglagen, die Weinbergsgassen ohne Abdeckung oder Begrünung erosionsgefährdet sind (PATZWAHL et al. 2015). Es kann von einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung im Weinbau gesprochen werden, wenn die jährliche Bodenerosion zwischen 3,5 - 6,0 t ha⁻¹ liegt (SCHWERTMANN & VOGEL 1990). Nach Berechnungen von RUPP (1993) und PATZWAHL et al. (2015) beträgt die zu erwartende mittlere jährliche Bodenerosionsrate von Weinbergen, mit einer Hangneigung von 20 % und einer Rotationsbegrünung im zweijährigen Rhythmus, durchschnittlich für die meisten deutschen Anbauggebiete zwischen 4 - 12 t ha⁻¹ a⁻¹. Bei diesem Bodenmanagement ist neben der erhöhten Erosionsgefahr auch von einem 20 % bis 30 % höherem Nitratintrag ins Grundwasser sowie erhöhten Humusabbauraten durch die Bodenbearbeitung auszugehen. Für die angeführten Punkte könnte eine angepasste bodenkonservierende Bewirtschaftung Abhilfe schaffen. Im Pilotprojekt VINAQUA wurde ein ganzjährig und -flächig begrünter Weinberg in Volkach (Hangneigung 22°) mit einer Tropfbewässerung ausgestattet. Dadurch konnte die nutzbare Feldkapazität um bis zu 23 % verbessert und zusätzlich mittels der Begrünung die Bodenerosion um 62 % reduziert werden. Eine negative Beeinflussung der Weinqualität ist im Rahmen der Versuche von PATZWAHL et al. (2015) nicht festgestellt worden. Tendenziell wurden die Weine dieses neuen Bewirtschaftungssystems als fruchtbetonter und sortentypischer beschrieben.

2016 wurden in Deutschland 102.493 ha bestockte Weinbergsflächen von 16.898 Betrieben bewirtschaftet, wodurch eine Weinmenge von ca. neun Mio. hl erzeugt wurde. Mit 64.261 ha ist Rheinland-Pfalz das größte Weinbau treibende Bundesland

in Deutschland, gefolgt von Baden-Württemberg (27.118 ha), Bayern (6.169 ha), Hessen (3.647 ha) und übrige Gebiete (1.298 ha). Die sechs am häufigsten angebauten Rebsorten in Deutschland im Jahr 2016 waren: Riesling (23.700 ha), Müller-Thurgau (12.623 ha), Spätburgunder (11.787 ha), Dornfelder (7.741 ha), Grau- (6.179 ha) und Weißburgunder (5.161 ha) (RÜCKRICH 2017a, 2017b, 2017c).

2.2.1 Pflanzenphysiologie von *Vitis vinifera* L.

Klassische Erziehungssysteme sehen einen intensiven Rückschnitt der im Sommer gewachsenen einjährigen Triebe sowie des zweijährigen Holzes vor. Hierbei werden bis zu 90 % des Altholzanteiles aus dem Drahrahmen entfernt (WINKLER et al. 1974; WEYAND 2006). Diese vor allem im mitteleuropäischen Weinbau traditionelle Schnittmaßnahme wird primär zum Erhalt des jeweiligen Erziehungssystems praktiziert, da durch das Anschnittniveau (Augenzahl m^{-2}) ganz entscheidend das Ertragsniveau bestimmt wird. Gleichzeitig werden entsprechend die Qualität und das korrespondierende vegetative Wachstum beeinflusst (WINKLER et al. 1974; WEAVER 1976; KADISCH et al. 1999; JACKSON 2000; HOWELL 2001).

Der Schnittholzertrag sollte für konventionelle Erziehungssysteme 0,30 - 0,60 $kg\ m^{-1}$ Laubwand betragen. Erträge über 1,00 kg deuten auf einen zu üppigen Wuchs der Anlage hin (KELLER 2010). Zur Berechnung des Wachstumsgleichgewichtes eines Rebstockes kann der Traubenertrag in Relation zum Schnittholzertrag gestellt werden. Oftmals wird hier auch vom Ravaz-Index gesprochen (HOWELL 2001; STOLL et al. 2012). Für den mitteleuropäischen Weinbau gelten Relationen von Traubenertrag zu Holzertrag von 3:1 bis 4:1 als ideal (STOLL et al. 2012).

Der Ertrag je Fläche wird im Weinbau von vielen verschiedenen Parametern beeinflusst. Zum einen gibt es Kriterien, die der Winzer selbst beeinflussen kann, wie z. B. Rebstöcke $Fläche^{-1}$, Anschnittniveau (Augenzahl m^{-2}), Ertragsregulierung (Traubenteilen oder Wachstumsregulatoren), Bodenbearbeitung und Düngung. Zum anderen ist das Wetter entscheidend, sowohl im Vorjahr als auch im Erntejahr. Wie aus **Abb. 8** ersichtlich, werden die Gescheinsanlagen, auch Infloreszenz genannt, bereits zwischen Austrieb und Veraison im Vorjahr des eigentlichen Erntejahres

Literaturübersicht

gebildet. Hierbei wird das Ertragspotenzial für das folgende Vegetationsjahr über die Traubenanzahl pro Trieb und Beerenanzahl je Traube festgelegt. (WINKLER et al. 1974; VASCONCELOS et al. 2009; KELLER 2010).

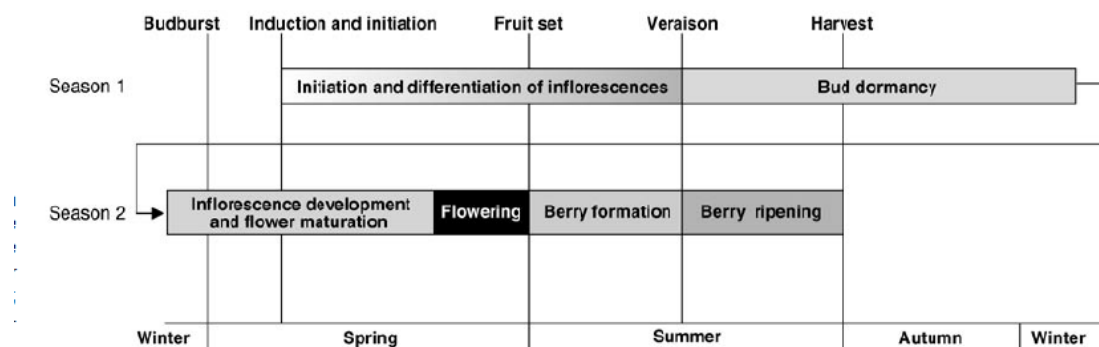


Abb. 8: Anlage und Differenzierung der Gescheinsanlagen im 1. Jahr, Wachstum und Bildung der Gescheine im 2. Jahr

Quelle: CARMONA et al. 2008 u. VASCONCELOS et al. 2009

Bei sonnigem Wetter und guter Belichtung der Winterknospen, in denen die Gescheinsanlagen gebildet werden (Temperaturen zwischen 20 - 30 °C sowie mäßiger Bodenfeuchte, ausreichender Versorgung der Rebe mit Nährstoffen und Assimilaten) sind ideale Bedingungen gegeben, damit die Infloreszenzen bestmöglich ausgebildet werden können. (VASCONCELOS et al. 2009; KELLER 2010). Nach CLINGELEFFER et al. (2001) sind ca. 30 % der jährlichen Ertragsschwankungen auf die Anzahl der Beeren pro Traube und lediglich etwa 10 % auf die Beerengröße zurückzuführen.

Darüber hinaus spielt das Wetter vor allem aber die Temperatur im Ertragsjahr eine wichtige Rolle. Der Rebenaustrieb beginnt bspw. ab einer Bodentemperatur von 7 °C. Ab diesem phänologischen Stadium fängt ebenfalls die Entwicklung der differenzierten Infloreszenzen an. Bei idealem Wetter kann das maximale Ertragspotenzial ausgeschöpft werden. Gerade bei kühlem Wetter und bedecktem Himmel bildet die Rebe meist weniger Trauben pro Trieb sowie weniger Beeren pro Traube aus, als möglich gewesen wären. (ALLEWELDT 1965; KADISCH et al. 1999; VASCONCELOS et al. 2009; KELLER 2010). Die Augenfruchtbarkeit auf der Bogrebe

Literaturübersicht

nimmt von der Basis zur Mitte zu und zum Ende hin wieder ab (CURRLE et al. 1983; HUGLIN & SCHNEIDER 1998).

Des Weiteren kann zur Reblüte des aktuellen Ertragsjahres eine kühle und nasse Witterung eine Verrieselung der Gescheine hervorrufen. Dies bedeutet, dass nach der Blüte weniger Beeren je Traube vorhanden sind als Beerenansätze vor der Blüte entwickelt wurden. Bei einem geringen Grad an Verrieselung (Quotient von Anzahl der Beerenansätzen vor der Blüte zu Anzahl der befruchteten Beeren nach der Blüte) und unter idealen Wachstumsbedingungen für die Rebe, kann u. U. durch ein verstärktes Dickenwachstum der Beeren der Minderertrag durch die Verrieselung abgefangen werden. Diese Kompensation findet jedoch nur in begrenztem Umfang statt, sodass i. d. R. ein geringerer Ertrag die Folge der Verrieselung ist (VASCONCELOS et al. 2009; KELLER 2010). Neben dem Wetter nehmen auch die Rebsorte bzw. der Klon sowie die Unterlage und die Weinbergslage (u. a. Bodenart, Exposition, Zeilenrichtung) eine wichtige Rolle bei der Verrieselung ein (ALLEWELDT & HOFÄCKER 1975; SCHNEIDER & STAUDT 1978; KELLER 2010). Sorten wie z. B. Merlot oder Gewürztraminer neigen tendenziell zur stärkeren Verrieselung als bspw. Chardonnay oder Silvaner. Nach KELLER (2010) sind Temperaturen von 20 - 30 °C, eine leichte Bodenfeuchte, gute Belichtung der Gescheine sowie eine ausreichende Versorgung der Rebe mit Assimilaten und Nährstoffen ideal, um einen möglichst geringen Verrieselungsgrad zu erhalten. Zu geringe oder reduzierte Blattflächen etwa durch Hagel, tierische oder pilzliche Schaderreger können den Verrieselungsgrad ebenfalls erhöhen (KLIOWER 1977; KELLER 2010).

Je nach Qualitätsanspruch und Zielertrag kann eine Verrieselung qualitätsfördernd sein, da zum einen der Ertrag reduziert wird und dem Güte-Menge-Gesetz folgend die Qualität tendenziell steigt. Im Weinbau beschreibt das Güte-Menge-Gesetz den Zusammenhang zwischen Ertrag je Fläche und der Qualität, die vornehmlich als Zuckerkonzentration im Moststadium angegeben wird. Dieses Gesetz besagt, dass mit der Reduzierung des Ertrages die Qualität (Güte) des Endproduktes steigt (SARTORIUS 1952; HOWELL 2001). Zum anderen wird die Traubenstruktur aufgelockert, wodurch gerade bei kompakten Trauben der Fäulnis vorgebeugt wird. Demnach erklärt sich auch, dass mit der Applikation des Phytohormons Gibberellinsäure – vornehmlich bei Burgundersorten – versucht wird, einen

Literaturübersicht

definierten Grad an Verrieselung künstlich herbeizurufen, um die Qualität zu steigern (WEAVER & MCCUNE 1961; BANGERTH & GÖTZ 1975; SWAIN & SINGH 2005).

Der erste Laubschnitt hat bei der Steuerung der Güte sowie auch der Menge eine bedeutende Rolle. Die durch die Photosynthese gebildeten Assimilate werden im Zeitraum vom Austrieb bis zur Blüte vornehmlich akropetal von den Blättern zur Triebspitze transloziert, da diese die größte Verbrauchsstelle darstellt. Wird diese durch den Laubschnitt entfernt, so kehrt sich der Assimilatstrom basipetal um, sodass der Triebspitze untergeordnete Reborgane bevorzugt mit Photosynthaten versorgt werden (CURRLE et al. 1983; BECKER 2008). Erfolgt der erste Laubschnitt sehr früh (bspw. vor der Blüte) wird oft ein deutlich höherer Ertrag, im Gegensatz zu einem späten Laubschnitttermin (20 - 30 Tage nach der Blüte) festgestellt. Gleichzeitig können dem Güte-Menge-Gesetz folgend auch bei einem frühen Laubschnitt geringere und bei einem späten Laubschnitt höhere Mostgewichte dokumentiert werden. Folglich kann über den Zeitpunkt des ersten Laubschnittes der Ertrag sowie das Mostgewicht maßgeblich beeinflusst werden (CURRLE et al. 1983; BECKER 2008; KELLER 2010).

Aus phytosanitärer Sicht ist eine luftige Laubwand mit einer lockeren Traubenstruktur erstrebenswert (BAUER et al. 2008; KELLER 2010). Neben dem Anschnittsniveau und dem Verrieselungsgrad gibt es noch eine Vielzahl an weinbaulichen Parametern, die auf die Traubenproduktion Einfluss nehmen. Jedoch ist ein weiterer ganz entscheidender Baustein in der Traubenproduktion die Laubwandgestaltung. Bereits bei der Pflanzung des Weinbergs wird die Laubwandgeometrie sowie die Zeilenorientierung festgelegt (KELLER 2010; STOLL et al. 2012) (vgl. Kapitel 2.2). Um eine ausreichende Versorgung der Trauben mit Assimilaten sowie des Reservestoffkreislaufes sicherstellen zu können, wird eine Blattfläche von ca. $17 - 22 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ Traube empfohlen. Diese Relation wird auch als Blatt- / Fruchtverhältnis bezeichnet (HÜGELSCHÄFFER 1988; HOWELL 2001; STOLL et al. 2012; MOLITOR et al. 2015). Dem Winzer stehen zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung, um dieses Verhältnis aktiv und auch kurzzeitig zu verändern. Einerseits kann er die Blattfläche durch die Art und Weise sowie den Zeitpunkt von Ausbrecharbeiten, Laubschnitt und der Entlaubung beeinflussen. Andererseits bietet die Ertragsregulierung mittels Grünlese, Traubenteilen, Einsatz von

Wachstumsregulatoren oder der Düngung die Option, den Ertrag einer gegebenen Blattfläche anzupassen (KELLER 2010; STOLL et al. 2012; MOLITOR et al. 2015; FRIONI et al. 2017). In Zeiten des bereits messbaren Klimawandels wird oftmals diskutiert, ob geltende Idealwerte wie die des Blatt- / Fruchtverhältnisses, des Ravaz-Indexes oder des Rebenstandraumes noch aktuell sind. Zum Zeitpunkt der schriftlichen Ausfertigung der vorliegenden Arbeit, waren dem Autor keine neuen Untersuchungen mit aktualisierten Idealwerten bekannt.

2.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf *Vitis vinifera* L.

In den 13 deutschen Weinanbaugebieten sind die Auswirkungen des Klimawandels bereits anhand von höheren CO₂-Konzentrationen, höheren Durchschnittstemperaturen sowie einer Zunahme der Extremwetterlagen im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 messbar. So wurde bspw. seit 1976 durch die Aufzeichnungen der phänologischen Stadien von *V. vinifera* L. cv. Riesling am Standort Neustadt / Weinstraße ein im Durchschnitt um elf Tage früherer Austrieb aufgezeigt. (OBERHOFER 2012). Darüber hinaus konnte an den Standorten Geisenheim, Heilbronn und Landau für die phänologischen Stadien Blüte, Veraison und Lesebeginn ebenfalls eine tendenzielle Verfrühung aufgezeigt werden, die sich wahrscheinlich bis zum Jahre 2050 noch verstärken wird (STOCK et al. 2007). Des Weiteren wird seitens der Wissenschaft für den Zeitraum von 2021 bis 2050 und den deutschen Weinanbau mit folgenden Auswirkungen gerechnet (Referenzzeitraum 1971 bis 2000):

- deutliche Zunahme von Extremwetterlagen, mehr Starkregenniederschläge (Bodenerosion, Überschwemmungen), erhöhte Hagelschlag- und Frostgefährdung sowie Trockenheit
- Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur um 0,8 - 1,7 °C
- mehr heiße Tage über 30 °C
- markante Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten und Zunahme der Winterniederschläge, überwiegend als Regen
- Verfrühung der Vegetation (Austrieb, Blüte, Veraison, Lesereife)

Literaturübersicht

- erhöhte Alkoholgehalte der Weine durch höhere Globalstrahlungen und Wärmesummen
- erhöhte Sonnenbrandgefahr durch höhere Globalstrahlung und höhere Ozonwerte, besonders nach Entlaubungsmaßnahmen
- verstärktes Aufkommen invasiver Schädlingsarten (u. a. *Drosophila Suzukii*)
- Etablierung neuer Pilz und Viruserkrankungen (u. a. Esca, *Eutypiose*, *Candidatus Phytoplasma solani*)
- verändertes Rebsortenspektrum bzw. veränderte Lagenbewertung aufgrund höherer Huglin-Index-Werte in den klassischen Weinbaugebieten

(KADISCH et al. 1999; STOCK et al. 2007; SCHULTZ et al. 2012; BECKER 2013; PACHAURI et al. 2014; GÖMANN et al. 2015; PATZWAHL et al. 2015).

Die angesprochenen, bereits jetzt messbaren Auswirkungen des Klimawandels werden sich in naher Zukunft intensivieren, sodass die räumliche Ausdehnung der Problematik steigen wird (SCHULTZ et al. 2012; PATZWAHL et al. 2015).

2.2.3 Auswirkungen eines Hagelschlages an *Vitis vinifera* L.

Alle landwirtschaftlichen Bodenerzeugnisse, die im Freiland produziert werden, sind potenziell gefährdet einen wetterbedingten Ertragsverlust zu erleiden. Zu den unberechenbarsten und gravierendsten Risiken in der Landwirtschaft zählt das Risiko Ertragseinbußen durch einen Hagelschlag hinnehmen zu müssen (SANDER 2014). Gerade die Kulturart Wein besitzt ein sehr langes Zeitfenster von einem Hagelschlag getroffen zu werden, da sich die Vegetation vom Austrieb ab Ende April bis zum Abschluss der Ernte Ende Oktober (späte Sorten) erstrecken kann (KADISCH et al. 1999; BAUER et al. 2008).

Bei einem Hagelschaden an Weinreben handelt es sich um eine mechanische Beschädigung von Trieben, Blättern, Gescheinen oder Trauben, bis hin zu Schäden am Holz. Als Folge daraus entsteht ein direkter Ertragsverlust durch an- bzw. abgeschlagene Gescheine oder Beeren.

Literaturübersicht

Eine mengenmäßige Schadenskompensation durch fruchtbare Beiaugen, bzw. verstärktes Dickenwachstum der Beeren, wird oftmals diskutiert, allerdings wurde diese wissenschaftlich noch nicht genauer untersucht. Erste Indizien können näherungsweise aus Publikationen zur Ertragsregulierung durch Traubenteilen entnommen werden. GATTI et al. (2012) wiesen nach, dass selbst bei früher Traubenteilung kurz nach der Blüte, im Vergleich zur Kontrolle, die Einzelbeerengewichte sich nicht merklich erhöhten. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch PRESZLER et al. (2013), SUN et al. (2012) und FRIONI et al. (2017). Darüber hinaus stellten sie jedoch fest, dass bei mehrjähriger Entlaubung der Traubenzone die Einzelbeerengewichte deutlich geringer ausfielen als bei den Kontrollen und den Versuchsblöcken der Traubenteilung. Ebenso dokumentierten KELLER et al. (1998) ähnlich geringe Einzelbeerengewichtsveränderungen in ihren mehrjährigen Stickstoffdünger-Experimenten. Sie wiesen nach, dass bei hohen Düngergaben die Trauben- sowie Beerenanzahl stieg, die Beerengewichte sich jedoch nicht nennenswert veränderten.

Je nach Schädigungsgrad durch den Hagel kann eine Rebanlage einen Wachstumsstillstand von bis zu zwei Wochen erleiden. Dieser Verzug ist in der Vegetation u. U. bis zur Ernte nicht aufzuholen. Bei schweren Hagelunwettern können die Schäden bis zum kompletten Ertragsausfall führen (GÖMANN et al. 2015). Neben den sichtbaren Schäden durch Hagelschlag an *V. vinifera* L. ist, aufgrund der Reduktion von Blattfläche und den somit fehlenden Assimilaten auch die gesamte Pflanzenentwicklung beeinträchtigt. Die damit einhergehende geringere Einlagerung von Reservestoffen kann zu einer verminderten Pflanzenleistung sowie einem Minderertrag im Folgejahr führen. Der Grad der Schädigung durch den Hagelschlag ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig, wobei windoffene Lagen an Westhängen als besonders gefährdet gelten. Auch die Rebsorte, das Entwicklungsstadium und die Zeilenrichtung haben einen Einfluss auf den Beschädigungsgrad. Rebsorten mit einer dickeren und somit stabileren Beerenhaut gelten als weniger hagelanfällig als dünnschalige. Hagelschäden vor der Blüte können zur erhöhten Bildung von Geiztrauben führen. Diese erreichen meist nicht das Mindestmostgewicht für Qualitätswein und können folglich den Mengenverlust nicht ausgleichen (BAUER et al. 2008; MOHR 2013; GÖMANN et al. 2015). Darüber hinaus beeinflusst die Beschaffenheit der Hagelschloße und das Wetter während des

Literaturübersicht

Hagelschlages entscheidend das Schadensausmaß. So besitzen verhältnismäßig große Hagelkörner mit einer hohen Dichte und scharfen Kanten ein deutlich erhöhtes Schadenspotenzial. Auch entscheidet die Dauer und Anzahl der Hagelschläge pro Fläche sowie Windrichtung / -geschwindigkeit und Regen als Begleiterscheinung eines Hagelschlages über dessen Beschädigungsgrad an Pflanzenteilen (KNOLL 1964; LANGNER et al. 2002).

Neben dem direkten Ertragsverlust durch den Hagel kann es – besonders ab der Veraison und bei feuchtwarmer Witterung – vermehrt zu Botrytis- sowie Sekundärinfektionen (z. B. *Penicillium expansum*, *Trichothecium roseum*, Essigfäule etc.) kommen (MOHR 2005). Zu diesem späten Zeitpunkt entstehen an den Beeren, sogar bei einem leichten Hagelschlag, schnell offene Wunden, die der Fäulnis einen idealen Nährboden bieten. Schadinsekten, wie z .B. Wespen oder *Drosophila*-Arten, können die Fäulnis noch weiter verschlimmern, sodass u. U. die Erzeugnisse aufgrund von Überschreitungen der Höchstwerte für flüchtige Säure und Mykotoxine verkehrsunfähig werden (KADISCH et al. 1999; MOHR 2005; GÖMANN et al. 2015). Um die Fäulnis nach einem solchen Hagelschlag abzumildern bzw. zu vermeiden, kann einerseits eine Applikation mit Spezialbotrytiziden erfolgen, sofern die Wartezeit und der Lesetermin in Einklang zu bringen sind. Andererseits kann vorzeitig die Ernte durchgeführt werden, jedoch sind die Wartezeiten der eingesetzten Pflanzenschutzmittel zu berücksichtigen (KADISCH et al. 1999; BAUS-REICHEL et al. 2001; MOHR 2005; GÖMANN et al. 2015; DLR MOSEL 2016). hdhdh

Gerade bei Dauerkulturen – wie der Rebe – kann durch den Hagelschlag physiologischer Stress an der Pflanze entstehen. Um diesem entgegenzuwirken, empfiehlt sich nach einem frühen schweren Hagelschaden bis Mitte / Ende Juni, der nahe am totalen Ertragsausfall liegt, zur Forcierung eines neuen Austriebes ein radikaler Rückschnitt der noch grünen Triebe (BECKER 2012; GÖMANN et al. 2015). Somit besteht die Möglichkeit, intaktes Holz für den nächsten Rebschnitt heranzuziehen, das beim Biegen nicht bricht. Für hagelgeschädigte Junganlagen wird ebenfalls ein Rückschnitt empfohlen, da ein unbeschädigter und aufrecht gezogener Stamm das Rückgrat einer jeden Ertragsanlage darstellt. Darüber hinaus verheilen Hagelwunden gerade am jungen Holz oft nicht, sondern wachsen mit, sodass Viren und Pilzinfektionen gute Eintrittspforten angeboten werden. Bei leicht

bis mittel hagelgeschädigten Rebanlagen ist ein kompletter Rückschnitt nicht empfehlenswert, jedoch sollte das abgestorbene Material aus der Laubwand entfernt werden, um Schaderregern keinen Nährboden anzubieten. Zusätzlich kann der nächste Pflanzenschutztermin vorgezogen werden, um den verbleibenden Ertrag optimal gegen Pflanzenkrankheiten wie den echten und falschen Mehltau abzusichern (MOHR 2005; GÖMANN et al. 2015; DLR MOSEL 2016).

Wird aufgrund von schweren Holzschäden anstatt des normalen Rebschnittes im Winter ein Zapfenschnitt vollzogen, kann dies zu einem geringeren Ertrag durch die verminderte Fruchtbarkeit der basalen Augen führen. Außerdem entsteht ein erheblicher Arbeitsmehraufwand beim darauffolgenden Rebschnitt, um die Anlage zur normalen Schnitterziehung zurückzuführen (GÖMANN et al. 2015).

Weitere Extremwetterlagen, wie z. B. der Spätfrost, könnten aufgrund des stetig früheren Austriebes ebenfalls noch zunehmen. Gerade der Spätfrost hat ein enormes Schadenspotenzial, weil die nach einem Spätfrostereignis neu austreibenden Beiaugen oft nicht fruchtbar sind und folglich die spätfrostgeschädigte Rebanlage keinen oder nur einen geringen Ertrag aufweisen. Je früher die Rebe austreibt und je später im Frühjahr der letzte Frost auftritt, desto höher ist die Gefährdung von Spätfrostschäden an *V. vinifera* L. (OBERHOFER 2012; MOLITOR et al. 2013; GÖMANN et al. 2015; KARTSCHALL et al. 2015).

2.2.4 Minimalschnitt-Systeme

Im Zuge der Globalisierung sind gerade die Fassweinerzeuger unter starken Kostendruck geraten, da die Erlöse je kg Trauben, bzw. je l Wein, auf dem freien Markt deutlich gesunken sind. Folglich wird durch Sparmaßnahmen bzw. über Flächenzuwachs versucht wettbewerbsfähig zu bleiben. Jedoch limitieren die zur Verfügung stehenden Arbeitskraftstunden, besonders in den Arbeitsspitzen der Laubarbeiten und des Rebschnittes, die zu bewirtschaftende Fläche eines Betriebes. Diese Arbeiten sind mit den konventionellen Erziehungssystemen nur bedingt mechanisierbar, sodass durch eine extensive Bewirtschaftung konventioneller Rebenerziehungen lediglich geringe Kostenvorteile entstehen (SCHULTZ 2002;

Literaturübersicht

BECKER et al. 2007; MEND 2013). Im Gegensatz dazu steht die MS-Erziehung, weil hierbei eine nahezu gänzlich mechanische Bewirtschaftung möglich wird, mit der deutlich kostengünstiger Traubenmaterial produziert werden kann (CLINGELEFFER & POSSINGHAM 1987; BECKER et al. 2007; MEND 2013).

Seit mittlerweile fast 40 Jahren wird die MS-Erziehung erfolgreich in Australien und den nördlichen Teilen der USA praktiziert (CLINGELEFFER 1984; POSSINGHAM & CLINGELEFFER 1994; SCHULTZ et al. 2000; BECKER 2009). Unter den Betrieben, die dieses System anwenden, finden sich sowohl Traubensaftproduzenten als auch namhafte und renommierte Weingüter (POSSINGHAM & CLINGELEFFER 1994; WEYAND 2006; BECKER 2009). Seit 1993 wird das Minimalschnittsystem an *Vitis vinifera* L. cv. Riesling auch im deutschsprachigen Raum wissenschaftlich untersucht (SCHULTZ 2002). Aktuell werden nach Schätzungen von GÖMANN et al. (2015) ca. 1,5 % der deutschen Weinbaufläche als Minimalschnitt bewirtschaftet. Aus verschiedenen wissenschaftlichen Publikationen ist zu entnehmen, dass das Konzept des Minimalschnitts auch im mitteleuropäischen Raum funktioniert, zumindest für weiße Rebsorten (SCHULTZ & WEBER et al. 1999; WOLFAHRT 2001; BAUER 2002; MOLITOR et al. 2003) wie Riesling, Müller-Thurgau, Chardonnay, Chenin und Sauvignon Blanc (BECKER 2009). Hingegen erreichen Rotweinsorten aus Minimalschnittanlagen aufgrund ihrer verzögerten Reife oft nicht die angestrebten Mostgewichte zur Rotweinproduktion. Insbesondere die Aromavorstufen und die Anthocyanbildung sind im Gegensatz zu herkömmlichen Erziehungssystemen weniger weit entwickelt, sodass das Lesegut aus der Minimalschnitterziehung meistens den heutigen oenologischen Ansprüchen zur Rotweinherstellung nicht entspricht (SCHULTZ & WEYAND 2005; BECKER 2009).

Einige Betriebe in Deutschland haben bereits erste Erfahrungen mit der Minimalschnitterziehung gesammelt, wobei sich drei Möglichkeiten etabliert haben: Nichtschnitt, Minimalschnitt (MS) und Minimalschnitt im Spalier (MSS). Zurzeit gibt es noch keine genaue, anerkannte und allgemeingültige Definition der benannten Minimalschnittsysteme. In der Praxis sind auch immer wieder Abwandlungen vorzufinden. Bei einer klassischen Nichtschnittanlage entfallen Winter- sowie Laubschnitt gänzlich. Die in Deutschland stärker verbreitete Form ist der Minimalschnitt. Hierbei erfolgt lediglich ein maschineller Winterrückschnitt des

Literaturübersicht

unteren Teils (engl.: skirting) der Rebenhecke und gegebenenfalls noch ein moderater maschineller Laubschnitt (engl.: summer-skirting) der Laubwand nach der Blüte (SCHULTZ et al. 2000; WEYAND 2006). Beim Minimalschnitt im Spalier werden der Winterschnitt sowie ein bis zwei Laubschnitte im Sommer intensiver und über die gesamte Laubwand ausgeübt. Folglich sind die Laubwände deutlich rechteckiger und schmaler als beim Minimalschnitt oder Nichtschnitt (SCHULTZ & WEBER et al. 1999; SCHULTZ et al. 2000; BECKER 2009; WALG 2010).

Die Laubwand einer MS-Erziehung ist merklich voluminöser als bei herkömmlichen Erziehungen. Demnach werden die Materialien der Drahtrahmen-Konstruktion stärker beansprucht, besonders bei erhöhter Windlast. Daher sollte bereits bei der Erstellung von Minimalschnittanlagen ein besonderes Augenmerk auf eine stabile Drahtrahmen-Konstruktion (Pfähle, Anker, Drähte etc.) gelegt werden. Des Weiteren nimmt bei der Minimalschnitt- bzw. Nichtschnitt-erziehung die Rebenhecke deutlich mehr Raum in Anspruch. Demnach sind oftmals Standräume von $> 4 \text{ m}^2 \text{ Rebstock}^{-1}$ in der Praxis anzutreffen (BECKER et al. 2007; BECKER 2009). Eine Ausnahme bildet hier der Minimalschnitt im Spalier, da hier aufgrund des stärkeren Rückschnittes weniger Raum benötigt wird, sodass in der Praxis sogar Standräume von unter $2 \text{ m}^2 \text{ Rebstock}^{-1}$ vorzufinden sind (WALG 2010).

Der größte Vorteil der MS-Erziehung ist die drastische AKh-Einsparung. Für konventionelle Spaliererziehungen im normalen Qualitätsweinbereich bei Vollernterlese können kalkulatorisch ca. 200 AKh ha^{-1} veranschlagt werden, wobei der Großteil der AKh auf Handarbeiten wie Laubarbeiten und den Rebschnitt zurückzuführen sind. Dieser Sachverhalt wird im Vergleich zu einer MS-Erziehung umso deutlicher, da hier nahezu alle Handarbeiten entfallen, was die Bewirtschaftung mit ca. 65 AKh ha^{-1} ermöglicht (BECKER et al. 2007). MEND (2013) zeigte mit einer Kostenkalkulation auf, dass ein hochwertiger Qualitätswein aus einer Flachbogenerziehung für $1,45 \text{ € je kg Trauben}$ produziert werden kann. Jedoch können Weine aus einer MS-Erziehung im Spalier zu Kosten von $0,55 \text{ € je kg Trauben}$ erzeugt werden. Für die MSS-Erziehung ergibt dies rechnerisch einen Kostenvorteil von ca. 62 % (MEND 2013). BECKER (2009) berichtet hingegen von einer 30 %-igen Kostenreduktion durch die MS-Bewirtschaftung. In beiden zuvor aufgeführten Publikationen sind jeweils direktzugfähige Lagen mit einer

Literaturübersicht

konventionellen Bewirtschaftung unterstellt worden. Erste Versuche MS-Erziehungen in Steil- und Terrassenanlagen zu etablieren, werden derzeit am Staatsweingut der Mosel durchgeführt. Mit der Markteinführung des Steillagen-Vollernters erscheint auch die Umsetzung von MSS-Systemen im Steilhang möglich (PORTEN & REGNERY 2014).

Bei konventionellen Erziehungen werden bis zu 90 % des Altholzanteiles durch den Rebschnitt aus dem Drahtrahmen entnommen. Hingegen ist bei MS-Erziehungen der Winterschnitt drastisch reduziert oder unterbleibt völlig. Somit erklärt sich, dass der Altholzanteil einer MS-Erziehung größer sein muss als bei konventionellen Erziehungen (WINKLER et al. 1974; WEYAND 2006). Aus dieser Tatsache heraus folgt, dass deutlich mehr Knospen je Laufmeter Laubwand in Minimalschnittsystemen zu finden sind, wodurch sich das stärkere vegetative Wachstum und das erhöhte Ertragspotenzial erklären lässt (CLINGELEFFER 1984; CLINGELEFFER & POSSINGHAM 1987; SCHULTZ 2002; BECKER et al. 2007).

Diese starke Veränderung des Rebschnittes hat zudem Auswirkungen auf die vegetative und generative Entwicklung des Rebstockes. Bereits der Austrieb sowie die weitere Entwicklung bis zur Blüte beginnen in MS-Systemen meist früher und schreiten auch schneller voran. Was dazu führt, dass sich kurz nach dem Austrieb eine nahezu geschlossene Laubwand beobachten lässt. Dieser Vegetationsvorsprung wird mit der besseren Reservestoffverfügbarkeit und der schnelleren Verfügbarkeit von Assimilaten durch die beschleunigte Blattentwicklung begründet (RÜHL & CLINGELEFFER 1993; WEYAND 2006; BECKER 2009; MOLITOR 2009). Des Weiteren zeigte CLINGELEFFER (1984), dass bei der Rebsorte Sultana die durchschnittliche Triebzahl je Rebstock in MS-Systemen bei 275 (77 Spalier) lag und gleichzeitig die Traubenanzahl je Stock mit 106 (43 Spalier) mehr als doppelt so hoch war. Jedoch wurde zur Ernte ein geringeres Traubengewicht 294 g Traube⁻¹ (465 g Spalier) dokumentiert (CLINGELEFFER 1984). Zwar sind die einzelnen Triebe kürzer und die durchschnittlichen Blattflächen je Blatt um ca. 45 % geringer als in herkömmlichen Erziehungssystemen, dafür kann aber über die Anzahl der Blätter und Triebe die Blattfläche pro Stock durchaus doppelt bis dreifach so groß werden wie in herkömmliche Schnittsystemen (SOMMER, K., J. 1995; LAKSO, A., N. et al. 1996; SCHULTZ & CUEVAS et al. 1999; SCHULTZ 2002). WEYAND (2006) dokumentierte in

Literaturübersicht

seinen Versuchen eine durchschnittliche Blattfläche von $12,0 \text{ m}^2 \text{ Rebstock}^{-1}$ in der MS- und von $3,6 \text{ m}^2 \text{ Rebstock}^{-1}$ in der Spalieranlage. Folglich bekunden SCHULTZ (2002) und WEYAND (2006), dass durch die größere Assimilationsfläche der Minimalschnitthanlagen ein höherer Wasserverbrauch vorliegen muss. Durch Messungen des Blattwasserpotenzials attestiert SCHULTZ (2002) der Minimalschnitt-Erziehung einen 25 - 100 % höheren Wasserbedarf gegenüber konventionellen Erziehungssystemen.

MOLITOR (2009) dokumentierte in seinen Versuchen über acht Jahre einen durchschnittlichen Ertrag für eine Minimalschnitthanlage von $12.500 \text{ kg Trauben ha}^{-1}$. In Relation zu einer entsprechenden Halbbogenerziehung waren die Erträge der MS-Erziehung um ca. 60 % höher. Wie zuvor erwähnt, besitzen MS-Systeme oftmals aufgrund der höheren Anzahl von Gescheinsansätzen ein erhöhtes Ertragspotenzial, das besonders in den ersten Umstellungsjahren zu Problemen führen kann. Zum einen ist es möglich, dass ein deutlich zu hoher Ertrag die gesetzliche Hektarertragsregelung überschreitet, sodass Flächen aufgrund eines vollen Betriebskontingentes nicht geerntet werden können oder vom Qualitätsniveau abgestuft werden müssen. Zum andern kann aus einem Überertrag des Vorjahres ein unterdurchschnittlich geringer Ertrag im Folgejahr resultieren. Jedoch wird gerade nach der Umstellungsphase eine Art Selbstregulierung der Rebe beobachtet, wodurch die jährlichen Ertragsschwankungen deutlich geringer ausfallen (WINKLER 1958; SCHULTZ et al. 2000; BAUER 2002; WEYAND 2006; BECKER et al. 2007; BECKER 2009; MOLITOR 2009).

Besonders in der Umstellungsphase sollte je nach Produktionsziel über eine Ertragsregulierung, dem Güte-Menge-Gesetz folgend, gegengesteuert werden. In der Praxis haben sich zur Ertragsregulierung verschiedene Varianten etabliert. So besteht die Möglichkeit, über eine Vollernterausdünnung im Stadium Schrotkorn- (BBCH 73) bis Erbsengröße (BBCH 75) den Ertrag zu reduzieren. Mit diesem Verfahren ist es jedoch sehr schwierig, auf einen bestimmten Zielertrag hin auszudünnen, da die An- und Abschläge durch das Schlagwerk des Vollernters je nach Rebsorte, Entwicklungsstadium und Jahr unterschiedlich starke Ertragsreduktionen zur Folge haben können. Der Ernteverlust durch die angeschlagene Beeren, besonders im Inneren der Laubwand, ist sehr schwer

Literaturübersicht

abzuschätzen (RÜHLING 1999; BECKER et al. 2007; BECKER 2009). Eine Kompensation des Ertragsverlustes durch verstärktes Dickenwachstum der Beeren ist stark eingeschränkt, da durch die mechanischen Verletzungen des Vollernters der Rebstock, ähnlich wie bei einem Hagelschaden, einen „Wachstumsschock“ erleidet. Dieser kann sich in einem Stillstand des Wachstums von bis zu zwölf Tagen bemerkbar machen (RÜHLING 1999; WALG 2011; GIETZ 2014). Außerdem besteht die Möglichkeit, dass durch die mechanische Einwirkung des Schlagwerkes des Vollernters die Phenol- sowie Anthocyankonzentration erhöht werden. Diese Auswirkung kann in Rotweinen oenologisch gewünscht sein. Bei Weißweinen führt jedoch u. U. eine erhöhte Phenolkonzentration, ähnlich wie bei starker Entlaubung, zu einem sortenuntypischen Aroma (PETRIE & CLINGELEFFER 2006; WALG 2011; GIETZ 2014). Darüber hinaus kann die Ertragsregulierung mittels des Laubschnittes durchgeführt werden. Bei ein bis zwei intensiven Laubschnitten nach der Blüte und vor der Veraison besteht die Möglichkeit, durch Abschneiden der peripheren Trauben den Ertrag zu reduzieren. Wie bei der Vollernterausdünnung ist die genaue Bestimmung des Zielertrags schwierig, da die Bestimmung der Anzahl von Trauben Stock⁻¹ in Minimalschnittanlagen sehr aufwendig und nur näherungsweise möglich ist. Darüber hinaus kann der Rebstock durch verstärktes Dickenwachstum der Beeren die Ertragsreduktion zumindest teilweise ausgleichen. Jedoch ist dieser Kompensationseffekt von vielen Faktoren abhängig (vgl. Kapitel 2.2.1 ‚Pflanzenphysiologie von *Vitis vinifera* L.‘). Somit gestaltet sich zum Zeitpunkt des Laubschnittes die Abschätzung der Kompensation bzw. des Ertrages als äußerst schwierig. Eine weitere Möglichkeit die Erntemenge zu regulieren, ist die Applikation von Gibberellinsäure (GA₃). Sie ist ein bis zum 31.12.2022 im deutschen Weinbau zugelassener hormoneller Bioregulator, der zur Lockerung des Traubenstielgerüsts eingesetzt wird, um Essigfäule und *Botrytis cinerea* vorzubeugen (BLV 2017). Der gezielte Einsatz von GA₃ nach der Zulassungsindikation (Zulassungsnummer: 005879-00) des Pflanzenschutzgesetzes induziert im Anwendungsfenster ab Beginn der Reblüte (BBCH 62) bis zur abgehenden Blüte (BBCH 68) eine Verrieselung (vgl. Kapitel 2.2.1 ‚Pflanzenphysiologie von *Vitis vinifera* L.‘). Des Weiteren reduziert GA₃ die Fruchtbarkeit der Gescheinsanlagen für das Folgejahr in den Winterknospen. Folglich kann bei wiederholter Anwendung von GA₃ über mehrere Jahre eine kumulative Wirkung eintreten. Einerseits entsteht im Jahr der Applikation

Literaturübersicht

ein direkter Ernteverlust durch die Verrieselung, andererseits kann der Ertrag durch die reduzierte Fruchtbarkeit der Gescheinsanlagen im Folgejahr vermindert sein, da weniger Beeren je Traube mit einem geringeren Beerengewicht ausgebildet werden. Der Effekt der Verrieselung und des Minderertrages im Folgejahr sind stark von der Rebsorte, dem Zeitpunkt sowie der Mittelkonzentration der Applikation und dem Wetter abhängig (WEAVER & MCCUNE 1961; BANGERTH & GÖTZ 1975; HARREL & WILLIAMS 1987; BLV 2017). WEYAND (2006) zeigte auf, dass mit der Applikation von 50 mg l⁻¹ Gibberellinsäure bei *V. vinifera* L. cv. Riesling in MS-Systemen Ertragsreduzierungen von 6 % bis 51 % möglich sind. Außerdem hat die Ertragsregulierung mittels GA₃ gegenüber den Verfahren Laubschnitt und Vollernter den Vorteil, dass keine Blattfläche reduziert wird und demnach das Blatt- / Fruchtverhältnis deutlich verbessert wird (GIETZ 2014).

Der Pflanzenschutz nimmt bei der MS-Erziehung einen besonderen Stellenwert ein, da sich aufgrund der veränderten Zielfläche, die Anlagerung der Fungizide und Insektizide schwieriger gestaltet (VOLLMER et al. 2014). Besonders die voluminösere Laubwand mit den peripheren Blättern erschwert die Benetzung der tiefer in der Laubwand hängenden Trauben und Blätter mit Pflanzenschutzmittel (BECKER 2009). VOLLMER et al. (2014) stellten fest, dass gerade im Dachbereich der Minimalschnittlaubwand erheblich weniger Pflanzenschutzmittel angelagert wird. Zusammenfassend hielten sie fest, dass bei einer normalen Applikation in einer Minimalschnittanlage, gerade auf der Blattunterseite, 50 - 66 % weniger Pflanzenschutzmittel gegenüber konventionellen Spalieranlagen aufgebracht wird (VOLLMER et al. 2014). Aufgrund der Problematik von Pflanzenschutzanlagerungen wird empfohlen, bereits bei der ersten Applikation von Fungiziden mit voller Düsenanzahl und reduzierter Geschwindigkeit zu fahren, um die Applikationsqualität zu erhöhen (HILL et al. 2000; BECKER 2009; VOLLMER et al. 2014).

MS-Erziehungen können nur mittels eines Vollernters beerntet werden, da eine Handlese den Kostenvorteil durch einen exorbitanten Arbeitsaufwand aufheben würde. Durch die Vollernterlese verbleiben Erntemengen in der Größenordnung von ca. 5 %. Diese führt in Verbindung mit dem deutlich höheren Altholzanteil dazu, dass von einem erhöhten Schwarzfäulebefall (*Guignardia bidwellii*) auszugehen ist (MOLITOR 2009). Auch fällt auf, dass in MS-Anlagen, trotz des höheren Ertrages und

Literaturübersicht

Altholzanteiles, deutlich weniger Rebstöcke mit Esca-Symptomen anzutreffen sind (BECKER et al. 2007; MOLITOR 2009; BECKER 2013). Besonders bei Esca-Erkrankungen des Rebstockes ist nicht nur die Erziehungsform entscheidend, sondern darüber hinaus noch der Standraum, der Ertrag und die Rebsorte. So werden Sauvignon Blanc, Ugni Blanc, Gewürztraminer und Riesling zu den Esca-gefährdeten Rebsorten gezählt, wohingegen die Burgundersorten weniger stark betroffen sind (KUTZMANN et al. 2012).

Wie zuvor in den Ausführungen von CLINGELEFFER 1984 aufgezeigt, besitzen MS-Systeme nicht nur Einflüsse auf das vegetative und generative Wachstum, welche auch das Mikroklima beeinflussen (vgl. Kapitel 2.1 ‚Wetter und Klima‘), sondern verändern auch die Beerenmorphologie und die Beereninhaltsstoffe. Trauben aus MS-Systemen weisen i.d.R. eine lockere Traubenstruktur mit kleineren Beeren auf. Einhergehend mit der Reifeverzögerung ist dies der Hauptgrund dafür, dass trotz der dichteren Laubwand, MS-Systeme im Vergleich zu konventionellen Erziehungssystemen einen geringeren Befall von *Botrytis cinerea* aufweisen (HILL et al. 2000; WOLFAHRT 2001; SCHULTZ 2002; WEYAND 2006; MOLITOR 2009). Neben dem geringeren Fäulnisrisiko führen die kleineren Beeren zu einer Steigerung des Verhältnisses von Beerenschale zu Fruchtfleisch (SCHULTZ & WEBER et al. 1999; WERWITZKE 2003; WEYAND 2006; WALG 2007; BECKER 2009). Der erhöhte Anteil von Beerenschalen hat zur Folge, dass mehr Aromavorstufen sowie phenolische Substanzen im MS-Erntegut vorhanden sein können. Dies ist neben den klassischen qualitativen Bewertungskriterien (z. B. Mostgewicht und Gesamtsäure) ein wichtiger Grund dafür, dass die MS-Weine im Vergleich zu Weinen aus konventionellen Erziehungen oftmals als frischer, harmonischer, aromaintensiver und sortentypischer beschrieben werden (SCHULTZ 2002; WEYAND 2006; WALG 2007, 2011). MOLITOR (2009) berichtet von ca. einer Woche Reifeverzögerung durch eine Minimalschnittbewirtschaftung zu vergleichbaren konventionellen Erziehungen. SCHULTZ et al. (2000) spricht sogar von zwei Wochen Reiferückstand. Kann dieser durch eine spätere Ernte der MS-Anlagen nicht ausgeglichen werden (z. B. Fäulnisbefall oder Ende der Vegetationszeit / Beginn der Seneszenz), erklärt dies in Verbindung mit den höheren Erträgen die oftmals niedrigeren Mostgewichte und die höheren Säurewerte im Vergleich zu konventionellen Erziehungssystemen.

Literaturübersicht

Demnach begründet auch der Reiferückstand teilweise die abweichende sensorische Bewertung von MS-Systemen (SCHULTZ 2002; WEYAND 2006; WALG 2007).

Ein oft kontrovers diskutierter und von vielen Praktikern kritisch betrachteter Aspekt von MS-Systemen ist die Nachhaltigkeit eines solchen Rebenerziehungssystems. Zur deren Bewertung kann der Stickstoff- und Kohlenhydratkreislauf (Reservestoffkreislauf) herangezogen werden. Aus Untersuchungen von der Südhalbkugel ist bekannt, dass bei langen Seneszenzphasen in Verbindung mit Bewässerungen keine deutlichen Beeinträchtigungen von MS-Systemen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen aufzuzeigen sind (RÜHL & CLINGELEFFER 1993). In der Veröffentlichung von WEYAND & SCHULTZ (2006) konnten die Autoren für *V. vinifera* L. cv. Riesling auch für den Standort Geisenheim (Rheingau, Deutschland) nachweisen, dass sich durch eine MS-Erziehung die Gehalte an Stickstoff und Kohlenhydraten an etablierten MS-Systemen im Vergleich zu konventionellen Schnitssystemen nicht stark unterschieden. Prozentuale marginale Unterschiede im perennialen oberirdischen Gewebe wurden durch die deutlich höhere Trockenmasse in absolut betrachteten Zahlen je Rebstock mehr als kompensiert. Daher kamen die Autoren zu dem Entschluss, dass MS-Systeme auch im mitteleuropäischen Weinbau nachhaltig angewandt werden können, bei deutlich kürzeren Seneszenzphasen zur Rückverlagerung von Kohlenhydraten und Stickstoff (WEYAND 2006; WEYAND & SCHULTZ 2006).

Im Hinblick auf Hagelschäden an MS- gegenüber konventionellen Erziehungssystemen zeigte BECKER (2012) anhand von zwei Praxisbeispielen aus der Region Nahe und südliches Rheinhessen auf, dass der MS 15 % bzw. 50 % weniger Schaden hatte. Der verminderte Schaden durch einen Hagelschlag an Minimalschnittsystemen wird im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen prognostiziert, da die Trauben über einen größeren Bereich der Laubwand verteilt und mehr periphere Blätter vorhanden sind, hinter denen sich die Trauben in einer voluminöseren Laubwand befinden (BECKER 2012). Jedoch geben BECKER et al. (2007) zu bedenken, dass der MS bei einem Hagelschlag mit viel Sturm, aufgrund der größeren Angriffsfläche der Laubwand und des größeren Zeilenabstandes, eine höhere Schädigung erleiden kann als herkömmliche Erziehungssysteme. Nach einem Hagelschaden entfallen beim Minimalschnitt arbeitsintensive Laubarbeiten,

wie es in herkömmlichen Anlagen durch verstärktes Trieb- / Geiztriebwachstum der Fall ist. Außerdem gibt BECKER (2012) für beide Erziehungssysteme zu bedenken, dass bei einem Hagelschaden eine Kompensation des Schadens durch verstärktes Dickenwachstum der Beeren möglich sein kann.

Darüber hinaus zeigte das Spätfrostereignis im Mai des Jahres 2017 deutliche Unterschiede zwischen herkömmlichen Erziehungen und MS-Schnittsystemen auf. WALG (2018) führte anhand von Praxisbeispielen an, dass MS-Erziehungen wenig bis keinen Spätfrostschaden und herkömmliche benachbarte Parzellen > 50 % Ertragsausfall erlitten. Diese Unterschiede führte er zum einen auf die deutlich höhere Gescheinsanzahl und zum anderen auf die weitere Entfernung der Gescheinsansätze vom Boden zurück (WALG 2018).

2.2.5 Ausgewählte Mostinhaltsstoffe und deren Analytik

Trauben- bzw. Mostinhaltsstoffe sind bei der Qualitätsbewertung des Lesegutes und der daraus resultierenden Weine von größter Bedeutung (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989; STEIDEL 2009; BERGER 2013). Die Entstehung und der Gehalt dieser Inhaltsstoffe unterliegen sehr vielen verschiedenen Einflüssen. Teilweise sind diese durch den Winzer steuerbar (Rebsorte, Laubwandgestaltung, Bodenmanagement etc.). Darüber hinaus sind deutliche Jahrgangsunterschiede vorhanden, die überwiegend durch die Witterung beeinflusst werden (vgl. Kapitel 2.2.1). Neben dem klassischen Merkmal des Mostzuckers, der üblicherweise in Grad Oechsle angegeben wird, sind weitere Bestandteile, wie u. a. Gesamt-, Äpfel-, Weinsäure, Kalium- und Stickstoffgehalte wertgebende Inhaltsstoffe (WÜRDIG et al. 1989; HIEBER et al. 2005; STEIDEL 2009; BERGER 2013). Die Entwicklung dieser Inhaltsstoffe unterliegt ab der Blüte bis zur Ernte einem typischen Muster, das für den deutschen Weinanbau verallgemeinert werden kann, wie in **Abb. 9** dargestellt.

Literaturübersicht

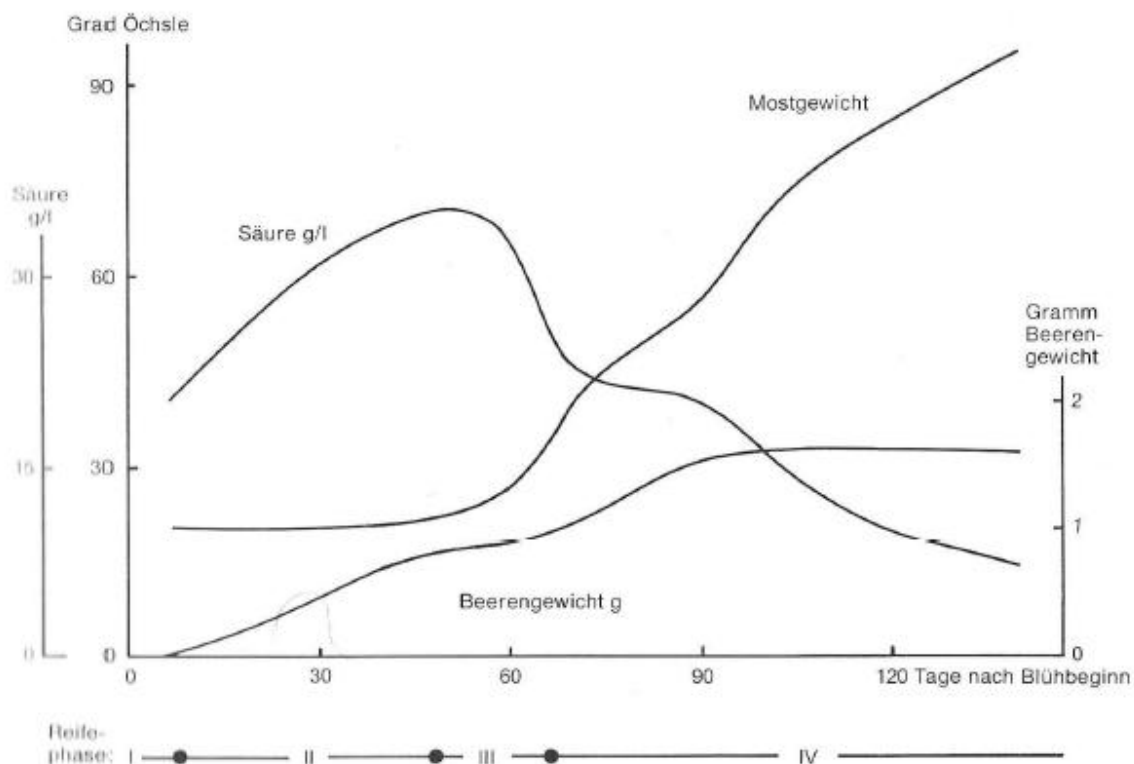


Abb. 9: Typischer Reifeverlauf von Beeren und deren Inhaltsstoffen von *V. vinifera* L., Säure= Gesamtsäure [g l^{-1}] (als Weinsäure berechnet), Kohlenhydratakkumulation= °Oechsle [$^{\circ}\text{Oe}$], Beerengewicht [g Beere^{-1}], Reifephase I= Befruchtung (Nucellus wächst), Phase II= Zellteilung (Beerenwachstum), Phase III= Samen und Embryo Entwicklung, Phase IV= Fruchtreife

Quelle: WÜRDIG et al. 1989

Wie aus **Abb. 9** ersichtlich, beginnt das Wachstum der Beeren nach der Blüte und setzt sich bis zur Sistierungsphase (Phase III) fort. In den beiden ersten Phasen ist meist die größte Gewichtszunahme an den Beeren zu verzeichnen, da diese Wachstumsphase auf eine rasche Zellteilung zurückzuführen ist. In der vierten Phase gewinnt die Beere überwiegend durch Zellstreckung an Masse, sodass ab der zweiten Hälfte der Phase IV eine Stagnation des Beerengewichtes festzustellen ist (WÜRDIG et al. 1989).

Der Zucker- und Säuremetabolismus verändert sich ebenfalls in charakteristischer Weise. Zu Beginn des Beerenwachstums werden verstärkt Assimilate aus den Blättern in das Cytoplasma der Beeren transloziert, um dort als Ausgangsprodukt für verschiedene Stoffwechselprozesse zu dienen. Zum Ende der zweiten Phase

Literaturübersicht

werden üblicherweise die höchsten Säurekonzentration in den Beeren festgestellt, wobei die Äpfelsäure hieran einen Anteil von bis zu 90 % haben kann. Die metabolisierte Äpfelsäure wird größtenteils in den Vakuolen gespeichert. Ihr kommt bis zur Phase III besondere Bedeutung zu, da sie in diesem Stadium u. a. als Speicherform für weitere Stoffwechselprodukte anzusehen ist. Somit erklärt sich auch, dass in der Sistierungsphase der Beeren die Säurekonzentration stark abnimmt und im ersten Viertel der Phase IV stagniert (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989; KELLER 2010). Eine weitere wichtige Säure ist die Weinsäure. Ihr Anteil kann in gesundem und vollreifem Lesematerial bis zu 70 % der Gesamtsäure betragen. Bei unreifem Erntegut ist der Anteil der Äpfelsäure dominierend, sodass der Weinsäureanteil lediglich 30 % ausmacht (STEIDEL 2009). Den größten Anteil mit 70 - 90 % an der titrierbaren Gesamtsäure besitzen Wein- und Äpfelsäure. Weitere Säuren, die im Frischmost vorhanden sein können, sind: Citronensäure, Bernsteinsäure, Fumarsäure, Ameisensäure, Essigsäure, Milchsäure (CURRLE et al. 1983).

In der Phase der Fruchtreife (Phase IV) kommt es verstärkt zu einer Kohlenhydratakkumulation in den Vakuolen der Beeren. Zu Beginn dieser Phase ist Glucose mit einem drei- bis viermal höheren Gehalt gegenüber der Fructose der dominierende Zucker. Im Verlauf der Reife verändert sich dieses Verhältnis jedoch auf ca. 1:1 (WÜRDIG et al. 1989). Die Akkumulation von Zuckern wird durch die Metabolisierung der Äpfelsäure zu Di- und Monosacchariden forciert. Nach dem deutschen Weingesetz wird die Güte von Qualitätsweinen nach dem Mindestmostgewicht des Frischmostes definiert. Dieses gibt die Zuckerkonzentration aus, die sich nahezu 100 % aus Fructose, Glucose und Saccharose zusammensetzt. Nicht vergärbare Zucker – wie bspw. Pentosen – sind mit einem Anteil von > 1% weniger bedeutend (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989). Darüber hinaus erhöht sich durch die fortschreitende Traubenreife die Permeabilität der Zellen, wodurch die Äpfelsäure in Zellkompartimente gelangt, an denen sie dissimiliert wird. Daher ist bei Messungen im Reifeverlauf eine stetige Abnahme der Äpfelsäure feststellbar (CURRLE et al. 1983; KELLER 2010).

Im Zusammenhang mit der Zellpermeabilität ist den Mineralstoffen (vor allem Kalium, Calcium und Magnesium) ebenfalls eine bedeutende Rolle beizumessen. Es besteht

Literaturübersicht

eine gewisse Wechselwirkung zwischen Kalium zu Calcium und Magnesium. So sind oftmals bei geringen Kaliumwerten vergleichsweise hohe Mengen an Calcium und Magnesium nachzuweisen und umgekehrt, wobei in absolut betrachteten Zahlen die Konzentration von Kalium ein Vielfaches von Calcium und Magnesium beträgt (CURRLE et al. 1983). Zu Beginn der Beerenentwicklung ist das Kalium nur in geringen Mengen vorhanden und nimmt ab der Veraison mit dem Reifeverlauf beträchtlich zu. Hohe Kaliumgehalte führen durch Quellung zu einer Durchlässigkeit der Mittellamellen in den Zellwänden, wodurch Moleküle leichter in verschiedene Zellkompartimente verlagert werden können und die Beere weicher wird. Dem Calcium wird hierbei eine antagonistische Wirkung zugeschrieben, da es die Zellwände stabilisiert. Demnach werden oft in vollreifem Lesegut größere Mengen an Kalium nachgewiesen als in unreifem. Außerdem kann durch eine Maischestandzeit die Kaliumkonzentration deutlich erhöht werden (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989).

Ein weiterer wichtiger Inhaltsstoff ist der Stickstoff. Dieser ist im Gegensatz zu den zuvor aufgeführten Inhaltsstoffen nicht direkt für eine organoleptische Merkmalsausprägung verantwortlich. Der Stickstoff stellt vielmehr ein Substrat für die alkoholische Gärung und metabolische Stoffwechselfvorgänge dar, die u. a. für die Bildung von höheren Alkoholen und Estern bei der Aromabildung elementar sind. In der Beere sowie anschließend im Frischmost sind verschiedene stickstoffhaltige Komponenten nachzuweisen, wie bspw. Ammonium, Nitrat, Aminosäuren und Eiweisse (WÜRDIG et al. 1989; BELL & HENSCHKE 2005; LAFONTAINE & PFLIEHINGER 2013). Die wichtigsten und anteilsgrößten Komponenten am Stickstoff stellen die Aminosäuren dar. Je nach Jahrgang, Rebsorte und Gesundheitszustand der Trauben können sie einen Anteil von 60 - 90 % besitzen. Aminosäuren werden aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Struktur in primäre (z. B. Arginin) und sekundäre Aminosäuren (z. B. Prolin) unterteilt. Die Hefe verstoffwechselt bevorzugt zu Beginn der Gärung Ammonium (NH_4^+) und nutzt anschließend primäre Aminosäuren. International haben sich verschiedene Bezeichnungen für die Stoffgruppen etabliert. Der FAN (free assimilable nitrogen) -Wert beinhaltet nur primäre Aminosäurekonzentration. Beim YAN (yeast assimilable nitrogen) -Gehalt wird zum FAN die Konzentration an Ammonium addiert, sodass der YAN-Gehalt den gesamten Stickstoff widerspiegelt, den die Hefe für ihre Stoffwechselfvorgänge

Literaturübersicht

nutzen kann (WÜRDIG et al. 1989; BELL & HENSCHKE 2005; LAFONTAINE & PFLIEHINGER 2013; SCHNEIDER 2016). Im Verlauf der Traubenreife steigt die YAN-Konzentration stetig an, wobei der Gehalt an Ammonium ab- und der von Aminosäuren zunimmt. Des Weiteren führen kühle und gezügelte Reifebedingungen zu einem höheren Gehalt an Aminosäuren als warme Temperaturen und *Botrytis cinerea*-Infektionen. Besonders ein Befall von *Botrytis cinerea* vermag die Konzentration von primären Aminosäuren drastisch zu reduzieren, da dieser Pilz ähnlich wie der Weinhefepilz (bspw. *Saccharomyces cerevisiae*) auf vergleichbare Substrate zurückgreift.

Aus Sicht der Beerenphysiologie verdeutlicht diese Dynamik der Inhaltstoffe die Schwierigkeit bei der Terminierung der Ernte. Folglich hat der Erntezeitpunkt auch eine hohe Relevanz für die Zusammensetzung und den Gehalt an Mostinhaltsstoffen (WÜRDIG et al. 1989; STEIDEL 2009; BERGER 2013).

Eine schnelle, einfache und preiswerte Möglichkeit diese Inhaltstoffe zu bestimmen, bietet die Fourier-Transformations-Infrarot (FTIR) Spektroskopie. Diese zählt zu den physikalisch-chemischen Messverfahren und bedient sich einer energieärmeren und längerwelligen Strahlung als bspw. das Messverfahren eines Photometers. Es beruht darauf, dass polychromatisches Licht meist im mittleren Infrarotbereich (MIR) (400 bis 4.000 Wellenzahlen cm^{-1}) von einer Quelle ausgesendet und folgend an einem Detektor ein Spektrum an elektromagnetischer Strahlung aufgenommen wird (vgl. **Abb. 10**). Üblicherweise sind die meisten Messgeräte nach dem Prinzip eines Michelson-Interferometers aufgebaut (**Abb. 10**). Hierbei wird von der Quelle elektromagnetische Strahlung über einen Strahlenteiler zu einem fest stehenden (M 1) und zu einem beweglichen Spiegel (M 2) gesendet. Als Interferometerarm wird die Wegstrecke zwischen Strahlenteiler und dem jeweiligen Spiegel benannt. Die Strahlung wird anschließend von den Spiegeln reflektiert und von dem Detektor aufgezeichnet. Aufgrund der konstanten und definierten Bewegung des Spiegels M 2 ergibt sich eine Weg- / Zeit-Differenz zwischen abgegebener und detektierter Strahlung, da sich die Strahlung durch die Bewegung des Spiegels M 2 überlagert und eine sogenannte Interferenz entsteht. Um daraus ein Spektrum zu gewinnen, wird die Fouriertransformation angewendet. Diese mathematische Umwandlung beruht auf der Annahme, dass „jede Kurve als Summe unendlich oder endlich vieler

Literaturübersicht

Sinus- und Kosinusfunktionen dargestellt werden kann, wenn sich deren Frequenz wie ganzzahlige Vielfache verhalten“ (GOTTWALD & WACHTER 1997).

Mit dem beschriebenen Messprinzip eines Michelson-Interferometers im MIR-Bereich werden die Molekülbindungen zwischen den Atomen zum Schwingen angeregt. Dadurch wird elektromagnetische Strahlung absorbiert, aus der eine Differenz zwischen abgegebener und aufgezeichneter Strahlung hervorgeht. Diese Absorption ist bei gewissen Wellenzahlen für bestimmte Moleküle charakteristisch. Um jedoch aus dem aufgezeichneten Spektrum qualitative und quantitative Aussagen über einen definierten Stoff vornehmen zu können, bedarf es eines Abgleiches des Spektrums mit einer Datenbank. Da die Extinktionswerte von der molekularen Konzentration eines Stoffes abhängig sind, wird eine Kalibrierung im voraussichtlichen Konzentrationsbereich notwendig (GOTTWALD & WACHTER 1997; GÜNZLER & GREMLICH 2003; HUG 2011).

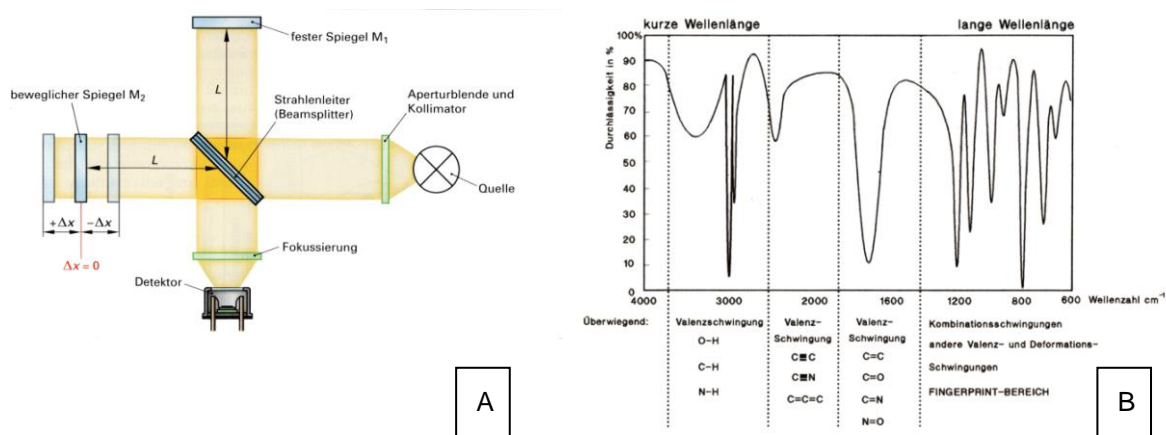


Abb. 10: [A] Schematische Darstellung eines Michelson-Interferometers, [B] Darstellung der angeregten Molekularbindungen in Abhängigkeit der Wellenzahl im Infrarotbereich

Quelle: HUG 2011

HIEBER et al. (2005), FISCHER & BERGER (2006) und BERGER (2013) zeigten in ihren Untersuchung auf, dass mit einer exakten Referenzmethode relativ genaue Vorhersagen der tatsächlichen Gehalte von Mostinhaltsstoffen mittels der FTIR-Technik möglich sind. HIEBER et al. (2005) erreichten mit ihrer Kalibrierung eine Messgenauigkeit von Säuren im Bereich $\pm 0,7 \text{ g l}^{-1}$ und von Zuckern von $\pm 5 \text{ g l}^{-1}$.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsanlagen

Zur Beantwortung der in Kapitel 1 ‚Einleitung und Fragestellung‘ aufgeführten Thesen standen zwei mit Müller-Thurgau bepflanzte Rebanlagen zur Verfügung, wobei eine Anlage als Minimalschnittsystem im Spalier (MSS) und die andere als konventionelle Halbbogenerziehung im Spalier (SHB) bewirtschaftet wurden. Die MSS-Anlage wurde ab dem Jahr 2012 extensive in diesem Schnittsystem bewirtschaftet. Beide Anlagen waren in der rheinhessischen Ortsgemeinde Osthofen vorzufinden. **Abb. 11** zeigt zwei Orthobild Aufnahmen, die den Standort Osthofen [A] verdeutlichen und die räumliche Anordnung der Versuchspartzellen [B] darstellen. Die beiden Weinberge waren Luftlinie ca. 1 km voneinander entfernt.

Material und Methoden

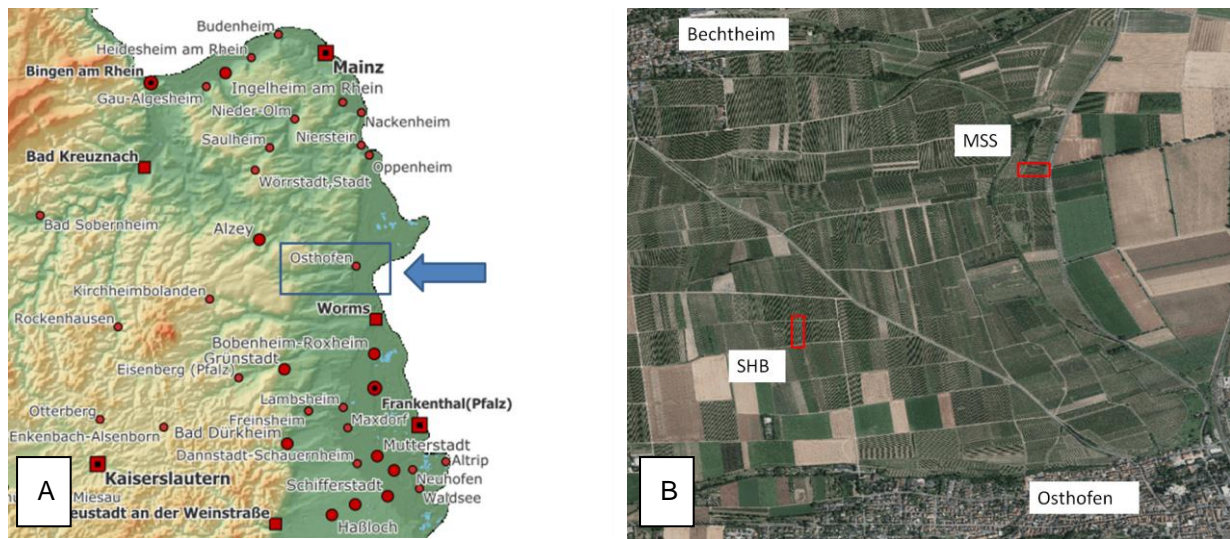


Abb. 11: [A] Orthobildaufnahme vom Südosten von Rheinland-Pfalz, blau eingeraht: Gemarkung Osthofen; Maßstab ca. 1 : 400.000 [B] Orthobildaufnahme der Gemarkungen Bechtheim und Osthofen, rot eingeraht: Versuchsparzellen, MSS: Minimalschnitt im Spalier, SHB: Spalier Halbbogen; Distanz Luftlinie zwischen den Parzellen ca. 1 km; Maßstab ca. 1 : 10.000

Quelle: [A] + [B] LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION, RHEINLAND-PFALZ 2018

Um Randeffekte von Düngung, Pflanzenschutz und Pilzdruck aus Nachbaranlagen sowie Bodenunterschiede innerhalb der Versuchsparzellen in den Ergebnissen weitestgehend als Fehlerquelle ausschließen zu können, wurden die Versuche als randomisiertes Blockdesign mit vierfacher Wiederholung angelegt (vgl. **Tab. 4**). Aufgrund der gegebenen Länge und Anzahl der Reihen ergab sich die Versuchsblockgröße von zehn bzw. fünf Rebstöcken im Spalier bzw. Minimalschnitt. Zusätzlich wurde mindestens eine Außenreihe zu beiden Seiten und eine Sticklelänge zu Beginn und Ende der Reihen als Pufferzone nicht in die Versuche miteinbezogen. Darüber hinaus wurden die beiden Versuchsparzellen jeweils in zwei gleichgroße Parzellen geteilt, sodass je ein Teil für die Hagelsimulation 2016 [A] bzw. 2017 [B] verwendet werden konnte (vgl. **Abb. 12** und **Abb. 13**). Folglich lagen dieser Untersuchung zwei Versuchsjahre zugrunde.

Tab. 4: Schematische Darstellung des randomisierten Blockdesigns

früh leicht	spät mittel	früh schwer
spät schwer	früh mittel	Kontrolle
früh schwer	spät leicht	früh leicht
Kontrolle	spät schwer	spät mittel
früh mittel	früh schwer	spät leicht
früh leicht	spät mittel	früh mittel
spät leicht	Kontrolle	früh schwer
spät schwer	früh mittel	spät leicht
spät mittel	früh leicht	spät schwer
-----	-----	Kontrolle

Zur bessern Verbildlichung der Pufferzonen und der Teilung der Versuchspartellen zeigen **Abb. 12** und **Abb. 13** Orthobild Aufnahmen im Maßstab ca. 1:700. In diesen Aufnahmen sind die Versuchspartellen mit den Buchstaben A und B gekennzeichnet.

Material und Methoden



Abb. 12: Orthobildaufnahme der Spalier Halbbogen (SHB) Parzelle; grau unterlegte Flächen = Pufferzonen, nicht ins Versuchsdesign aufgenommen; Zweiteilung der Parzelle durch rote Linie symbolisiert; [A] Teilfläche für das Versuchsjahr 2016; [B] Teilfläche für das Versuchsjahr 2017; Maßstab ca. 1 : 700

Quelle: LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION, RHEINLAND-PFALZ 2018



Abb. 13: Orthobildaufnahme der Minimalschnitt im Spalier (MSS) Parzelle; grau unterlegte Flächen = Pufferzonen, nicht ins Versuchsdesign aufgenommen; Zweiteilung der Parzelle durch rote Linie symbolisiert; [A] Teilfläche für das Versuchsjahr 2016; [B] Teilfläche für das Versuchsjahr 2017; Maßstab ca. 1 : 700

Quelle: LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION, RHEINLAND-PFALZ 2018

Zur besseren Übersicht der relevanten Informationen über die beiden Versuchsweinberge gibt die **Tab. 5** ‚Beschreibung der Versuchsanlagen‘ Auskunft über die wichtigsten Anbauparameter der beiden Versuchsanlagen.

 Material und Methoden

Tab. 5: Beschreibung der Versuchsanlagen

	Halbbogen- konventionell	Minimalschnitt im Spalier
Rebsorte:	Müller-Thurgau	Müller-Thurgau
Unterlage:	125 AA	125 AA
Gemarkung:	Osthofen	Osthofen
Lage:	Liebenberg	Hasenbiß
Geographische Koordinaten:	49°42'45,5"N 8°18'17,8"O	49°43'13,4"N 8°18'57,4"O
Rebfläche:	0,28 ha	0,32 ha
Hangneigung:	Flachlage	Flachlage
Zeilenausrichtung:	Nord-Süd	Ost-West
Höher über N. N.:	117,5 m	93,5 m
Pflanzjahr:	1986	1990
Standraum / Stock:	1,55 m ²	3,1 m ²
Bodentyp:	Lösslehm	Lösslehm
Anzahl Laubschnitt:	3	2
Entlaubung:	2016 beidseitig, 2017 nein	nein
Bodenbearbeitung:	1x im Frühjahr gegrubbert Dauerbegrünung, alternierend	Dauerbegrünung
Unterstockpflege:	1x Glyphosat im Frühjahr 5x Pflugscheibe	1x Glyphosat im Frühjahr 5x Pflugscheibe

Beide Weinberge wurden stets am selben Tag mit dem gleichen Pflanzenschutz behandelt, die Pflanzenschutzpläne 2016 und 2017 sind im Anhang aufgelistet (vgl. **Tab. A23** und **Tab. A24**).

In den Versuchsjahren 2016 und 2017 wurde kein organischer oder synthetischer Dünger den Anlagen zugeführt.

3.2 Hagelsimulation

In beiden Versuchspartzen wurde mittels eines Trockeneisstrahlgerätes ein künstlicher Hagelschlag simuliert. Die Simulationen erfolgten in beiden Versuchsjahren zu zwei verschiedenen phänologischen Stadien. Zum einen im Bereich der Vorblüte (BBCH 53 Gescheine deutlich erkennbar) und zum anderen im Nachblütebereich (BBCH 75 Beeren erbsengroß, Trauben hängen). Im Jahr 2016 wurden die Hagelsimulationen in den Kalenderwochen 21 und 28 sowie im Jahr 2017 in den Kalenderwochen 22 und 28 durchgeführt. Des Weiteren wurden neben der nicht behandelten Kontrollvariante für jedes der beiden Entwicklungsstadien drei unterschiedliche Schädigungsgrade (leicht, mittel und schwer) simuliert. Diese Einteilung sollte einem prozentualen Erntemengenverlust von 30 %, 60 % und 90 % entsprechen. Nachfolgend sind die einzelnen Versuchsglieder grafisch dargestellt (vgl. **Abb. 14**):

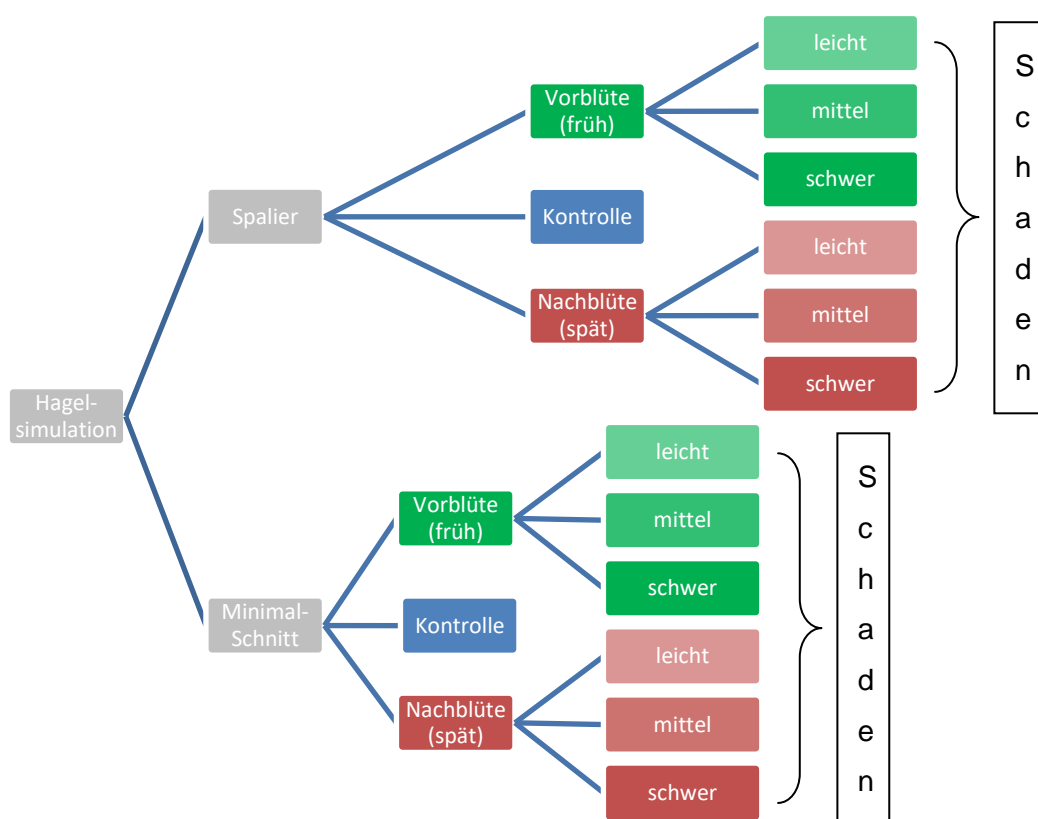


Abb. 14: Illustration des Versuchsaufbaues

Material und Methoden

Um an *Vitis vinifera* L. künstlich, skalier- und reproduzierbare Hagelschäden hervorzurufen, wurde ein Trockeneisstrahlgerät für die einzelnen Versuchsintervalle verwendet. Das Prinzip eines Trockeneisstrahlaggregates beruht darauf, dass durch einen Kompressor ein Trägerluftstrom erzeugt und in diesen mittels eines Dosiergerätes Trockeneis in Stäbchenform (ca. 5 mm Durchmesser, 8 - 12 mm Länge, vgl. **Abb. 15**) eingebracht und durch den Luftstrom stark beschleunigt wird. Die so erfahrene kinetische Energie des Trockeneises wird durch den Aufschlag auf der Zielfläche anschließend wieder freigesetzt.



Abb. 15: Trockeneis für die Hagelsimulationsversuche

Die Vorteile dieses Prinzips sind:

- Reproduzierbarkeit
- Skalierbarkeit (verschiedene Beschädigungsgrade)
- Temperaturgradient (Verwendung von Trockeneis -78 °C)
- funktioniert unabhängig von der Laubwandgeometrie (Minimalschnitt / Spalier)
- keine Beschädigung der Drahtrahmenkonstruktion
- ohne verbleibende Reste nach der Simulation (Trockeneis sublimiert)
- kalkulierbare und geringe Kosten (Geräte gemietet)

Material und Methoden

Die Nachteile des Gerätes sind:

- hoher logistischer Aufwand
 - viele einzelne Geräte / Verbrauchsmaterialien (Strahlaggregat mit Dosiereinheit, Kompressor, Stromaggregat, Trockeneis, Traktor mit Anhänger)
 - Komponenten nicht geländegängig, auf Anhänger zu montieren
- personeller Aufwand (Fahrer, Anwender, Trockeneiszulieferer, Koordinator)
- ökologische Belastung, Freisetzung von CO₂ aus Trockeneis und Kraftstoff

Das Trockeneisstrahlaggregat bestand aus zwei Komponenten. Zum einen aus dem Kompressor der Firma KAESER (Typ: M45; Baujahr: 2014; Motorleistung: 35,4 kW; Betriebsdruck: 10 bar; D-96450 Coburg). Zum anderen aus dem Trockeneisdosiergerät der Firma Südstrahl (Typ: Powerjet P 29, Baujahr 2014; Leistungsaufnahme: 1 kW (max.); D-71732 Tamm), (vgl. **Abb. 16**). Zur Hagelsimulation wurde der Betriebsdruck des Kompressors auf 4,7 bar eingestellt, um durch höhere Drücke – besonders im Vorblütebereich – Triebe, Blätter und Gescheine / Trauben nicht zu beschädigen oder gar abzubrechen. Ein niedrigerer Druck konnte darüber hinaus nicht gewählt werden, da bei Unterschreitung der 4,7 bar die Schlauchleitung des Dosiergerätes zufror. Der Drehregler zur Mengenbegrenzung des Trockeneises am Dosiergerät wurde auf 80 % des Maximalwertes eingestellt, da bei höheren Werten die Schlauchleitung ebenfalls einfro. Die ausgebrachte Menge an Trockeneis je Versuchsglied kann aus Tab. 6 ‚Beschädigungsgrad, km h⁻¹ und Trockeneismenge zur Hagelsimulation‘ entnommen werden.

Material und Methoden

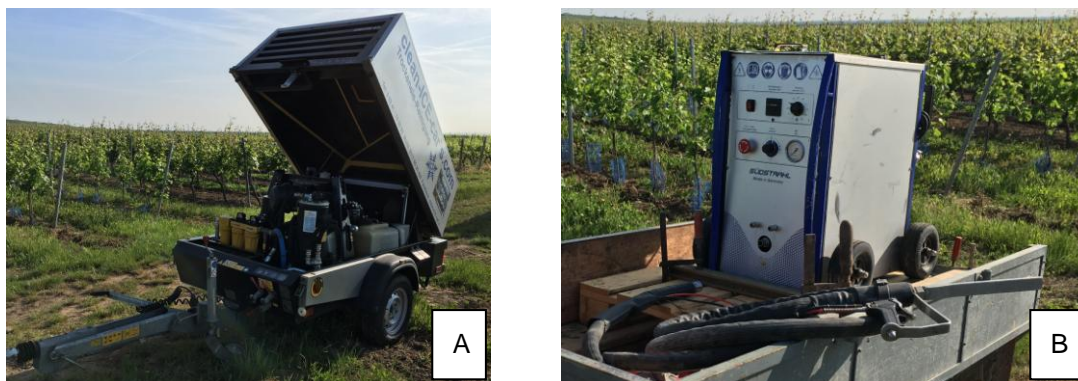


Abb. 16: [A] Druckluftkompressor KAESER M45, [B] Trockeneisdosiergerät Südstrahl Powerjet P 29

Zur Durchführung der Hagelsimulation wurde das Dosiergerät am Heck eines Anhängers befestigt und mittels eines Stromgenerators mit 220 Volt versorgt. Der Kompressor, der die benötigte Druckluft generierte, wurde am Anfang des Weinbergs platziert und über eine lange Druckluftschlauchleitung mit dem Dosiergerät verbunden. Der Beschädigungsgrad („leicht“, „mittel“, „schwer“) wurde über die Anzahl der Überfahrten sowie deren jeweilige Vorfahrtgeschwindigkeit realisiert, da die Trockeneismenge sowie der Luftdruck bereits maximal bzw. minimal eingestellt waren. Die Führung der Trockeneispistole wurde von Hand vorgenommen (vgl. Abb. 17). Auf Grundlage zahlreicher Vorversuche wurde ein relativ steiler Strahlwinkel von 10° bis 20° gewählt, da hier – besonders für die Simulation im Vorblütebereich – nahezu keine Triebe, Blätter und Gescheine / Trauben durch die Druckluft beschädigt oder abgebrochen wurden. Bei einem flacheren Winkel von bspw. 30° bis 40° konnten zahlreiche Totalverluste bzw. abgebrochene Triebspitzen durch den Druckluftstrom festgestellt werden. Um einen konstanten Abstand von der Mündung der Trockenstrahlpistole zur Laubwand zu gewährleisten, wurde bei der Anwendung darauf geachtet, dass die Mündung der Trockeneispistole ca. 20 - 30 cm sowohl in der konventionellen Spalier als auch in der Minimalschnittanlage über dem obersten Heftdraht geführt wurde. Der Trockeneisstrahl, der das Mündungsstück der Trockeneispistole verließ, war ca. 15 cm breit und 5 cm hoch. Da mit diesem relativ kleinen Mündungsstrahl bei einer festmontierten Trockeneispistole nicht die ganze Laubwand hätte behandelt werden können, wurde die Trockeneispistole mit einer

Material und Methoden

horizontalen Schwenkbewegung gleichmäßig über die Laubwand geführt (vgl. **Abb. 17**).

Tab. 6: Beschädigungsgrad, km h^{-1} und Trockeneismenge zur Hagelsimulation

Beschädigungsgrad	Fahrtgeschwindigkeit [km h^{-1}]	Anzahl der Überfahrten	Ø benötigte Trockeneismenge [kg Rebstock^{-1}]
leicht	1,1	1	0,27
mittel	0,5	2	0,51
schwer	0,5	3	0,77



Abb. 17: Visualisierung der Durchführung des künstlichen Hagelschlages in der SHB-Anlage 2016, [1] Traktor mit Fahrer, [2] Trockeneisdosiergerät, [3] anwendergeführte Trockeneispistole, [4] Mündung der Trockeneispistole, [5] Transportanhänger

Material und Methoden

Um die verschiedenen Beschädigungsgrade (leicht, mittel, schwer) besser dokumentieren und visualisieren zu können, wurden hellgelbe Styrodurplatten auf der Außenseite mit schwarzer Wandfarbe angestrichen. Diese Platten wurden im Drahtrahmen in Randreihen fixiert, wodurch an der bemalten Seite ebenfalls ein Hagelschlag simuliert werden konnte. So war es möglich, die Trockeneisverteilung zweidimensional während der Simulation aufzuzeigen (vgl. **Abb. 18**, **Abb. 19** und **Abb. 20**).



Abb. 18: Zweidimensionale Visualisierung der Trockeneisverteilung während der Simulation „leichter“ Schaden, hellgelbe Stellen kennzeichnen das Auftreffen des Trockeneises.



Abb. 19: Zweidimensionale Visualisierung der Trockeneisverteilung während der Simulation „mittlerer“ Schaden, hellgelbe Stellen kennzeichnen das Auftreffen des Trockeneises.



Abb. 20: Zweidimensionale Visualisierung der Trockeneisverteilung während der Simulation „schwerer“ Schaden, hellgelbe Stellen kennzeichnen das Auftreffen des Trockeneises.

3.3 Datenerhebung

Zur Beantwortung der in Kapitel 1 ‚Einleitung und Fragestellung‘ aufgestellten Hypothesen wurde eine Vielzahl an Daten erhoben, die in Abschnitt 4 ‚Ergebnisse‘ aufgeführt sind. Die Bonituren wurden von zwei Personen ausgeführt, wobei die Einteilung der Boniturgrade stets von derselben Person übernommen wurde. Alle Daten wurden nach der Erhebung durch Mittelwertbildung je Versuchsglied und Wiederholung weiter bearbeitet, sodass die Ergebnisse grafisch dargestellt und Unterschiede statistisch geprüft werden konnten. Nachfolgend wird beschrieben wie diese Daten gewonnen wurden.

3.3.1 Phänologische Stadien

Zur Beschreibung des vegetativen und generativen Entwicklungszustandes im Jahresverlauf wurde zu verschiedenen Zeitpunkten (**Tab. 7**) das phänologische Stadium bonitiert. Zur Einteilung der Stadien wurde das BBCH-Schema von LORENZ et al. (1994) verwendet. In jeder Wiederholung eines Versuchsgliedes wurden mindestens drei Rebstöcke ausgezählt. Die Ergebnisse wurden anschließend durch die Bildung des Medians dargestellt.

Tab. 7: Boniturtermine der phänologischen Stadien in den Versuchsjahren 2016 und 2017

Bonitur (BBCH-Code)	2016	2017
Austrieb (00 - 09)	21.04.	08.04.
Blüte (60 - 69)	17.06.	10.06.
Fruchtreife (81 - 89)	22.08.	18.08.

3.3.2 Verrieselung

Die Verrieselung wurde als Zusatzbaustein in der Bewertung eines Hagelschadens vor der Blüte im Versuchsjahr 2017 bonitiert. Hierzu wurde am 02.07.2017 (17 Tage nach Ende der Blüte) die Verrieselung in beiden Versuchsanlagen ausgezählt. Die Verrieselung wurde in folgende Grade eingeteilt: 0, 5, 10, 20, 30, ..., 100 und je Versuchsglied und Wiederholung an mindestens drei Rebstöcken und deren gesamten Trauben (außer Geiztrauben) untersucht. Die Versuchsglieder des Hagelschlages nach der Blüte blieben unberücksichtigt, da die Datenerhebung der Verrieselung vor der Durchführung der Hagelsimulation im Nachblütebereich war. Somit besaßen diese eine vergleichbare Merkmalsausprägung wie die Kontrolle und waren für das Untersuchungsergebnis nicht relevant.

3.3.3 Befallsstärke von *Botrytis cinerea* und *Plasmopara viticola* an den Beeren

Um zur Ernte die Traubengesundheit besser bewerten zu können, wurde die Befallsstärke von *Botrytis cinerea* und *Plasmopara viticola* bonitiert. Die entsprechenden Boniturtermine sind in **Tab. 8** aufgelistet. In der SHB wurden mindestens fünf Rebstöcke je Versuchsglied und Wiederholung untersucht. Es wurden stets alle Trauben des Rebstockes (außer Geiztrauben) mit in die Auswertung einbezogen. In der MSS-Erziehung wurden je Versuchsglied und Wiederholung, aufgrund der höheren Traubenanzahl maximal drei Rebstöcke untersucht. Auch hier wurden alle Trauben eines Rebstockes (außer Geiztrauben) mit ausgewertet. Für beide Erziehungssysteme wurde das gleiche Bewertungsschema angewendet. Hierzu wurden die Trauben in folgende Schadensgrade eingeteilt: 0, 5, 10, 20, 30, ..., 100.

 Material und Methoden

Tab. 8: Übersicht über die Zeitpunkte der Bonituren von *Botrytis cinerea* und *Plasmopara viticola*, k. M. = keine Merkmalsausprägung

Bonitur-Art	Bonitur Datum SHB	Bonitur Datum MSS
<i>Botrytis cinerea</i> 2016	03.09.2016	04.09.2016
<i>Botrytis cinerea</i> 2017	02.09.2017	03.09.2017
<i>Plasmopara viticola</i> 2016	03.09.2016	04.09.2016
<i>Plasmopara viticola</i> 2017	k. M.	k. M.

3.3.4 Durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock

Die durchschnittliche Traubenanzahl je Rebstock wurde in beiden Versuchsanlagen am 01.09.2017 erhoben. Dazu wurde ein manueller Handzähler verwendet, sodass ein Verzählen durch die ausführende Person weitestgehend ausgeschlossen werden konnte. In der SHB-Anlage wurden mindestens sechs und in der MSS-Anlage mindestens vier Rebstöcke je Versuchsglied und Wiederholung ausgezählt. In beiden Anlagen wurden alle Trauben (außer Geiztrauben) mitgezählt. Die durch die Hagelsimulation teilweise beschädigten Trauben wurden als ganze Trauben bewertet, sofern das am Rebstock verbleibende Gewebe grün war und folglich augenscheinlich weiter versorgt wurde. Abgeschlagene Traubenreste blieben unberücksichtigt.

3.3.5 Traubenertrag pro Rebstock

Zur Erfassung des Traubenertrages in kg Rebstock⁻¹ wurden in der SHB- aus jedem Versuchsglied und jeder Wiederholung mindestens vier und in der MSS-Erziehung mindestens zwei repräsentative Rebstöcke ausgewählt. Somit war es möglich, beeinträchtigte Rebstöcke aus dem Versuch auszuschließen, die z. B. durch Esca, Virosen oder mechanische Verletzungen nicht dem Leistungsspektrum der Anlagen

Material und Methoden

entsprachen. In den Varianten „früh schwer“ der SHB wurden jeweils sieben Rebstöcke geerntet, um eine ausreichende Erntemenge zur Weinherstellung zu ermöglichen. Diese ausgewählten Rebstöcke wurden kurz vor der Ernte durch Kabelbinder am Stamm markiert, um sie so für die Lesemannschaft zu identifizieren (vgl. **Abb. 21**). Durch diese Markierung konnte auch beim winterlichen Rebschnitt das Schnittholzgewicht dem jeweiligen Stockertrag zugeordnet werden. Diese Markierungsarbeiten wurden auch analog in der MSS-Erziehung durchgeführt. Die genauen Erntetermine sind in **Tab. 9** aufgeführt. Die Ernte erfolgte in einem Zeitfenster mit trockenen Wetterbedingungen.



Abb. 21: [A] Kabelbindermarkierung am Rebstamm SHB-Anlage „früh leicht“,
[B] Kabelbindermarkierung am Rebstamm MSS-Anlage „spät mittel“

Die Trauben jedes Versuchsgliedes wurden von Hand in separate Erntebehälter geerntet, wodurch mittels einer Waage (FS 0212761, ADE, D-2000 Hamburg) die genaue Erntemenge je Versuchsglied erfasst werden konnte. Zur Errechnung des Stockertrages wurde der angezeigte Wert (nach Abzug der Tara) durch die Stockanzahl des Versuchsblockes geteilt.

 Material und Methoden

Tab. 9: Übersicht über die Traubenernte-Termine in den Versuchsjahren 2016 und 2017

	Erntedatum SHB	Erntedatum MSS
Traubenernte 2016	13.09.2016	15.09.2016
Traubenernte 2017	04.09.2017	06.09.2017

3.3.6 Einzelbeerengewicht

Nach der Traubenernte wurden die Erntebehälter zur weiteren Verarbeitung in ein Kelterhaus transportiert. Zunächst wurde aus jeder Charge der 56 verschiedenen Versuchsblöcke je 100 repräsentative Beeren von den Stielgerüsten gezupft und in einem separaten Gefäß zur Massenbestimmung gesammelt. Bei der Auswahl der Beeren wurde darauf geachtet, keine hagelgeschädigten oder sonstig beeinträchtigten Beeren (z. B. *Botrytis cinerea*) mit in die Auswertung einfließen zu lassen.

3.3.7 Ertrags- und Mostgewichtsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016

Wie in Kapitel 3.1 ‚Versuchsanlagen‘ beschrieben wurden beide Versuchsanlagen in zwei Blöcke geteilt. Der Teil der 2016 für die Hagelsimulation und zur Datenerhebung Verwendung fand, wurde im Ertragsjahr 2017 betriebsüblich ohne Hagelsimulation bewirtschaftet. Dieser Block wurde ebenfalls im Jahr 2017, wie im Abschnitt ‚Traubenertrag pro Rebstock‘ beschrieben, geerntet und gewogen. Die Ernte der SHB- und MSS-Anlage erfolgte am 01.09. sowie am 02.09.2017 in einem Zeitfenster mit trockenen Wetterbedingungen. Die geernteten Trauben wurden nach dem Wiegen in den Erntebehältern mit einem Kantholz (ca. 15 cm x 15 cm) zerstoßen. Nach einer Standzeit von ca. fünf Minuten wurde mit einem Refraktometer das

Mostgewicht gemessen. Dieser Vorgang wurde für jeden der 56 Versuchsblöcken wiederholt.

3.3.8 Traubenverarbeitung, Mostanalyse und Weinausbau

Nachdem aus den 56 Chargen die Beerengewichte bestimmt und die Beeren in die entsprechenden Erntebehälter zurückgeführt wurden, konnte mit der Mostgewinnung begonnen werden. Um eine gute Pressbarkeit des Traubenmaterials zu gewährleisten, wurden 12 ml Pektinasen (Trenolin 4000 DF, Erbslöh, Geisenheim, Deutschland) je 100 kg Trauben zugesetzt. Zur Einmischung des Lesegutes wurde ein Kantholz (ca. 15 cm x 15 cm) verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, behutsam die Trauben anzuquetschen und möglichst keine Kerne zu vermahlen, um die Sensorik der späteren Weine nicht nachteilig zu beeinflussen. Die eingemischten Trauben wurden nach einer Standzeit von ca. 30 Minuten auf eine Hydropresse (Hydropresse 80 L, Speidel, Ofterdingen, Deutschland) aufgeschüttet. Diese Presse wurde manuell nach einem festgelegten Schema mit Wasserdruck beaufschlagt. Nach dem Aufschütten wurde die Maische mit 0,1 bar für zwei Minuten angedrückt. Anschließend wurde in fünfminütigen Intervallen der Druck um 0,5 bar erhöht, wobei der letzte und siebte Presszyklus mit dem Maximaldruck von 2,8 bar gefahren wurde, sodass die Presszeit 32 Minuten betrug. Darauffolgend wurde der Tresterkuchen von Hand einmal aufgebrochen und der Presszyklus erneut gestartet. Im Versuchsjahr 2016 sind die vier Wiederholungen je Versuchsglied in der Hydropresse zusammengeführt und gemeinsam abgepresst worden. Hingegen wurde im Versuchsjahr 2017 stets die erste und vierte sowie die zweite und dritte Wiederholung in der Presse vermischt und gekeltert, sodass der Weinausbau mit zwei Wiederholungen durchgeführt werden konnte. Eine Mostschönung mit Aktivkohle (Granucol, Erbslöh, Geisenheim, Deutschland) wurde nur im Jahr 2017 über alle Versuchsglieder der beiden Erziehungssysteme mit 30 g hl^{-1} durchgeführt. Nach dem Keltern der Trauben wurden die Moste mit 25 (2016) bzw. 50 (2017) mg l^{-1} Kaliumhydrogensulfid (KHSO_3) (La Littorale / Erbslöh, Geisenheim, Deutschland) geschwefelt. Die Moste wurden für den weiteren Ausbau nach dem Pressvorgang in

Material und Methoden

25 l Glasballons gefüllt und in einem 13 °C kühlen Keller gelagert. Im Versuchsjahr 2016 wurde aufgrund des guten Gesundheitszustandes des Traubenmaterials auf eine Mostvorklärung verzichtet. Jedoch wurde im Versuchsjahr 2017 eine Sedimentation der Moste über ca. zwölf Stunden durchgeführt. Die Proben (100 ml) für die FTIR-Mostanalysen wurden direkt nach der Vorklärung aus den Glasballons gezogen. Die Durchführung der Mostanalysen wurde extern an das akkreditierte Labor Witowski (Zentrallabor Witowski, Alzey, Deutschland) vergeben. Die Proben wurden bis zur Untersuchung im Kühlschrank bei ca. 8 °C aufbewahrt. Am 17.09.2016 (2017: 06.09. SHB bzw. 08.09. MSS) wurden die Moste der SHB- und MSS-Erziehung mit 30 mg l⁻¹ einer *Saccharomyces bayanus* Hefe (LALVIN EC 1118; EATON; Langenlohnheim, Deutschland) inokuliert. Sowohl 2016 als auch 2017 wurden allen Varianten acht Tage nach der Hefe-Inokulation mit 33 g hl⁻¹ Diammoniumhydrogenphosphat ((NH₄)HPO₄) versetzt. Beide Versuchsjahrgänge wurden ca. drei Wochen nach Ende der Gärung abgestochen und auf 50 mg l⁻¹ freie SO₂ mittels Kaliumhydrogensulfit (KHSO₃) aufgeschwefelt. Die Weine des 2016er Jahrgangs wurden Ende Dezember 2016 kellerblank und unfiltriert in 0,75 l Flaschen gefüllt. Zur Beseitigung eines aufgetretenen Schwefelwasserstoff- (H₂S) Böchsers wurden die 2016er Weine Mitte Februar 2017 aufgezogen, in Korbflaschen umgefüllt und mit 50 mg l⁻¹ Kupferzitrat (Kupzit Erbslöh, Geisenheim, Deutschland) geschönt. Nach einer Einwirkzeit von zwei Tagen wurden die Weine erneut abgestochen und in 0,75 l Flaschen gefüllt. Die Weine des Versuchsjahres 2017 wurden hingegen Mitte Januar 2018 in der Kellerei der Rebenzüchtung in Geisenheim über einen Kerzenfilter filtriert und anschließend in 0,5 l Flaschen gefüllt. Beide Jahrgänge wurden mit einem Schraubverschluss verschlossen und bis zur Verkostung dunkel und kühl bei 13° gelagert.

3.3.9 Schnittholzertrag

Zur Bewertung des vegetativen Wachstums wurde in den 2017er Versuchsfeldern der Schnittholzertrag des einjährigen Ertragsholzes am 05.01.2018 erhoben. Hierzu wurde mittels einer üblichen Rebschere das einjährige Rebholz jener Rebstöcke

herausgeschnitten, deren Trauben im Herbst geerntet wurden. Bereits vor der Traubenernte 2017 wurden die entsprechenden Rebstöcke mittels Kabelbinder am Stamm kenntlich gemacht (vgl. Kapitel 3.3.5). Das entnommene einjährige Holz eines Versuchsblockes wurde mittels Waage (FS 0212761, ADE, D-2000 Hamburg) auf das Frischgewicht hin untersucht und durch die Anzahl der Rebstöcke des Versuchsblockes geteilt. Diese Vorgehensweise wurde sowohl in der SHB- als auch in der MSS-Anlage angewendet. Während der Datenerhebung herrschte trockenes Wetter mit Temperaturen um 7 °C.

3.3.10 Organoleptik

Um die ausgebauten Versuchsweine aus den Jahren 2016 und 2017 auf ganzheitliche Produktunterschiede prüfen zu können, wurde zu Beginn der organoleptischen Untersuchung ein Dreieckstest durchgeführt. Damit das Testergebnis aussagekräftig gestaltet werden konnte, wurden nicht alle Versuchsglieder überprüft, sondern jeweils für SHB und MSS die „Kontrolle“ (A) gegen „Vor- und Nachblüte mittel“ (B). Zur Durchführung des Dreieckstests bekam jede Prüfperson drei identische Gläser mit drei Proben, wovon stets zwei Proben gleich waren, sodass die Prüfpersonen folglich die abweichende Probe als „forced choice“ auszuwählen hatten. Die Versuchsweine wurden stets codiert und in unterschiedlichen Kombinationen den Versuchspersonen gereicht. Für die untersuchten Weine (A und B) gab es folglich sechs Kombinationsmöglichkeiten: AAB, ABA, BAA, ABB, BAB, BBA.

Nach dem Dreieckstest wurde eine deskriptive Analyse anhand eines Sensorikbogens durchgeführt. Hierbei mussten die Panelisten in einem dimensionslosen Balkenbereich die Intensität der Attribute Säure und Körper / Fülle bewerten. Für die Dokumentation wurden diese Balkenbereiche von 0 (keine Attributsausprägung) bis 9 (starke Attributsausprägung) untergliedert. Hierbei wurden die Weine stets in die folgenden Serien eingeteilt: „SHB: Kontrolle, früh leicht, früh mittel, früh schwer“; „SHB: Kontrolle, spät leicht, spät mittel, spät schwer“; „MSS:

Kontrolle, früh leicht, früh mittel, früh schwer“; „MSS: Kontrolle, spät leicht, spät mittel, spät schwer“.

3.4 Datenverarbeitung und Statistik

Alle gewonnenen Daten wurden nach der Versuchsdurchführung in Microsoft Excel 2007 übertragen, um so die Mittelwerte und Standardabweichungen je Versuchsglied und Wiederholung errechnen und grafisch illustrieren zu können. Die weitere statistische Auswertung wurde mit R-Studio durchgeführt. Die statistischen Testbedingungen von Normalverteilung und homogenen Varianzen wurden durch visuelle Prüfung der Residuen wie auch durch einen Shapiro-Wilk-Test (Normalverteilung) und einen Bartlett- bzw. Levene-Test (homogene Varianzen) geprüft. Je nach den Ergebnissen der Voraussetzungstests wurden angepasste weitere Testmethoden gewählt. Sofern die Daten eine Normalverteilung und homogene Varianzen aufwiesen, wurde mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse geprüft, ob signifikante Unterschiede vorlagen. Zur weiteren Differenzierung kam in diesen Fällen ein adjustierter multipler Spannweitenvergleich der Mittelwertdifferenzen nach Tukey zum Einsatz. Konnten die Voraussetzungstests nicht erfüllt werden, so wurden zunächst mit einem nicht parametrischen Omnibus-Test nach Kruskal-Wallis die Datensätze auf signifikante Unterschiede untersucht. Um vorhandene Unterschiede aufzeigen und gruppieren zu können, wurde ein parameterfreier multipler Rangsummentest nach Dunn mit einer Adjustierung nach Benjamini-Hochberg durchgeführt.

Die Ergebnisse des Dreieckstest der Organoleptik wurden durch Abgleich mit Tabellenwerten der Binominalverteilung ausgewertet. Die Ergebnisse der Intensitätsprüfung wurden je Probenserie nach Rängen geordnet und mittels des Friedman-Tests statistisch geprüft (SAHAI & AGEEL 2000).

Die Textverarbeitung wurde mit Microsoft Word 2007 ausgeführt und zur Verwaltung der Literatur Citavi in die Textverarbeitung implementiert.

4 Ergebnisse

Im Kapitel 4 sind nachfolgend alle Ergebnisse dieser Untersuchung aufgeführt, wobei die beiden Versuchsjahre 2016 und 2017 in einzelne Kapitel unterteilt wurden. Beide Versuchsjahre sind analog zueinander gegliedert, wobei einzelne Versuche nur in einem Jahr durchgeführt wurden (z. B. Verrieselung 2017). Abbildungen mit einer vertikalen, gestrichelten Linie zeigen die Ergebnisse der Spalier- und der Minimalschnittanlage optisch in einer Grafik. Die statistische Auswertung wurde jedoch stets je Erziehungssystem getrennt berechnet. Wie in Kapitel 3.2 ‚Hagelsimulation‘ beschrieben, wurden Hagelschäden vor bzw. nach der Blüte simuliert. Im Folgenden werden die Schäden vor der Blüte als „Vorblüteschaden“ (bzw. die Versuchsglieder als „früh leicht“, „früh mittel“, „früh schwer“) und Schäden nach der Blüte als „Nachblüteschaden“ (bzw. die Versuchsglieder als „spät leicht“, „spät mittel“, „spät schwer“) bezeichnet. Die verwendeten statistischen Testmethoden und deren Ergebnisse sind über den Tabellen bzw. unter den Abbildungen und im Anhang aufgeführt.

4.1 Versuchsjahr 2016

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des Versuchsjahres 2016 dargestellt. Die Kapitel sind chronologisch nach dem Zeitpunkt der Erhebung gegliedert, beginnend mit den Bonituren und Massebestimmungen und gefolgt von den Mostinhaltenstoffen und der Organoleptik.

Ergebnisse

4.1.1 Bonituren und Massebestimmungen

4.1.1.1 Phänologische Stadien 2016

Tab. 10: Bonitur des Rebenaustriebes der Versuchsanlagen am 21.04.2016, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), Medianwerte, 05= Wolle Stadium, 07= Beginn Knospenaufbruch, 09= Knospenaufbruch

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	05	05	05	05	05	05	05
MSS	09	07	07	09	09	09	07

Der Austrieb im Jahr 2016 wurde am 21.04.2016 bonitiert. Alle Versuchsglieder der SHB-Anlage waren nach dem Median gewichtet im Wolle Stadium (BBCH 05). Die Varianten der MSS-Erziehung wiesen hingegen kein einheitliches Entwicklungsstadium auf. Die Varianten „früh leicht“, „früh mittel“, „spät schwer“ befanden sich im Stadium des beginnenden Knospenaufbruches (BBCH 07). Die übrigen Versuchsglieder „Kontrolle“, „früh schwer“, „spät leicht“, „spät mittel“ waren im Stadium des Knospenaufbruches (BBCH 09).

Tab. 11: Bonitur der Rebbüte am 17.06.2016 der Versuchsanlagen, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), Medianwerte, 57= Gescheine voll entwickelt, 60= Blütenköppchen lösen sich vom Blütenboden, 63= 30 % der Blütenköppchen abgeworfen, 65= 50 % der Blütenköppchen abgeworfen

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	63	63	60	57	63	63	63
MSS	65	60	60	57	65	65	65

Ergebnisse

Am 17.06.2016 wurde eine weitere Bonitur des phänologischen Stadiums um den Zeitraum der Blüte durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die Versuchsglieder „früh schwer“ beider Anlagen noch nicht in der Blüte waren, sondern im BBCH-Stadium 57 (Gescheine voll entwickelt). Die übrigen „frühen“ Varianten waren zu Beginn der Blüte (BBCH 60 - 63). Die noch ungeschädigten „späten“ Versuchsglieder wiesen dieselben Entwicklungsstadien wie die „Kontrollen“ auf. Die Varianten der SHB- waren zur Bonitur im ersten Drittel der Blüte (BBCH 63), die Blüte in der MSS-Anlage war hingegen bereits zu 50 % beendet (BBCH 65).

Tab. 12: Bonitur der Fruchtreife am 22.08.2016 der Versuchsanlagen, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), 81= Beginn der Reife, 83= fortschreiten der Beerenaufhellung 85= weich werden der Beeren

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	85	83	83	83	85	85	85
MSS	81	81	85	83	83	83	83

Neben dem Austrieb und der Blüte wurde auch zum Zeitpunkt der Fruchtreife das phänologische Stadium bonitiert. Bei dem Vergleich der „Kontrollen“ wurde ersichtlich, dass die SHB- im BBCH- 85 (weich werden der Beeren) und die MSS-Anlage im BBCH-Stadium 81 (Beginn der Reife) war. Die Versuchsglieder „früh“ der SHB-Erziehung waren im Mittel im BBCH-Stadium 83 (fortschreiten der Beerenaufhellung), die „späten“ Varianten befanden sich im BBCH-Stadium 85. In der MSS-Erziehung waren die Versuchsglieder „früh leicht“ und „früh mittel“ im BBCH- 81 bzw. 85, alle übrigen Varianten dieser Erziehung befanden sich im BBCH-Stadium 83.

Ergebnisse

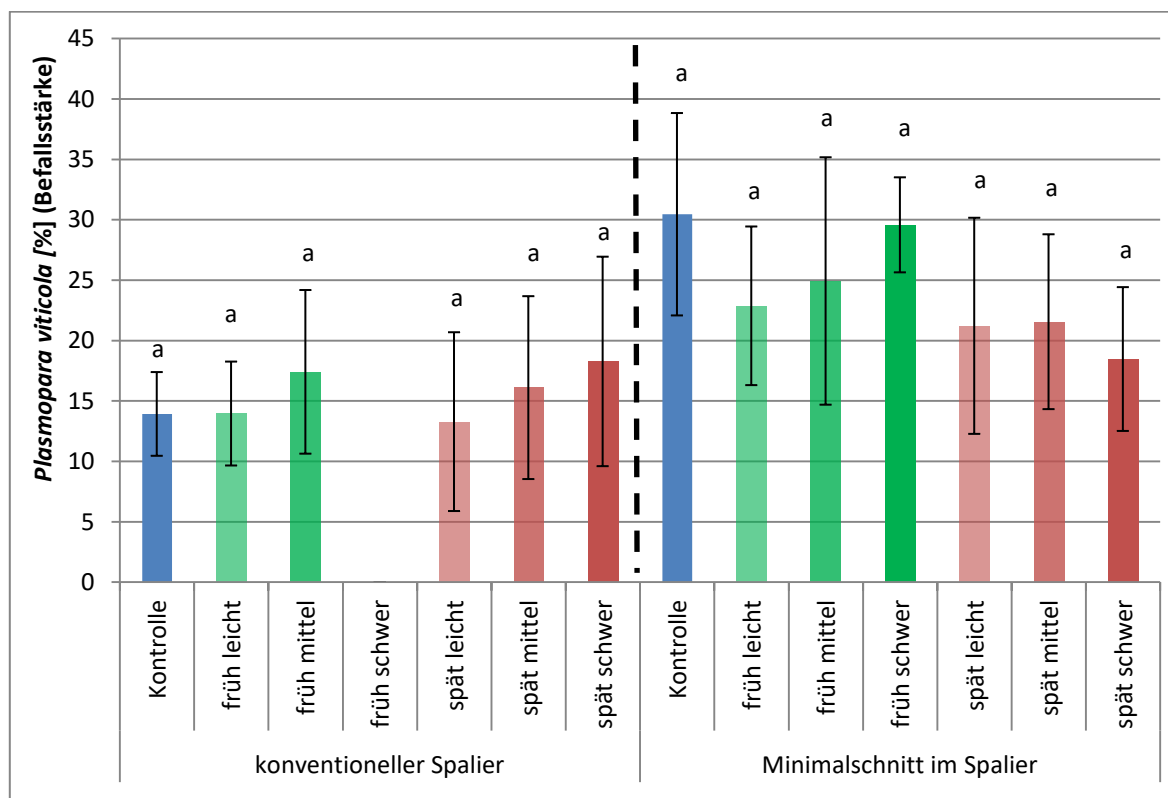
4.1.1.2 Befallsstärke von *Plasmopara viticola* an den Beeren 2016

Abb. 22: Befallsstärke von *Plasmopara viticola* an den Beeren 2016 [%]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis, Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

In **Abb. 22** ist der Befall von *Plasmopara viticola* an den Beeren aufgezeigt. Beim Vergleich der „Kontrollvarianten“ wurde ersichtlich, dass in der SHB- $\approx 14\%$ und bei der MSS-Erziehung $\approx 30\%$ Befall an den Trauben vorzufinden waren. Die SHB-Variante „früh schwer“ besaß keine Merkmalsausprägung, sodass keine Befallsstärke festgestellt werden konnte. In beiden Erziehungssystemen waren keine statistischen Unterschiede nachzuweisen. Jedoch ließ sich für beide Anlagen im Vorblütebereich der Trend einer Zunahme von *Plasmopara viticola* bei steigender Hagelintensität feststellen, wobei die Steigerung in der MSS-Anlage, in Relation zur „Kontrolle“, von einem geringeren Niveau ausging. In den Versuchsgliedern mit simulierten Hagelschäden nach der Blüte war in der SHB-Anlage ein vergleichbarer Trend abzuleiten. In der MSS-Anlage hingegen konnte keine eindeutige Tendenz bekundet werden.

Ergebnisse

4.1.1.3 Befallsstärke von *Botrytis cinerea* an den Beeren 2016

Neben der Befallsstärke von *Plasmopara viticola* wurde auch *Botrytis cinerea* an den Beeren bonitiert. Aufgrund des geringen Befalls konnte keine grafische sowie statistische Auswertung erfolgen, da die durchschnittliche Merkmalsausprägung über alle Versuchsglieder je Erziehungssystem zur Ernte 2016 bei $< 1\%$ lag.

4.1.1.4 Traubenertrag pro Rebstock 2016

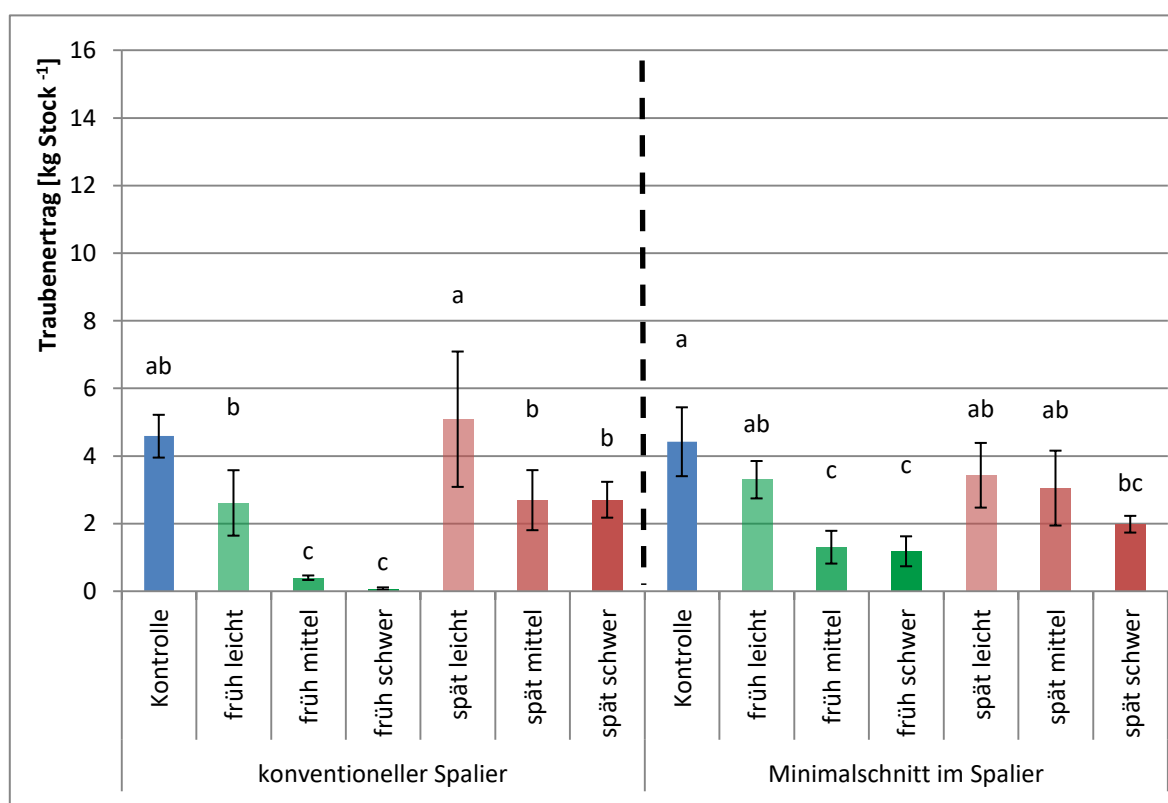


Abb. 23: Traubenertrag 2016 [kg Stock⁻¹]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n = 4$, $\alpha = 5\%$, Spalier: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test, Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD

Eine der relevantesten Untersuchungen dieser wissenschaftlichen Arbeit war die Ertragserfassung. Hierbei fiel in beiden Erziehungssystemen auf, dass der Ertrag in den „frühen“ Versuchsgliedern stärker reduziert wurde als in den „späten“

Ergebnisse

(vgl. **Abb. 23**). Weiter war auffällig, dass die „Kontrollvarianten“ beider Erziehungssysteme auf einem ähnlichen Niveau lagen (SHB: 4,59 kg Stock⁻¹; MSS: 4,43 kg Stock⁻¹). In der SHB war der Unterschied zwischen dem „mittleren“ und „schweren“ Schaden – sowohl im Vor- als auch im Nachblütebereich – sehr gering. Außerdem wies die Variante „spät leicht“ tendenziell einen höheren Ertrag als die „Kontrolle“ auf, wobei dieser Unterschied nicht signifikant war. In der MSS-Anlage konnte für die Varianten „früh mittel“ und „früh schwer“ ebenfalls kein großer Unterschied festgestellt werden. Jedoch waren für die Versuchsglieder „spät leicht“, „spät mittel“ und „spät schwer“ Tendenzen ersichtlich, die abnehmende Erntemengen bei zunehmender Stärke an Hagelschlag nahelegten.

Um die Ertragsverluste durch den simulierten Hagelschlag übersichtlicher darzustellen, sind nachfolgend die jeweiligen Schadensquoten – auch Beschädigungsgrad genannt – aufgeführt. Diese geben den prozentuale Ernteverlust in Relation zur entsprechenden „Kontrolle“ wieder.

Tab. 13: Vergleich der Schadensquoten 2016 der Spalier- und Minimalschnittanlage

Versuchsglied	Schadensquote SHB [≈ %]	Schadensquote MSS [≈ %]	Differenz von SHB zu MSS, SHB= 100 % [≈ %]
Kontrolle	0	0	–
früh leicht	43	26	40
früh mittel	91	70	23
früh schwer	98	73	26
spät leicht	-11	23	309
spät mittel	41	31	24
spät schwer	41	55	-34

Die aufgeführten Beschädigungsgrade wiesen die identischen Tendenzen auf, wie sie zuvor für **Abb. 23** beschrieben wurden. Des Weiteren war der Ertrag der SHB-Anlage „spät leicht“ ungewöhnlich hoch, woraus auch der große Wert von 309 % in der Gegenüberstellung der Schadensquoten resultierte. Ferner ergab sich durch den

Ergebnisse

Hagelschlag in fast allen Varianten in der MSS-Anlage eine geringere Schadensquote als in der SHB-Anlage, bis auf die Variante „spät schwer“, da hier die MSS-Erziehung einen um $\approx 34\%$ stärkeren Ertragsverlust erlitt als die SHB-Erziehung.

4.1.1.5 Einzelbeeregewicht 2016

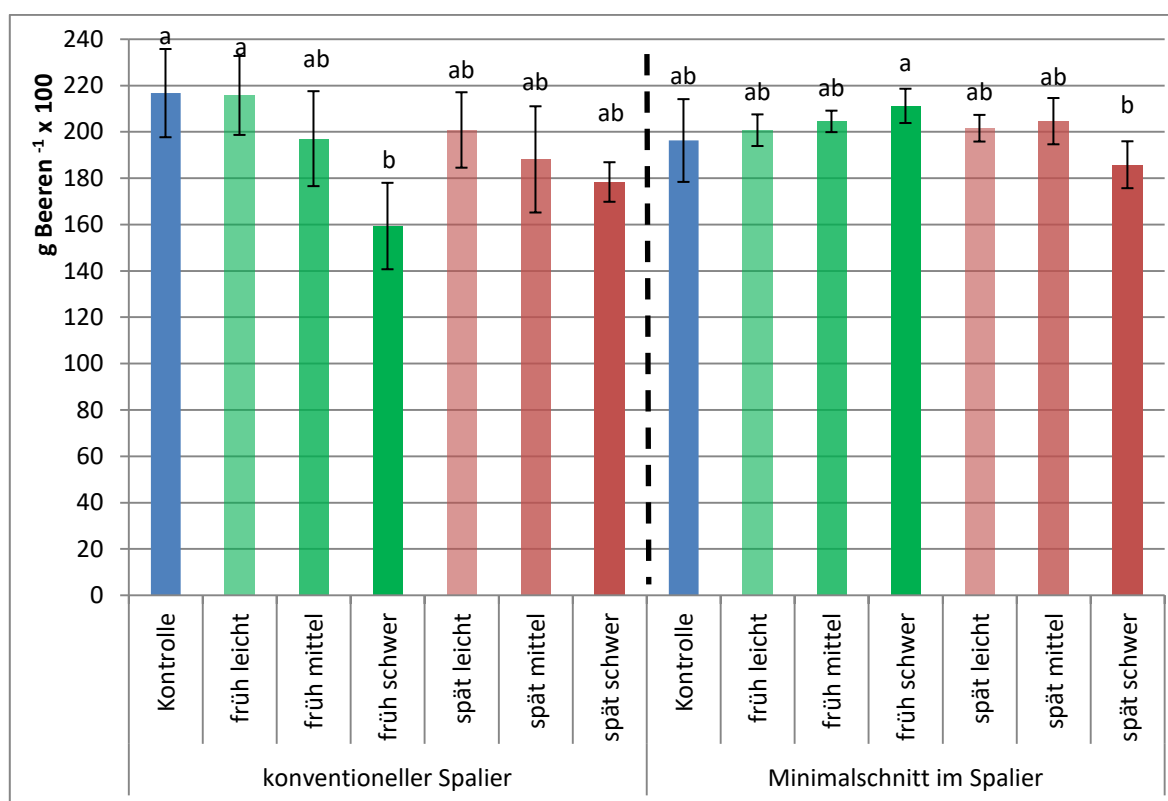


Abb. 24: Beerengewichte 2016 [$\text{g Beeren}^{-1} \times 100$]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$. Spalier + Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD

Für die SHB zeigte sich im Trend für den Vor- wie auch für den Nachblüteschaden eine Abnahme der Beerengewichte mit zunehmendem Beschädigungsgrad (vgl. **Tab. 13**). Im Vorblütebereich waren die Unterschiede von „Kontrolle“ und „früh leicht“ zu „früh schwer“ signifikant unterschiedlich. Für die MSS-Anlage war der Trend nicht eindeutig. Im Vorblütebereich konnte tendenziell eine Zunahme der Beerengewichte mit steigendem Beschädigungsgrad beobachtet werden (vgl. **Abb. 24**). Für den

Ergebnisse

Nachblüteschaden war ein gegenläufiger Trend erkennbar, da hier die Beerengewichte mit steigendem Beschädigungsgrad vermeintlich geringer waren. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Darüber hinaus fiel bei dem Vergleich der „Kontrollvarianten“ auf, dass die SHB-Anlage $\approx 10\%$ höhere Beerengewichte besaß (SHB: $\approx 217 \text{ g Beeren}^{-1} \times 100$, MSS: $\approx 196 \text{ g Beeren}^{-1} \times 100$).

4.1.1.6 Ertragsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016

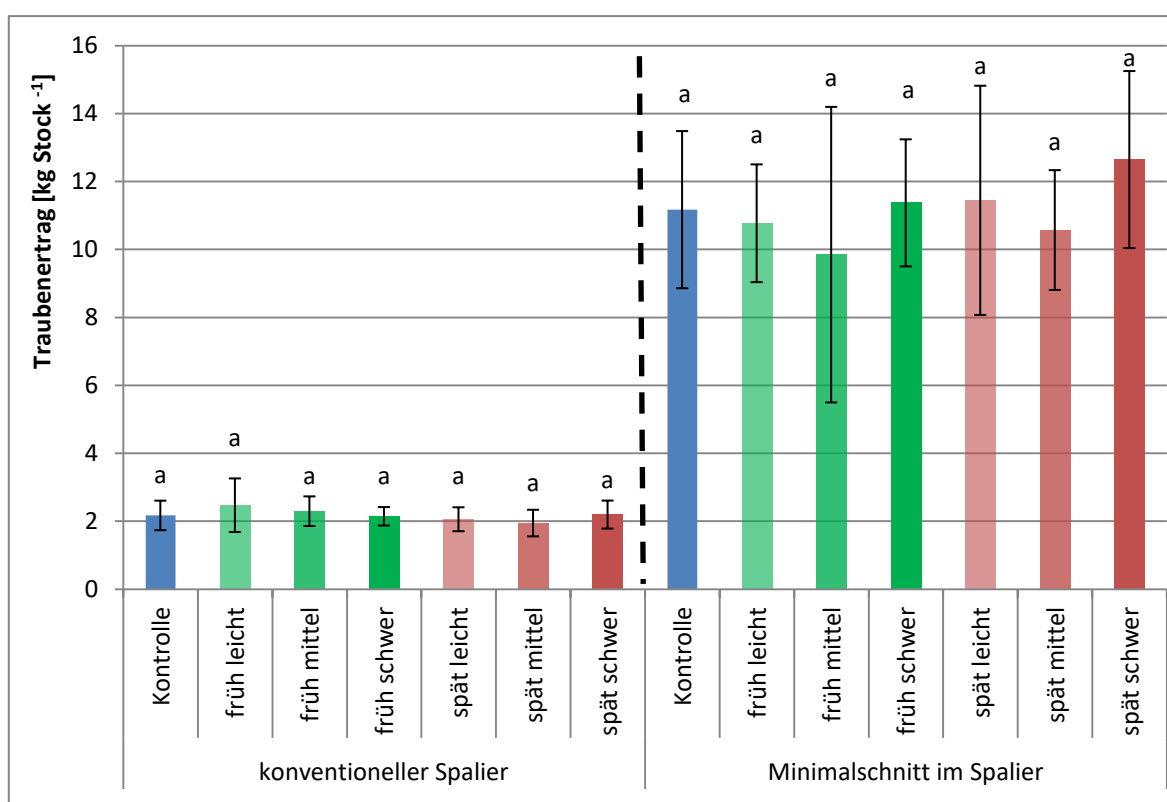


Abb. 25: Traubenertrag 2017 der im Versuchsjahr 2016 künstlich hagelgeschädigten Versuchsglieder [kg Stock⁻¹]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$, Spalier: Daten nicht normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis, Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

Um eine eventuelle Ertragsdepression im Folgejahr nach einem Hagelschlag aufzeigen zu können, wurde die Teilfläche an der ein Hagelschlag 2016 simuliert wurde, im Jahr 2017 erneut mit Bezug auf die Ertragsmenge ausgewertet. Wie aus

Ergebnisse

Abb. 25 ersichtlich, wies die SHB einen vergleichbaren Ertrag über alle Versuchsglieder auf, sodass auch keine signifikanten Unterschiede vorlagen. Die Variante „früh mittel“ der MSS-Erziehung besaß die Tendenz für einen geringeren Ertrag, da im Vergleich zur „Kontrolle“ 1,33 kg Trauben je Rebstock weniger geerntet wurden. Auch in dieser Erziehung gab es zwischen den Versuchsgliedern keine signifikanten Unterschiede, auffällig war jedoch die fast doppelt so hohe Standardabweichung der MSS-Anlage gegenüber den SHB-Varianten.

4.1.1.7 Mostgewichtsdepression im Jahr 2017 durch den Hagelschlag 2016

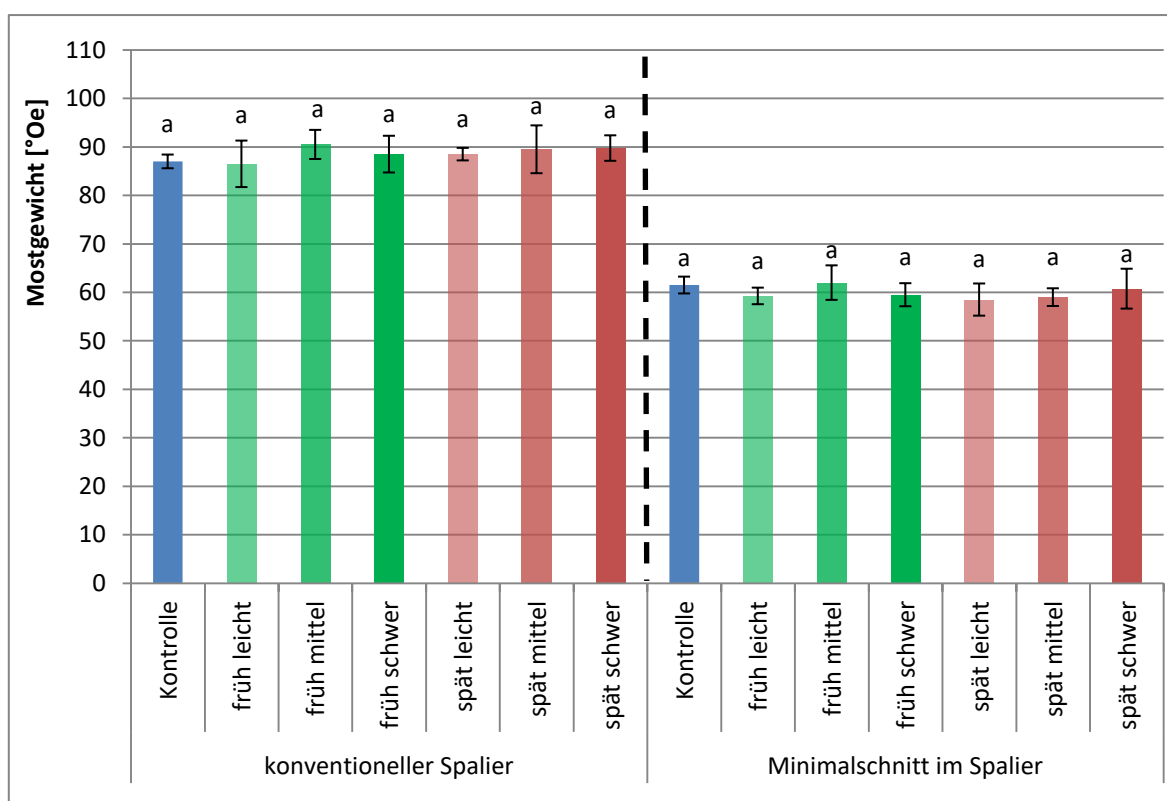


Abb. 26: Mostgewichte 2017 der im Versuchsjahr 2016 künstlich hagelgeschädigten Versuchsglieder [°Oechsle]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, n= 4, $\alpha= 5\%$, Spalier + Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

Ergebnisse

Neben der Frage nach Ertragseinbußen im Folgejahr durch einem Hagelschlag wurden auch die Mostgewichte bestimmt. Die Versuchsglieder wiesen je Erziehungssystem keine Auffälligkeiten auf und die Ergebnisse lagen auf einem nahezu gleichen Niveau, sodass auch keine signifikanten Unterschiede errechnet werden konnten. Beim Vergleich der zwei Erziehungssysteme war jedoch zu erkennen, dass das durchschnittliche Mostgewicht über alle Versuchsglieder der SHB-Anlage bei ≈ 89 °Oe und das der MSS-Anlage bei ≈ 60 °Oe lag.

Ergebnisse

4.1.2 Ausgewählte Mostinhaltsstoffe

Nachfolgend sind die Ergebnisse der FTIR-Messung im Frischmost grafisch dargestellt und beschrieben. Im Jahr 2016 wurden aufgrund der begrenzten Arbeitskraft und -zeit bei der Traubenverarbeitung die Wiederholungen der jeweiligen Versuchsglieder zu einer Variante zusammengeführt, sodass die Ergebnisse als Einfachbestimmung vorlagen.

4.1.2.1 Mostgewicht 2016

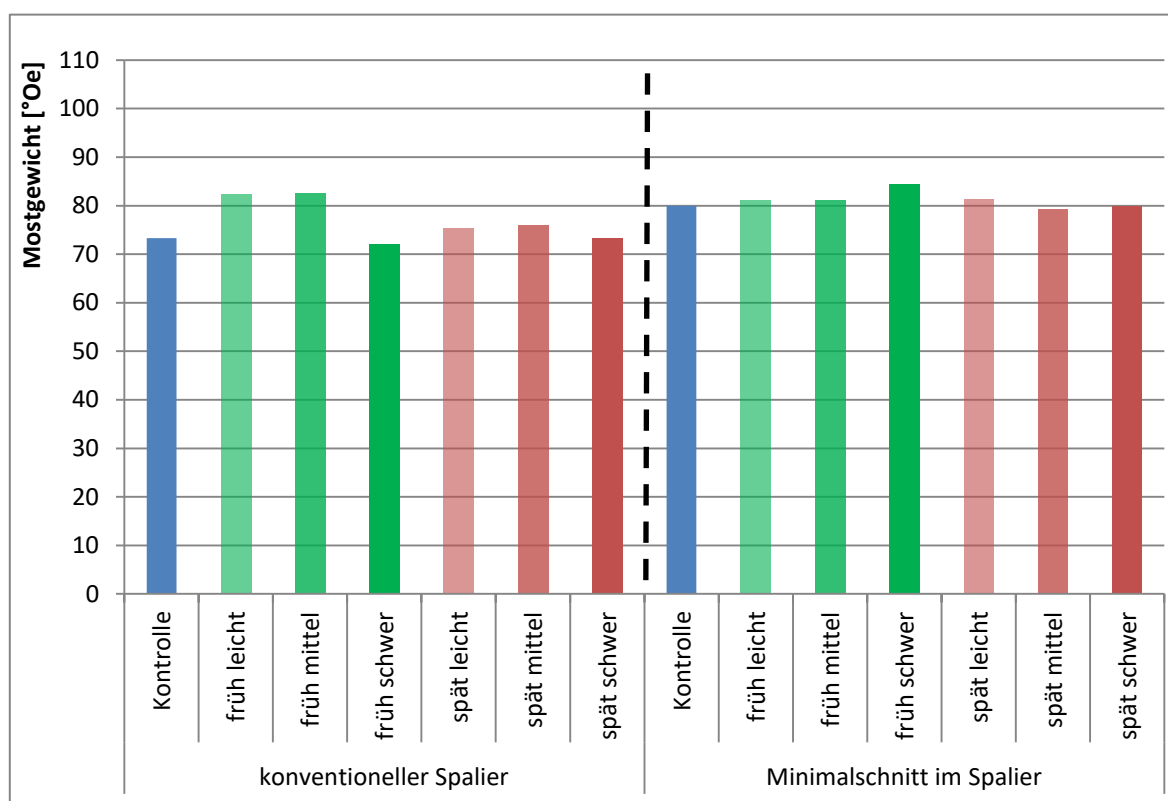


Abb. 27: Mostgewichte der Versuchsglieder 2016 [°Oechsle], FTIR-Messung im Frischmoststadium, n=1

Bei der Betrachtung der Mostgewichte der 2016er Ernte waren generell zwischen SHB und MSS keine gravierenden Unterschiede vorhanden. Durchschnittlich lag das Mostgewicht der „Kontrollen“ bei ≈ 73 °Oe (SHB) bzw. ≈ 80 °Oe (MSS). Ferner waren die Werte der SHB-Versuchsglieder „früh leicht“ und „früh mittel“ sowie die Variante

Ergebnisse

„früh schwer“ der MSS-Erziehung geringfügig erhöht. Für alle anderen Varianten war kein eindeutiger Trend abzuleiten. Jedoch erschienen die Mostgewichte der SHB deutlicher durch einen Hagelschaden beeinflusst als die der MSS-Erziehung, da stärkere Abweichungen zur „Kontrolle“ vorhanden waren.

4.1.2.2 Gesamtsäure 2016

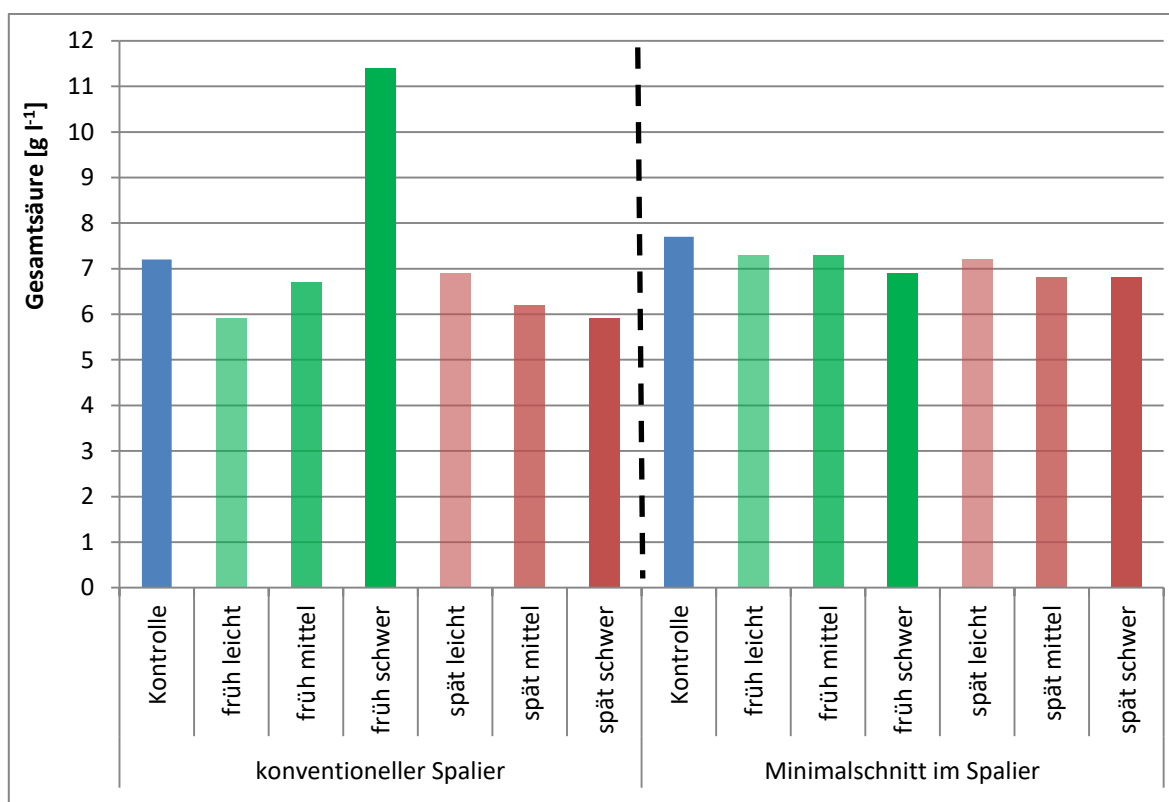


Abb. 28: Gesamtsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium, n=1

Aus **Abb. 28** geht die Konzentration der Gesamtsäure der 2016er Moste hervor. Bei dem Vergleich der Erziehungssysteme ergab sich ein differenziertes Bild, da die Abweichungen der Varianten, an denen ein Hagelschaden simuliert wurde, zur entsprechenden „Kontrolle“ in der SHB stärker ausfielen als in der MSS-Erziehung. Das Versuchsglied „früh schwer“ der SHB besaß mit 11,40 g l⁻¹ die höchste Konzentration an Gesamtsäure. Des Weiteren erschien in der SHB die Gesamtsäurekonzentration – im Vorblütebereich – mit steigendem

Ergebnisse

Beschädigungsgrad höher zu sein. Bei Hagelschäden nach der Blüte war dagegen die Konzentration abnehmend. In der MSS-Anlage jedoch wiesen die Versuchsglieder mit dem stärksten Schaden die geringsten Werte auf, sowohl im Vor- als auch im Nachblütebereich. Bei einem generellen Vergleich der Erziehungssysteme miteinander war auffällig, dass die „Kontrollvarianten“ in einem ähnlichen Wertebereich lagen (SHB: 7,20 g l⁻¹; MSS: 7,70 g l⁻¹).

4.1.2.3 Äpfelsäure 2016

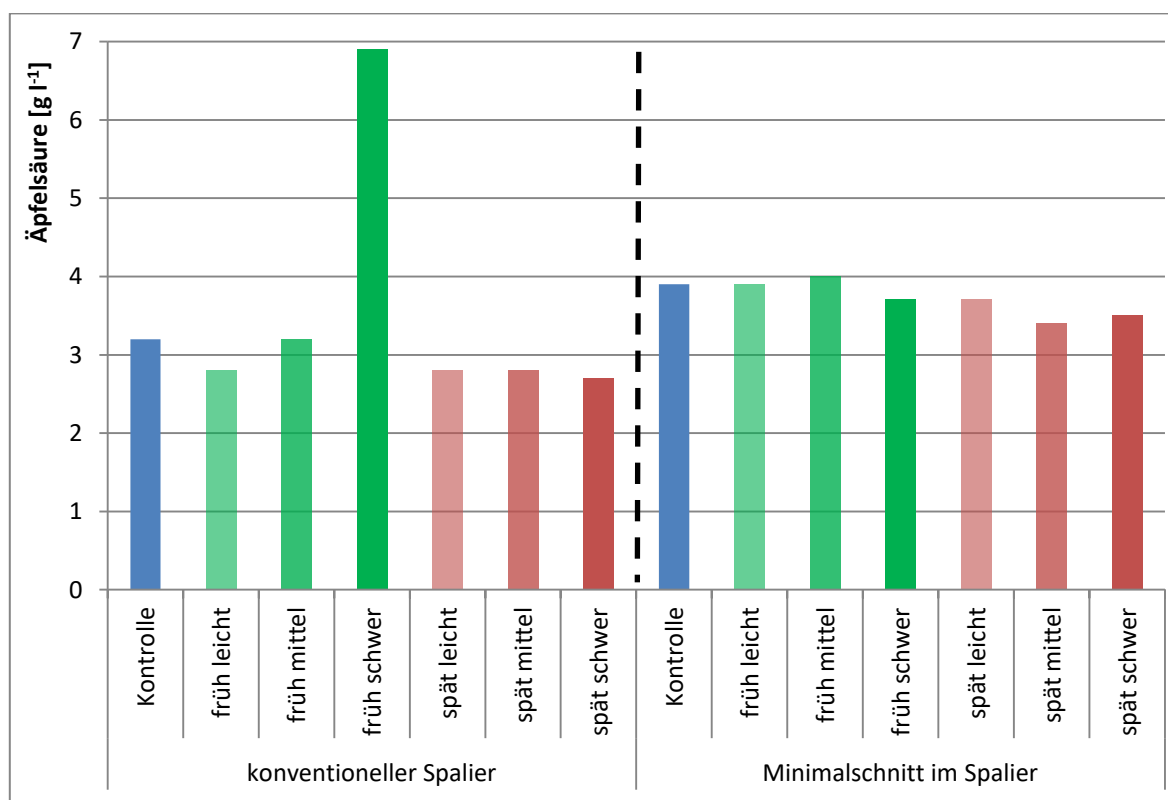


Abb. 29: Äpfelsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium, n=1

Beim Vergleich der Äpfelsäure-Konzentrationen anhand der „Kontrollvarianten“ ergab sich ein ≈ 22 % höherer Gehalt für die MSS-Erziehung (SHB: 3,20 g l⁻¹, MSS: 3,90 g l⁻¹). Analog zu den vorigen Säurewerten hatte die SHB-Variante „früh schwer“ mit 6,90 g l⁻¹ den höchsten Gehalt. Darüber hinaus tendierten die Werte der SHB-Varianten, die vor der Blüte vom Hagel geschädigt wurden, zu einer Zunahme bei

Ergebnisse

steigendem Beschädigungsgrad. In der SHB- sowie MSS-Erziehung wiesen die Versuchsglieder im Nachblütebereich tendenziell geringere Gehalte als die „Kontrolle“ auf.

4.1.2.4 Weinsäure 2016

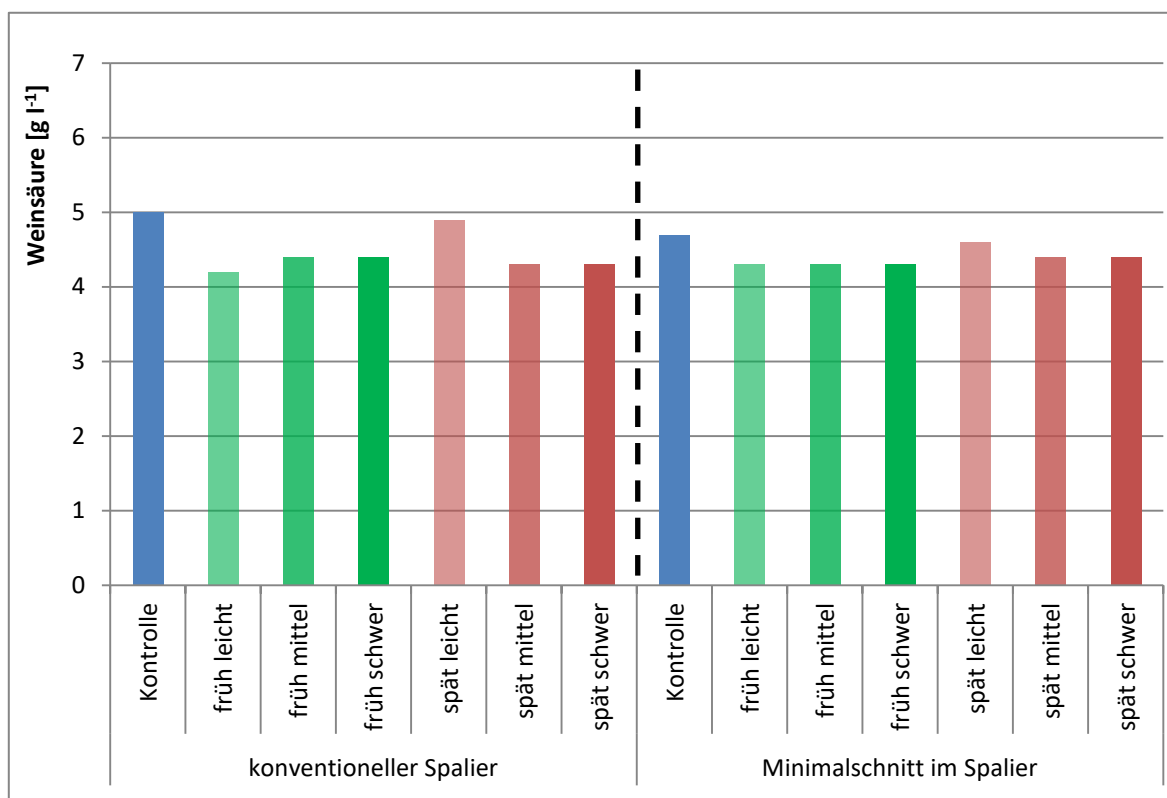


Abb. 30: Weinsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [g l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium, n=1

In **Abb. 30** sind die Weinsäure-Konzentrationen der Versuchsglieder aus dem Jahr 2016 abgebildet, die im Frischmost gemessen wurden. Die „Kontrollvarianten“ der beiden Anlagen unterschieden sich nur um 0,30 g l⁻¹, was einem prozentualen Unterschied von 6 % entsprach. Im Vergleich der Versuchsglieder je Erziehungssystem zur entsprechenden „Kontrolle“ fiel ein genereller Trend von geringeren Konzentrationen auf. Jedoch bildet die Variante SHB „spät leicht“ eine Ausnahme, da die Konzentration auf ähnlichem Niveau wie die „Kontrolle“ lag. Eine

Ergebnisse

Tendenz zur Zu- oder Abnahme der Weinsäure-Konzentration konnte beim Vergleich der Versuchsglieder im Vor- und Nachblütebereich je Erziehungssystem nicht festgestellt werden. Auch beim Vergleich der Mittelwerte je Erziehungssystem über alle Varianten war der Unterschied von der SHB-Anlage mit $4,50 \text{ g l}^{-1}$ zur MSS-Anlage ($4,43 \text{ g l}^{-1}$) eher gering.

4.1.2.5 Kalium 2016

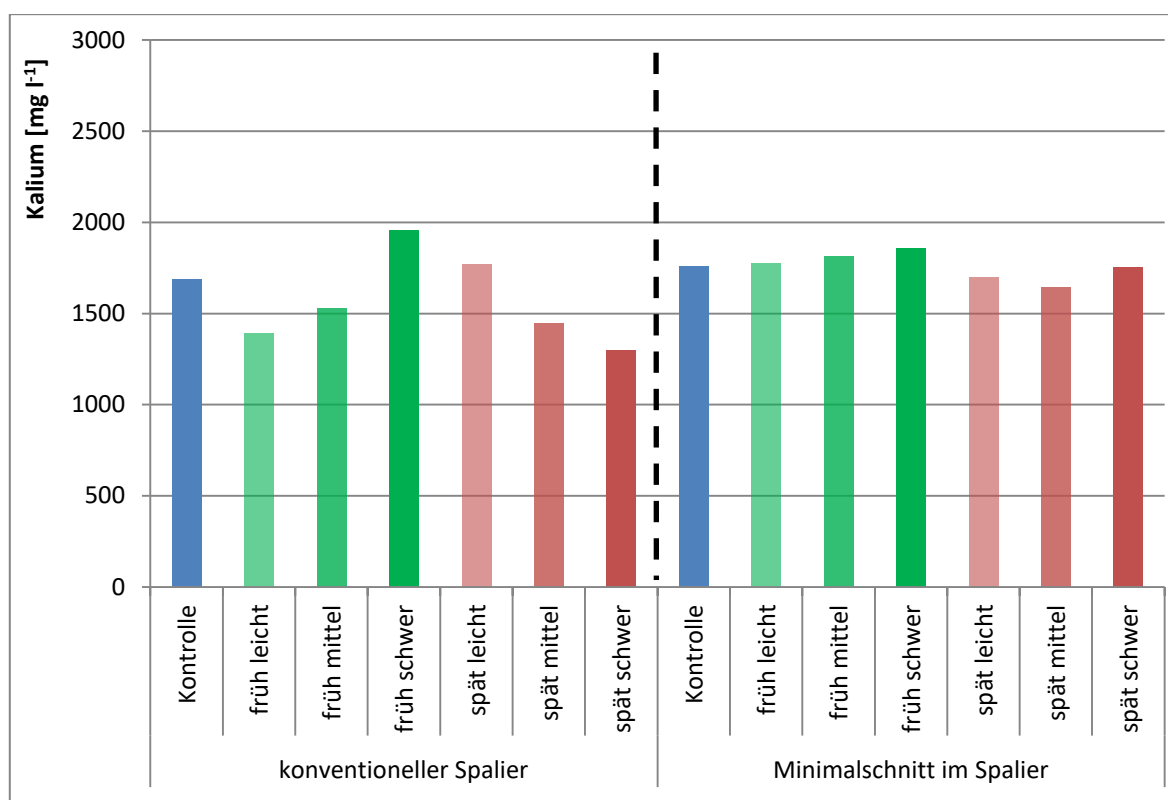


Abb. 31: Kalium-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [mg l^{-1}], FTIR-Messung im Frischmoststadium, $n=1$

Für die SHB und MSS-Erziehung war auffällig, dass die Versuchsglieder von „früh leicht“ nach „früh schwer“ zunehmend höhere Konzentrationen an Kalium im Frischmost aufwiesen, wobei die Werte im Vergleich zur entsprechenden „Kontrolle“ in der SHB von einem geringeren Niveau ausgingen (vgl. **Abb. 31**). Für die Versuchsglieder „spät leicht“, „spät mittel“ und „spät schwer“ der SHB war ein konträrer Trend festzustellen, sodass die Säulen der Versuchsglieder der SHB-

Ergebnisse

Erziehung, an denen ein Hagelschlag simuliert wurde, grafisch eine Glockenform darstellen. Die Ergebnisse der MSS-Anlage zeigten im Nachblüebereich marginale Unterschiede auf, aus denen aber kein Trend abzuleiten war. Bei der Untersuchung der „Kontrollvarianten“ von SHB- ($\approx 1.585 \text{ mg l}^{-1}$) zu MSS-Erziehung ($\approx 1.759 \text{ mg l}^{-1}$) konnte ein prozentualer Unterschied von $\approx 11 \%$ festgestellt werden.

4.1.2.6 YAN 2016

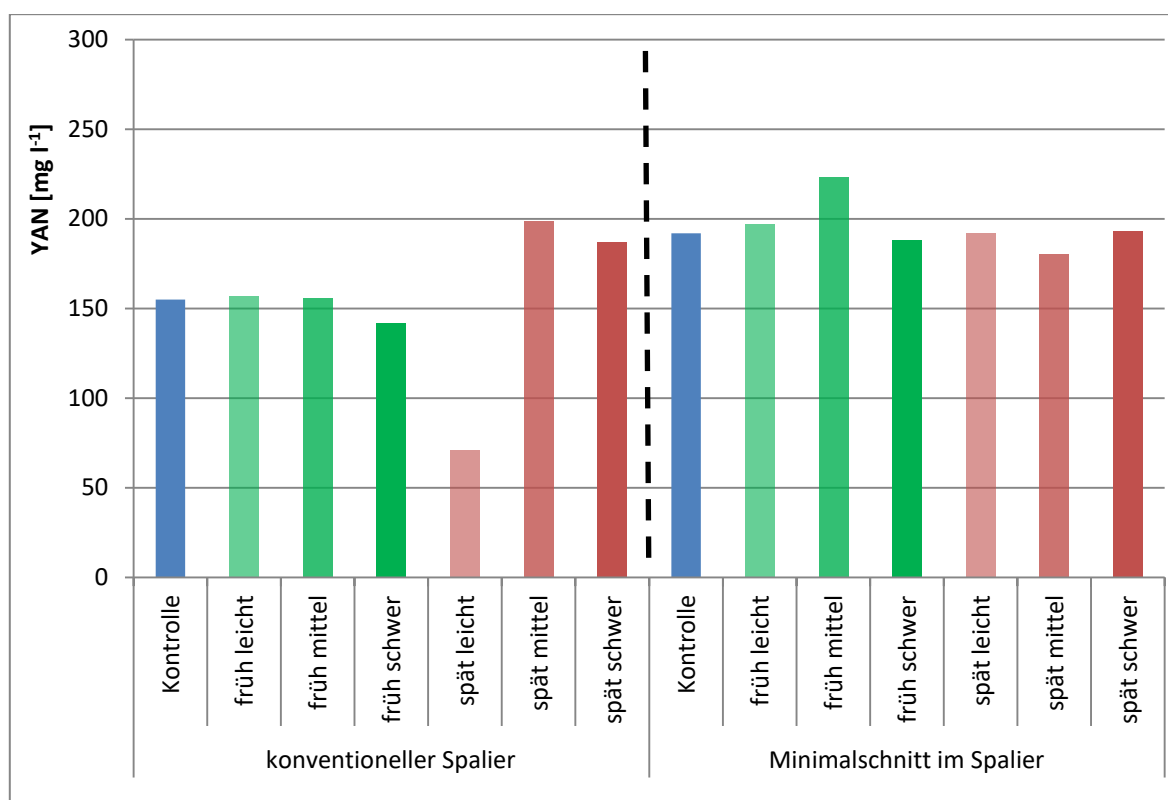


Abb. 32: YAN-Konzentration der Versuchsglieder 2016 [mg l^{-1}], FTIR-Messung im Frischmoststadium, $n=1$

Abb. 32 zeigt die YAN-Konzentrationen der Versuchsglieder 2016, die im Frischmoststadium festgestellt wurden. Die gemessenen Konzentrationen der Moste aus der SHB zeigten keinen eindeutigen Trend zur Zu- oder Abnahme bei verschiedenen Beschädigungsgraden. Auffällig war jedoch, dass die Versuchsglieder „spät mittel“ und „spät schwer“ mit $\approx 28 \%$ bzw. $\approx 21 \%$ höhere Werte besaßen als die „Kontrolle“. In der MSS-Erziehung war hingegen der höchste Gehalt in der

Ergebnisse

Variante „früh mittel“ mit 223 mg l^{-1} nachzuweisen, was eine prozentuale Abweichung zur „Kontrolle“ um $\approx 16 \%$ bedeutete. Weiter war auch beim Vergleich der „Kontrollen“ von SHB- (155 mg l^{-1}) zur MSS-Anlage (192 mg l^{-1}) auffällig, dass hier ein Unterschied von $\approx 24 \%$ vorlag.

4.1.3 Organoleptik der 2016er Weine

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Organoleptik der 2016er Weine abgebildet. Diese Weine wurden an zwei Terminen (25.05.2017 und 08.02.2018) verkostet. Zu Beginn sind die Ergebnisse des Dreieckstests tabellarisch dargestellt, gefolgt von den Säulendiagrammen. Jene illustrieren die Attributsausprägung Säure sowie Körper / Fülle nach den durchschnittlichen Rängen.

Tab. 14: Ergebnis des Dreieckstests der 2016er Weine, verkostet am 25.05.2017 von 14 Panelisten

Probenpaar	abgegebene Antworten	richtige Antworten	p-Wert
SHB: Kontrolle - früh mittel	14	8	0,0576
SHB: Kontrolle - spät mittel	14	8	0,0576
MSS: Kontrolle - früh mittel	14	4	0,7388
MSS: Kontrolle - spät mittel	14	6	0,3102

Die Panelisten der Verkostung am 25.05.17 konnten im Dreieckstest statistisch nachweislich keinen Unterschied erkennen, bei einem angenommenen α -Wert von 0,05.

Ergebnisse

Tab. 15: Ergebnis des Dreieckstests der 2016er Weine, verkostet am 08.02.2018 von 10 Panelisten; * signifikanter Unterschied $\alpha= 0,05$; ** sehr signifikanter Unterschied $\alpha= 0,01$

Probenpaar	abgegebene Antworten	richtige Antworten	p-Wert
SHB: Kontrolle - früh mittel	10	8	0,0034**
SHB: Kontrolle - spät mittel	10	7	0,0197*
MSS: Kontrolle - früh mittel	10	4	0,4407
MSS: Kontrolle - spät mittel	10	5	0,2131

Die Ergebnisse des Dreieckstests vom 08.02.18 zeigten auf, dass die Probenpaare aus der SHB-Anlage „Kontrolle“ - „früh mittel“ und „Kontrolle“ - „spät mittel“ statistisch abgesichert unterschieden werden konnten, bei einem angenommenen α -Wert von 0,05.

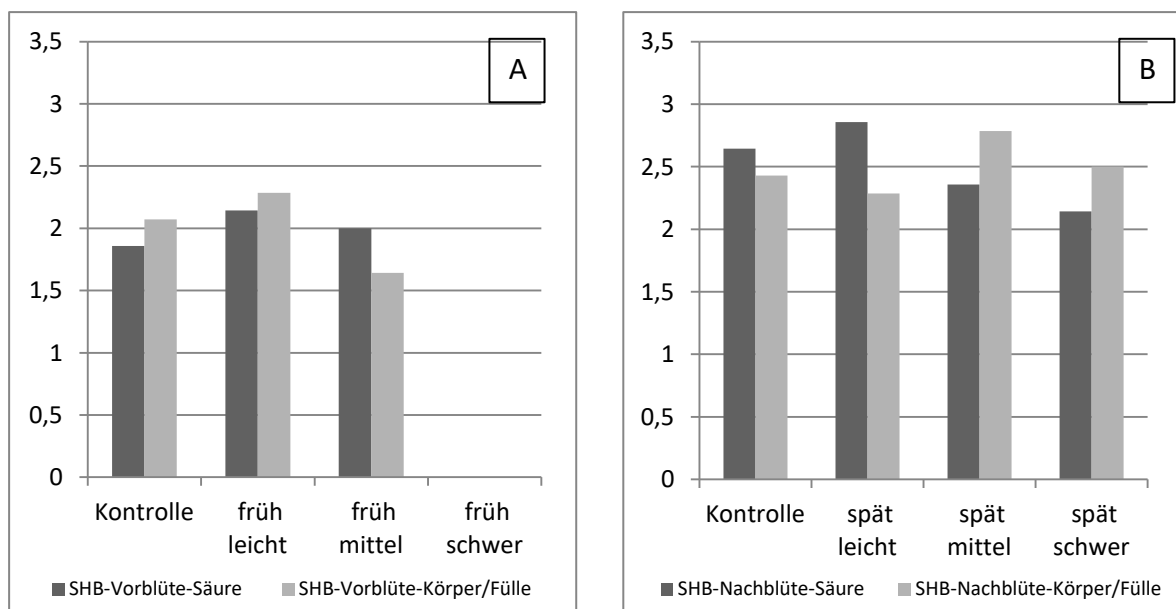


Abb. 33: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine nach durchschnittlichem Rang, verkostet am 25.05.2017 von 14 Panelisten, Wein „früh schwer“ nicht verkostet, [A] SHB-Vorblüteschaden, [B] SHB-Nachblüteschaden

Ergebnisse

Abb. 33 stellt die Attributsausprägungen der 2016 Weine dar. Das Säulendiagramm [A] zeigt geringe Unterschiede auf, bis auf das Versuchsglied „früh mittel“, da hier die Körper / Fülle Ausprägung erheblich geringer eingestuft wurde. Säulendiagramm [B] zeigt ebenfalls keine erheblichen Unterschiede auf, jedoch wurden die Versuchsglieder „spät mittel“ und „spät schwer“ sensorisch geringer bewertet als die „Kontrolle“ und „spät leicht“.

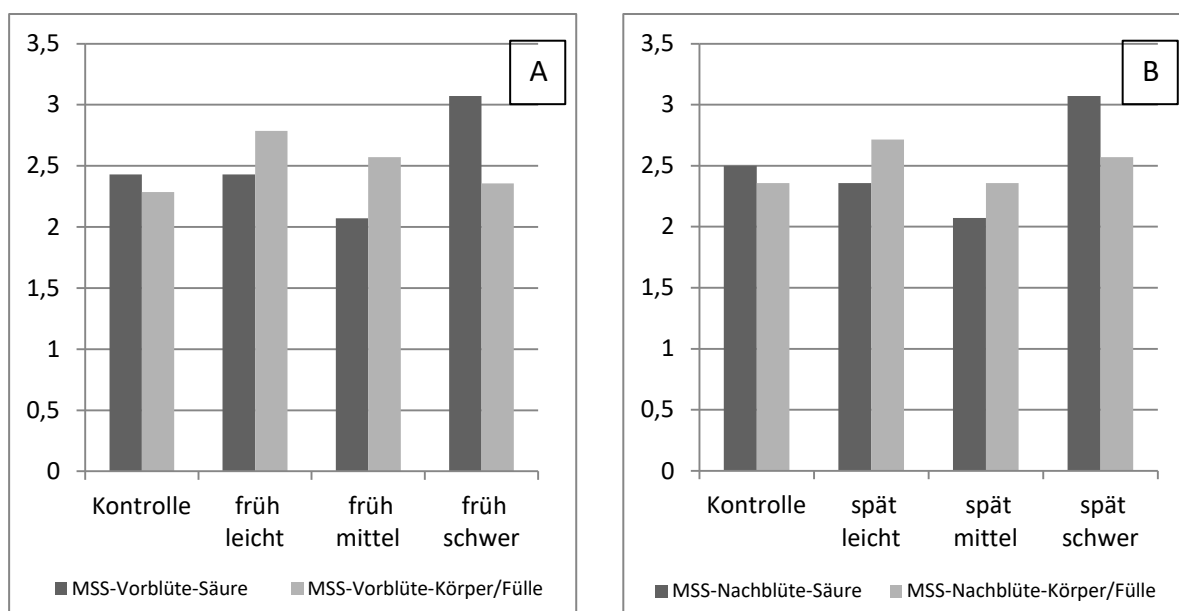


Abb. 34: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine nach durchschnittlichem Rang, verkostet am 25.05.2017 von 14 Panelisten, [A] MSS-Vorblüteschaden, [B] MSS-Nachblüteschaden

Wie aus **Abb. 34** zu entnehmen, wurden die Weine der MSS-Erziehung von den Verkostern mit sehr ähnlichen Attributsausprägungen bewertet. Auffällig war, dass die Säure der Versuchsglieder „früh schwer“ wie auch „spät schwer“ als überdurchschnittlich stark empfunden wurde.

Ergebnisse

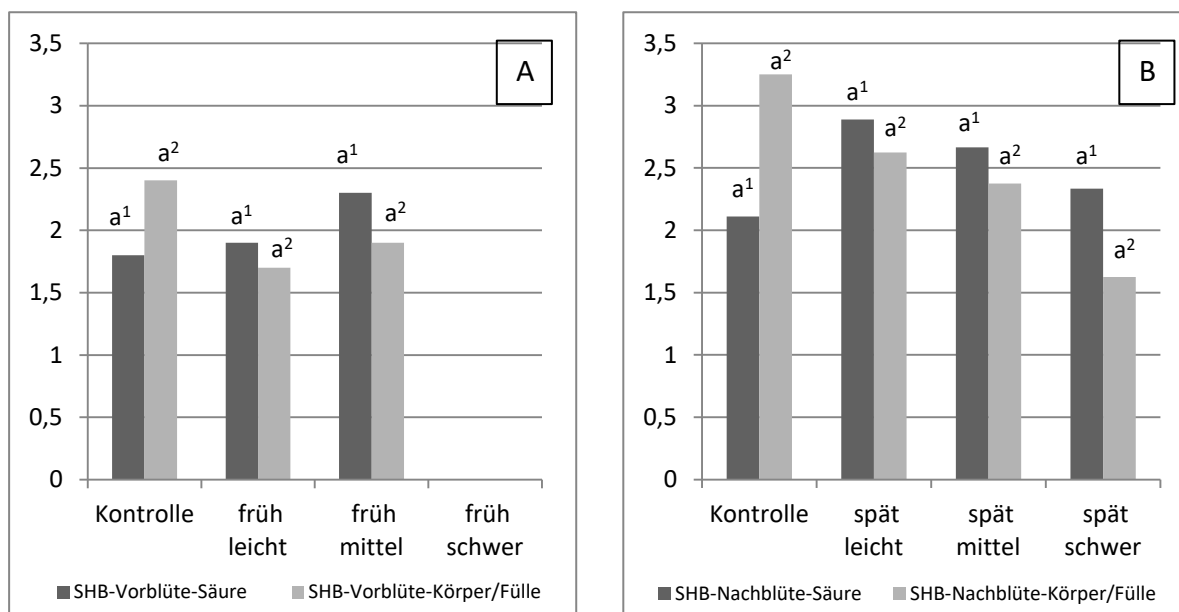


Abb. 35: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine nach durchschnittlichem Rang; verkostet am 08.02.2018; Wein „früh schwer“ nicht verkostet; unterschiedliche Buchstaben mit identischen Exponenten kennzeichnen signifikante Unterschiede, $n=10$, $\alpha=5\%$; [A] SHB-Vorblüteschaden, [B] SHB-Nachblüteschaden

Die Wiederholung der Organoleptik der 2016er Weine am 08.02.2018 belegte für den Vorblüteschaden [A] ähnliche Ergebnisse wie die Verkostung vom 25.05.2017 (vgl. **Abb. 33** und **Abb. 35**). Wobei die „Kontrollen“ des Vor- und Nachblüteschadens [A] und [B] mit den stärksten Ausprägungen des Attributes Körper / Fülle beschrieben wurden. Des Weiteren zeigte dieses Attribut eine deutliche Tendenz zur Abnahme bei steigender Hagelintensität, für Schäden nach der Blüte. Die Säure-Intensitäten – sowohl beim Vor- als auch Nachblüteschaden – waren gegenüber der entsprechenden „Kontrolle“ merklich erhöht.

Ergebnisse

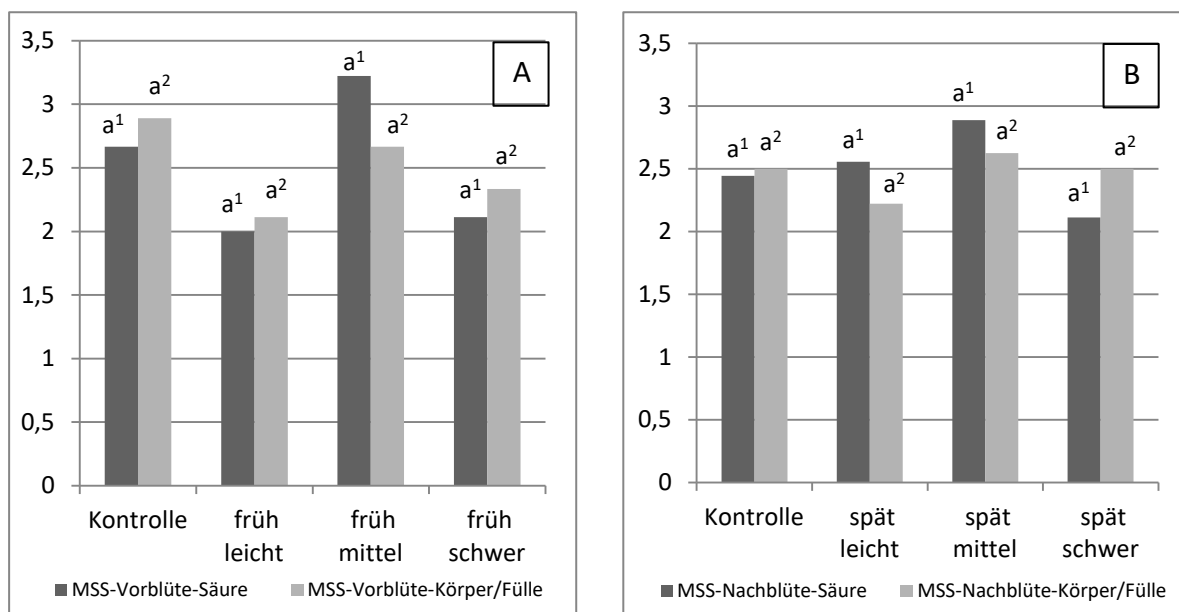


Abb. 36: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2016er Weine nach durchschnittlichem Rang; verkostet am 08.02.2018; unterschiedliche Buchstaben mit identischen Exponenten kennzeichnen signifikante Unterschiede, $n = 10$, $\alpha = 5\%$; [A] MSS-Vorblüteschaden, [B] MSS-Nachblüteschaden

Die Ergebnisse der Verkostung der 2016er MSS-Weine zeigten für die Vorblüteschäden eine sehr differenzierte Attributsausprägung, aus der kein eindeutiger Trend abgeleitet werden konnte. Die Attributsausprägungen der Versuchsglieder des Nachblüteschadens waren deutlich enger auf einem Niveau zueinander. Jedoch konnte auch hier kein eindeutiger Trend abgeleitet werden.

Ergebnisse

4.2 Versuchsjahr 2017

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des Versuchsjahres 2017 dargestellt. Die Kapitel sind chronologisch nach dem Zeitpunkt der Erhebung gegliedert, beginnend mit den Bonituren und Massebestimmungen und gefolgt von den Mostinhaltsstoffen und der Organoleptik.

4.2.1 Bonituren und Massebestimmungen

4.2.1.1 Phänologische Stadien 2017

Tab. 16: Bonitur des Rebenaustriebes der Versuchsanlagen am 08.04.2017, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), 05= Wollestadium, 07= Beginn Knospenaufbruch

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	07	07	07	05	07	07	05
MSS	05	05	05	05	05	05	05

Aus **Tab. 16** ist zu entnehmen, dass die phänologische Entwicklung der SHB-Anlage zum Rebenaustrieb am 08.04.2017 nicht einheitlich über alle Versuchsglieder war. Die Varianten „früh schwer“ und „spät schwer“ waren im BBCH- 05 (Wollestadium), die „Kontrolle“ sowie die übrigen Versuchsglieder dagegen im BBCH-Stadium 07 (Beginn Knospenaufbruch). Die Versuchsglieder der MSS-Anlage hingegen befanden sich einheitlich zum Zeitpunkt der Bonitur im Wollestadium (BBCH 05).

Ergebnisse

Tab. 17: Bonitur der Reblüte am 10.06.2017 der Versuchsanlagen, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), 60= Blütenköppchen lösen sich vom Blütenboden, 63= 30 % der Blütenköppchen abgeworfen, 65= 50 % der Blütenköppchen abgeworfen, 67= 70 % der Blütenköppchen abgeworfen

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	67	63	63	63	65	67	65
MSS	63	60	60	60	65	63	63

Die Ergebnisse des mittleren phänologischen Stadiums der verschiedenen Versuchsglieder zum Zeitpunkt der Blüte ist in **Tab. 17** aufgeführt. Die Varianten „Kontrolle“ und „spät mittel“ der SHB-Erziehung befand sich zur Bonitur am 10.06.2017 im BBCH-Stadium 67 (70 % der Blütenköppchen abgeworfen). Die Versuchsglieder „spät leicht“ und „spät schwer“ im Entwicklungsstadium BBCH 65 (50 % der Blütenköppchen abgeworfen). Alle drei Varianten mit simuliertem Vorblüteschaden waren im BBCH-Stadium 63 (30 % der Blütenköppchen abgeworfen). Die „Kontrolle“ sowie die Varianten „spät mittel“ und „spät schwer“ befanden sich im Entwicklungsstadium BBCH 63. Das Versuchsglied „spät leicht“ war im BBCH-Stadium 65. Die Varianten mit simuliertem Vorblüteschaden („früh leicht“, „früh mittel“, „früh schwer“) waren im phänologischen Stadium BBCH 60 (Blütenköppchen lösen sich vom Blütenboden).

Ergebnisse

Tab. 18: Bonitur der Fruchtreife am 22.08.2017 der Versuchsanlagen, Einteilung in BBCH-Stadien nach LORENZ et al. (1994), 81= Beginn der Reife, 83= fortschreiten der Beerenaufhellung, 85= weich werden der Beeren

Erziehungss.	Kontrolle	früh			spät		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
SHB	85	83	83	83	85	85	85
MSS	83	81	81	83	83	83	83

Zur Fruchtreife wurde am 22.08.2017 das phänologische Entwicklungsstadium in den beiden Versuchsanlagen bonitiert. Wie aus **Tab. 18** ersichtlich, waren die „Kontrolle“ sowie die Versuchsglieder „spät leicht“, „spät mittel“, „spät schwer“ der SHB-Erziehung im Entwicklungsstadium BBCH 85 (weich werden der Beeren), die Versuchsglieder des Vorblüteschadens hingegen im Entwicklungsstadium BBCH 83 (fortschreiten der Beerenaufhellung). Die Bonituren der MSS-Erziehung zeigten, dass sich die „Kontrolle“ sowie die Versuchsglieder „früh schwer“, „spät leicht“, „spät mittel“, „spät schwer“ im BBCH-Stadium 83 befanden. Die Varianten „früh leicht“ und „früh mittel“ waren jedoch im Entwicklungsstadium BBCH 81 (Beginn der Reife).

Ergebnisse

4.2.1.2 Verrieselung 2017

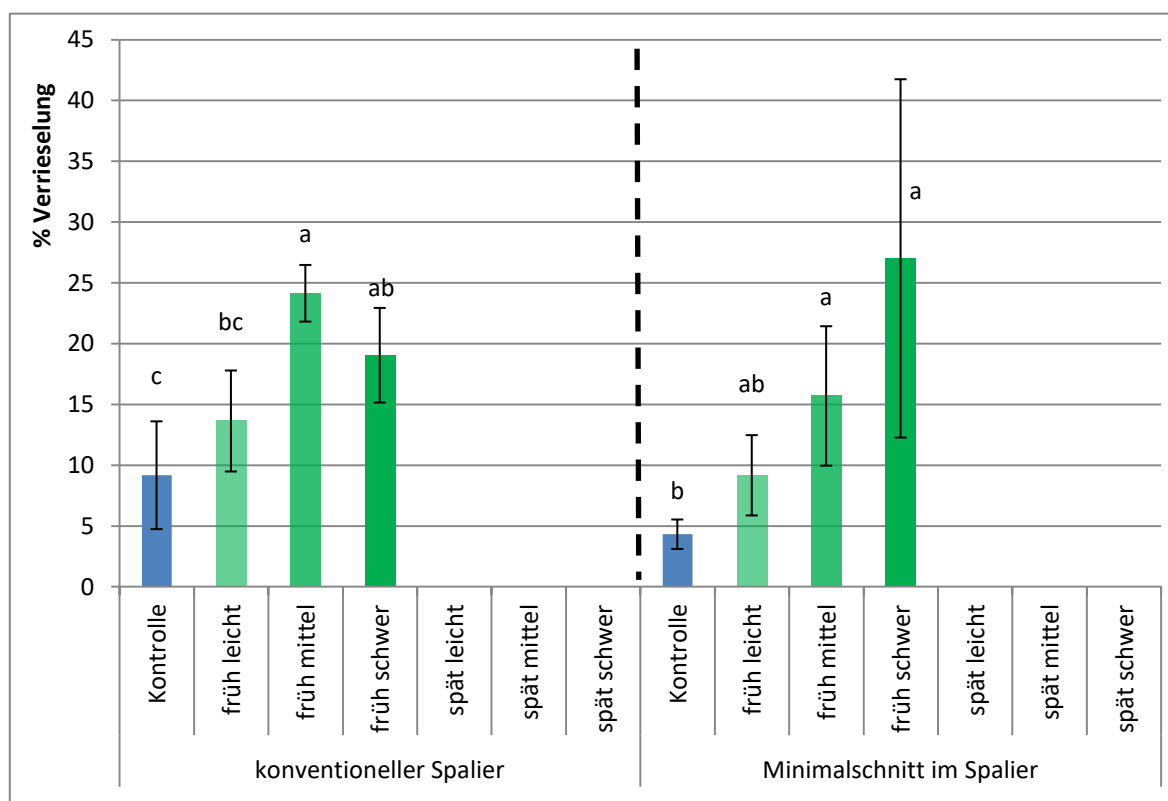


Abb. 37: Verrieselung der Beeren 2017 [%]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD, Minimalschnitt: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test; Nachblüte-Varianten: keine versuchsrelevanten Merkmalsausprägungen

In **Abb. 37** ist die prozentuale Verrieselung der Beeren der Versuchsglieder aus 2017 dargestellt. Zunächst fiel bei der Betrachtung der „Kontrollvarianten“ auf, dass der Ertragsverlust durch die Verrieselung in der SHB-Erziehung mehr als doppelt so hoch war als in der MSS-Erziehung (SHB: 9,18 %, MSS: 4,33 %). Darüber hinaus wurden in den Versuchsgliedern der SHB sowie MSS-Erziehung „früh mittel“ und „früh schwer“, in Relation zur entsprechenden „Kontrolle“, signifikant höhere Verrieselungsgrade bonitiert. Besonders die Ergebnisse der Minimalschnitterziehung zeigten bei steigender Hagelschlagintensität eine teilweise signifikante Zunahme der Verrieselung. Für die SHB-Erziehung war der Trend nicht ganz eindeutig, jedoch konnte er für die Varianten „Kontrolle“, „früh leicht“ und „früh mittel“ statistisch nachgewiesen werden.

Ergebnisse

4.2.1.3 Befallsstärke von *Plasmopara viticola* an den Beeren 2017

Im Jahr 2017 konnte in den Versuchsanlagen die Befallsstärke von *Plasmopara viticola* an den Beeren nicht bonitiert werden, da keine Merkmalsausprägung vorlag.

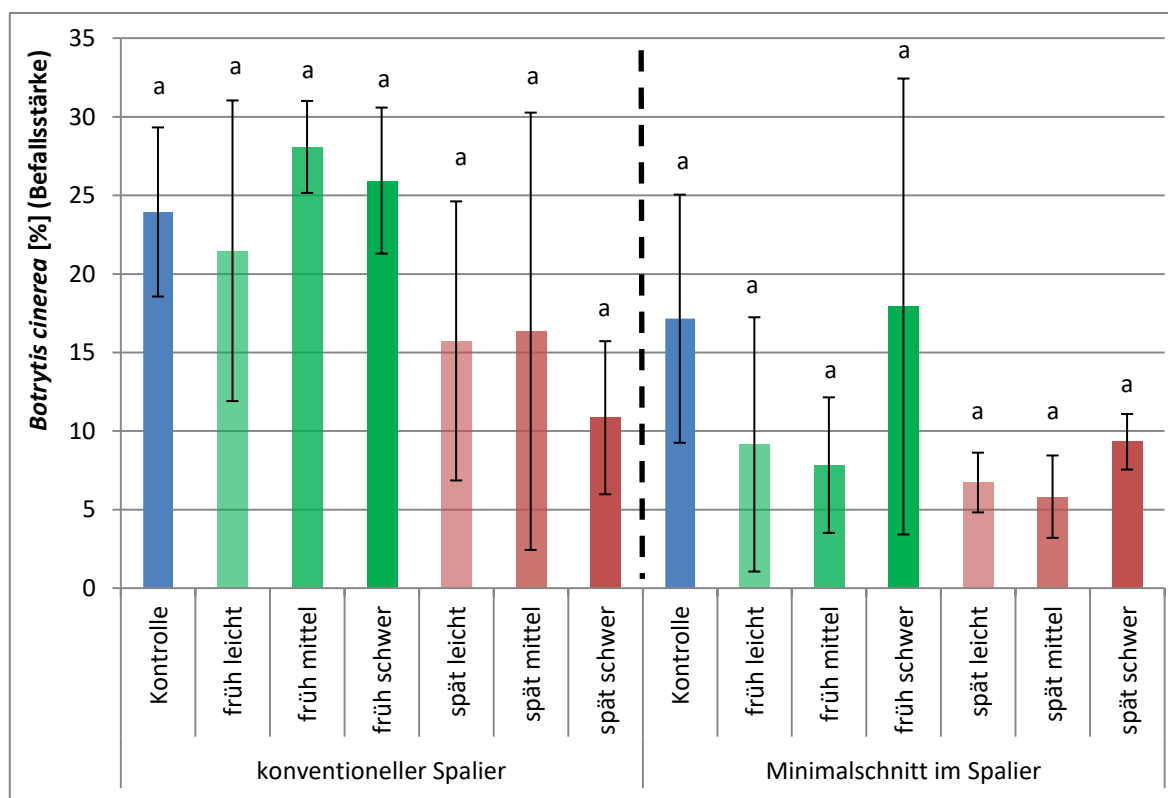
4.2.1.4 Befallsstärke von *Botrytis cinerea* an den Beeren 2017

Abb. 38: Befallsstärke von *Botrytis cinerea* an den Beeren 2017 [%]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD, Minimalschnitt: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis

Im Versuchsjahr 2017 war es aufgrund von Merkmalsausprägungen möglich, den Befall von *Botrytis cinerea* zu bonitieren. Wie aus der **Abb. 38** hervorgeht, ergab sich im Vergleich der Erziehungssysteme miteinander ein sehr differenziertes Ergebnis, da die durchschnittliche Befallsstärke der „Kontrollversuchsglieder“ in der SHB-

Ergebnisse

Anlage $\approx 24\%$ bzw. $\approx 17\%$ in der MSS-Anlage betrug. Des Weiteren war auch über alle Varianten die hohe Standardabweichung auffällig, die sich jedoch je Erziehungssystem nicht merklich unterschied (SHB: $\approx 9\%$, MSS: $\approx 10\%$), wodurch auch keine signifikanten Differenzen nachgewiesen werden konnten. Die Auszählung der Graufäule in den „Kontrollen“ der Versuchsanlagen ergab einen durchschnittlichen Befall von $\approx 24\%$ in der SHB- sowie $\approx 17\%$ für die MSS-Erziehung.

Markant war auch der Trend in der SHB-Erziehung, für die Versuchsglieder im Nachblütebereich, dass dort tendenziell die geringsten Werte nachgewiesen wurden. In der MSS-Anlage hingegen waren die Versuchsglieder, an denen ein Hagelschlag simuliert wurde, im Vergleich zur „Kontrolle“ weniger mit *Botrytis cinerea* infiziert, bis auf die Variante „früh schwer“.

Ergebnisse

4.2.1.5 Durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock 2017

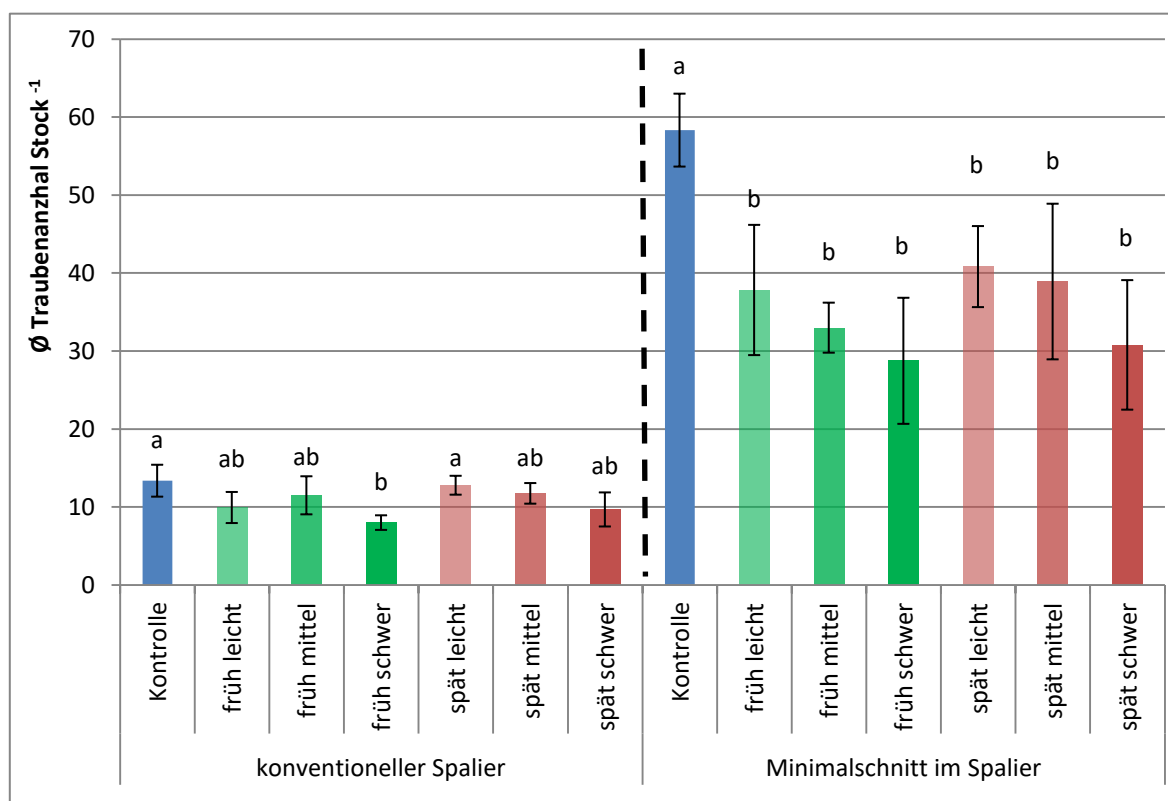


Abb. 39: Durchschnittliche Traubenanzahlen je Rebstock 2017, Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n = 4$, $\alpha = 5\%$. Spalier + Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD

Die **Abb. 39** zeigt die durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock je Versuchsglied aus dem Versuchsjahr 2017. Beim Vergleich der „Kontrollen“ beider Erziehungssysteme miteinander waren größere Unterschiede vorhanden. In der „Kontrolle“ der SHB- konnten durchschnittlich ≈ 13 Trauben je Rebstock und in der MSS-Erziehung ≈ 58 Trauben je Rebstock gezählt werden. In beiden Erziehungssystemen war die Tendenz ersichtlich, dass bei steigender Hagelintensität die Traubenanzahl abnahm, wobei dieser Trend in der MSS-Anlage stärker ausgeprägt war. Gerade in Bezug zur „Kontrolle“ waren die Ergebnisse teilweise signifikant unterschiedlich. So konnte in der SHB-Erziehung ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten „Kontrolle“ und „spät leicht“ zu „früh schwer“ nachgewiesen werden. In der MSS-Erziehung hingegen, waren alle Versuchsglieder mit simuliertem Hagelschlag signifikant unterschiedlich zur „Kontrolle“.

Ergebnisse

4.2.1.6 Traubenertrag pro Rebstock 2017

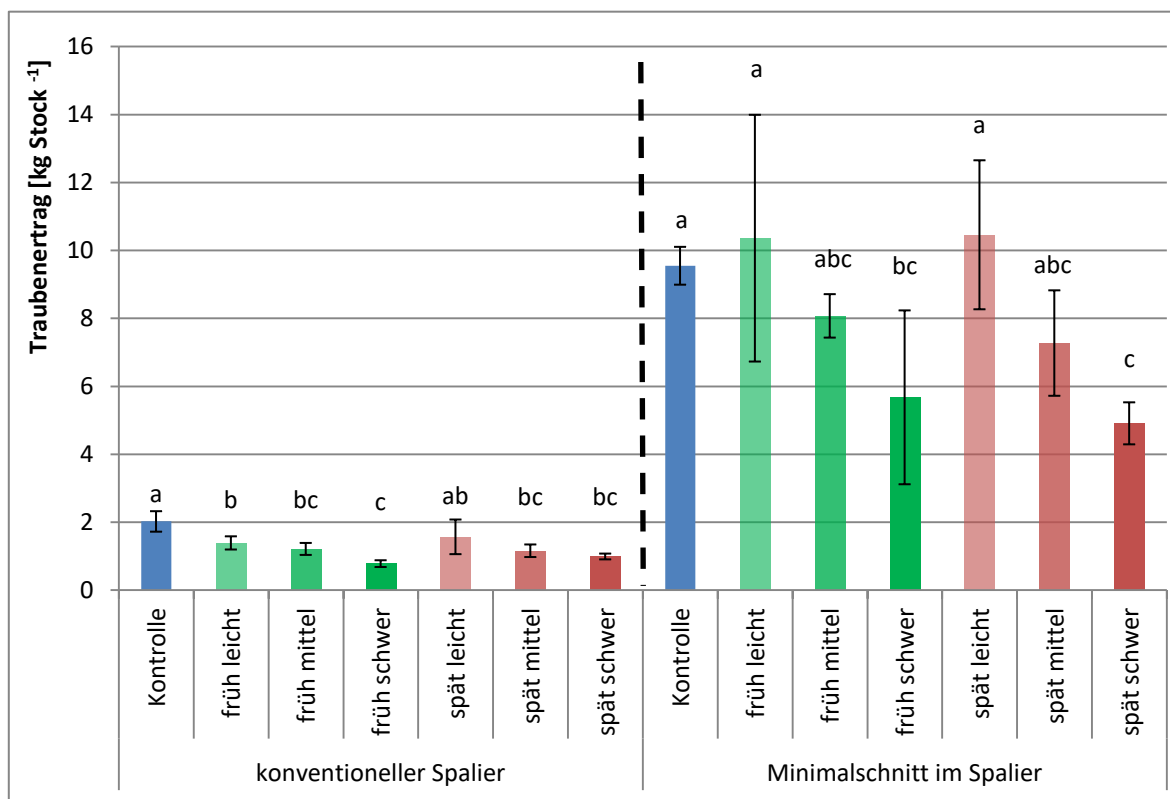


Abb. 40: Traubenertrag 2017 [kg Stock⁻¹]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, n= 4, $\alpha= 5\%$, Spalier + Minimalschnitt: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test

Beim Vergleich der „Kontrollen“ wurde deutlich, dass die Minimalschnitanlage einen fast fünffach höheren Ertrag aufwies als die SHB-Anlage (SHB: 2,03 kg Rebstock⁻¹, MSS: 9,55 kg Rebstock⁻¹). Für die SHB- war ein Trend abzuleiten, der eine Ertragsreduzierung bei steigender Hagelintensität nahelegte, teilweise konnte der Trend mit signifikanten Unterschieden belegt werden. In der MSS-Erziehung ist ein identischer Trend abzuleiten, jedoch konnten statistische Unterschiede nur zur „Kontrolle“ nachgewiesen werden. Beim Vergleich aller Versuchsglieder je Erziehungssystem wurde der Ertragsunterschied noch deutlicher (SHB: 1,31 kg Rebstock⁻¹, MSS: 8,05 kg Rebstock⁻¹).

Um den Ernteverlust durch die Hagelsimulation aussagekräftiger darstellen zu können, sind in der nachfolgenden **Tab. 19** die prozentualen Schadensquoten gegenübergestellt (vgl. Kapitel 4.1.1.4).

Ergebnisse

Tab. 19: Vergleich der Schadensquoten 2017 der Spalier- und Minimalschnitnanlage

Versuchsglied	Schadensquote SHB [≈ %]	Schadensquote MSS [≈ %]	Differenz von SHB zu MSS, SHB= 100 % [≈ %]
Kontrolle	0	0	–
früh leicht	32	-09	128
früh mittel	41	16	61
früh schwer	62	41	34
spät leicht	23	-10	143
spät mittel	43	24	44
spät schwer	52	49	6

Bei der Gegenüberstellung der Schadensquoten in **Tab. 19** war auffällig, dass über alle Versuchsglieder die SHB-Erziehung stets eine höhere Schadensquote aufwies. Markant war auch, dass die Abweichung der Beschädigungsgrade (s. Spalte „Differenz von SHB zu MSS, SHB= 100 % [≈ %]“, vgl. **Tab. 19**) in den Varianten „spät schwer“ sich auf lediglich ≈ 6 % annäherte. Ferner war zu erkennen, dass bei zunehmender Hagelintensität der Beschädigungsgrad stieg. Des Weiteren wiesen die Varianten „früh leicht“ und „spät leicht“ einen höheren Ertrag als die „Kontrolle“ der MSS-Erziehung auf, sodass hieraus eine negative Schadensquote resultierte.

Ergebnisse

4.2.1.7 Einzelbeerengewicht 2017

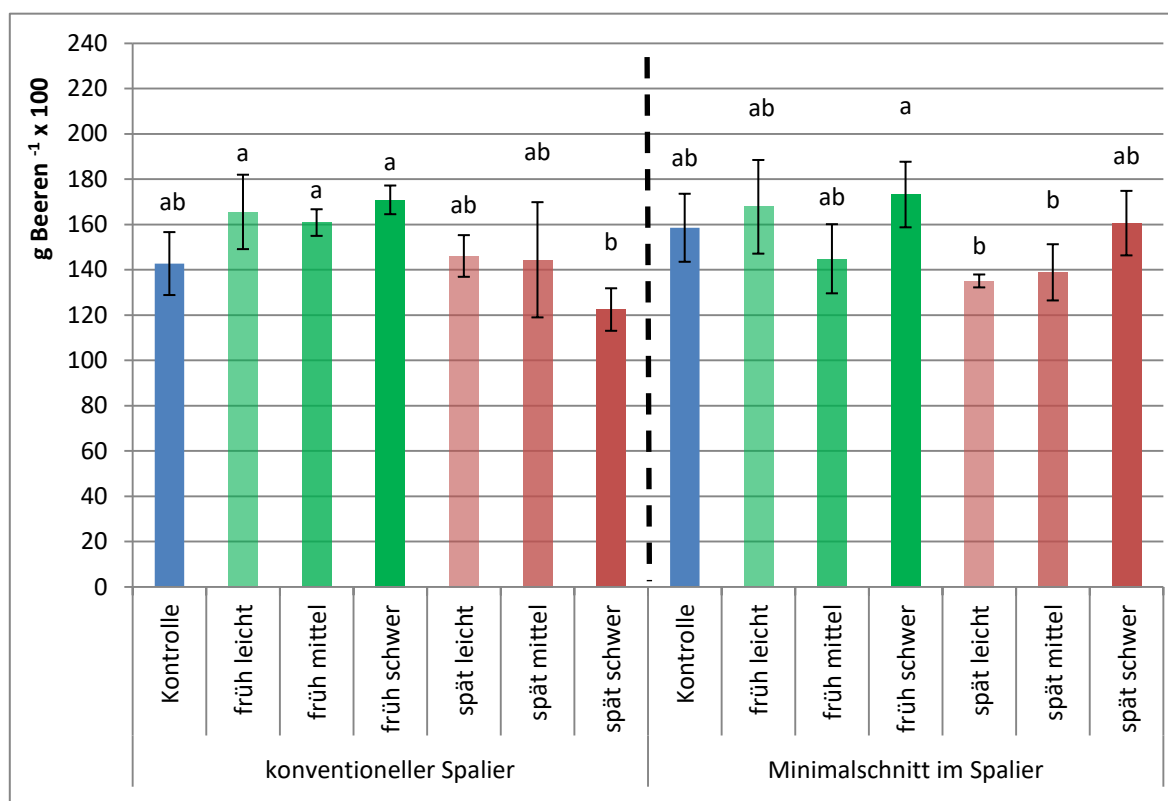


Abb. 41: Beerengewichte 2017 [$\text{g Beeren}^{-1} \times 100$]: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=4$, $\alpha=5\%$. Spalier + Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD

Im Versuchsjahr 2016 sowie 2017 waren Einzelbeerengewichte in Gramm je 100 Beeren über alle Versuchsglieder erhoben worden. Die „Kontrollvarianten“ der Erziehungssysteme unterschieden sich um $\approx 11\%$ (SHB: ≈ 143 g, MSS: ≈ 159 g je 100 Beeren). In der Spalier-Anlage waren die Werte der Versuchsglieder „früh leicht“, „früh mittel“ und „früh schwer“ durchschnittlich um $\approx 16\%$ höher gegenüber der „Kontrolle“, wobei dieser Unterschied statistisch nicht belegt werden konnte. Im Nachblütebereich der SHB-Erziehung erschienen die Beerengewichte bei steigender Hagelintensität abzunehmen. Die Variante „spät schwer“ besaß mit ≈ 122 g je 100 Beeren den geringsten Wert. Für die MSS-Erziehung waren im Vorblütebereich keine eindeutigen Tendenzen zu bekunden. Die Varianten „früh leicht“ und „früh schwer“ hatten, mit ≈ 168 g und ≈ 171 g je 100 Beeren, die höchsten Einzelbeerengewichte. Bei einem Hagelschlag nach der Blüte erschien ein konträrer Trend zum SHB, da

Ergebnisse

von einem geringen Wert beginnend, bei zunehmender Hagelintensität, sich die Beerengewichte erhöhten. Jedoch konnte dieser Trend nicht statistisch belegt werden.

4.2.1.8 Schnittholzertrag 2017

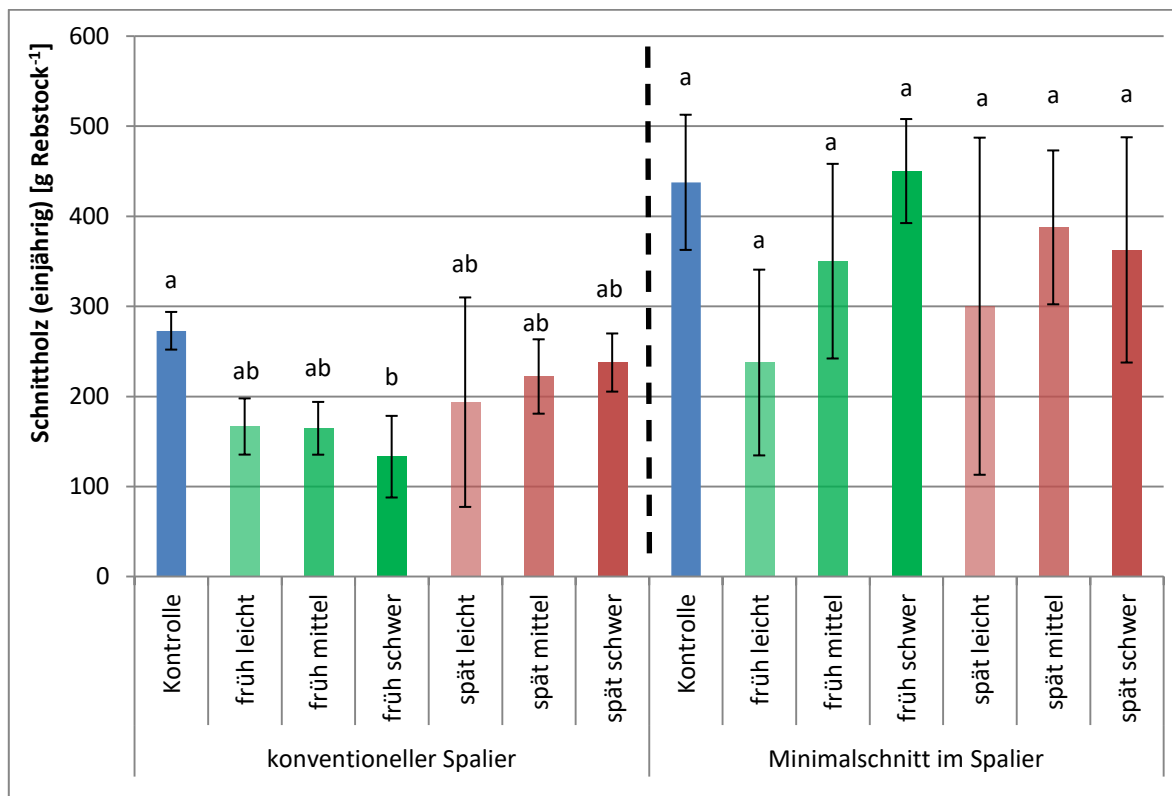


Abb. 42: Schnittholzgewicht 2017 des einjährigen Holzes [g Rebstock⁻¹], Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: TukeyHSD, Minimalschnitt: Daten nicht normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis

Um das vegetative Wachstum besser beschreiben zu können, wurden im Versuchsjahr 2017 Schnittholzgewichte des einjährigen Holzes erhoben. Wie in **Abb. 42** dargestellt, sind deutliche Unterschiede zwischen den „Kontrollen“ und den entsprechenden Versuchsglieder der beiden Erziehungssysteme zu erkennen, die teilweise sogar signifikant waren. Die Ergebnisse der SHB-Erziehung zeigten, dass die Schnittholzgewichte der Versuchsglieder im Vor- wie auch im Nachblütebereich

Ergebnisse

gegenüber der „Kontrolle“ deutlich reduziert waren. Die Ergebnisse der MSS-Erziehung, zeigten für die Versuchsglieder des Vorblüteschadens eine tendenzielle Zunahme der Schnittholzgewichte, beginnend von einem geringen Niveau im Vergleich zur „Kontrolle“. Aus den Daten der Versuchsglieder mit simuliertem Nachblüteschaden lies sich kein eindeutiger Trend ableiten. Statistisch konnte in den Daten der MSS-Anlage kein Unterschied nachgewiesen werden.

Ergebnisse

4.2.2 Ausgewählte Mostinhaltsstoffe

4.2.2.1 Mostgewicht 2017

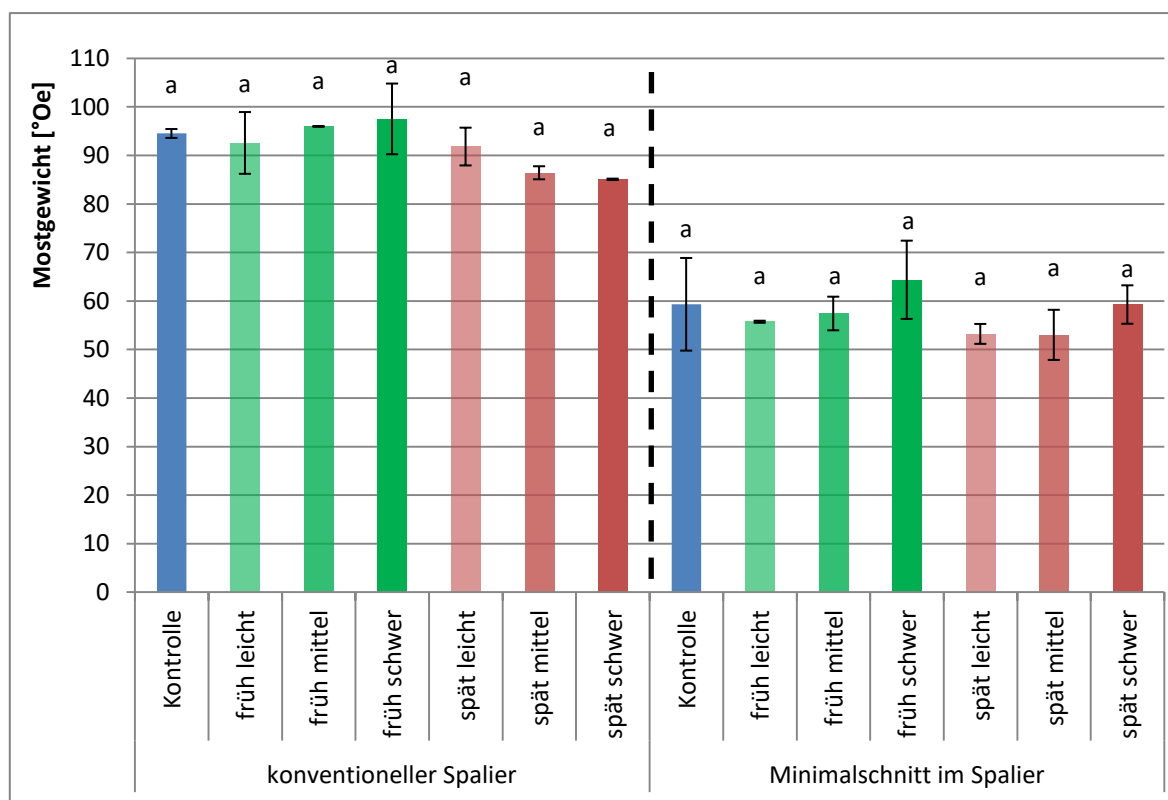


Abb. 43: Mostgewichte der Versuchsglieder 2017 [°Oe], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=2$, $\alpha=5\%$. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis; Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

In **Abb. 43** sind die Mostgewichte der Versuchsglieder aus 2017 visualisiert. Dabei fiel auf, dass die Mostgewichte je Erziehungssystem auf zwei unterschiedlichen Niveaus vorzufinden waren. In den Frischmosten der „Kontrollvarianten“ der SHB-Anlage wurden Mostgewichte von ≈ 95 °Oe und in der MSS-Anlage ≈ 59 °Oe gemessen. Nach dem deutschen Weingesetz sind folglich die Moste der SHB-Anlage als Spätlese und die der MSS-Anlage als Rheinischer / Deutscher Landwein einzuordnen. In der SHB- und MSS-Erziehung erhöhten sich die Mostgewichte bei steigender Hagelintensität im Vorblütebereich. Nach der Blüte erschienen die

Ergebnisse

Mostzuckerkonzentrationen in der SHB-Anlage abzunehmen. Statistisch waren in beiden Versuchsanlagen keine Unterschiede nachzuweisen.

4.2.2.2 Gesamtsäure 2017

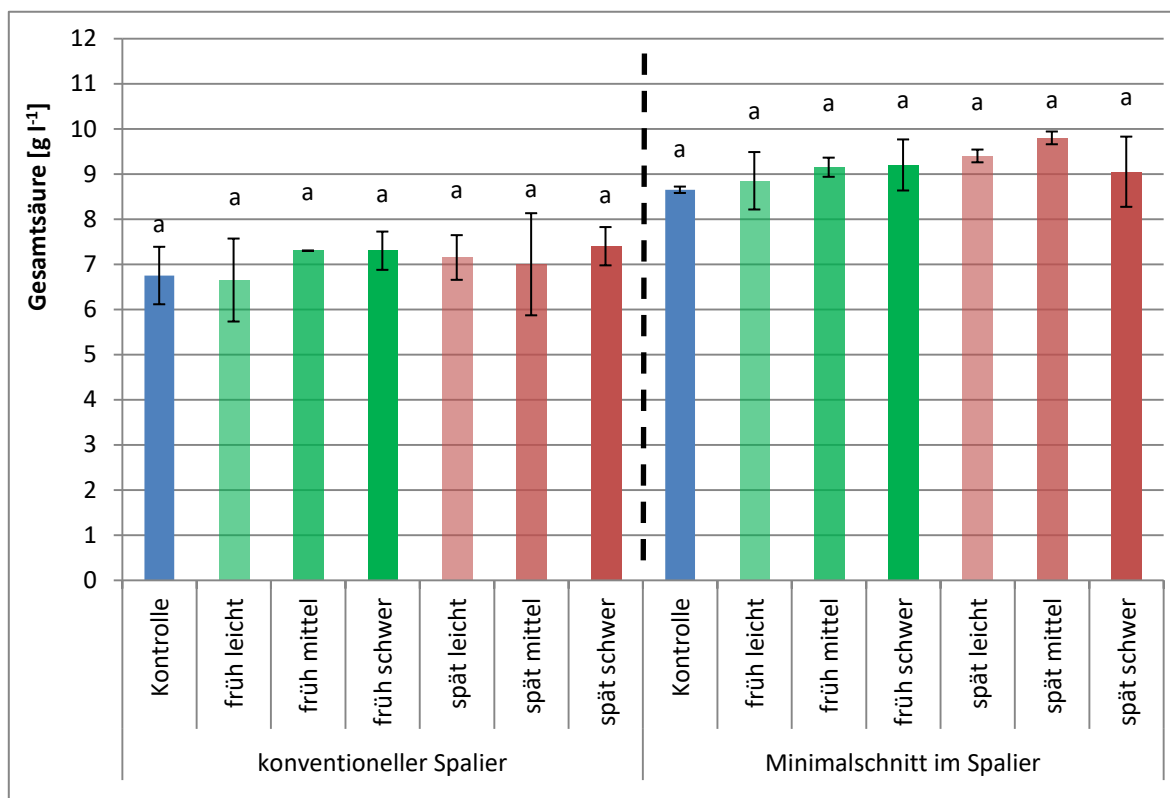


Abb. 44: Gesamtsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, n= 2, α= 5 %. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis; Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

In **Abb. 44** ist die Konzentration der im Frischmost gemessenen Gesamtsäure über alle Versuchsglieder dargestellt. In der SHB- sowie MSS-Erziehung waren keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Die Frischmoste der „Kontrollvarianten“ unterschieden sich um ≈ 28 % (SHB: 6,75 g l⁻¹, MSS: 8,65 g l⁻¹). Die Versuchsglieder mit den höchsten Konzentrationen waren „spät schwer“ mit 7,40 g l⁻¹ in der SHB-

Ergebnisse

sowie „spät mittel“ mit $9,80 \text{ g l}^{-1}$ in der MSS-Anlage. In der Spalierziehung erschienen die Werte, zumindest im Vorblütebereich, bei zunehmender Hagelintensität geringfügig zu steigen. In der MSS-Erziehung waren die Konzentrationen bei zunehmender Hagelintensität leicht erhöht, auch im Nachblütebereich, jedoch nicht in der Variante „spät schwer“, da hier geringere Gehalte ermittelt wurden, die auf dem Niveau der „Kontrolle“ lagen („Kontrolle“: $8,65 \text{ g l}^{-1}$, „spät schwer“: $9,05 \text{ g l}^{-1}$).

4.2.2.3 Äpfelsäure 2017

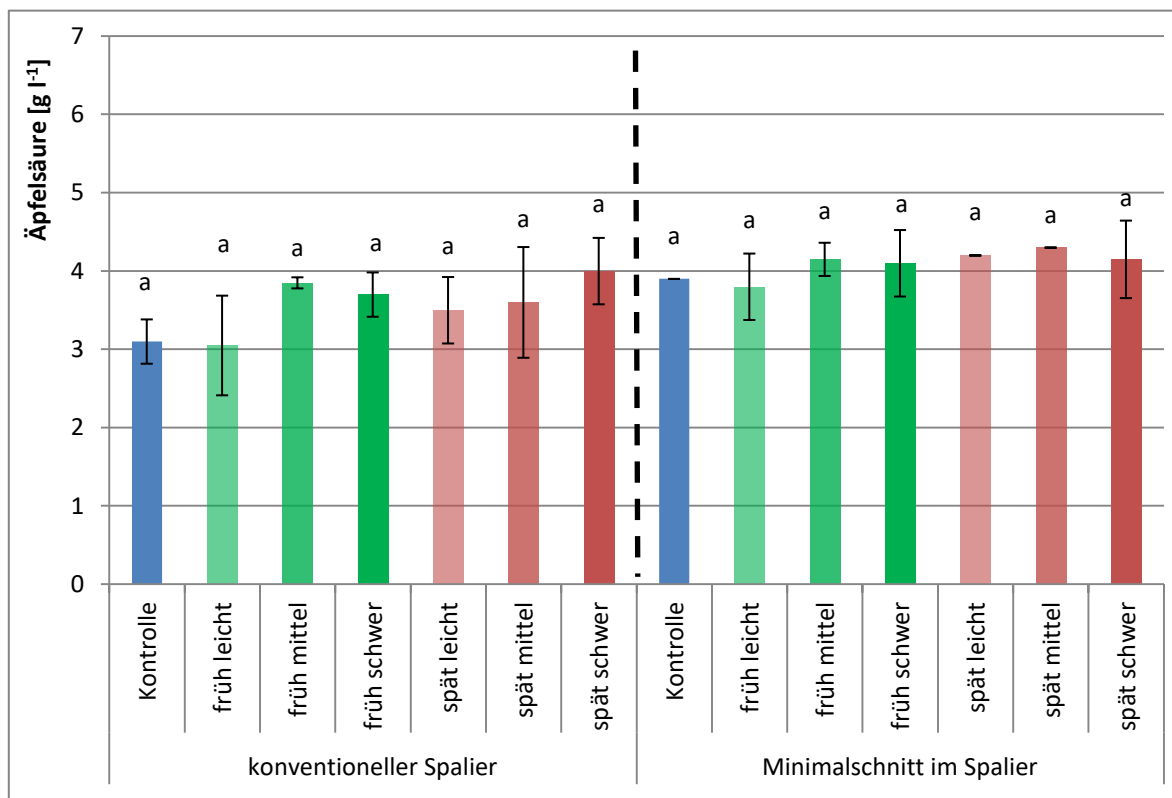


Abb. 45: Äpfelsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l^{-1}], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, $n=2$, $\alpha=5\%$. Spalier: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA; Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Kruskal-Wallis

Ergebnisse

Die Konzentration an Äpfelsäure ist in **Abb. 45** aufgeführt. Die Abbildung zeigt ein sehr einheitliches Bild mit geringfügigen Unterschieden. Aus diesen konnte auch kein eindeutiger Trend zur Zu- oder Abnahme der Gehalte an Äpfelsäure im Frischmost bei veränderter Hagelintensität abgeleitet werden. Markant war, dass in beiden Erziehungssystemen die Versuchsglieder „früh leicht“ ähnliche Konzentrationen an Äpfelsäure besaßen wie die entsprechende „Kontrolle“ und die Moste der übrigen Varianten sogar höhere Konzentrationen hatten. In beiden Erziehungssystemen konnte kein statistisch abgesicherter Unterschied zwischen den Varianten festgestellt werden. Die „Kontrollvarianten“ der beiden Anlagen unterschieden sich um $\approx 26\%$ (SHB: $3,10 \text{ g l}^{-1}$, MSS: $3,90 \text{ g l}^{-1}$). Die höchsten Konzentrationen wurden in der SHB- des Versuchsgliedes „spät schwer“ ($4,00 \text{ g l}^{-1}$) bzw. „spät mittel“ ($4,30 \text{ g l}^{-1}$) in der MSS-Anlage gemessen.

Ergebnisse

4.2.2.4 Weinsäure 2017

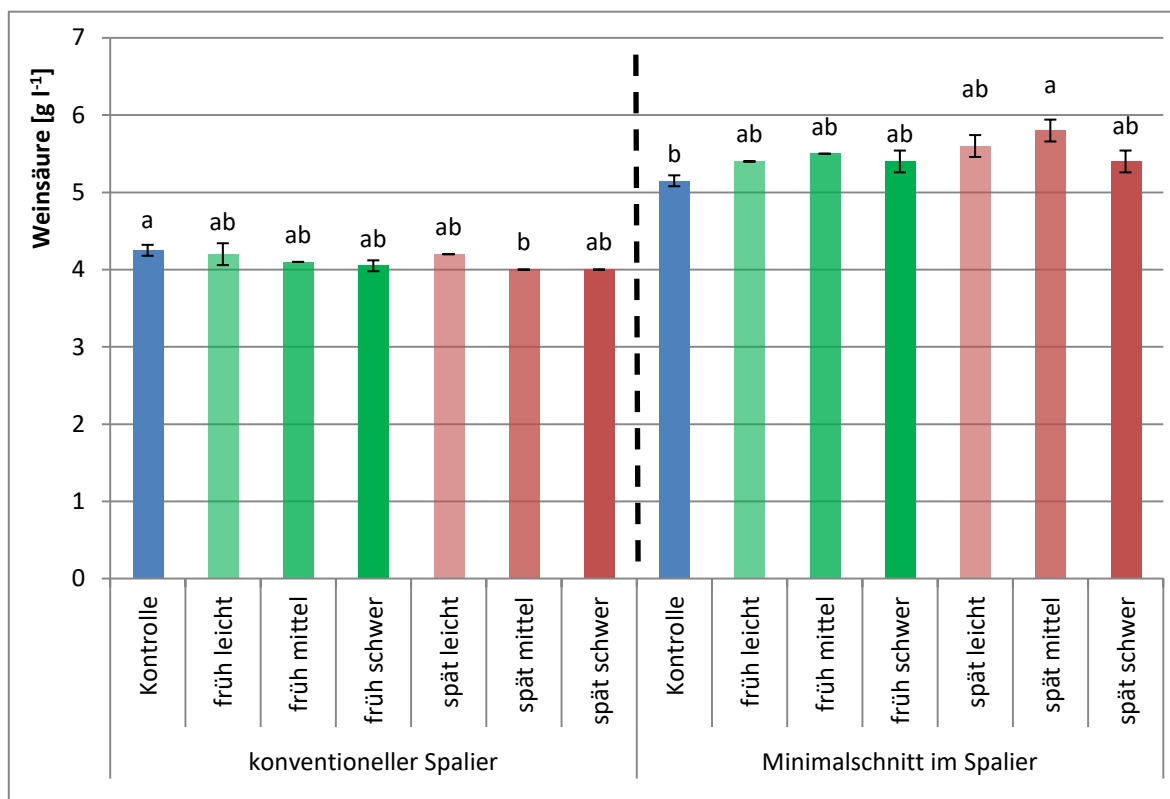


Abb. 46: Weinsäure-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [g l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, n=2, α=5%. Spalier: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test; Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test

Im Versuchsjahr 2017 wurden die Versuchsglieder mittels FTIR-Messung im Frischmoststadium u. a. auf die Weinsäuregehalte untersucht. Die **Abb. 46** zeigt, dass sich die Weinsäurekonzentrationen der Versuchsglieder „spät mittel“ beider Anlagen signifikant zur „Kontrolle“ unterschieden. Beim Vergleich der Konzentrationen der beiden „Kontrollvarianten“ fiel auf, dass ein Unterschied von ≈ 21 % vorlag (SHB: 4,25 g l⁻¹, MSS: 5,15 g l⁻¹). Die Werte der SHB-Erziehung lagen sehr nahe in einem engen Wertebereich zueinander. Des Weiteren erschien – sowohl im Vorblüte- als auch im Nachblütebereich – ein leicht ausgeprägter Trend, der eine Verringerung der Gehalte bei steigender Hagelintensität nahelegte. In der MSS-Anlage hingegen wiesen alle Versuchsglieder im Vergleich zur „Kontrolle“ erhöhte Gehalte an Weinsäure auf, ein Trend ließ sich allerdings nicht ableiten.

Ergebnisse

4.2.2.5 Kalium 2017

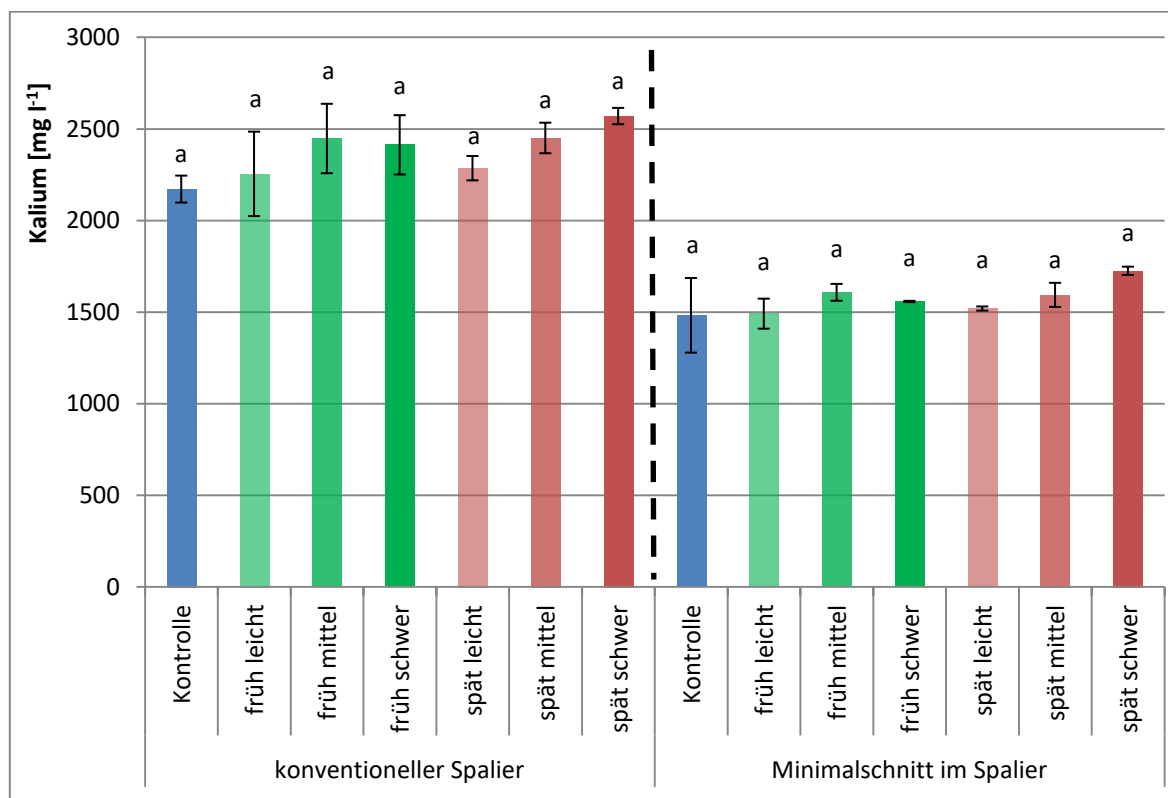


Abb. 47: Kalium-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [mg l^{-1}], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanzen je Erziehungssystem, $n=2$, $\alpha=5\%$. Spalier + Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

Die Kalium-Konzentrationen der untersuchten Versuchsglieder aus 2017 sind in **Abb. 47** dargestellt. In der Gegenüberstellung der Erziehungssysteme ergab sich ein differenziertes Bild, da die mittlere Kalium-Konzentration der Frischmoste über alle Versuchsglieder in der SHB- $\approx 2.371 \text{ mg l}^{-1}$ und in der MSS-Erziehung $\approx 1.569 \text{ mg l}^{-1}$ betrug, was einen prozentuellen Unterschied von $\approx 34\%$ bedeutete. Sowohl im Vorblüte- als auch im Nachblütebereich war in der SHB- und – weniger deutlich – in der MSS-Erziehung ein Trend ersichtlich, der eine Steigerung der Kalium-Gehalte bei zunehmender Hagelintensität beschrieb. Ferner war der Trend in beiden Schnittsystemen im Nachblütebereich stärker ausgeprägt. Jedoch konnte dieser Trend statistisch nicht nachgewiesen werden, da stets die Nullhypothese angenommen werden musste. Die Kalium-Konzentration der „Kontrollvariante“ unterschieden sich um $\approx 32\%$ (SHB: 2.172 mg l^{-1} , 1.483 mg l^{-1}).

Ergebnisse

4.2.2.6 YAN 2017

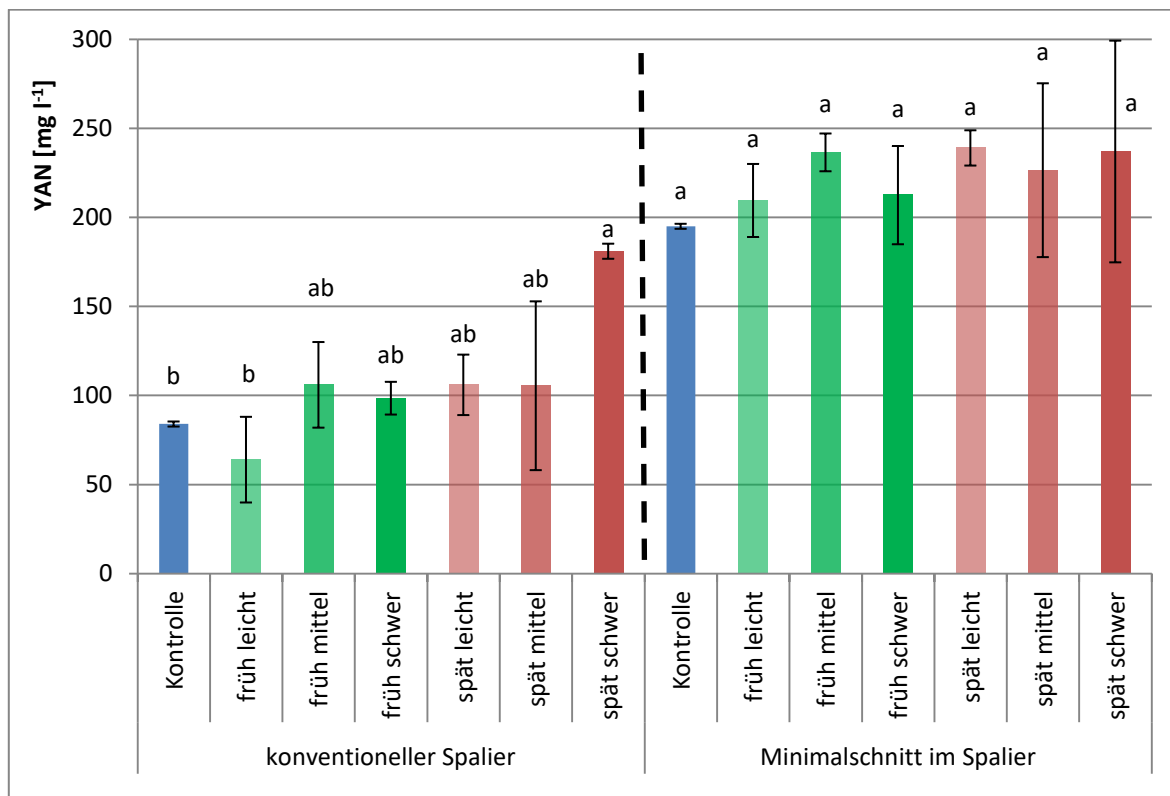


Abb. 48: YAN-Konzentration der Versuchsglieder 2017 [mg l⁻¹], FTIR-Messung im Frischmoststadium: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede je Erziehungssystem, n=2, α=5 %. Spalier: Daten nicht normalverteilt und Varianzen nicht homogen, Testmethode: Dunn.test; Minimalschnitt: Daten normalverteilt und Varianzen homogen, Testmethode: ANOVA

Die **Abb. 48** zeigt die grafische Darstellung der YAN-Gehalte der Frischmoste der untersuchten Varianten aus 2017. Sowohl bei dem Vergleich miteinander als auch innerhalb einer Erziehungsvarianten ergab sich ein uneinheitliches Ergebnis. Der Mittelwert über alle Versuchsglieder der SHB- lag bei $\approx 106 \text{ mg l}^{-1}$ sowie bei $\approx 222 \text{ mg l}^{-1}$ in der MSS-Anlage, was einen Unterschied von 109 % bedeutete. In der SHB-Anlage wiesen alle Varianten, außer „früh leicht“, erhöhte Werte gegenüber der „Kontrolle“ auf. Einen deutlich höheren Wert besaß die Variante „spät schwer“, der zu „früh leicht“ signifikant unterschiedlich war. Des Weiteren war ein Trend im Nachblütebereich ersichtlich, der tendenziell steigende Werte bei zunehmender Hagelintensität nahelegte. Die Werte der MSS-Varianten waren in Relation zur „Kontrolle“ stets erhöht. Ein Trend war jedoch aus den Daten nicht abzuleiten.

Ergebnisse

Darüber hinaus konnten auch keine statistischen Unterschiede errechnet werden, sodass die Nullhypothese akzeptiert wurde.

4.2.3 Organoleptik der 2017er Weine

Die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse der Organoleptik der 2017er Weine wurde analog zu den 2016er Weinen durchgeführt (vgl. Kapitel 4.1.3). Die Weine wurden am 08.02.2018 verkostet.

Tab. 20: Ergebnis des Dreieckstests der 2017er Weine, verkostet am 08.02.2018 von 14 Panelisten; * signifikanter Unterschied $\alpha=0,05$

Probenpaar	abgegebene Antworten	richtige Antworten	p-Wert
SHB: Kontrolle - früh mittel	14	9	0,0174*
SHB: Kontrolle - spät mittel	14	8	0,0576
MSS: Kontrolle - früh mittel	14	9	0,0174*
MSS: Kontrolle - spät mittel	14	7	0,1495

Wie in **Tab. 20** ersichtlich, konnten die Verkoster statistisch abgesichert den abweichenden Wein jeweils in den Probenpaaren „SHB: Kontrolle - früh mittel“ und „MSS: Kontrolle - früh mittel“ erkennen. Für die übrigen Probenpaare „SHB: Kontrolle - spät mittel“ und „MSS Kontrolle - spät mittel“ konnten nur tendenzielle bzw. keine Unterschiede nachgewiesen werden.

Ergebnisse

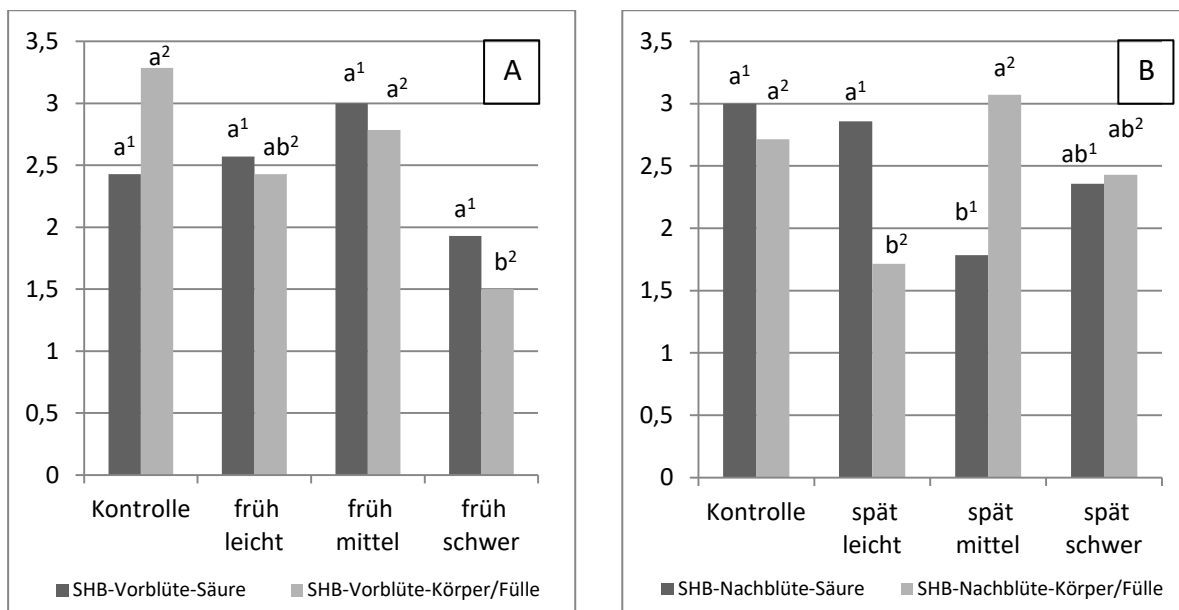


Abb. 49: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2017er Weine nach durchschnittlichem Rang; verkostet am 08.02.2018; unterschiedliche Buchstaben mit identischen Exponenten kennzeichnen signifikante Unterschiede, n= 14, α= 5 %; [A] SHB-Vorblüteschaden, [B] SHB-Nachblüteschaden

Der **Abb. 49** [A] ist zu entnehmen, dass durch den Vorblüteschaden das Versuchsglied „früh schwer“ der SHB-Erziehung markant mit geringeren Intensitäten bezüglich Säure und Körper / Fülle bewertet wurde. Für Schäden nach der Blüte [B] wurden die Weine „spät leicht“ im Körper / Fülle bzw. „spät mittel“ im Säure Attribut auffällig niedrig eingestuft. Die Ergebnisse ließen keine Interpretation eines Trends zu.

Ergebnisse

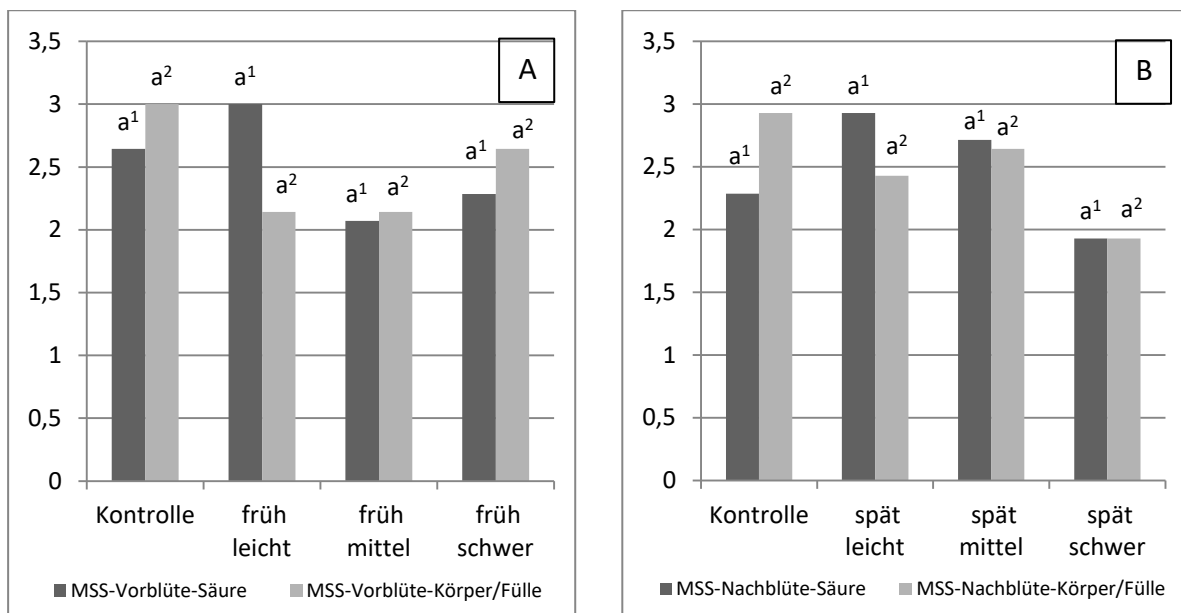


Abb. 50: Attributsausprägungen Säure und Körper / Fülle der 2017er Weine nach durchschnittlichem Rang, verkostet am 08.02.2018 von 14 Panelisten, [A] MSS-Vorblüteschaden, [B] MSS-Nachblüteschaden

Aus **Abb. 50** kann entnommen werden, dass keine hagelbedingten Tendenzen in der MSS-Erziehung aufgezeigt werden konnten. Jedoch wiesen die „Kontrollversuchsglieder“ stets die höchsten Intensitäten des Attributes Körper / Fülle auf.

5 Diskussion

Der Wandel des Klimas und die damit einhergehende Zunahme von Wetterextremen stellt den Winzer vor neue Herausforderungen, die sowohl den An- als auch Ausbau von Wein betreffen (SCHULTZ et al. 2012; GÖMANN et al. 2015). In dieser Ausarbeitung wurde untersucht, inwiefern eine Minimalschnitt-im-Spalier-Anlage einen Baustein im Risikomanagement des Weinbaus bezüglich der Hagelgefährdung darstellen kann. Aus diesem Grund wurden die folgenden fünf Thesen formuliert:

- I. Kann an grünen Organen von *V. vinifera* L. künstlich ein Schadbild erzeugt werden, das mit einem Hagelschaden durch natürlichen Hagelschlag vergleichbar ist?
- II. Verursacht Hagelschlag mit derselben Intensität in SHB- und MSS-Erziehungssystemen von *V. vinifera* L. – bei verschiedenen phänologischen Stadien – unterschiedlich starke Hagelschäden?
- III. Kann *V. vinifera* L. Hagelschäden kompensieren und wenn ja, in welchem Umfang?
- IV. Sind Veränderungen der Mostinhaltsstoffe im Frischmost durch einen Hagelschlag – zu unterschiedlichen phänologischen Stadien – in SHB- und MSS-Erziehungssystemen von *V. vinifera* L. nachzuweisen?
- V. Verursachen Hagelschäden an *V. vinifera* L. Ertragsdepressionen im Folgejahr?

Im folgenden Diskussionsteil werden die Ergebnisse anhand der Thesen gegliedert, den literarischen Erkenntnissen gegenübergestellt und erörtert.

5.1 These I: Versuchsdesign, Witterung und Vegetationsverlauf

Eine ganz zentrale Fragestellung dieser Ausarbeitung war die These I. Demnach war es anfangs nötig, ein Hagelsimulationsverfahren zu etablieren, mit dem ein natürlicher Hagelschlag an *V. vinifera* L. nachempfunden werden konnte. Aus Versuchen im Ackerbau, war bekannt, dass mittels einer horizontalen Rotorwelle – an der kleine Gewichte über Drahtseile fixiert wurden – realistischer Hagelschlag simuliert werden konnte (HURTMANN 2018). Im Gegensatz hierzu, stellte die vertikale Erziehung der Reben und die unterschiedliche Wuchsform der Erziehungssysteme (SHB und MSS) eine Hürde dar. So musste das Simulationsverfahren unabhängig von der Laubwandgeometrie und der vertikalen Trieborientierung arbeiten. Des Weiteren sollte durch die Simulation kein Schaden an der Drahtrahmenkonstruktion entstehen. Die Verwendung eines Trockeneisstrahlgerätes erfüllte diese Voraussetzungen und ermöglichte eine standardisier-, reproduzier- und skalierbare Hagelsimulation an *Vitis vinifera* L.

Zur Bewertung und Identifizierung des simulierten Hagelschadens gab es zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung kein analytisches Messverfahren. Jedoch konnte auf das Fachwissen der Sachverständigen der VEREINIGTEN HAGEL zurückgegriffen werden. Durch mehrfaches Bonitieren und Begutachten der Versuchsanlagen wurde der künstlich simulierte Hagelschaden als vergleichbar und repräsentativ eingestuft (HURTMANN 2018). Nachfolgend sind Bilder eines natürlichen Hagelschlages in der Region Wonnegau aus 2017 Aufnahmen der Simulationsversuche gegenübergestellt:

Diskussion



Abb. 51: [A] natürlicher Hagelschaden vom 09.07.2017 an *V. vinifera* L. im Raum Bockenheim, [B] Schadbild des simulierten Hagelschadens vom 13.07.2017 am Versuchsglied „spät leicht“ (SHB-Erziehung)

Quelle: [A] VEREINIGTE HAGEL VVAG 2018a, [B] eigene Aufnahme 2017

Nach der Verifizierung des Hagelsimulationsverfahrens musste anschließend das Versuchsdesign entwickelt werden. Hierzu wurden verschiedene Aspekte betrachtet. Die Beschädigungsgrade (0 %, 30 %, 60 % und 90 %) wurden gewählt, damit etwaige Unterschiede in den weiteren vegetativen und generativen Entwicklungen der Rebe durch die unterschiedlichen Hagelintensitäten betrachtet werden konnten. Zur Festlegung der Simulationszeitpunkte konnten einerseits Daten der VEREINIGTEN HAGEL VVaG verwendet werden, aus denen sich retrospektiv betrachtet monatliche Hagelwahrscheinlichkeiten ableiten ließen (vgl. Kapitel 2.1.4). Andererseits berichten Sachverständige oftmals über Beeinträchtigungen durch einen Hagelschlag kurz vor oder in der Blüte, sodass dieser Aspekt mit in das Versuchsdesign einbezogen wurde, weshalb die erste Hagelsimulation kurz vor der Blüte vollzogen wurde. Der zweite Simulationstermin wurde zum Traubenschluss (BBCH 77) gewählt, da dieses Stadium meist Mitte Juli erreicht ist und in diesem Monat die Wahrscheinlichkeit für einen Hagelschaden am höchsten ist (vgl. Kapitel 2.1.4). Darüber hinaus sollten die Mostinhaltsstoffe im Frischmost zur Ernte weitestgehend ohne mikrobielle Beeinflussung durch Fäulnisbefall untersucht werden. Ein späterer Simulationszeitpunkt hätte unweigerlich zu einem Fäulnisbefall und folglich zu einer unkontrollierbaren Inhaltsstoffveränderung geführt, deren Ausmaß vornehmlich durch die Witterung bestimmt worden wäre (WÜRDIG et al. 1989; MOHR 2005; GÖMANN et al. 2015) (vgl. Kapitel 2.2.3 und 2.2.5).

Diskussion

Die Wahl der Erziehungssysteme von SHB und MSS wurde zum einen gewählt, da sie die gängigsten Erziehungssysteme des konventionellen und extensiven Weinanbaus in Deutschland darstellen (BAUER et al. 2008; BECKER 2009; FRÖBA et al. 2013) (vgl. Kapitel 2.2 und 2.2.4). Zum anderen standen langjährig etablierte Müller-Thurgau Anlagen dieser Erziehungssysteme zur Verfügung. Wie im Kapitel 2.2 ‚Weinanbau in Deutschland‘ dargestellt, ist die Rebsorte Müller-Thurgau mit 12.623 ha die zweithäufigste angebaute Rebsorte in Deutschland, wodurch die gewonnenen Ergebnisse als praxisrelevant bezeichnet werden können (RÜCKRICH 2017a). Die Unterschiede der Erziehungssysteme, bezüglich der agronomischen Eigenschaften (Laubwandgeometrie, Standraum, Ertrag etc.) und der Weinbaulage, wurden über die Bonituren je Rebstock und die Versuchsblockanordnung als randomisiertes Blockdesign relativiert. Ferner wurde die Statistik stets für jedes Erziehungssystem getrennt berechnet.

Die Witterung in den Versuchsjahren 2016 und 2017 zeigte sich sehr wechselhaft und unberechenbar (vgl. Kapitel 2.1.1 und 2.1.2). Im Jahr 2016 waren in den Monaten von April bis Juni vergleichsweise hohe Temperaturen mit anhaltenden Regenperioden vorzufinden, sodass besonders in der Zeit um die Rebbüte hoher Infektionsdruck durch *Plasmopara viticola* in den Weinbergen herrschte. Deshalb wurden die Trauben der Versuchsanlagen zur Ernte auf die Befallsstärke von *Plasmopara viticola* hin bonitiert. Im Jahr 2016 zeigte sich bei dem Vergleich der „Kontrollvarianten“, dass die MSS-Erziehung mit $\approx 30\%$ einen ca. doppelt so hohen Befall wie die SHB-Erziehung hatte ($\approx 14\%$) (vgl. Kapitel 4.1.1.2). Statistisch konnte kein Unterschied zwischen der „Kontrolle“ und den Versuchsgliedern der entsprechenden Erziehungsarten festgestellt werden. Das stabile Hoch mit sonnigen und warmen Temperaturen sowie wenig Niederschlag sorgte zur Ernte 2016 für eine optimale Traubenreife. Wegen dieser idealen Reifebedingungen konnte nahezu kein Befall durch *Botrytis cinerea* im Jahr 2016 dokumentiert werden.

Das Versuchsjahr 2017 begann deutlich wärmer und trockener als der Referenzzeitraum von 1961 bis 1990 des langjährigen Mittels (vgl. Kapitel 2.1.2). Aus dieser Tatsache heraus erfolgte der Rebenaustrieb bis zu vier Wochen früher als gewöhnlich, wodurch ein verhältnismäßig großes Zeitfenster entstand, in dem ein Spätfrost die jungen Triebe schädigen konnte (KERN 2017). Am 19. und 20. April

Diskussion

wurden an der Wetterstation in Bechtheim in zwei Meter Höhe markante Temperaturen von bis zu ≈ -4 in den Morgenstunden aufgezeichnet (AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ 2018). In der Versuchsanlage wurde durch Auszählungen von braunen erfrorenen und grünen vitalen Trieben lediglich eine geringe Schädigung von $< 10\%$ festgestellt, sodass die Hagelsimulationsversuche durch den Spätfrosteinfluss weitestgehend ungehindert fortgeführt werden konnten. Trotz des späten Frostes war ein zügiges vegetatives und generatives Wachstum festzustellen. In der Region Wonnegau kam es in den Sommermonaten des Jahres 2017 mehrfach zu Ernteverlusten durch einen natürlichen Hagelschlag. Mit Hilfe von Begutachtungen der „Kontrollversuchsglieder“ konnte ein natürlicher Hagelschlag in den Versuchspartzellen ausgeschlossen werden. Die weitere Vegetationsperiode bot keine idealen Infektionsbedingungen für *Plasmopara viticola*, folglich führte der fach- und sachgerechte Pflanzenschutz in den Versuchsfeldern zu keiner Merkmalsausprägung. Durch den niederschlagsreichen August mussten vor allem frühe Rebsorten wie bspw. Müller-Thurgau fäulnisbedingt vor der idealen Reife geerntet werden, sodass bereits in der ersten Septemberwoche die Traubenernte in Rheinhessen begann (KERN 2017). Im Gegensatz zu *Plasmopara viticola* waren zur Traubenreife beste Bedingungen für *Botrytis cinerea* gegeben, wodurch im Versuchsjahr 2017 der Befall bonitiert werden konnte (vgl. Kapitel 4.2.1.4). Hierbei fiel vor allem in der SHB-Anlage auf, dass durch den Simulationstermin nach der Blüte das Traubengerüst ausgedünnt und aufgelockert wurde. Dies führte tendenziell zu einem geringen Befall in den Varianten „spät leicht“, „spät mittel“ und „spät schwer“. Jedoch war diese Auffälligkeit statistisch nicht nachzuweisen. In der MSS-Anlage konnte keine eindeutige Tendenz bekundet werden und statistisch waren ebenfalls keine Unterschiede vorhanden. Beim Vergleich der Versuchsglieder „Kontrolle“ der beiden Erziehungssysteme miteinander war in der SHB-Erziehung ein $\approx 41\%$ höherer Befall als in der MSS-Anlage festzustellen. Subjektiv konnte mittels einer visuellen Begutachtung dieser Unterschied erkannt werden. Vornehmlich resultierte er aber aus der verzögerten Reife in der MSS-Anlage. Dieser Unterschied konnte im Versuchsjahr 2017 durch Bonituren der phänologischen Stadien und letztlich auch im Mostgewicht wiedergefunden werden (vgl. Kapitel 4.2.1.1 und 4.2.2.1). Demnach kann den Aussagen von SCHULTZ et al. (2000), MOLITOR (2009), SCHULTZ & WEYAND (2005) und BECKER (2009) zugestimmt werden, dass in

Diskussion

Minimalschnitthanlagen die Traubenreife meist verzögert ist, die Mostgewichte und die Risiken zur Fäulnis oft geringer sind als in herkömmlichen Anlagen. Im Jahr 2016 hingegen war nahezu kein Unterschied im Mostgewicht der „Kontrollversuchsglieder“ der beiden Erziehungssysteme erkennbar. Dies ist zum einen auf die außergewöhnlich guten Reifebedingungen und zum anderen auf den vergleichsweise geringen Ertrag in 2016 der MSS-Anlage zurückzuführen (vgl. Kapitel 4.1.1.1 und 4.1.2.1). Die stark schwankenden Erträge der MSS-Erziehung in 2016 zu 2017 verdeutlichen die Schwierigkeit, solche Erziehungssysteme auf einen definierten Zielertrag auszurichten. In beiden Jahren wurde die Ertragssteuerung mittels eines Laubschneiders zum Zeitpunkt der Erbsengröße der Beeren (BBCH 75) durchgeführt. Aufgrund der stark verteilten Trauben in der voluminösen Laubwand gestaltet sich eine Ertragsabschätzung zum Zeitpunkt der Ausdünnung sehr komplex und aufwendig. Darüber hinaus verhalten die in 2016 – unter idealen Bedingungen – angelegten Gescheinsanlagen zu dem erhöhten Ertragspotenzial in 2017 (vgl. Kapitel 2.2.1).

Wie zuvor beschrieben war im Jahr 2017 ein früherer Vegetationsbeginn als im Jahr 2016 festzustellen, sodass der Rebenaustrieb 13 Tage früher bonitiert wurde (vgl. Kapitel 4.1.1.1 und 4.2.1.1). Im Jahr 2016 konnte in der SHB- bzw. 2017 in der MSS-Anlage ein sehr gleichmäßiger Austrieb über alle Versuchsglieder dokumentiert werden. Auffällig war auch, dass 2016 die MSS- höhere und 2017 geringere Entwicklungsstadien aufwies als die SHB-Erziehung. Da die Bonituren am 08.04.2017 durchgeführt wurden und folglich vor dem Spätfrost am 20.04.2017 erfolgten, konnte der Spätfrost zur Erklärung ausgeschlossen werden. Mutmaßlich wirkte sich die trockene und warme Witterung im März 2017 in der SHB- stärker aus als in der MSS-Erziehung, wodurch der Vegetationsvorsprung der SHB-Erziehung erklärt werden könnte.

Die folgenden Bonituren nach dem simulierten Vorblüteschaden wurden zur Blüte durchgeführt. Hierbei konnte beobachtet werden, dass sowohl 2016 als auch 2017, durch den Hageleinfluss eine Entwicklungsverzögerung von 2 - 4 BBCH Entwicklungsstufen vorlag. Darüber hinaus war 2016 in beiden Anlagen der Trend ersichtlich, dass sich bei steigender Hagelintensität der Entwicklungsrückstand

Diskussion

vergrößerte. Im Versuchsjahr 2017 waren diese gleichmäßig, sodass die Hagelintensität scheinbar keinen Einfluss ausübte.

Zur Traubenreife konnte in der SHB-Anlage im Jahr 2016 festgestellt werden, dass durch den Einfluss des Vorblüteschadens die phänologische Entwicklung um eine BBCH-Stufe im Vergleich zur „Kontrolle“ verzögert war. In der MSS-Erziehung konnte hingegen eine Verfrühung um 1 - 2 Entwicklungsstadien sowohl durch den Vor- als auch den Nachblüteschaden festgestellt werden. Diese frühere Reife ist wahrscheinlich durch die geringere Erntemenge in Verbindung mit einer deutlich größeren Blattfläche gegenüber der SHB-Anlage und den idealen Reifebedingungen im Jahr 2016 zu erklären. Im Jahr 2017 waren die Reifebedingungen weniger ideal. Daher konnte in beiden Anlagen in den Versuchsgliedern mit den Vorblüteschäden eine Verzögerung um eine BBCH-Entwicklungsstufe nachgewiesen werden. Die Nachblüteschäden hatten hingegen nahezu ein identisches Entwicklungsstadium wie die „Kontrollversuchsglieder“ der entsprechenden Erziehungen.

5.2 These II: Hagelschaden in SHB und MSS

Mit der Festlegung und Durchführung des Versuchsdesigns konnten die zwei Erziehungssysteme (SHB und MSS) auf Unterschiede überprüft werden. Ein wichtiges Kriterium im Weinbau stellt der Ertrag je Fläche dar. So ergibt sich besonders für Genossenschaftsmitglieder und Fassweinwinzer ein Betriebserlös der vornehmlich in € kg⁻¹ Erntegut bzw. € l⁻¹ Wein zu bemessen ist (MEND 2013). Neben dem Mindestmostgewicht ist die Einteilung der Güte des späteren Weines auch an dessen Höchsterttrag je Fläche gebunden (WÜRDIG et al. 1989; MEND 2013; HAMATSCHEK 2015). In dieser Ausarbeitung werden jedoch die agronomischen Eigenschaften der Erziehungen unter dem Einfluss eines Hagelschlages genauer untersucht. Ferner besitzen die zwei Erziehungssysteme grundlegend andere Standräume und Blatt- / Fruchtverhältnisse (vgl. **Tab. 5**). Somit erschien für diese Untersuchung die Ergebnisauswertung je Rebstock vorteilhafter als die sonst übliche flächenbezogene. Für die Auswertung der Mostinhaltsstoffe ist diese Herangehensweise irrelevant, da einerseits die Konzentrationsangaben als

Diskussion

Relativwert (z. B. $g\ l^{-1}$) ausgegeben werden und andererseits der Arbeitsaufwand für den Einzelstockweinausbau exorbitant und die Ergebnisse nicht repräsentativ gewesen wären.

Eine oftmals diskutierte Folge eines Hagelschadens vor oder in der Reblüte ist die Verrieselung. Daher wurde diese im Jahr 2017 ca. 2,5 Wochen nach der Reblüte bonitiert. Für die SHB-Erziehung konnte statistisch nachgewiesen werden, dass bei zunehmender Hagelintensität die prozentuale Verrieselung stieg, wobei das Versuchsglied mit dem schwersten Hagelschlag („früh schwer“) tendenziell weniger verrieselt war als bspw. „früh mittel“ (vgl. Kapitel 4.2.1.2). Dieser Effekt lässt sich mit der im nächsten Abschnitt diskutierten Traubenanzahl in Einklang bringen. In der Variante „früh schwer“ wurden statistisch belegbar mehr komplette Trauben durch die Simulation entfernt, die einen Großteil der Hagelenergie aufgenommen hatten. Folglich verursachte das Trockeneis an den verbleibenden Trauben tendenziell eine geringere Verrieselung als bei der Variante „früh mittel“. Jedoch ist der Unterschied zwischen „früh mittel“ und „früh schwer“ bezüglich der Verrieselung nicht signifikant. In der MSS-Anlage hingegen bewirkte die Hagelsimulation mit zunehmender Intensität tendenziell steigende Verrieselungsgrade, die im Vergleich zur „Kontrolle“ teilweise statistisch zu belegen waren. Weiter auffällig war auch, dass bei steigender Hagelintensität die Standardabweichung zunahm. Diese Tatsache belegt den subjektiven Eindruck während der Bonituren, dass die Trauben sehr inhomogen in der gesamten Laubwand in der MSS-Anlage verteilt waren, wodurch die äußeren Trauben primär durch die Simulation geschädigt wurden und im Inneren weitestgehend intakt blieben. Somit lässt sich die hohe Standardabweichung besonders in der Variante „früh schwer“ erklären, da hier viele unterschiedlich geschädigte Trauben vorhanden waren. Zur Bewertung der „natürlichen“ Verrieselung des Jahres 2017 konnten die „Kontrollversuchsglieder“ herangezogen werden, hierbei wurde ersichtlich, dass diese in der SHB-Anlage ca. doppelt so hoch ausfiel wie in der MSS-Anlage ($\approx 4\%$ bzw. $\approx 9\%$). Die bessere Befruchtung in der MSS-Erziehung lässt sich primär auf eine ca. fünf Tage spätere Hauptblüte in einer Phase mit höheren Temperaturen zurückführen (vgl. Kapitel 2.2.1 und **Tab. 17**).

Diskussion

Ein erstes Indiz für einen hohen Ertrag in 2017 konnte durch die Erhebung der Traubenanzahl kurz vor der Ernte festgestellt werden. Hierbei wurde dokumentiert, dass das durchschnittliche „Kontrollversuchsglied“ der MSS-Anlage im Gegensatz zur SHB-Erziehung ca. viermal mehr Trauben hatte (58 bzw. 13 Trauben Rebstock¹). Des Weiteren fiel in der SHB-Anlage auf, dass lediglich das Versuchsglied „früh schwer“ signifikant weniger Trauben trug als die übrigen Versuchsglieder dieser Erziehung. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Feststellung der Sachverständigen der VEREINIGTEN HAGEL, dass ab der Blüte bis zur Veraison das Traubengerüst und die Beeren an Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse gewinnen, wodurch weniger Traubenabschläge in höheren Entwicklungsstadien resultieren (HURTMANN 2018). Während der Bonituren konnte auch beobachtet werden, dass in den Versuchsgliedern „spät leicht“, „spät mittel“, und „spät schwer“ der SHB-Anlage überwiegend einzelne Beeren bzw. Traubenachseln und nur selten komplette Trauben durch die Hagelsimulation abgeschlagen wurden, was vermutlich tendenziell zu einem geringeren Befall durch *Botrytis cinerea* führte (vgl. Kapitel 5.1). In der MSS-Erziehung bot sich hingegen ein grundlegend anderes Bild, da alle Versuchsglieder, an denen ein Hagelschlag simuliert wurde, im Vergleich zur „Kontrolle“, signifikant weniger Trauben je Rebstock hatten (vgl. Kapitel 4.2.1.5). Darüber hinaus war eine Tendenz abzuleiten, dass bei steigender Hagelintensität mehr komplette Trauben abgeschlagen wurden. Jedoch konnte diese Tendenz statistisch nicht nachgewiesen werden. Im Vergleich der leichten Hagelschäden („früh leicht“ und „spät leicht“) zur „Kontrolle“ wurden $\approx 34\%$ und zu den schweren Hagelschäden („früh schwer“ und „spät schwer“) $\approx 51\%$ weniger Trauben gezählt. Der prozentual höhere Traubenverlust durch den simulierten Hagelschlag in MSS-Anlagen lässt sich vermutlich damit begründen, dass der Hauptertrag im oberen und peripheren Laubwandbereich lokalisiert war, wodurch die Trauben exponierter dem Hagelschlag zugewandt waren. Allerdings lag die absolute Traubenanzahl trotz des schweren Hagelschlages („früh schwer“) zur „Kontrolle“ der SHB-Anlage ca. doppelt so hoch.

Wie einleitend erwähnt, war durch die Verwendung eines Trockeneisstrahlgerätes das Simulieren eines Hagelschadens möglich. Einer der wichtigsten erlösbestimmenden Faktoren im Weinbau ist der Ertrag. Dies ist u. a. auch der Grund warum in gängigen Pflanzenbauversicherungen primär der hagelbedingte

Diskussion

Erntemengenverlust der Versicherungsgegenstand ist (vgl. Kapitel 2.1.5.1). Durch die Hagelsimulationen in den Jahren 2016 und 2017 konnte aufgezeigt werden, dass durch die Verwendung eines Trockeneisstrahlgerätes erhebliche und statistisch belegbare Ernteverluste verursacht wurden (vgl. Kapitel 4.1.1.4 und 4.2.1.6). Im Jahr 2016 war bemerkenswert, dass in der SHB-Anlage zwischen den Versuchsgliedern „spät mittel“ und „spät schwer“ keinerlei Unterschiede in der Erntemenge festzustellen waren, obwohl das Versuchsglied „spät schwer“ einem deutlichen intensiveren Hagelschlag ausgesetzt war. Dies könnte in der Zunahme der Widerstandsfähigkeit des Stielgerüsts und der Beeren begründet sein, wie zuvor erörtert wurde. In der MSS-Erziehung war ein ähnlicher Effekt zwischen den Varianten „früh mittel“ und „früh schwer“ nachzuweisen, wobei zum Zeitpunkt dieser Schadenssimulation nicht von einer erhöhten Widerstandsfähigkeit auszugehen war. Diese Anomalie ist vermutlich auf die zufällige Anordnung und Verteilung der Trauben in der Laubwand von Minimalschnitthanlagen zurückzuführen. Ähnliche Effekte konnten im Jahr 2017 nur ansatzweise beobachtet werden. Die Versuchsglieder „spät mittel“ und „spät schwer“ unterschieden sich mit 0,16 kg je Rebstock nur marginal (vgl. Kapitel 4.2.1.6). Wie bereits in Kapitel 5.1 ‚These I: Versuchsdesign, Witterung und Vegetationsverlauf‘ erörtert, wies die MSS-Erziehung im Versuchsjahr 2017 einen ca. fünffach höheren Ertrag als die SHB-Anlage auf ($\approx 2 \text{ kg}$ bzw. $\approx 10 \text{ kg Rebstock}^{-1}$). Neben dem Ertragsverlust war auffällig, dass im Versuchsjahr 2016 und 2017 einzelne Versuchsglieder mit einer leichten Hagelschädigung einen $\approx 10 \%$ höheren Ertrag als die entsprechende „Kontrolle“ aufwiesen. Dieser Sachverhalt soll mit Einbezug der Beerengewichte in Kapitel 5.3 ‚These III: Kompensation von Hagelschäden‘ diskutiert werden.

Um die Auswirkungen eines Hagelschlages in den verschiedenen untersuchten Anlagen ansatzweise miteinander vergleichen zu können, bot sich die Darstellung des Ertragsverlustes als Schadensquote an (vgl. **Tab. 13** und **Tab. 19**). Diese stellt den Erntemengenverlust eines Versuchsgliedes in Relation zur entsprechenden „Kontrolle“ des jeweiligen Erziehungssystems dar. Analog zu der Ertragsauswertung je Rebstock sind in den Schadensquoten dieselben Auffälligkeiten je Erziehungssystem wiederzufinden. In **Tab. 13** sind die Schadensquoten aus dem Versuchsjahr 2016 der beiden Anlagen gegenüber- und in der rechten Spalte die prozentuale Abweichung der Quoten dargestellt. Durch den höheren Ertrag des

Diskussion

Versuchsgliedes „spät leicht“ gegenüber der „Kontrolle“, resultierte eine verhältnismäßig große Zahl in der rechten Spalte, wodurch die Differenzbildung bei einer negativen Schadensquote als nicht zweckmäßig angesehen werden kann. Generell lässt sich jedoch aus dieser Spalte ableiten, dass die untersuchte MSS-Erziehung einen Schaden erlitt, der – je nach Hagelzeitpunkt und -intensität – 40 % geringer bis hin zu 34 % höher als in der SHB-Erziehung sein konnte. In **Tab. 19** sind die Schadensquoten analog zu **Tab. 13** für das Versuchsjahr 2017 wiedergegeben. Auffällig in dieser Tabelle war, dass ebenfalls bei einem leichten Hagelschlag in der MSS-Erziehung für die Varianten „früh leicht“ und „spät leicht“ ein ca. 10 % höherer Ertrag nachzuweisen war und folglich ebenfalls negative Schadensquoten daraus resultierten. Unter Vorbehalt der beiden erwähnten Varianten, bewegte sich die Differenz der Schadensquoten für das Versuchsjahr 2017 von 6 % bis 61 % weniger Schaden in der MSS-Erziehung als im Vergleich zur SHB-Erziehung. Wie im Kapitel 2.2.4 ‚Minimalschnitt-Systeme‘ ausgeführt, ging BECKER (2012) von 15 - 50 % geringeren Schadensquoten in Minimalschnittsystemen aus. Die 2017er Ergebnisse dieser Ausarbeitung ähneln sehr stark den Daten von BECKER (2012). Jedoch wurden im Versuchsjahr 2016 bei den späten schweren Schäden höhere Schadensquoten in der MSS-Erziehung nachgewiesen, sodass vermutlich auch Jahrgangseffekte (z. B. Fruchtansatz, Beerendickenwachstum, Traubenverteilung und Anordnung) vorhanden sind, die einen Einfluss auf die Schadensquoten nehmen. Unter Einbezug der Hagelwahrscheinlichkeit, die im Zeitraum des simulierten Nachblüteschadens am höchsten war, sollten die Versuchsglieder „spät leicht“, „spät mittel“ und „spät schwer“ stärker berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.1.4 und 3.2). Beim Vergleich der Schadensquoten aus 2016 und 2017 fiel auf, dass die simulierten Schäden im Vorblütbereich im Jahr 2016 deutlich höher ausgefallen waren als im Jahr 2017. In diesem Jahr wurde der Vorblüteschaden ca. eine Woche später als in 2016 durchgeführt, was vermutlich aufgrund einer höheren Widerstandsfähigkeit zu den geringeren Schadensquoten im Jahr 2017 führte. Dieser spätere Simulationstermin wurde so zeitnah wie möglich vor Blühbeginn gewählt, damit die Verrieselung unter Hageleinfluss genauer untersucht werden konnte. Beim Vergleich der Schadensquoten der Nachblüteschäden aus 2016 und 2017 war lediglich eine geringe Abweichung festzustellen, da die Simulationen nahezu bei identischen Vegetationsstadien stattfanden. Diese geringe Abweichung verdeutlicht

Diskussion

die Standardisier- und Reproduzierbarkeit des angewendeten Hagelsimulationsverfahrens. Unter der Annahme, dass die Werte > 0 und < 100 aus **Tab. 13** und **Tab. 19** in der Spalte der gebildeten Differenz als real und repräsentativ anzusehen sind, errechnet sich für das Versuchsjahr 2016 ein um 28 % und für das Versuchsjahr 2017 ein um 36 % durchschnittlich geringerer Schaden in der MSS- gegenüber der SHB-Erziehung.

Wie in Kapitel 2.1.5 ‚Hagelabwehr‘ erörtert, können Hagelschutznetze nur an herkömmliche Spalieranlagen angebracht werden und nicht an Minimalschnittsystemen. Außerdem würde ein Hagelschutznetz an Minimalschnittanlagen der extensiven wirtschaftsweise monetär wie auch arbeitswirtschaftlich widerstreben. Der Einsatz von Silberjodid zur Hagelabwehr ist umstritten, da ein wissenschaftlicher Nachweis im Freiland nicht eindeutig erbracht werden kann. Folglich bietet sich der Abschluss einer Hagelversicherung an, um das verbleibende Hagelrisiko in einer MSS-Anlage abzusichern. Ferner könnte auch durch die Einbindung eines abnehmenden Selbstbehaltes in den Versicherungsvertrag dem reduzierten Hagelrisiko von MSS-Erziehungen Rechnung getragen werden. Dieser könnte bspw. so gestaltet sein, dass im Schadensfall die ersten 20 %-Punkte eines betroffenen Schlages selbst zu tragen sind und darüber hinaus sich der Selbstbehalt bei steigenden Schadensquoten reduziert. Demnach wären existenzbedrohende Totalausfälle abgesichert und geringe Schäden, die u. U. keinen wirtschaftlichen Verlust bedeuten, ausgenommen. Damit einhergehend wären auch günstigere Versicherungsprämien verbunden.

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse von Traubenertrag, Traubenanzahl und Verrieselung wurde deutlich, dass ein Großteil des Ernteverlustes in der SHB-Erziehung aufgrund des simulierten Hagelschlages durch die Verrieselung und einzelne an- bzw. abgeschlagene Beeren zu erklären war. Wie im zweiten Absatz dieses Kapitels dargelegt, nahm tendenziell die Verrieselung bei steigendem Hagelschaden zu, wobei zeitgleich die Traubenanzahl verhältnismäßig konstant blieb. In der MSS-Erziehung stieg die Verrieselung zwar ebenfalls mit zunehmender Hagelintensität, jedoch war die Traubenanzahl in allen hagelgeschädigten Versuchsgliedern deutlich reduziert, was zur Schlussfolgerung führte, dass ein

Diskussion

erheblicher Teil des Ernteverlustes über die Traubenanzahl und die Verrieselung erklärt werden konnte.

Um das vegetative Wachstum im Jahr 2017 besser beschreiben zu können, wurden im Januar 2018 Schnittholzgewichte des einjährigen Holzes der beiden Versuchsanlagen erhoben (vgl. Kapitel 4.2.1.8). Hierbei fiel auf, dass in der SHB-Anlage die Variante „früh schwer“ signifikant geringere Schnittholz Gewichte hatte als die „Kontrolle“. Alle übrigen Versuchsglieder hatten tendenziell geringere Werte als die „Kontrolle“. Da die Variante „früh schwer“ auch signifikant die geringste Traubenanzahl hatte, ist die Konsequenz, dass durch den intensivsten simulierten Hagelschlag auch das einjährige Holz stark geschädigt wurde. Die Ergebnisse der MSS-Erziehung waren nicht eindeutig, vermeintlich zeigten sie im Vorblütebereich tendenziell auf, dass bei steigender Hagelintensität die Schnittholzgewichte zunahmen. Dieser Eindruck konnte während der Datenerhebung nicht gewonnen werden. Hierbei fiel jedoch deutlich auf, dass das einjährige Holz nahezu komplett im peripheren Bereich der Rebenhecke vorzufinden war. Mit hoher Wahrscheinlichkeit hatte dies zur Folge, dass das Schnittholzgewicht erheblich und unregelmäßig durch den Laubschnitt zur Ertragsregulierung beeinflusst wurde, da die Intensität des Laubschnittes nach subjektivem Empfinden des Anwenders erfolgte. Statistisch konnte auch kein Unterschied zwischen der „Kontrolle“ und den Versuchsgliedern errechnet werden. Somit ist diese Anomalie, dass die Schnittholzgewichte bei steigender Hagelintensität im Vorblütebereich zunahmen, vermutlich auf eine zufällige Verteilung des einjährigen Holzes und dessen Beeinflussung durch die Ertragsregulierung zurückzuführen. Demnach erscheint zur Bewertung des vegetativen Wuchses einer Minimalschnitthanlage die alleinige Erhebung von Schnittholzgewichten als nicht zielführend.

Nachfolgend sind die Erntemengen den Schnittholzgewichten aus dem einjährigen Holz gegenübergestellt. Durch diese Auflistung kann die vegetative Leistung des Rebstockes, bemessen als Schnittholzgewicht des einjährigen Holzes, der generativen Leistung, bemessen als geerntete Menge an Trauben, verglichen werden (vgl. **Tab. 21** und **Tab. 22**).

Diskussion

Tab. 21: Gegenüberstellung des Traubenertrages 2017 zum Schnittholzertrag des einjährigen Holzes 2017 der SHB-Erziehung

SHB-Erziehung	früh			spät			
	Kontrolle	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
Ertrag [g Rebstock ⁻¹]	2.030	1.390	1.220	780	1.570	1.160	990
Schnittholz [g Rebstock ⁻¹]	273	167	165	133	194	222	238
Ertrag: Schnittholz [≈]	1:7	1:8	1:7	1:6	1:8	1:5	1:4

Bei einem idealen Verhältnis von Trauben- zu Holzertrag mit 1:4 kann aus **Tab. 21** entnommen werden, dass fast alle Versuchsglieder der SHB-Erziehung bis auf die Variante „spät schwer“ einen zu geringen Holzertrag im Verhältnis zum Traubenertrag aufwiesen (vgl. Kapitel 2.2.1). Dieser war mit 2 kg je Rebstock bzw. $\approx 10 \text{ t ha}^{-1}$ im normalen Bereich. Wie die „Kontrolle“ aufzeigt, war hier das Verhältnis von Trauben- zu Holzertrag mit $\approx 1:7$ relativ weit, sodass die vegetative Wuchsleistung der Versuchsanlage generell als gering eingestuft werden konnte. In den hagelgeschädigten Versuchsgliedern ist der verhältnismäßig geringe Holzertrag sicherlich u. a. auf die Hagelsimulation zurückzuführen. Auch lässt sich für den Nachblütebereich, – bei zunehmender Hagelintensität – ein enger werdendes Verhältnis erkennen, das primär durch die geringere Traubenerntemenge bedingt war. Durch die relativ konstanten und auf ähnlichem Niveau befindlichen Schnittholzgewichte der Versuchsglieder im Nachblütebereich, lässt sich die zuvor diskutierte erhöhte Widerstandsfähigkeit der Reben von der Blüte bis zur Veraison belegen.

 Diskussion

Tab. 22: Gegenüberstellung des Traubenertrages 2017 zum Schnittholzertrag des einjährigen Holzes 2017 der MSS-Erziehung

MSS-Erziehung	früh			spät			
	Kontrolle	leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
Ertrag [g Rebstock ⁻¹]	9.550	10.363	8.075	5.678	10.463	7.275	4.913
Schnittholz [g Rebstock ⁻¹]	438	238	350	450	300	388	363
Ertrag: Schnittholz [≈]	1:22	1:44	1:23	1:13	1:35	1:19	1:14

In **Tab. 22** sind die Trauben- den Holzerträgen aus der MSS-Erziehung gegenübergestellt. Aus dieser Tabelle können sehr weite Quotienten abgelesen werden. Sowohl im Vorblüte- als auch im Nachblütebereich lassen sich für die Versuchsglieder enger werdende Verhältnisse bei zunehmender Hagelintensität ableiten, die vornehmlich aus den hagelbedingten Ernteverlusten resultierten. Da, wie zuvor erörtert, die abweichenden Schnittholzgewichte der MSS-Erziehung überwiegend auf die Ertragsregulierung durch den Laubschneider beeinflusst wurden, erscheint die Gegenüberstellung von Trauben zu Schnittholzgewicht – unter Annahme des Ideales von 1:4 – als ungeeignet, um das vegetative Wachstum einer MSS-Erziehung zu bewerten. Jedoch sind diese Relativwerte für einen Vergleich des vegetativen Wachstums innerhalb der untersuchten MSS-Erziehung zweckdienlich. Weiterführende Forschungen zu dieser Thematik sollten eine Überprüfung des Idealwertes von Traubenertrag zu Schnittholzgewicht in MSS-Anlagen sowie die Gültigkeit des Richtwertes von 1:4 in Zeiten des Klimawandels hinterfragen. Ausgehend von tendenziell erhöhten Ertragsleistungen, bei zufälliger Anordnung und Verteilung des Schnittholzes, erscheint das Blatt- / Fruchtverhältnis als zielführender in der Bewertung des vegetativen und generativen Wuchses.

5.3 These III: Kompensation von Hagelschäden

Die Kompensation von mechanisch verursachten Schäden an Pflanzen ist ein sehr umfangreiches Themenfeld. Im ackerbaulichen Versuchswesen ist ein Lückenausgleichsvermögen bekannt. Dieses beschreibt die Fähigkeit einer Pflanze, einen vermeintlichen Ertragsverlust durch eine mechanische Verletzung mittelbar über ein größeres Angebot an Nährstoffen und verbesserten agronomischen Standortbedingungen (bspw. Sonnenlicht und Wasser) auszugleichen (LANGNER et al. 2002). Wie in Kapitel 5.1 ‚These I: Versuchsdesign, Witterung und Vegetationsverlauf‘ und 5.2 ‚These II: Hagelschaden in SHB und MSS‘ dargelegt, waren die Erträge in den Versuchsjahren 2016 und 2017 unterschiedlich und durch die Hagelsimulation teilweise stark reduziert. Um einen ersten Überblick zu gewinnen, ob eine Schadenskompensation von *Vitis vinifera* L. cv. Müller-Thurgau möglich erschien, wurden die **Tab. 13** und **Tab. 19** auf negative Schadensquoten untersucht, da hieraus ein höherer Ertrag des Versuchsgliedes gegenüber der entsprechenden „Kontrolle“ resultieren musste. Im Versuchsjahr 2016 wurde dieser Sachverhalt für das Versuchsglied „spät leicht“ der SHB-Erziehung nachgewiesen. Die Versuchsglieder „früh leicht“ und „spät leicht“ der MSS-Erziehung im Jahr 2017 zeigten ebenfalls einen $\approx 10\%$ höheren Ertrag als die „Kontrolle“ auf. Dieser höhere Ertrag der Versuchsglieder in Relation zur „Kontrolle“ wurde zwar für 2016 und 2017 in jeweils einem anderen Erziehungssystem gefunden, auffälligerweise aber stets bei einem leichten Hagelschlag. Jene Anomalie belegt alleinig jedoch nicht eine Kompensation des verursachten Schadens. Aus diesem Grund wurden im Versuchsjahr 2016 und 2017 Einzelbeerengewichte erhoben. Wie im Kapitel 2.2.1 ‚Pflanzenphysiologie von *Vitis vinifera* L.‘ dargelegt, wird das Ertragspotenzial eines Erntejahres im Jahr zuvor über die Differenzierung der Gescheinsanlagen festgelegt. Demnach könnte die Weinrebe einen mechanischen Schaden lediglich über ein verstärktes Beerenwachstum ausgleichen. In beiden Versuchsjahren konnte jedoch in keinem Versuchsglied ein signifikant höheres Beerengewicht in Relation zur „Kontrolle“ festgestellt werden (vgl. Kapitel 4.1.1.5 und 4.2.1.7). Die Ergebnisse des Versuchsjahres 2016 zeigten in der SHB-Erziehung sogar ein signifikant geringeres Beerengewicht der Variante „früh schwer“. Alle übrigen Versuchsglieder wiesen ebenfalls ein tendenziell reduziertes Beerengewicht zur „Kontrolle“ auf. Die

Diskussion

Beerengewichte der MSS-Erziehung lagen auf ähnlichem Niveau, sodass weder statistische Unterschiede gefunden wurden noch eine Tendenz abgeleitet werden konnte. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2017 zeigten zum Teil geringfügig andere Tendenzen auf. Hier wurden vornehmlich im Vorblütebereich leicht höhere Beerengewichte sowohl in der SHB- als auch in der MSS-Anlage nachgewiesen, die statistisch jedoch nicht zu belegen waren. Für die Versuchsglieder des Nachblüteschadens hingegen wurden tendenziell geringere Beerengewichte im Verhältnis zur „Kontrolle“ dokumentiert. Beim Abgleich der Versuchsglieder mit einer negativen Schadensquote und erhöhtem Beerengewichte fiel auf, dass lediglich im Jahr 2017 die Variante „früh leicht“ der MSS-Erziehung diese Kriterien erfüllte. Im Vergleich zur „Kontrolle“ wies dieses Versuchsglied ein um $\approx 6\%$ höheres Beerengewicht auf. Der Ertrag dieses Versuchsgliedes lag zur „Kontrolle“ $\approx 9\%$ höher, sodass zumindest ein Teil dieses höheren Ertrages über die Zunahme des Beerengewichtes erklärt werden konnte. Für die übrigen Versuchsglieder mit einer negativen Schadensquote konnte keine Zu- sondern eine Abnahme des Beerengewichtes festgestellt werden. Für die Versuchsglieder „früh schwer“ der Jahre 2016 (MSS) und 2017 (SHB) ließen sich ebenfalls um $\approx 8\%$ bzw. $\approx 20\%$ höhere Einzelbeerengewichte nachweisen. Jedoch waren diese Unterschiede nicht signifikant und diese Effekte konnten nur bei einem Hageleinfluss vor der Blüte dokumentiert werden. CLINGELEFFER et al. (2001) wiesen nach, dass ca. 10 % der jährlichen Ertragsschwankung über das Beerengewicht zu erklären war (vgl. Kapitel 2.2.1). Ferner zeigen die Ergebnisse jener Arbeit eine teilweise ähnliche Tendenz.

Bei der Ertragsbestimmung des Erntegutes mittels Waage wurden komplette Trauben gewogen, wodurch neben den Beeren auch die Stielgerüste der Trauben miterfasst wurden. Denkbar wäre, dass durch die mechanische Beschädigung des Stielgerüsts und die daraus folgenden verstärkten Verholzungsvorgänge das Erntegewicht beeinflusst haben könnten, sodass letztlich das Beerengewicht für die Bewertung von Kompensationsvorgängen stärker zu berücksichtigen wäre. Demnach lässt sich zusammenfassend festhalten, dass eine geringe Schadenskompensation nach einem Schaden vor der Blüte durch verstärktes Dickenwachstum möglich sein kann. Jedoch zeigten die Ergebnisse, dass dieser Effekt jahrgangsabhängig war. Für Schäden nach der Blüte konnte kein Kompensationseffekt festgestellt werden, da

hier die Beerengewichte der Versuchsglieder im Vergleich zur „Kontrolle“ deutlich geringer ausfielen und diese Unterschiede teilweise statistisch zu belegen waren.

5.4 These IV: Mostinhaltstoffe

Zur Bewertung der Traubenqualität existieren zahlreiche Parameter und Analyseverfahren. Die nach wie vor gängigsten sind dabei der Ertrag je Fläche und das Mostgewicht, welches im deutschen Weinanbau als °Oechsle angegeben wird. Diese zwei Parameter sind in der Praxis sehr einfach und kostengünstig festzustellen. Jedoch haben weitere Inhaltsstoffe wie diverse Säuren oder Stickstoffkomponenten einen erheblichen Einfluss auf die Organoleptik des späteren Weines bzw. sind essenziell für mikrobielle Vorgänge im Most / Wein (WÜRDIG et al. 1989; STEIDEL 2009; BERGER 2013). Neue Analyseverfahren wie die FTIR-Messung bieten die Möglichkeit, eine Vielzahl an Inhaltsstoffen schnell und preiswert zu bestimmen (HIEBER et al. 2005; FISCHER & BERGER 2006). Im Rahmen dieser Arbeit wurden in den Frischmosten der verschiedenen Versuchsglieder folgende Inhaltsstoffe untersucht: Mostgewicht, Gesamtsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Kalium und YAN (vgl. Kapitel 2.2.5).

Die Mostgewichte in den beiden Versuchsjahren 2016 und 2017 fielen markant unterschiedlich aus (vgl. Kapitel 4.1.2.1 und 4.2.2.1). Wie bereits in den Kapiteln 5.1 ‚These I: Versuchsdesign, Witterung und Vegetationsverlauf‘ und 5.2 ‚These II: Hagelschaden in SHB und MSS‘ erörtert, ist besonders in der MSS-Erziehung die Begründung mit der Güte-Menge-Relation verbunden (vgl. Kapitel 2.2.1). Im Jahr 2016 waren zwischen den Versuchsgliedern nahezu keine Unterschiede festzustellen, wozu höchstwahrscheinlich die idealen Reifebedingungen beigetragen haben. Im Versuchsjahr 2017 konnten statistisch ebenfalls keine Unterschiede nachgewiesen werden. Allerdings konnte in der SHB-Anlage die Tendenz belegt werden, dass im Nachblütebereich bei steigender Hagelintensität geringere Mostgewichte resultierten. Die Ergebnisse der MSS-Anlage wiesen zwischen den Versuchsgliedern keine nennenswerten Unterschiede auf.

Diskussion

Bei der Betrachtung der Gesamtsäure im Frischmost aus den Jahren 2016 und 2017 waren ebenfalls keine merklichen Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern eines Erziehungssystems nachzuweisen. Lediglich die Variante „früh schwer“ der SHB-Erziehung aus dem Jahr 2016 wies $\approx 58\%$ mehr Gesamtsäure auf als die „Kontrolle“. Da im Jahr 2016 die Analytik und der Weinausbau als Tastversuch durchgeführt wurden, um eventuelle größere Unterschiede aufzuzeigen, wurden die Wiederholungen der einzelnen Versuchsglieder gemeinsam verarbeitet. Hierdurch konnten die Gehalte an Inhaltsstoffen nur in einer Einzelprobe bestimmt werden. Insofern könnte diese erhebliche Abweichung der Variante „früh schwer“ den Charakter eines Ausreißers besitzen. Sowohl im Jahr 2016 als auch im Jahr 2017 besaßen die Versuchsglieder der MSS-Erziehung stets die höheren Gehalte an Gesamtsäure.

Wie im Kapitel 2.2.5 ‚Ausgewählte Mostinhaltsstoffe und deren Analytik‘ beschrieben, ist der Gehalt an Äpfelsäure im Frischmost neben einer organoleptischen Ausprägung auch als Reifeindikator anzusehen. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der 2016er und 2017er Äpfelsäuregehalte waren wie bei der Gesamtsäure keine markanten Unterschiede festzustellen. Jedoch wies das Versuchsglied „früh schwer“ der SHB-Anlage im Jahr 2016 einen beträchtlich höheren Gehalt auf. Die Ergebnisse aus 2017 zeigten keine signifikanten Unterschiede. Dennoch besaßen alle hagelgeschädigten Varianten beider Erziehungssysteme – außer „früh leicht“ – tendenziell leicht erhöhte Gehalte. Diese Ausprägung war im Nachblütbereich der SHB-Anlage am deutlichsten feststellbar. Folglich konnte vermutet werden, dass der Reifeverzug durch den Hagelschlag zu einer verzögerten Verstoffwechslung der Äpfelsäure führte. Dieses Indiz kann durch die Betrachtung der Mostgewichte selbiger Versuchsglieder bestätigt werden, da sie tendenziell geringer waren, was den Rückstand in der Reife bestätigte. Bei der Gegenüberstellung der Gesamt- und Äpfelsäure war auffällig, dass nahezu über alle Versuchsglieder beider Erziehungssysteme und in beiden Jahren der Anteil der Weinsäure $\approx 40\%$ betrug. Darüber hinaus waren stets geringfügig höhere Konzentrationen an Äpfelsäure ($\approx 0,4 - 0,9 \text{ g l}^{-1}$) in der MSS- nachzuweisen als in der SHB-Anlage.

Diskussion

Die Weinsäure-Konzentrationen aus den beiden Versuchsjahren 2016 und 2017 zeigten ebenfalls keine deutlichen Unterschiede zwischen den „Kontrollen“ und den Versuchsgliedern auf (vgl. Kapitel 4.1.2.4 und 4.2.2.4). Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der hohe Wert der Gesamt- und Äpfelsäure des Versuchsgliedes „früh schwer“ der SHB-Erziehung aus dem Jahr 2016 vornehmlich über die hohe Äpfelsäure-Konzentration zu erklären war, da der Weinsäuregehalt dieses Versuchsgliedes auf einem ähnlichen Niveau wie die übrigen Varianten lag. Beim Vergleich der Erziehungssysteme miteinander fiel für das Jahr 2016 auf, dass die Konzentrationen von SHB- und MSS-Erziehung in einem vergleichbaren Wertebereich nachgewiesen wurden ($4,1 - 4,9 \text{ g l}^{-1}$). Hingegen belegten die Ergebnisse der 2017er Frischmoste, dass in der MSS-Anlage durchschnittlich $\approx 0,8 \text{ g l}^{-1}$ mehr Weinsäure vorhanden war. In beiden Versuchsjahren hatte die Weinsäure einen Anteil von $\approx 50 \%$ an der Gesamtsäure. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass das Lesegut vor der Vollreife geerntet wurde, da vollreifes und gesundes Lesegut einen Weinsäureanteil von bis zu 70% aufweisen kann (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989) (vgl. Kapitel 2.2.5). Dass im Versuchsjahr 2017 die Moste der SHB-Anlage vergleichsweise geringere Weinsäuregehalte hatten, ist vermutlich auch auf den deutlich höheren Botrytisbefall zurückzuführen („Kontrolle“ SHB: $\approx 24 \%$, „Kontrolle“ MSS: $\approx 17 \%$).

Wie in Kapitel 2.2.5 ‚Ausgewählte Mostinhaltsstoffe und deren Analytik‘ dargestellt, deuten höhere Gehalte an Kalium auf eine weiter fortgeschrittene Traubenreife hin, da Kalium u. a. für die Zellpermeabilität verantwortlich ist (CURRLE et al. 1983; WÜRDIG et al. 1989). Im Versuchsjahr 2016 implizieren die Ergebnisse der SHB-Anlage eine hagelschlagabhängige Veränderung der Kalium-Konzentration, wobei der Höchstwert von $\approx 2.000 \text{ mg l}^{-1}$ im Versuchsglied „früh schwer“ nachzuweisen war (vgl. Kapitel 4.1.2.5). Diese Anomalie konnte im folgenden Versuchsjahr nicht bestätigt werden. Vermutlich waren aufgrund des geringen Ertrages im Versuchsjahr 2016 der MSS-Erziehung und der idealen Reifebedingungen der Trauben, keine merklichen Unterschiede zwischen den zwei untersuchten Anlagentypen festzustellen. Im Jahr 2017 hingegen war zwar kein Einfluss der Hagelsimulationen auf die Kaliumgehalte nachzuweisen, jedoch unterschieden die Erziehungssysteme sich markant voneinander (vgl. Kapitel 4.2.2.5). Dieser Sachverhalt dürfte überwiegend durch die deutlich weiter fortgeschrittene Traubenreife der SHB-

Diskussion

Erziehung zu erklären sein, wie auch die Mostgewichte verdeutlichten (vgl. Kapitel 4.2.2.1). In diesem Zusammenhang muss auch darauf hingewiesen werden, dass die Schwefelung sowohl im Most- als auch im Weinstadium mittels Kaliumhydrogensulfit (KHSO_3) durchgeführt wurde. Die Zugabe erfolgte stets mengenbezogen, sodass die Konzentrationen der einzelnen Versuchsglieder in Relation zueinander nicht verändert wurden, u. U. könnten jedoch die absoluten Werte dadurch erhöht worden sein.

Der Gehalt von hefeverfügbarem Stickstoff (YAN) der einzelnen Versuchsglieder aus den beiden Versuchsjahren lies ebenfalls keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Einwirkung eines Hagelschlages zu, trotz teilweise stark unterschiedlicher Gehalte (vgl. Kapitel 4.1.2.6 und 4.2.2.6). Wie bereits erörtert, war die Güte-Menge-Relation im Versuchsjahr 2016 der beiden Erziehungssysteme auf ähnlichem Niveau. Vermutlich aus dieser Tatsache heraus befanden sich die YAN-Konzentrationen im Jahr 2016 der beiden Systeme in einem vergleichbaren Wertebereich. Überaus auffällig war jedoch im Jahr 2017, dass wie bereits diskutiert, die in der Reife zurückliegende MSS- durchschnittlich höhere YAN-Gehalte aufwies als die SHB-Erziehung. Mutmaßlich könnte der erhöhte Gehalt der unreiferen Trauben über einen höheren Gehalt an Ammonium erklärt werden, da im Reifeverlauf Ammonium verstoffwechselt wird (vgl. Kapitel 2.2.5). Bei der anteiligen Differenzierung der YAN-Gehalte war jedoch nachzuweisen, dass in beiden Versuchsjahren und über alle Versuchsglieder und Erziehungen ca. 2/3 durch die Aminosäuren und ca. 1/3 durch Ammonium zu erklären war (Daten nicht dargestellt). Folglich konnte die zuvor benannte Mutmaßung mit den erhobenen Daten nicht belegt werden.

Die zuvor beschriebenen überwiegend geringen hagelbedingten Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern bezüglich der Traubenqualität, konnten durch die Ergebnisse der Organoleptik bestätigt werden. Die Dreieckstests der 2016er Weine verdeutlichten, dass hagelbedingte Unterschiede auch abhängig vom Alter des Weines waren. So konnte das erste Organoleptikpanel vom 25.05.2017 statistisch keine Unterschiede zwischen den „Kontrollen“ und den hagelgeschädigten Versuchsgliedern nachweisen. Bei der Wiederholung dieses Dreieckstests am 08.02.2018 wurden die Hagelweine aus der SHB-Anlage signifikant von den „Kontrollen“ unterschieden. Ebenfalls statistisch markante Unterschiede zeigten die

Diskussion

Ergebnisse des Dreieckstests der 2017er Weine mit simuliertem Vorblüteschaden (SHB und MSS). In der anschließenden Bewertung der Intensitäten der Attribute Säure und Körper / Fülle konnten keine eindeutigen Hagelschlag abhängigen Trends abgeleitet werden, bis auf die in **Abb. 35** [B] gezeigte Probenserie der 2016er Weine. Hier suggerieren die Ergebnisse der SHB-Erziehung (Nachblüte) eine Abnahme der Intensität des Attributes Körper / Fülle bei zunehmender Hagelschädigung. Statistisch konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Darüber hinaus waren die Ergebnisse einzelner Probenserien auffällig. Aus **Abb. 34** kann entnommen werden, dass die Versuchsglieder „früh schwer“ und „spät schwer“ der MSS-Erziehung markant erhöhte Säureintensitäten aufwiesen. Gleichet man diese Versuchsglieder mit den analytischen Werten der Gesamt-, Äpfel- und Weinsäuregehalte ab, so fällt weiter auf, dass diese Werte nicht erhöht waren. Vermutlich könnte der pH-Wert dieser Weine eine Antwort auf diese Anomalie liefern.

5.5 These V: Ertragsdepression im Folgejahr

Mit einem schweren Hagelschlag an landwirtschaftlichen Dauerkulturen ist in der Praxis oftmals auch die Sorge verbunden, dass neben den quantitativen und qualitativen Einbußen des Erntejahres sogar im Folgejahr negative Auswirkungen vorhanden sein könnten. Durch die Versuchsdurchführung über zwei Jahre, auf unterschiedlichen Teilflächen, war es möglich, die im Jahr 2016 hagelgeschädigte Teilfläche über das Jahr 2017 zu beobachten und zur Ernte bezüglich des Ertrages und Mostgewichtes auszuwerten (vgl. Kapitel 3.1 und 4.1.1.6 und 4.1.1.7). Wie in der **Abb. 25** dargestellt, wiesen die Versuchsglieder der SHB- sowie der MSS-Anlage, die im Jahr 2016 einen Hagelschlag erlitten, zur Ernte 2017 im Vergleich zur „Kontrolle“ keine abweichende Erntemenge auf. Darüber hinaus besaßen die Versuchsglieder aus 2016 einen nahezu identischen Ertrag wie die „Kontrollen“ im Jahr 2017. Folglich konnte nachgewiesen werden, dass durch den simulierten Hagelschaden im Jahr 2016 die Erntemenge im Jahr 2017 nicht beeinträchtigt wurde.

Diskussion

Neben mengenmäßigen Einbußen durch einen Hagelschlag ist die Güte der Trauben bzw. der Moste wichtig. Wie im Kapitel 5.4 ‚These IV: Mostinhaltstoffe‘ erörtert, wird die Qualität vom Erntegut vornehmlich über das Mostgewicht festgestellt. Damit die Fragestellung nach qualitativen Einbußen mit in diese Arbeit integriert werden konnte, wurde die Bewertung der Qualität im Folgejahr auf den Parameter des Mostgewichtes beschränkt. Die **Abb. 26** zeigt die Mostgewichte im Jahr 2017 der Versuchsglieder auf, an denen im Jahr 2016 ein Hagelschaden simuliert wurde. Weder statistisch noch tendenziell ergab sich in beiden Erziehungssystemen ein Unterschied zwischen den Versuchsgliedern zur „Kontrolle“. Folglich konnte mit dem simulierten Hagelschaden sowohl beim Ertrag als auch im Mostgewicht keine Beeinträchtigung im Folgejahr festgestellt werden.

Ein Hagelschlag an wirtschaftlich genutzten Pflanzenteilen gehört nach wie vor zu den unberechenbarsten Gefahren in der Landwirtschaft (SANDER 2014). Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass hiermit vornehmlich Einbußen in der Erntemenge im Ertragsjahr verbunden waren (vgl. Kapitel 5.2). Die aufgezeigten Differenzen bezüglich der Qualität präsentierten sich nur bedingt hagelschlagabhängig.

Die untersuchte MSS- wies allerdings durchschnittlich eine geringere Schadensquote (Quantität) als die SHB-Anlage auf. Sofern sich die Prognosen bezüglich der Klimaerwärmung mit zunehmenden Wetterextremen (u. a. Hagel) bestätigen, kann der Minimalschnitt einen Beitrag zur Bewältigung der Folgen dieser Unwetterrisiken für den Weinbau leisten.

Abschließend ist zu bedenken, dass die gefundenen Unterschiede nur für die überprüfte Rebsorte Müller-Thurgau in der Region Wonnegau Gültigkeit besitzen. Des Weiteren hatte die Witterung in den Versuchsjahren 2016 und 2017 einen erheblichen Einfluss, sodass bei einer späteren Wiederholung dieses Experimentes abweichende Ergebnisse gefunden werden könnten. Dabei sollte ein erweitertes Versuchsdesign in Betracht gezogen werden. Da eine ergänzende Fragestellung der hagelbedingte Fäulnisbefall sein könnte, sodass ein zusätzlicher Simulationstermin zur Traubenreife (BBCH 85) geboten wäre. Darüber hinaus sollten auch andere Rebsorten überprüft werden, da von Seiten der Praxis oftmals

Diskussion

Rebsortenunterschiede bei einem Hagelschlag diskutiert werden. Mit dem verwendeten Trockeneisstrahlgerät war es möglich, einen natürlichen Hagelschlag nachzubilden. Die Verwendung des verhältnismäßig kleinen Trockeneises in Stäbchenform (ca. 5 x 8 mm), hatte zur Folge, dass vergleichsweise viele kleine Anschläge in der Laubwand und an den Trauben verursacht wurden. Wie im Kapitel 2.1.3 ‚Entstehung von Hagel‘ beschrieben, kann ein Hagelkorn deutlich größer werden und viele diverse Formen aufweisen. Insofern könnte bei einer Wiederholung dieser Untersuchung auch über eine andere Form der Hagelsimulation nachgedacht werden, bei der eine Mischung aus unterschiedlichen Hagelkornformen mit größeren Durchmessern Anwendung finden könnte. Hierbei sollte neben der verfahrenstechnischen Herausforderung unbedingt auf die Reproduzierbarkeit des Schadbildes geachtet werden.

Zusammenfassung

Der Wandel des Klimas und die damit einhergehende Zunahme an Wetterextremen stellt den Winzer vor neue Herausforderungen, die sowohl den An- als auch Ausbau von Wein betreffen (SCHULTZ et al. 2012; GÖMANN et al. 2015). Diese Ausarbeitung untersuchte, inwiefern eine Minimalschnitt-im-Spalier-Anlage einen Baustein im Risikomanagement des Pflanzenbaus bezüglich der Hagelgefährdung darstellen kann.

Die Verwendung eines Trockeneisstrahlgerätes ermöglichte eine standardisier-, reproduzier- und skalierbare künstliche Nachbildung eines natürlichen Hagelschlages an *Vitis vinifera* L. cv. Müller-Thurgau.

Die Ergebnisse zeigten auf, dass in der SHB-Anlage ein Großteil des hagelbedingten Ernteverlustes durch die Verrieselung – die bei steigender Hagelintensität zunahm – und einzelne an- bzw. abgeschlagene Beeren zu erklären war. In der MSS-Anlage wurden hingegen durch die Hagelsimulation mehr ganze Gescheine bzw. Trauben abgeschlagen. Um die Ertragsverluste der beiden Anlagen zu relativieren und vergleichen zu können, wurden die Schadensquoten der einzelnen Versuchsglieder gebildet. So konnte dargelegt werden, dass der identisch simulierte Hagelschlag zu denselben Entwicklungsstadien in der MSS-Erziehung durchschnittlich über alle Versuchsglieder 28 % bis 36 % weniger Ertragsverlust verursachte. Eine Kompensation des Ernteverlustes von $\approx 6\%$ bzw. $\approx 20\%$ durch ein verstärktes Dickenwachstum der Beeren, konnte nur tendenziell für Schäden vor der Blüte in einzelnen Versuchsvarianten festgestellt werden.

Zur Beurteilung hagelbedingter qualitativer Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern wurden im Frischmost die folgenden Inhaltstoffe mittels FTIR-Messung untersucht: Mostgewicht, Gesamtsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Kalium und YAN. Darüber hinaus wurden die Versuchsweine durch einen Dreieckstest und eine Intensitätsbewertung organoleptisch geprüft. Statistisch nachzuweisende Unterschiede in der Traubenqualität bzw. der Organoleptik konnten nur bedingt durch die Hagelsimulation erklärt werden, da die verschiedenen Hagelintensitäten meist keinen eindeutigen Trend hervorriefen.

Summary

Summary

In this study the adaption of a minimal pruned vineyard was investigated in relation to avoid negative influence, which might be triggered by climate change, particularly damage by hail. To cause a standardised, repeat- and scalable hail damage on two different types of trellis systems (vertical shoot position: SHB, minimal pruning: MSS) a dry ice blasting machine was used.

The results indicate, that the greatest effect of this artificial hail were yield losses. In the SHB-trellis the most yield losses can be determined by bad flowering (increasing by higher level of hail damage) and single berry losses. In contrast with the MSS-trellis more whole grapes were hew off. In order to be able to compare the yield losses of this two trellis systems, the loss ratio of each treatment was compared with the control unit. It could be shown, that the simulated hail at the same developmental stages in MSS caused an average yield loss from 28 % up to 36 %. A compensation of yield loss determined by elevated berry growth was only observed for pre flowering treatments with no statistically significant influence.

To evaluate qualitative differences between the treatments the following grape juice ingredients were tested by FTIR: sugar concentration (°Oechsle), total acid, malic acid, tartaric acid, potassium and YAN. In addition the wines of each treatment were organoleptically examined by an triangle and intensity test. Statistically proven differences in grape quality or organoleptic could only be verified for a limited degree by the simulated hail damage, since the various treatments by hail intensity caused no clear trend in most cases.

Literaturverzeichnis

- AGRARMETEOROLOGIE RHEINLAND-PFALZ (2018): Vieljähriges Mittel DWD (von 1961 bis 1990): Alzey, zuletzt abgerufen unter:
<http://www.am.rlp.de/Internet/AM/NotesAM.nsf/amweb/0a7766048dc76120c1257171002e8a87?OpenDocument&TableRow=2.1.3%2C2.5#2.1.>, am 06.01.2018.
- ALLEWELDT, G. (1965): Über den Einfluss der Temperatur auf die Blutung von Reben. In: *Vitis* (5), 10–16.
- ALLEWELDT, G. & HOFÄCKER, W. (1975): Einfluss von Umweltfaktoren auf Austrieb, Blüte, Fruchtbarkeit und Triebwachstum bei der Rebe. In: *Vitis* (14), 103–115.
- ALTMAYER, B. & GERLING, D. (2015): Pfalz: Hagelabwehr durch Flugzeugeinsatz. In: *Der Deutsche Weinbau* (6), 32–35.
- AMS (2000): *Glossary of Meteorology*. (AMS) American Meteorological Society. Boston, USA, 855S.
- ANONYM (2016): Ein Jahr der Gegensätze. In: *Der Deutsche Weinbau* (26), 42–46.
- BANGERTH, F. & GÖTZ, G. (1975): Zur Wirkung von Gibberellinsäure- und Kinetinapplikationen auf Qualität und Ertrag verschiedener Sorten von *Vitis vinifera* L. In: *Vitic. Enol. Sci.* (30), 121–128.
- BAUER, K. (2002): Minimalschnittsysteme beim Grünen Veltliner. In: *Der Winzer* (1), 8–12.
- BAUER, K.; REGNER, F. & SCHILDBERGER, B. (2008): *Weinbau*. 8. überarbeitete Auflage. 464 S.
- BAUS-REICHEL, O.; DORN, C.; HURTMANN, H.; KETELHUT, G. & BERKELMAN-LÖHNERTZ, B. (2001): Wirkung von Spezialbotrytiziden nach der Verletzung von Trauben - Unveröffentlichte Unterlagen aus dem Institut Phytomedizin, Geisenheim.
- BECKER, A. (2008): Erster Laubschnitt: Wann? In: *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* (13), 4–7.
- BECKER, A. (2009): Minimalschnitt: Naturwuchs mit System. In: *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau*, 2009 (04), 6–9.

Literaturverzeichnis

- BECKER, A. (2012): Minimalschnitt entschärft Hagelschäden. In: Der Deutsche Weinbau (1).
- BECKER, A. (2013): Esca - was können wir tun? In: Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 2013 (13), 6–9.
- BECKER, A.; GÖTZ, G. & PETGEN, M. (2007): Extensivierung: Mehr als nur Kosteneinsparung. Tipps für die Praxis - Buchband. In: Der Deutsche Weinbau.
- BELL, S. J. & HENSCHKE, P. A. (2005): Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. In: Australian Journal of Grape and Wine Research, 11 (3), 242–295.
- BERGER, T. (2013): Erstellung und Validierung einer Kalibration von Traubenminor- und Majorbestandteilen als Grundlage einer qualitäts-orientierten Traubengeldauszahlung auf Basis der FT-MIR Analytik. In: Fachbereich Chemie der Universität Kaiserslautern (386), 243.
- BLV (2017): Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis 2017 - Teil 3: Weinbau. Herausgegeben vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Dienststelle Braunschweig Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany Stand: Januar 2017.
- BUTH, M.; KAHLENBORN, W.; SAVELSBERG, J.; BECKER, N.; BUBECK, P.; GREIVING, S.; FLEISCHHAUER, M.; LINDNER, C.; LÜCKENKÖTTER, J.; ZEBISCH, M.; SCHNEIDERBAUER, S. & KOFLER, C. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. adelphi / PRC / EURAC (2015), Climate Change 24/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Germany.
- CARMONA, M.; CHAIB, J.; MARTINEZ-ZAPTER, J. & THOMAS, M. (2008): A molecular genetic perspective of reproductive development in grapevine. In: J. Exp. Bot., 2008 (59), 25–79.
- CHEN, B. & XIAO, H. (2010): Silver iodide seeding impact on the microphysics and dynamics of convective clouds in the high plains. In: Atmospheric Research (96 (2-3)), 186–207.
- CLINGELEFFER, P. R. (1984): Production and growth of minimal pruned Sultana vines. In: Vitis, 1984 (23), 42–54.

Literaturverzeichnis

- CLINGELEFFER, P. R.; MARTIN, S.; KRSTIC, M. & DUNN, G. M. (2001): Crop Development, Crop Estimation and Crop Control to Secure Quality and Production of Major Wine Grape Varieties: A National Approach. Final Report to Grape and Wine Research and Development Corporation. GWRCDC, Wayville, SA, Australia.
- CLINGELEFFER, P. R. & POSSINGHAM, J. V. (1987): The role of minimal pruning of cordon trained vines (MPCT) in canopy management and its adoption in Australian viticulture. In: Aust. Grapegrow. Winemaker (280), 7–11.
- CURRLE, O.; BAUER, O.; HOFÄCKER, W.; SCHUMANN, F. & FRISCH, W. (1983): Biologie der Rebe. In: Meiningen Verlag und Druckerei, 311.
- DESSENS, J.; SÁNCHEZ, J. L.; BERTHET, C.; HERMIDA, L. & MERINO, A. (2016): Hail prevention by ground-based silver iodide generators. Results of historical and modern field projects. In: Atmospheric Research (170), 98–111.
- DLR MOSEL (2016): Sondermitteilung Rebschutzdienst -Hagel- 31.05.2016. In: Rebschutzdienst DLR Mosel.
- DUSEK, U.; FRANK, G. P.; HILDEBRANDT, L.; CURTIUS, J.; SCHNEIDER, J.; WALTER, S.; CHAND, D.; DREWNICK, F.; HINGS, S.; JUNG, D.; BORRMANN, S. & ANDREAE, M. O. (2006): Size matters more than chemistry for cloud–nucleating ability of aerosol particles. In: Science (312), 1375–1378.
- FEICHTER, J. (2003): Aerosole und das Klimasystem: Atmosphärenforschung. In: Physik in unserer Zeit (34), 72–79.
- FISCHER, U. & BERGER, T. (2006): Objektive Bestimmung der Traubengesundheit. In: Der Deutsche Weinbau (13), 16–19.
- FRIONI, T.; ZHUANG, S.; PALLIOTTI, A.; SIVILOTTI, P. & FALCHI, R. SABBATINI, P. (2017): Leaf Removal and Cluster Thinning Efficiencies Are Highly Modulated by Environmental Conditions in Cool Climate Viticulture. In: Am. J. Enol. Vitic. (68:3), 325–335.
- FRÖBA, N.; REINHOLD, C.; SCHWINGENSCHLÖG, P.; RÜCKRICH, K.; BINDER, G.; EDER, J.; OBERHOFER, J.; REBHOLZ, F.; SCHANDELMAIER, B.; ZIEGLER, B.; BECKER, A.; DEGÜNTHER, B.; GEBERT, D.; MARBE-SANS, D.; NEUREUTHER, J.; SCHLAMP, H.;

Literaturverzeichnis

- WECHSLER, B.; KOHL, E.; WALG, O.; SCHWARZ, H.-P.; SCHRAUTH, G.; PLEWE, W.; MICHELFELDER, U.; STRAUß, M.; HUBER, G. & WEINMANN, E. (2013): Weinbau und Kellerwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft - Datensammlung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (15), 124.
- GATTI, M.; BERNIZZONI, F.; CIVARDI, S. & PONI, S. (2012): Effects of Cluster Thinning and Preflowering Leaf Removal on Growth and Grape Composition in cv. Sangiovese. In: Am. J. Enol. Vitic. (63:3), 325–332.
- GIETZ, S. (2014): Vegetative und generative Untersuchungen sowie Arbeitszeitstudien im Erziehungssystem „Minimalschnitt Spalier“. Bachelor-Thesis, Hochschule Geisenheim University.
- GÖMANN, H.; BENDER, A.; BOLTE, A.; DIRKSMEYER, W.; ENGLERT, H.; FEIL, J.-H.; FRÜHAUF, C.; HAUSCHILD, M.; KRENGEL, S.; LILIENTHAL, H.; LÖPMEIER, F.-J.; MÜLLER, J.; MUßHOFF, O.; NATKHIN, M.; OFFERMANN, F.; SEIDEL, P.; SCHMIDT, M.; SEINTSCH, B.; STEIDL, J.; STROHM, K. & ZIMMER, Y. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 30.
- GÖMANN, H. & FRÜHAUF, C. (2016): Landwirtschaftliche Mehrgefahrenversicherung für Deutschland. In: Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
- GOTTWALD, W. & WACHTER, G. (1997): IR-Spektroskopie für Anwender. In: WILEY-VCH.
- GRUBER, B. (2013): Untersuchung zur Bodenfeuchtedynamik und zum Pflanzenwasserhaushalt bei verschiedenen Bodenmanagement- und Laubwandsystemen von *Vitis vinifera* L. (cv. Riesling) im Steilhang - ein Ansatz zur bedarfsgerechten Steuerung von Tröpfchenbewässerungsanlagen. In: Geisenheimer Berichte (71), 235.
- GÜNZLER, H. & GREMLICH, H. (2003): IR-Spektroskopie - Eine Einführung. Weinheim, Deutschland, 4. Auflage. In: WILEY-VCH.
- HÄCKEL, H. (2007): Wetter & Klimaphänomene. In: Eugen Ulmer.
- HÄCKEL, H. (2012): Meteorologie. 7. korrigierte Auflage, S. 447. In: Eugen Ulmer.

Literaturverzeichnis

- HAMATSCHEK, J. (2015): Technologie des Weines. In: Eugen Ulmer, 478.
- HARREL, D. C. & WILLIAMS, L. E. (1987): The Influence of Girdling and Gibberellic Acid Application at Fruitset on Ruby Seedless and Thompson Seedless Grapes. In: Am. J. Enol. Vitic. (38 (2)), 83 ff.
- HIEBER, M.; PATZ, C. D. & DIETRICH, H. (2005): Abschlussbericht des FDW-Projektes: "Bestimmung der Traubenqualität unter Berücksichtigung der hieraus resultierenden Weinqualität mit Hilfe der mittleren Infrarotspektroskopie (FTIR)". Institut für Oenologie und Getränkforschung, Fachgebiet Weinanalytik und Getränkforschung. In: Geisenheimer Berichte.
- HILL, G.; SPIES, S. & PRIOR, B. (2000): Minimalschnitt zur Bewirtschaftung abgängiger Rebanlagen: Auf dem Prüfstand. In: Das Deutsche Weinmagazin (16-17), 10–14.
- HOWELL, G. S. (2001): Sustainable Grape Productivity and the Growth-Yield Relationship: A Review. ASEV Annual Meeting, 1999, Reno, Nevada. In: Am. J. Enol. Vitic. (52:3), 165–174.
- HUG, H. (2011): Instrumentelle Analytik - Theorie und Praxis. 2. Auflage. In: Europa Lehrmittelverlag, 512.
- HÜGELSCHÄFFER, P. (1988): Reaktionen von Reben (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling und Müller-Thurgau auf Sommerschnittbehandlungen - Fünfjährige Ergebnisse von drei Feldversuchen im Rheingau mit besonderer Berücksichtigung der Verteilung von Trockenmasse, Stärke, Glucose, und Fructose. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen, Germany, pp 167.
- HUGLIN, P. & SCHNEIDER, C. (1998): Biologie et Écologie de la Vigne. 2d ed. Lavoisier Tech&Doc, Paris.
- HURTMANN, H. (2018): mündliche Mitteilungen im Rahmen der Expertenbefragung des Bezirksdirektors von Alzey der VEREINIGTEN HAGEL VVaG am 12.01.2018 in Alzey.
- IRIBARNE, J. V. & GRANDOSO, H. N. (1965): Experiencia demodificación artificial de granizadas en Mendoza. Contribuciones Cientificas, Serie Meteorologia vol. 1, Numero 5. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Univesidad de Buenos Aires (32 pp.).

Literaturverzeichnis

- JACKSON, R. S. (2000): Wine Science - Principles, Practice, Perception. Second Edition. Academic Press - An Imprint of Elsevier, San Diego, California, USA, pp. 648.
- KADISCH, E.; MÜLLER, E.; SCHULZ, M., G. & WALG, O. (1999): Der Winzer. Weinbau.
- KARTSCHALL, T.; WODINSKI, M.; RACHIMOW, C.; WERNER, P.; STOCK, M. & BLOH, W. (2015): Weinbau in der Internetplattform Klimafolgenonline.com, Deutsches Weinbau-Jahrbuch / 66: 189–196, Herausgeber: Schultz, H. R.; Stoll, M., 66.
- KASCHUBA, M. (2008): Hagelintensitätsskala Stand 2008.
- KELLER, M. (2010): The Science of Grapevines - Anatomy and physiology. In: Elsevier Inc, 391.
- KELLER, M.; ARNINK, K. J. & HRAZDINA, G. (1998): Interaction of nitrogen availability during bloom and light intensity during veraison. Effects on grapevine growth, fruit development, and ripening. In: Am. J. Enol. Vitic. (49), 333–340.
- KERN, B. (2017): Jahr der Extreme. In: Der Deutsche Weinbau (25-26), 35–42.
- KLIEWER, W. M. (1977): Effect of high temperatures during the bloom-set period on fruit-set, ovule fertility, and berry growth of several grape cultivars. In: Am. J. Enol. Vitic. (28), 215–222.
- KNIGHT, C. A. & KNIGHT, N. C. (2001): Severe Convective Storms, Vol. 28, Kap. Hailstorms. Meteor. Monogr., Amer. Meteor. Soc., USA, 223–248.
- KNOLL, H. (1964): Hagelversicherung, Band 4. In: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler.
- KRAUSS, T. W. & SANTOS, J. R. (2004): Exploratory analysis of the effect of hail suppression operations on precipitation in Alberta. In: Atmospheric Research, 71 (1-2), 35–50.
- KUTZMANN, P.; BARBE, J.; MAUMY-BERTRAND, M. & BERTRAUD, F. (2012): Cultural Practices affecting the Esca and Botryosphaeria Dieback Prevalence of vineyards in the Alsace Region of France. In: Institut Francais de la Vigne et du Vin, 2012.
- LAFONTAINE, M. & PFLIEHINGER, M. (2013): Reifeindikatoren: NOPA und Aminosäuren. In: Betriebsleitertagung Weinbau und Kellerwirtschaft 2013.

Literaturverzeichnis

- LAKSO, A., N.; DENNING, S., S.; DUNST, R.; FENDINGER, A. & POOL, R., M. (1996):
Comparison of growth and gasexchange of conventtionally - and minimally -
pruned 'Concord' grapevines. Proc. IV Int. Symp. Cool Climate Viticulture,
Rochester, USA, IV 11-IV12.
- LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION, RHEINLAND-PFALZ (2018):
GeoBasis-DE / LVermGeoRP 2018, dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de>,
zuletzt am 18.03.2018 unter:
[http://www.geoportal.rlp.de/portal/karten.html?LAYER\[zoom\]=1&LAYER\[id\]=3069
2](http://www.geoportal.rlp.de/portal/karten.html?LAYER[zoom]=1&LAYER[id]=30692) abgerufen.
- LANGNER, R.; SCHLOTT, W.; KELLER, R.; HECHT, W.; PROSTINAK, G.; LINDLOFF, V.;
SCHÖNWOLF, F. W.; HAKVOORT, K.; REIMANN, K. D.; WOLF, H. & WEIß, G. (2002):
Schätzerhandbuch. Ein Handbuch für die Hagelschätzer der Vereinigten
Hagelversicherung VVaG, Gießen. In: Schriften der Vereinigten
Hagelversicherung VVaG.
- LITTEK, T.; WEINMANN, E.; SCHREIECK, P. & JÖRGER, V. (2011): Untersuchung zu den
kleinräumig angewandten Hagelschutz-System "Whailex" der Firma Wagner,
Ehrenkirchen/Baden, in verschiedenen strukturierten Weinbergen.
Abschlussbericht zum ATW-Vorhaben 165, Germany, Darmstadt. In: ATW-
Bericht.
- LORENZ, D. H.; EICHHORN, K. W.; BLEI-HOLDER, H.; KLOSE, R.; MEIER, U. & WEBER, E.
(1994): Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe *Vitis vinifera* L. ssp.
vinifera). In: *Vitic. Enol. Sci.* (49), 66–70.
- LUX, G. (2018): Verhagelt. In: *Der Deutsche Weinbau* (6), 14–17.
- MEND, M. (2013): Erziehungssysteme – ein Kostenvergleich. In: *Der Deutsche
Weinbau* (24), 12–15.
- MOHR, H. D. (2005): Farbatlas Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge an der
Weinrebe.
- MOHR, S. (2013): Änderung des Gewitter- und Hagelpotenzials im Klimawandel. Zur
Erlangung des akademischen Grades eines DOKTORS DER
NATURWISSENSCHAFTEN von der Fakultät für Physik des Karlsruher Instituts
für Technologie (KIT).

Literaturverzeichnis

- MOLITOR, D. (2009): Minimalschnitt: Achtjährige Erfahrung beim Müller-Thurgau. Deutsches Weinbau Jahrbuch 2009, Hrsg.: Schultz, H., R.; Stoll, M. In: Eugen Ulmer.
- MOLITOR, D.; BARON, N.; SAUERWEIN, T.; ANDRE, C. M.; KICHERER, A.; DORING, J.; STOLL, M.; BEYER, M.; HOFFMANN, L. & EVERS, D. (2015): Postponing First Shoot Topping Reduces Grape Cluster Compactness and Delays Bunch Rot Epidemic. In: Am. J. Enol. Vitic. (66:2), 164–176.
- MOLITOR, D.; JUNK, J. & LIPPMANN, G. (2013): Spätfrostschäden im Weinbau. In: Das Deutsche Weinmagazin (23), 26–29.
- MOLITOR, D.; WEYAND, K. M. & SCHULTZ, H. R. (2003): Nichtschnittssysteme an der Mittelmosel: Lässt sich die Rebe antiautoritär erziehen? In: Das Deutsche Weinmagazin (2), 16–19.
- MÜLLER, E. (2005): Überlegungen zur Pflanzdichte. In: Der Deutsche Weinbau (24), 28–31.
- OBERHOFER, J. (2012): Strategien zur Verminderung von Spätfrostschäden. Tagungsband 65. Pfälzische Weinbautage: 62-65.
- ORLANSKI, I. (1975): A rational subdivision of scales for atmospheric processes. In: Bulletin of the American Meteorological Society (56), 527–534.
- PACHAURI, R. K.; MEYER, L.; ALLEN, M.; BARROS, V.; BROOME, J.; CRAMER, W.; CHRIST, R.; CHURCH, J.; BRINKMANN, S.; KESTEREN, L.; LEPRINCE-RINGUET, N. & BOXMEER, F. (2014): Climate Change 2014, Synthesis Report. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- PATZWahl, W.; HERMANN, J.; GLIGE, U.; GESSNER, M.; ADELHARDT, M.; HUHTH, R.; HALLER, B. & PYKA, W. (2015): Klimawandel schreitet fort und erfordert dringend großflächige Anpassungen der Bewirtschaftungssysteme im Weinberg. Deutsches Weinbau Jahrbuch 2016, Hrsg.: Schultz, H., R.; Stoll, M.

Literaturverzeichnis

- PETRIE, P. R. & CLINGELEFFER, P. R. (2006): Crop thinning (hand versus mechanical), grape maturity and anthocyanin concentration: outcomes from irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) in a warm climate. In: Australian Journal of Grape and Wine Research (12), 21–29.
- PORTEN, M. & REGNERY, D. (2014): Minimalschnitt im Spalier: Im Steilhang möglich? In: Der Deutsche Weinbau (12), 34–37.
- POSSINGHAM, J. V. & CLINGELEFFER, P. R. (1994): Low cost management systems for premium wine grape varieties. Proc. of the 45th Am. Soc. Enol. Vitic. Ann. Meeting. In: Am. J. Enol. Vitic. (45), 366.
- PRESZLER, T.; SCHMIT, T. M. & VANDEN HEUVEL, J. E. (2013): Cluster Thinning Reduces the Economic Sustainability of Riesling Production. In: Am. J. Enol. Vitic. (64:3), 333–341.
- PRUPPACHER, H. R. & KLETT, J. D. (1997): Microphysics of clouds and precipitation. Vol. 18. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande, 954S.
- PUNGE, H. J. & KUNZ, M. (2016): Hail observations and hailstorm characteristics in Europe. A review. In: Atmospheric Research, 176-177, 159–184.
- PUSKEILER, M.; KUNZ, M. & SCHMIDBERGER, M. (2016): Hail statistics for Germany derived from single-polarization radar data. In: Atmospheric Research (178-179), 459–470.
- RÜCKRICH, K. (2017a): Riesling baut seine Vormachtstellung unter den Rebsorten weiter aus. In: Der Deutsche Weinbau (8), 12.
- RÜCKRICH, K. (2017b): Strukturwandel im Weinbau hält an: Zahl der Betriebe sinkt. In: Der Deutsche Weinbau (16-17), 12.
- RÜCKRICH, K. (2017c): Weinproduktion gesunken: Europa besonders betroffen. In: Der Deutsche Weinbau (23), 12.
- RÜHL, E. H. & CLINGELEFFER, P. R. (1993): Effect of Minimal Pruning and Virus on the Carbohydrate and Nitrogen Accumulation in Cabernet franc Vines. In: Am. J. Enol. Vitic. (44), 81–85.
- RÜHLING, W. (1999): Maschinelles Ausdünnen. Abschlussbericht über das ATW-Vorhaben Nr. 91, KTBL, Darmstadt, Germany. In: ATW-Bericht (91).

Literaturverzeichnis

- RUPP, D. (1993): Erosionsverminderung im Weinbau durch Begrünung. In: Rebe und Wein (6), 184–185.
- RUPP, D. (2012): Höhere Hagelgefahr: Was bringt der Hagelflieger? In: Der Deutsche Weinbau (8), 30–33.
- SAHAI, H. & AGEEL, M. I. (2000): The Analysis of Variance. In: Brinkhäuser, Bosten-USA, 460.
- SANDER, V. (2014): Risiken verteilen heißt Risiken minimieren. In: Der Deutsche Weinbau (8), 34–36.
- SARTORIUS, O. (1952): Das Güte-Menge-Gesetz. In: Der Weinbau - Wissenschaftliche Beihefte (6: 83-84).
- SCHMID, P. (1967): Großversuch III a randomized hail suppression experiment in Switzerland. Proc. 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, vol 5. University of California Press Berkeley, USA pp. 141-159.
- SCHNEIDER, I. (2016): Nur Stickstoff in Form von Ammonium? In: Das Deutsche Weinmagazin (19), 26–29.
- SCHNEIDER, W. & STAUDT, G. (1978): Zur Abhängigkeit des Verrieselns von Umwelt und Genom bei *Vitis vinifera*. In: Vitis (17), 45–53.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2013): Klimatologie. 4. überarbeitete und aktualisierte Auflage, S. 489. In: Eugen Ulmer.
- SCHULTZ, H. R. (2002): Minimalschnittsysteme - Entwicklung neuer weinbaulicher Produktionssysteme für Deutschland. Abschlussbericht über das ATW-Vorhaben Nr. 109, KTBL, Darmstadt, Germany. In: ATW-Bericht (109).
- SCHULTZ, H. R.; CUEVAS, E.; LISSARAGUE, J. R. & SCHMID, J. (1999): Estimating water consumption and photosynthesis of minimal pruned (MP) and vertical shoot positioned (VSP) canopies. Proc. 11th GESCO Meeting, Sicily, Italy, pp. 200-210.
- SCHULTZ, H. R.; HOPPMANN, D. & HOFMANN, M. (2012): Der Einfluss klimatischer Veränderungen auf die phänologische Entwicklung der Rebe, die Sorteneignung sowie Mostgewicht und Säurestruktur der Traube. Abschlussbericht des Landes Hessen, Klimawandel und Klimafolgen in Hessen HLUg, Dezernat 1 2005, 2012.

Literaturverzeichnis

- SCHULTZ, H. R.; KRAML, S.; WERWITZKE, U.; ZIMMER, T. & SCHMID, J. (2000): Adaption and utilization of minimal pruning systems for quality production in cool climates. In: *Am. J. Enol. Vitic.* (51), 185–190.
- SCHULTZ, H. R.; WEBER, M. & GAUBATZ, B. (1999): Minimal- oder Nichtschnittsysteme: Es funktioniert doch. In: *Das Deutsche Weinmagazin* (25), 26–31.
- SCHULTZ, H. R. & WEYAND, K. M. (2005): Minimal pruning systems for cool climate production -past and future-. Proc. 14th GESCO Meeting, Geisenheim, Germany, pp. vol. 1: pp. 11-16.
- SCHWERTMANN, U. & VOGEL, W. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrages und der Bewertung von Gegenmaßnahmen.
- SOMMER, K., J. (1995): Mechanisierung der Rebschnittes in Australien: Mechanisierung der Stockpflgearbeiten. In: *ATW-Bericht* (364), 23–50.
- SPANDAU, L. & WILDE, P. (2008): Klima. Basiswissen, Klimawandel, Zukunft S. 125. In: Eugen Ulmer.
- STEIDEL, R. (2009): Kellerwirtschaft. 7. Auflage. In: *AV - Fachbuch*, 296.
- STOCK, M.; BADECK, F.; GERSTENGARBE, F., W.; HOPPMANN, D.; KARTSCHALL, T.; ÖSTERLE, H.; WERNER, P., C. & WODINSKI, M. (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland. In: *Potsdam Institute for climate impact research* (106).
- STOLL, M.; TITTMANN, S. & SCHULTZ, H. R. (2012): Laubwand - so viel wie nötig... In: *Der Deutsche Weinbau* (11), 22–24.
- SUN, Q.; SACKS, G. L.; LERCH, S. D. & VANDEN HEUVEL, J. E. (2012): Impact of Shoot and Cluster Thinning on Yield, Fruit Composition, and Wine Quality of Corot noir. In: *Am. J. Enol. Vitic.* (63:1), 49–56.
- SVABIK, O. (2005): Hagelabwehr in Niederösterreich. In: *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria, 2005.*
- SWAIN, S. M. & SINGH, D. P. (2005): Tall tales from sly dwarves: novel functions of gibberellins in plant development. In: *Trends in Plant Science* (10), 123–129.

Literaturverzeichnis

- VASCONCELOS, M.; GREVEN, M.; WINEFIELD, C.; TROUGHT, M. & RAW, V. (2009): The Flowering Process of *Vitis vinifera*: A Review. In: *Am. J. Enol. Vitic.*, 2009 (60: 4), 411–434.
- VEREINIGTE HAGEL VVAG (2018a): Interne Datensammlung, genehmigt zur Zitation von Herrn Dr. Langner (Vorstandsvorsitzender) und Herrn Gehrke (Vorstand) am 16.02.2018, Gießen.
- VEREINIGTE HAGEL VVAG (2018b): Kundeninformation 2018. Allgemeine- und besondere Versicherungsbedingungen (AVB- u. BVBPflanze18). Online abgerufen am 02.03.2018 unter: https://www.vereinigte-hagel.net/wp-content/uploads/2018/01/Kundeninformation_2018_download.pdf.
- VOLLMER, E.; KEICHER, R. & SCHWARZ, H.-P. (2014): Untersuchungen zur Blattbelagsqualität beim Pflanzenschutz in Minimalschnitt-Weinbergen. In: *Landtechnik* (69 (2)), 72–77.
- WAGENITZ, J. (2017): PERONOSPORA 2016. In: *Der Deutsche Weinbau* (8).
- WALG, O. (2007): Taschenbuch der Weinbautechnik. In: Fachverlag Fraund, Mainz, Germany, 619 S.
- WALG, O. (2010): Minimalschnitt im Spalier. Minimalschnittsysteme Teil (II). In: *Das Deutsche Weinmagazin* (12), 10–13.
- WALG, O. (2011): Minimalschnitt im Spalier. Erziehung mit Zukunft? Teil II. In: *Das Deutsche Weinmagazin* (12), 12–17.
- WALG, O. (2018): Minimalschnitt im Spalier. In: *Das Deutsche Weinmagazin* (5), 28–31.
- WEAVER, R. J. (1976): *Grape growing*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 371.
- WEAVER, R. J. & MCCUNE, S. B. (1961): Effect of gibberellin on vine behavior and crop production in seeded and seedless *Vitis vinifera*. In: *Hilgardia* (30), 425–444.
- WERWITZKE, U. (2003): Einfluss der Pflanzenernährung, weinbaulicher Maßnahmen und der mikrobiologischen Rahmenbedingungen auf glykosidisch gebundene Inhaltsstoffe in *Vitis vinifera* L. cv. Riesling. Dissertation zur Erlangung des akademischen Doktorgrades der Agrarwissenschaft, Ökotropologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Literaturverzeichnis

- WEYAND, K. M. (2006): Entwicklung und Erprobung von Minimalschnittsystemen unter Berücksichtigung von Ertragsphysiologie. Laubwandstruktur, Wasser- und Reservestoffhaushalt. Dissertation zur Erlangung des akademischen Doktorgrades der Agrarwissenschaft, Ökotröphologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- WEYAND, K. M. & SCHULTZ, H. R. (2006): Long-term Dynamics of Nitrogen and Carbohydrate Reserves in Woody Parts of Minimally and Severely Pruned Riesling Vines in a Cool Climate. In: *Am. J. Enol. Vitic.* (57:2), 172–182.
- WHAILEX (2018): Wagner GmbH Hydraulik und Antrieb, Ehrenkirchen Bildnachweis zuletzt abgerufen am 02.03.2018 unter: <https://www.whailex.com/wp-content/uploads/2016/10/15.07.17-AGA-2010-in-Reben.pdf>.
- WIERINGA, J. & HOLLEMAN, I. (2006): If cannons cannot fight hail, what else? In: *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (vol. 15 (6)), 659–669.
- WINKLER, A. J. (1958): The relation of leaf area and climate to vine performance and grape quality. In: *Am. J. Enol. Vitic.* (9), 10–23.
- WINKLER, A. J.; COOK, J. A.; KIEWER, W. M. & LIDER, L. A. (1974): *General Viticulture*. University of California, Berkeley, USA 710S.
- WMO (1975): *International Cloud Atlas: Manual on the observation of clouds and other meteors*, World meteorological Organization (WMO). Vol. 1. WMO–No. 407. I. Genf, Schweiz, 155S.
- WOLFAHRT, P. (2001): Was leisten Nichtschnitt-Systeme? In: *Der Badische Winzer* (5), 66–68.
- WÜRDIG, G.; WOLLER, R.; BREITBACH, K.; DITTRICH, H. H.; HOLBACH, B.; JAKOB, L.; LAY, H.; LEMPERLE, E.; MÜLLER, T.; RADLER, F.; RAPP, A.; RHEIN, O. H.; SPONHOLZ, W.-R. & WUCHERPFENNIG, K. (1989): *Chemie des Weines*. In: Eugen Ulmer, 926.

Anhang

Anhang

Pflanzenschutzplan 2016

Tab. A23: Pflanzenschutzplan 2016

Lfd. Nr.	Datum	Anwendungszweck / Erreger	Pflanzenschutzmittel Handelsname	Aufwandmenge [l bzw. kg ha ⁻¹]
1	17.04.16	Herbizid	Roundup Powerflex	1,30 l ha ⁻¹
2	19.05.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Polyram Netzschwefel	1,20 kg ha ⁻¹ 2,50 kg ha ⁻¹
3	31.05.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Cabriotop Netzschwefel	1,30 kg ha ⁻¹ 2,90 kg ha ⁻¹
4	13.06.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Profiler Dynali	2,10 kg ha ⁻¹ 0,60 l ha ⁻¹
5	20.06.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Mildicut Collis	2,50 l ha ⁻¹ 0,56 l ha ⁻¹
6	28.06.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Ridomil Gold / Veriphos Luna Experience	2,35 kg ha ⁻¹ / 1,50 l ha ⁻¹ 0,38 l ha ⁻¹
7	07.07.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Fantic F Vivando	2,00 kg ha ⁻¹ 0,27 l ha ⁻¹
8	20.07.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Mildicut Collis	4,00 l ha ⁻¹ 0,64 l ha ⁻¹
9	03.08.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Vivando Mildicut	0,32 l ha ⁻¹ 4,00 kg ha ⁻¹
10	13.08.16	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Topas Folpan	0,32 l ha ⁻¹ 1,6 kg ha ⁻¹

Anhang

Pflanzenschutzplan 2017

Tab. A24: Pflanzenschutzplan 2017

Lfd. Nr.	Datum	Anwendungszweck / Erreger	Pflanzenschutzmittel Handelsname	Aufwandmenge [l bzw. kg ha ⁻¹]
1	06.04.17	Herbizid	Roundup Powerflex	1,30 l ha ⁻¹
2	11.05.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Dithane Neo Tec Netzschwefel	0,80 kg ha ⁻¹ 2,50 kg ha ⁻¹
3	21.05.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Ridomil Gold Netzschwefel	1,30 kg ha ⁻¹ 3,00 kg ha ⁻¹
4	31.05.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Mildicut Vivando	1,20 l ha ⁻¹ 0,80 l ha ⁻¹
5	10.06.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Profilier Collis	0,70 kg ha ⁻¹ 0,16 l ha ⁻¹
6	22.06.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Fantic F Luna Experience	0,60 kg ha ⁻¹ 0,13 l ha ⁻¹
7	04.07.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Mildicut Dynali	1,20 l ha ⁻¹ 0,20 l ha ⁻¹
8	18.07.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Folpan Vitisan	0,60 l ha ⁻¹ 0,08 l ha ⁻¹
9	31.07.17	<i>Plasmopara viticola</i> <i>Oidium tuckeri</i>	Folpan Systhane	0,40 kg ha ⁻¹ 0,60 l ha ⁻¹

Statistiktabelle des Versuchsjahres 2016

Befallsstärke von *Plasmopara viticola* an den Beeren 2016

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9584, p-value = 0.32

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = Inf, df = 6; p-value < 2.2e-16

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 10.8696, df = 6, p-value = 0.09249

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9751, p-value = 0.7217

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 2.7431, df = 6, p-value = 0.8403

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
Gruppe	6	476.1	79.35	1.384	0.267	
Residuals	21	1204.1	57.34			

Anhang

Traubenertrag pro Rebstock 2016

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9309, p-value = 0.0648

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 32.7625, df = 6, p-value = 1.165e-05

Kruskal-wallis rank sum test
Kruskal-wallis chi-squared = 23.7682, df = 6, p-value = 0

		Comparison of Ertrag by Gruppe (adj. Benjamini-Hochberg)					
Col Mean-	Row Mean	früh lei	früh mit	früh sch	Kontroll	spät lei	spät mit
früh mit		-1.332566					
		0.1199					
früh sch		-2.020342	-0.687776				
		0.0650	0.3036				
Kontroll		1.848398	3.180964	3.868740			
		0.0847	0.0051*	0.0011*			
spät lei		1.611975	2.944541	3.632317	-0.236423		
		0.1021	0.0085*	0.0015*	0.4743		
spät mit		0.150451	1.483017	2.170793	-1.697947	-1.461524	
		0.4865	0.1115	0.0629	0.0940	0.1079	
spät sch		0.042986	1.375552	2.063328	-1.805412	-1.568989	-0.107465
		0.4829	0.1183	0.0684	0.0828	0.1021	0.4801

MSS

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9499, p-value = 0.1975

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 7.8745, df = 6, p-value = 0.2474

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
früh mittel-früh schwer	0.1225	-1.60979436	1.854794	0.9999843
spät schwer-früh schwer	0.8025	-0.92979436	2.534794	0.7384458
spät mittel-früh schwer	1.8725	0.14020564	3.604794	0.0286647
früh leicht-früh schwer	2.1175	0.38520564	3.849794	0.0104200
spät leicht-früh schwer	2.2500	0.51770564	3.982294	0.0059471
Kontrolle-früh schwer	3.2400	1.50770564	4.972294	0.0000878
spät schwer-früh mittel	0.6800	-1.05229436	2.412294	0.8551060

Anhang

spät mittel-früh mittel	1.7500	0.01770564	3.482294	0.0466629
früh leicht-früh mittel	1.9950	0.26270564	3.727294	0.0173705
spät leicht-früh mittel	2.1275	0.39520564	3.859794	0.0099907
Kontrolle-früh mittel	3.1175	1.38520564	4.849794	0.0001465
spät mittel-spät schwer	1.0700	-0.66229436	2.802294	0.4387553
früh leicht-spät schwer	1.3150	-0.41729436	3.047294	0.2207963
spät leicht-spät schwer	1.4475	-0.28479436	3.179794	0.1427123
Kontrolle-spät schwer	2.4375	0.70520564	4.169794	0.0026668
früh leicht-spät mittel	0.2450	-1.48729436	1.977294	0.9991152
spät leicht-spät mittel	0.3775	-1.35479436	2.109794	0.9905693
Kontrolle-spät mittel	1.3675	-0.36479436	3.099794	0.1866149
spät leicht-früh leicht	0.1325	-1.59979436	1.864794	0.9999750
Kontrolle-früh leicht	1.1225	-0.60979436	2.854794	0.3844841
Kontrolle-spät leicht	0.9900	-0.74229436	2.722294	0.5270326

Einzelbeerengewichte 2016

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9841, p-value = 0.9348

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 2.464, df = 6, p-value = 0.8725

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
spät schwer-früh schwer	19.00	-22.51064761	60.51065	0.7485685
spät mittel-früh schwer	28.75	-12.76064761	70.26065	0.3116428
früh mittel-früh schwer	37.70	-3.81064761	79.21065	0.0912589
spät leicht-früh schwer	41.45	-0.06064761	82.96065	0.0504946
früh leicht-früh schwer	56.35	14.83935239	97.86065	0.0038548
Kontrolle-früh schwer	57.35	15.83935239	98.86065	0.0032237
spät mittel-spät schwer	9.75	-31.76064761	51.26065	0.9861012
früh mittel-spät schwer	18.70	-22.81064761	60.21065	0.7615570
spät leicht-spät schwer	22.45	-19.06064761	63.96065	0.5877971
früh leicht-spät schwer	37.35	-4.16064761	78.86065	0.0962609
Kontrolle-spät schwer	38.35	-3.16064761	79.86065	0.0825730
früh mittel-spät mittel	8.95	-32.56064761	50.46065	0.9910817
spät leicht-spät mittel	12.70	-28.81064761	54.21065	0.9496639
früh leicht-spät mittel	27.60	-13.91064761	69.11065	0.3558231
Kontrolle-spät mittel	28.60	-12.91064761	70.11065	0.3172007
spät leicht-früh mittel	3.75	-37.76064761	45.26065	0.9999335
früh leicht-früh mittel	18.65	-22.86064761	60.16065	0.7636978
Kontrolle-früh mittel	19.65	-21.86064761	61.16065	0.7196595
früh leicht-spät leicht	14.90	-26.61064761	56.41065	0.8987628
Kontrolle-spät leicht	15.90	-25.61064761	57.41065	0.8683279

Anhang

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9344, p-value = 0.0795

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 6.9144, df = 6, p-value = 0.3288
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
Kontrolle-spät schwer	10.45	-12.150042	33.05004	0.7400427
früh leicht-spät schwer	14.90	-7.700042	37.50004	0.3651781
spät leicht-spät schwer	15.75	-6.850042	38.35004	0.3050988
früh mittel-spät schwer	18.70	-3.900042	41.30004	0.1497904
spät mittel-spät schwer	18.80	-3.800042	41.40004	0.1459195
früh schwer-spät schwer	25.40	2.799958	48.00004	0.0211745
früh leicht-Kontrolle	4.45	-18.150042	27.05004	0.9944898
spät leicht-Kontrolle	5.30	-17.300042	27.90004	0.9862119
früh mittel-Kontrolle	8.25	-14.350042	30.85004	0.8914816
spät mittel-Kontrolle	8.35	-14.250042	30.95004	0.8860177
früh schwer-Kontrolle	14.95	-7.650042	37.55004	0.3614649
spät leicht-früh leicht	0.85	-21.750042	23.45004	0.9999996
früh mittel-früh leicht	3.80	-18.800042	26.40004	0.9976694
spät mittel-früh leicht	3.90	-18.700042	26.50004	0.9973104
früh schwer-früh leicht	10.50	-12.100042	33.10004	0.7359754
früh mittel-spät leicht	2.95	-19.650042	25.55004	0.9994392
spät mittel-spät leicht	3.05	-19.550042	25.65004	0.9993219
früh schwer-spät leicht	9.65	-12.950042	32.25004	0.8019506
spät mittel-früh mittel	0.10	-22.500042	22.70004	1.0000000
früh schwer-früh mittel	6.70	-15.900042	29.30004	0.9564835
früh schwer-spät mittel	6.60	-16.000042	29.20004	0.9594389

Ertragsdepression im Folgejahr 2017 durch den Hagelschlag 2016

SHB:

Shapiro-wilk normality test
w = 0.9179, p-value = 0.03073

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
Df F value Pr(>F)
group 6 0.8313 0.5591
21

Kruskal-wallis rank sum test
Kruskal-wallis chi-squared = 2.1473, df = 6, p-value = 0.9057

Anhang

MSS:

Shapiro-wilk normality test
w = 0.9353, p-value = 0.08394

Bartlett test of homogeneity of variances
Bartlett's K-squared = 4.2419, df = 6, p-value = 0.644

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	18.19	3.031	0.408	0.866
Residuals	21	156.11	7.434		

Mostgewichtsdepression im Folgejahr 2017 durch den Hagelschlag 2016

SHB:

Shapiro-wilk normality test
w = 0.9559, p-value = 0.2781

Bartlett test of homogeneity of variances
Bartlett's K-squared = 7.5501, df = 6, p-value = 0.2729

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	50.93	8.488	0.731	0.63
Residuals	21	243.75	11.607		

MSS:

Shapiro-Wilk normality test

data: Most
w = 0.9702, p-value = 0.5848

Bartlett test of homogeneity of variances
Bartlett's K-squared = 4.3138, df = 6, p-value = 0.6343

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	43.36	7.226	0.911	0.506
Residuals	21	166.50	7.929		

Anhang

Organoleptik der 2016er Weine vom 08.02.2018

Säure: SHB-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	1,400
Q (Kritischer Wert)	5,991
FG	2
p-Wert (Zweiseitig)	0,497
alpha	0,05

Säure: SHB-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	1,933
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,586
alpha	0,05

Körper / Fülle: SHB-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	2,600
Q (Kritischer Wert)	5,991
FG	2
p-Wert (Zweiseitig)	0,273
alpha	0,05

Körper / Fülle: SHB-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	7,025
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,071
alpha	0,05

Säure: MSS-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	5,133
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,162
alpha	0,05

Säure: MSS-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	1,667
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,644
alpha	0,05

Anhang

Körper / Fülle: MSS-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	1,933
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,586
alpha	0,05

Körper / Fülle: MSS-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	0,150
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,985
alpha	0,05

Anhang

Statistiktabelle des Versuchsjahres 2017

Verrieselung 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.976, p-value = 0.9241

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 1.1202, df = 3, p-value = 0.7722

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
früh leicht-Kontrolle	4.4675	-3.493531	12.42853	0.3815581
früh schwer-Kontrolle	9.8725	1.911469	17.83353	0.0143953
früh mittel-Kontrolle	14.9675	7.006469	22.92853	0.0005974
früh schwer-früh leicht	5.4050	-2.556031	13.36603	0.2356674
früh mittel-früh leicht	10.5000	2.538969	18.46103	0.0095651
früh mittel-früh schwer	5.0950	-2.866031	13.05603	0.2784208

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.826, p-value = 0.006153

Levene's Test for Homogeneity of Variance: (center = median)

group	Df	F value	Pr(>F)
3	12	15.715	0.0001859 ***

Pairwise comparisons using Tukey and Kramer (Nemenyi) test
with Tukey-Dist approximation for independent samples

	früh leicht	früh mittel	früh schwer
früh mittel	0.6343	-	-
früh schwer	0.3194	0.9544	-
Kontrolle	0.4924	0.0461	0.0098

Anhang

Befallsstärke von *Botrytis cinerea* an den Beeren

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.964, p-value = 0.4328

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 8.4938, df = 6, p-value = 0.2041

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	931.8	155.29	2.431	0.0608 .
Residuals	21	1341.7	63.89		

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.8231, p-value = 0.00028

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

group	Df	F value	Pr(>F)
6	6	6.2693	0.0006798 ***
21	21		

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 6.6207, df = 6, p-value = 0.3574

Durchschnittliche Traubenanzahl pro Rebstock 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9667, p-value = 0.4947

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 3.6009, df = 6, p-value = 0.7305

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
spät schwer-früh schwer	1.6875	-2.4771328	5.852133	0.8365017
früh leicht-früh schwer	1.9375	-2.2271328	6.102133	0.7348206
früh mittel-früh schwer	3.5000	-0.6646328	7.664633	0.1386712
spät mittel-früh schwer	3.7500	-0.4146328	7.914633	0.0958546
spät leicht-früh schwer	4.7925	0.6278672	8.957133	0.0174816
Kontrolle-früh schwer	5.3750	1.2103672	9.539633	0.0063188
früh leicht-spät schwer	0.2500	-3.9146328	4.414633	0.9999940
früh mittel-spät schwer	1.8125	-2.3521328	5.977133	0.7881580
spät mittel-spät schwer	2.0625	-2.1021328	6.227133	0.6778622
spät leicht-spät schwer	3.1050	-1.0596328	7.269633	0.2375188
Kontrolle-spät schwer	3.6875	-0.4771328	7.852133	0.1053169

Anhang

früh mittel-früh leicht	1.5625	-2.6021328	5.727133	0.8787367
spät mittel-früh leicht	1.8125	-2.3521328	5.977133	0.7881580
spät leicht-früh leicht	2.8550	-1.3096328	7.019633	0.3225580
Kontrolle-früh leicht	3.4375	-0.7271328	7.602133	0.1515937
spät mittel-früh mittel	0.2500	-3.9146328	4.414633	0.9999940
spät leicht-früh mittel	1.2925	-2.8721328	5.457133	0.9462675
Kontrolle-früh mittel	1.8750	-2.2896328	6.039633	0.7620322
spät leicht-spät mittel	1.0425	-3.1221328	5.207133	0.9808138
Kontrolle-spät mittel	1.6250	-2.5396328	5.789633	0.8584389
Kontrolle-spät leicht	0.5825	-3.5821328	4.747133	0.9991692

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.955, p-value = 0.2644

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 4.4368, df = 6, p-value = 0.6178

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
spät schwer-früh schwer	2.0450	-14.5038683	18.59387	0.9995902
früh mittel-früh schwer	4.2525	-12.2963683	20.80137	0.9781381
früh leicht-früh schwer	9.0850	-7.4638683	25.63387	0.5715685
spät mittel-früh schwer	10.1675	-6.3813683	26.71637	0.4448383
spät leicht-früh schwer	12.0850	-4.4638683	28.63387	0.2575044
Kontrolle-früh schwer	29.5850	13.0361317	46.13387	0.0001597
früh mittel-spät schwer	2.2075	-14.3413683	18.75637	0.9993654
früh leicht-spät schwer	7.0400	-9.5088683	23.58887	0.8045617
spät mittel-spät schwer	8.1225	-8.4263683	24.67137	0.6864249
spät leicht-spät schwer	10.0400	-6.5088683	26.58887	0.4592393
Kontrolle-spät schwer	27.5400	10.9911317	44.08887	0.0003953
früh leicht-früh mittel	4.8325	-11.7163683	21.38137	0.9594526
spät mittel-früh mittel	5.9150	-10.6338683	22.46387	0.9005292
spät leicht-früh mittel	7.8325	-8.7163683	24.38137	0.7198046
Kontrolle-früh mittel	25.3325	8.7836317	41.88137	0.0010624
spät mittel-früh leicht	1.0825	-15.4663683	17.63137	0.9999901
spät leicht-früh leicht	3.0000	-13.5488683	19.54887	0.9964767
Kontrolle-früh leicht	20.5000	3.9511317	37.04887	0.0092457
spät leicht-spät mittel	1.9175	-14.6313683	18.46637	0.9997171
Kontrolle-spät mittel	19.4175	2.8686317	35.96637	0.0148641
Kontrolle-spät leicht	17.5000	0.9511317	34.04887	0.0337518

Anhang

Traubenertrag pro Rebstock 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9245; p-value = 0.04477

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
Df F value Pr(>F)
group 6 2.4611 0.05829 .
21

Kruskal-wallis rank sum test

Kruskal-wallis chi-squared = 20.6367, df = 6, p-value = 0.

Comparison of Ertrag by Gruppe
(adj. Benjamini-Hochberg)

Col Mean- Row Mean	früh lei	früh mit	früh sch	kontroll	spät lei	spät mit
früh mit	-0.580708 0.3103					
früh sch	-2.623942 0.0228*	-2.043233 0.0718				
kontroll	1.398002 0.1547	1.978710 0.0718	4.021944 0.0006*			
spät lei	0.236584 0.4065	0.817293 0.2414	2.860527 0.0148*	-1.161417 0.2148		
spät mit	-0.838801 0.2635	-0.258092 0.4181	1.785141 0.0866	-2.236803 0.0531	-1.075386 0.2117	
spät sch	-1.656094 0.1026	-1.075386 0.2279	0.967847 0.2332	-3.054096 0.0119*	-1.892679 0.0767	-0.817293 0.2556

Anhang

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
W = 0.9641, p-value = 0.433

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 15.5333, df = 6, p-value = 0.01649

Kruskal-wallis rank sum test
Kruskal-wallis chi-squared = 17.9852, df = 6, p-value = 0.01

Comparison of Ertrag by Gruppe
(adj. Benjamini-Hochberg)

Col Mean- Row Mean	früh lei	früh mit	früh sch	Kontroll	spät lei	spät mit
früh mit	-1.182438 0.1914					
früh sch	-2.343378 0.0334	-1.160939 0.1842				
Kontroll	0.171991 0.4533	1.354429 0.1536	2.515369 0.0250*			
spät lei	0.193489 0.4678	1.375928 0.1612	2.536868 0.0294*	0.021498 0.4914		
spät mit	-1.633915 0.1193	-0.451476 0.4025	0.709463 0.3137	-1.805906 0.0931	-1.827405 0.1015	
spät sch	-2.730358 0.0221*	-1.547919 0.1277	-0.386979 0.4076	-2.902349 0.0194*	-2.923848 0.0363*	-1.096443 0.1910

Einzelbeerengewicht 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
W = 0.9383, p-value = 0.1003

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 9.0169, df = 6, p-value = 0.1726

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
Kontrolle-spät schwer	20.300	-11.706814	52.30681	0.4086646
spät mittel-spät schwer	21.975	-10.031814	53.98181	0.3209381
spät leicht-spät schwer	23.650	-8.356814	55.65681	0.2460724
früh mittel-spät schwer	38.400	6.393186	70.40681	0.0122820
früh leicht-spät schwer	43.100	11.093186	75.10681	0.0041790

Anhang

früh schwer-spät schwer	48.425	16.418186	80.43181	0.0012129
spät mittel-Kontrolle	1.675	-30.331814	33.68181	0.9999974
spät leicht-Kontrolle	3.350	-28.656814	35.35681	0.9998430
früh mittel-Kontrolle	18.100	-13.906814	50.10681	0.5388255
früh leicht-Kontrolle	22.800	-9.206814	54.80681	0.2823780
früh schwer-Kontrolle	28.125	-3.881814	60.13181	0.1098051
spät leicht-spät mittel	1.675	-30.331814	33.68181	0.9999974
früh mittel-spät mittel	16.425	-15.581814	48.43181	0.6427261
früh leicht-spät mittel	21.125	-10.881814	53.13181	0.3639591
früh schwer-spät mittel	26.450	-5.556814	58.45681	0.1507174
früh mittel-spät leicht	14.750	-17.256814	46.75681	0.7428785
früh leicht-spät leicht	19.450	-12.556814	51.45681	0.4573689
früh schwer-spät leicht	24.775	-7.231814	56.78181	0.2033882
früh leicht-früh mittel	4.700	-27.306814	36.70681	0.9989060
früh schwer-früh mittel	10.025	-21.981814	42.03181	0.9439813
früh schwer-früh leicht	5.325	-26.681814	37.33181	0.9978020

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
W = 0.9326, p-value = 0.0717

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 7.1033, df = 6, p-value = 0.3114

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

	diff	lwr	upr	p adj
spät mittel-spät leicht	3.800	-29.3987882	36.99879	0.9997363
früh mittel-spät leicht	9.800	-23.3987882	42.99879	0.9573450
Kontrolle-spät leicht	23.475	-9.7237882	56.67379	0.2899605
spät schwer-spät leicht	25.525	-7.6737882	58.72379	0.2093227
früh leicht-spät leicht	32.725	-0.4737882	65.92379	0.0550273
früh schwer-spät leicht	38.150	4.9512118	71.34879	0.0176860
früh mittel-spät mittel	6.000	-27.1987882	39.19879	0.9965349
Kontrolle-spät mittel	19.675	-13.5237882	52.87379	0.4859412
spät schwer-spät mittel	21.725	-11.4737882	54.92379	0.3734772
früh leicht-spät mittel	28.925	-4.2737882	62.12379	0.1149794
früh schwer-spät mittel	34.350	1.1512118	67.54879	0.0394965
Kontrolle-früh mittel	13.675	-19.5237882	46.87379	0.8261824
spät schwer-früh mittel	15.725	-17.4737882	48.92379	0.7191164
früh leicht-früh mittel	22.925	-10.2737882	56.12379	0.3147976
früh schwer-früh mittel	28.350	-4.8487882	61.54879	0.1278152
spät schwer-Kontrolle	2.050	-31.1487882	35.24879	0.9999930
früh leicht-Kontrolle	9.250	-23.9487882	42.44879	0.9675507
früh schwer-Kontrolle	14.675	-18.5237882	47.87379	0.7764278
früh leicht-spät schwer	7.200	-25.9987882	40.39879	0.9908033
früh schwer-spät schwer	12.625	-20.5737882	45.82379	0.8720258
früh schwer-früh leicht	5.425	-27.7737882	38.62379	0.9980104

Anhang

Schnittholzertrag 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test
 w = 0.9453, p-value = 0.1506
 Bartlett test of homogeneity of variances

data: Schnittholz by Gruppe
 Bartlett's K-squared = 12.4075, df = 6, p-value = 0.05347

Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
 factor levels have been ordered

\$Gruppe	diff	lwr	upr	p adj
früh mittel-früh schwer	31.50	-93.11748	156.1175	0.9798560
früh leicht-früh schwer	33.50	-91.11748	158.1175	0.9727103
spät leicht-früh schwer	60.50	-64.11748	185.1175	0.6966827
spät mittel-früh schwer	89.00	-35.61748	213.6175	0.2797537
spät schwer-früh schwer	104.50	-20.11748	229.1175	0.1402080
Kontrolle-früh schwer	139.75	15.13252	264.3675	0.0215476
früh leicht-früh mittel	2.00	-122.61748	126.6175	1.0000000
spät leicht-früh mittel	29.00	-95.61748	153.6175	0.9867460
spät mittel-früh mittel	57.50	-67.11748	182.1175	0.7418315
spät schwer-früh mittel	73.00	-51.61748	197.6175	0.4991475
Kontrolle-früh mittel	108.25	-16.36748	232.8675	0.1168392
spät leicht-früh leicht	27.00	-97.61748	151.6175	0.9908504
spät mittel-früh leicht	55.50	-69.11748	180.1175	0.7706146
spät schwer-früh leicht	71.00	-53.61748	195.6175	0.5304770
Kontrolle-früh leicht	106.25	-18.36748	230.8675	0.1288551
spät mittel-spät leicht	28.50	-96.11748	153.1175	0.9878805
spät schwer-spät leicht	44.00	-80.61748	168.6175	0.9054861
Kontrolle-spät leicht	79.25	-45.36748	203.8675	0.4056224
spät schwer-spät mittel	15.50	-109.11748	140.1175	0.9995746
Kontrolle-spät mittel	50.75	-73.86748	175.3675	0.8333857
Kontrolle-spät schwer	35.25	-89.36748	159.8675	0.9651200

MSS:

Shapiro-wilk normality test
 w = 0.8999, p-value = 0.01138

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
 Df F value Pr(>F)
 group 6 0.5122 0.7923
 21

Kruskal-wallis rank sum test
 Kruskal-wallis chi-squared = 9.8026, df = 6, p-value = 0.1332

Anhang

Mostgewicht 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9303, p-value = 0.3083

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = Inf, df = 6, p-value < 2.2e-16

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 9.3348, df = 6, p-value = 0.1556

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9329, p-value = 0.3352

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 6.098, df = 6, p-value = 0.4123

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	190.4	31.73	1.035	0.475
Residuals	7	214.7	30.67		

Gesamtsäure 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9108, p-value = 0.1621

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = Inf, df = 6, p-value < 2.2e-16

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 2.306, df = 6, p-value = 0.8895

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9368, p-value = 0.3791

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 5.5053, df = 6, p-value = 0.4808

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	1.674	0.2791	1.376	0.34
Residuals	7	1.420	0.2029		

Anhang

Äpfelsäure 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9744, p-value = 0.9292

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 3.0839, df = 6, p-value = 0.7982

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
Gruppe	6	1.544	0.2574	1.26	0.381	
Residuals	7	1.430	0.2043			

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9554, p-value = 0.6471

Bartlett test of homogeneity of variances
Bartlett's K-squared = Inf, df = 6, p-value < 2.2e-16

Kruskal-wallis rank sum test
Kruskal-wallis chi-squared = 4.1931, df = 6, p-value = 0.6506

Weinsäure 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.8577, p-value = 0.0283

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

	Df	F value	Pr(>F)
group	6	5.4458e+28	< 2.2e-16 ***

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 10.713, df = 6, p-value = 0.1

Anhang

Comparison of Weinsäure by Gruppe
(Benjamini-Hochberg)

Col Mean- Row Mean	früh lei	früh mit	früh sch	Kontroll	spät lei	spät mit
früh mit	0.858643 0.2929					
früh sch	0.183995 0.4484	-0.674648 0.3281				
Kontroll	-0.981306 0.2637	-1.839950 0.1727	-1.165301 0.2845			
spät lei	1.287965 0.2966	0.429321 0.3895	1.103970 0.2574	2.269271 0.1221		
spät mit	1.901281 0.2004	1.042638 0.2600	1.717286 0.1504	2.882588 0.0414	0.613316 0.3333	
spät sch	0.183995 0.4720	-0.674648 0.3499	0.000000 0.5000	1.165301 0.3201	-1.103970 0.2831	-1.717286 0.1804

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9571, p-value = 0.6756

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = Inf, df = 6, p-value < 2.2e-16

Kruskal-wallis rank sum test:
Kruskal-wallis chi-squared = 10.713, df = 6, p-value = 0.09766

Kalium 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9468, p-value = 0.5117

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 2.9298, df = 6, p-value = 0.8176

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	228435	38072	1.988	0.195
Residuals	7	134043	19149		

Anhang

MSS:

Shapiro-wilk normality test:
w = 0.9579, p-value = 0.6888

Bartlett test of homogeneity of variances:
Bartlett's K-squared = 9.9427, df = 6, p-value = 0.1271

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	85391	14232	1.802	0.229
Residuals	7	55290	7899		

YAN 2017

SHB:

Shapiro-wilk normality test
w = 0.9123, p-value = 0.1702

Bartlett test of homogeneity of variances
Bartlett's K-squared = 7.2026, df = 6, p-value = 0.3025

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level
factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = YAN ~ Gruppe)

\$Gruppe

	diff	lwr	upr	p adj
Kontrolle-früh leicht	2.000000e+01	-72.269657	112.26966	0.9685229
früh schwer-früh leicht	3.450000e+01	-57.769657	126.76966	0.7481464
spät mittel-früh leicht	4.150000e+01	-50.769657	133.76966	0.5932486
spät leicht-früh leicht	4.200000e+01	-50.269657	134.26966	0.5822061
früh mittel-früh leicht	4.200000e+01	-50.269657	134.26966	0.5822061
spät schwer-früh leicht	1.170000e+02	24.730343	209.26966	0.0152275
früh schwer-Kontrolle	1.450000e+01	-77.769657	106.76966	0.9934889
spät mittel-Kontrolle	2.150000e+01	-70.769657	113.76966	0.9564410
spät leicht-Kontrolle	2.200000e+01	-70.269657	114.26966	0.9518323
früh mittel-Kontrolle	2.200000e+01	-70.269657	114.26966	0.9518323
spät schwer-Kontrolle	9.700000e+01	4.730343	189.26966	0.0394964
spät mittel-früh schwer	7.000000e+00	-85.269657	99.26966	0.9998854
spät leicht-früh schwer	7.500000e+00	-84.769657	99.76966	0.9998293
früh mittel-früh schwer	7.500000e+00	-84.769657	99.76966	0.9998293
spät schwer-früh schwer	8.250000e+01	-9.769657	174.76966	0.0821604
spät leicht-spät mittel	5.000000e-01	-91.769657	92.76966	1.0000000
früh mittel-spät mittel	5.000000e-01	-91.769657	92.76966	1.0000000
spät schwer-spät mittel	7.550000e+01	-16.769657	167.76966	0.1178633
früh mittel-spät leicht	1.421085e-14	-92.269657	92.26966	1.0000000
spät schwer-spät leicht	7.500000e+01	-17.269657	167.26966	0.1209473
spät schwer-früh mittel	7.500000e+01	-17.269657	167.26966	0.1209473

Anhang

MSS:

Shapiro-wilk normality test
 w = 0.8783, p-value = 0.05505

Bartlett test of homogeneity of variances
 Bartlett's K-squared = 7.429, df = 6, p-value = 0.283

Kruskal-wallis rank sum test
 Kruskal-wallis chi-squared = 2.9989, df = 6, p-value = 0.809

ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Gruppe	6	3439	573.1	0.525	0.775
Residuals	7	7646	1092.3		

Organoleptik der 2017er Weine vom 08.02.2018

Säure: SHB-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	4,942
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,176
alpha	0,05

Säure: SHB-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	7,629
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,054
alpha	0,05

Körper / Fülle: SHB-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	14,314
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	<u>0,003</u>
alpha	0,05

Körper / Fülle: SHB-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	8,094
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,044
alpha	0,05

Anhang

Stichprobe	Rangmittel	Gruppen
SHB: früh schwer	1,500	A
SHB: früh leicht	2,429	A B
SHB: früh mittel	2,786	B
SHB: Kontrolle	3,286	B

Stichprobe	Rangmitte	Gruppen
SHB: spät leicht	1,750	A
SHB: spät schwer	2,429	A B
SHB: Kontrolle	2,750	B
SHB: spät mittel	3,071	B

Säure: MSS-Vorblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	4,200
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,241
alpha	0,05

Säure: MSS-Nachblüteschaden

Friedman-Test:

Q (Beobachteter Wert)	5,043
Q (Kritischer Wert)	7,815
FG	3
p-Wert (Zweiseitig)	0,169
alpha	0,05