

Untersuchungen über den Einfluss von kellertechnischen Maßnahmen auf den Rotundongehalt in Weinen der Sorte Grüner Veltliner

Stefan Nauer¹, Elsa Patzl-Fischerleitner¹, Christian Philipp¹, Stephan Hann² und Reinhard Eder¹

¹ HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg
A-3400 Klosterneuburg, Wiener Straße 74

² Universität für Bodenkultur, Institut für Analytische Chemie
A-1190 Wien, Muthgasse 18
E-Mail: stefan.nauer@weinobst.at

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen von klassischen önologischen Parametern und Maßnahmen, wie Gärtemperatur, Maischestandzeit, Schwefelung (Maische/Jungwein), Mostklärung und Hefenährsalzzugabe, auf die Konzentration an Rotundon mittels statistischer Versuchsplanung überprüft. Dabei wurden über zwei Jahre (2011, 2012) drei voneinander unabhängige Versuchsreihen (A, B, C) basierend auf einem vollfaktoriellen 2² Versuchsplan im Maßstab von je 25 Liter durchgeführt. Im Rahmen der statistischen Auswertung der Rotundongehalte wurden eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt und die Daten mittels Pareto-Diagramm, Halb-Normal-Plot, Haupteffektendiagramm und Wechselwirkungsdiagramm ausgewertet. Bei den im Rahmen des Versuchsplans A getesteten Parametern Maischestandzeit und Gärtemperatur konnten für 2011 signifikante Effekte auf den Rotundongehalt festgestellt werden, für das Jahr 2012 ist der gleiche Trend erkennbar, doch waren die Unterschiede auf dem Signifikanzniveau 0,05 nicht signifikant. Eine höhere Gärtemperatur bewirkte höhere Rotundongehalte, während eine Maischestandzeit sowohl 2011 wie auch 2012 zu einer Verringerung führte. Bei den im Versuchsplan B getesteten Parametern Maischeschwefelung und Jungweinschwefelung zeigten sich in den beiden Jahrgängen kontroverse Effekte, im Versuchsjahr 2011 ergaben sowohl die höhere Maische- wie auch die höhere Jungweinschwefelung niedrigere Rotundonwerte, während im Versuchsjahr 2012 gegenteilige Wirkungen festgestellt wurden. Im Zuge des Versuchsplans C wurde festgestellt, dass die Zugabe von Hefenährsalzen in beiden Jahren zu einer leichten Verringerung der Rotundongehalte führte, während hingegen die Auswirkungen der Mostklärung in den beiden Jahren gegensätzlich waren, wobei im Jahr 2012 eine signifikante Verringerung der Rotundonwerte, im Jahr 2011 aber eine nicht signifikante, geringe Zunahme festgestellt wurden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine höhere Gärtemperatur (23 °C), keine Standzeit, keine Maischeschwefelung sowie Verzicht auf Mostklärung zu höheren Rotundongehalten führen. Diese Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit der Literatur und unter anderem durch den hydrophoben Charakter von Rotundon erklärbar. Somit ist evident, dass durch Auswahl geeigneter önologischer Maßnahmen die Ausprägung der pfeffrigen Aromatik von Weinen der Sorte 'Grüner Veltliner' verstärkt werden kann.

Schlagerwörter: faktorielles Design, Rotundon, Maischestandzeit, Gärtemperatur, Maischeschwefelung, Jungweinschwefelung, Mostklärung, Hefenährsalzzugabe, Aromaanalyse

Investigation of the influence of enological factors on the Rotundone concentration of wines of the variety Grüner Veltliner. In the present work, the effects of classical oenological parameters and measures such as fermentation temperature, maceration time, sulphurisation (mash/young wine), must clarification and addition of yeast nutrient salt on the concentration of rotundone were examined by means of statistical experimental design. Three independent test series (A, B, C) based on a full factorial

2² experimental design in a scale of 25 liters each were carried out over two years (2011, 2012). An analysis of variance (ANOVA) was carried out as part of the statistical evaluation of the rotundone content and data were evaluated using a Pareto diagram, half-normal plot, main effect diagram and interaction diagram. For the parameters mash standing time and fermentation temperature tested in the context of experimental plan A, significant effects on the rotundone content could be determined for 2011, the same trend can be seen for 2012, but the differences at significance level 0.05 were not significant. A higher fermentation temperature resulted in higher rotundone contents, while a maceration period led to a reduction in both 2011 and 2012. The parameters mash sulphurisation and young wine sulphurisation tested in experimental plan B showed controversial effects in the two vintages. In the experimental year 2011, both higher mash and young wine sulphurisation resulted in lower rotundone contents, while in the experimental year 2012 opposite effects were observed. In the course of test plan C it was found that the addition of yeast nutrient salts led to a slight reduction in the rotundone content in both years, while the effect of must clarification in the two years was the opposite, with a significant reduction in the rotundone values analyzed in 2012 while in 2011 a non-significant, small increase was noted. In summary, it can be said that a higher fermentation temperature (23 ° C), no maceration time, no mash sulphurisation and no need to clarify the must lead to higher rotundone contents. These results can be explained in agreement with literature and, among other things, by the hydrophobic character of rotundone. It is thus evident that the development of the peppery aroma of wines of the 'Grüner Veltliner' variety can be enhanced by the selection of suitable oenological measures.

Keywords: factorial design, rotundone, maceration time, fermentation temperature, mash sulphurisation, young wine sulphurisation, must clarification, yeast nutrient salt addition, aroma analysis

Aromaleitsubstanzen wie Methoxy-pyrazine, C13-Norisoprenoide, β -Ionone und Terpene prägen die Aromatik von Weinen. All diesen Verbindungen ist gemein, dass diese Trauben-Metaboliten auf direktem Weg aus der Traube extrahiert werden. Die Technologie spielt bezüglich Ausbeute und Gehalt eine tragende Rolle. Eine Stoffgruppe, die hier an Bedeutung gewonnen hat, sind die Sesquiterpene, insbesondere Rotundon. Rotundon gilt derzeit als bekannteste Leitsubstanz für die pfeffrige Note in Rot- bzw. Weiß-Weinen, insbesondere in den Sorten 'Shiraz' und 'Grüner Veltliner' (Siebert und Solomon, 2011; Nauer et al., 2018). Das Vorkommen in der österreichischen Weißweinsorte 'Grüner Veltliner' wurde durch Messungen von Mattivi et al. (2011) und Nauer et al. (2018) in Konzentrationen jenseits der sensorisch relevanten Wahrnehmungsschwelle belegt. Generell sind für die Höhe der Rotundongehalte besonders klimatische als auch weinbauliche Effekte von Bedeutung. So ist bekannt, dass eine stärkere Akkumulation des Rotundons vorrangig in kühlen und feuchten Jahren stattfindet (Zhang et al., 2015). Über den Einfluss von weinbaulichen Maßnahmen auf Rotundon kann zusammengefasst werden, dass sich Bewässerung und späterer Lesezeitpunkt sehr positiv, Traubenausdünnung und Entblätterung zu Reifebeginn sich aber negativ

auswirken (Geffroy et al., 2014). Auch wenn diese Jahrgangsabhängigkeit und auch weinbauliche Einflüsse den Rotundon-Basisgehalt maßgeblich prägen, ist jeder Winzer daran interessiert, das "Pfeffer!" in Weinen der Sorte 'Grüner Veltliner' zu stabilisieren und jahrgangsbedingte Schwankungen zu kompensieren. Um dieses Ziel ausreichender Rotundonkonzentration zu erreichen, ist eine kellerwirtschaftliche Betrachtung unbedingt notwendig.

Rotundon befindet sich zu mindestens 98 % in der Schale der Weintraube (Caputi et al., 2011; Siebert und Solomon, 2011). Der Großteil des Rotundons wird nach Siebert und Solomon (2011) zwischen dem zweiten und fünften Gärungstag aus den Beeren extrahiert. In dieser Periode sind Enzyme sehr aktiv, und der Ethanolgehalt steigt an. Caputi et al. (2011) stellten fest, dass nur 10 % des in Trauben enthaltenen Rotundons während der Gärung extrahiert und nur 6 % in Flaschenwein wiedergefunden werden. Eine signifikante Menge Rotundon geht während der Weinbehandlung und Filtration verloren, wahrscheinlich aufgrund der hydrophoben Struktur und der Bindung an andere Materialien. Diesen hydrophoben Charakter bestätigten auch Geffroy et al.

(2017) im Rahmen eines Technologie-Vergleichs (wie Kaltmazeration, Thermovinifizierung, Kohlen säuremaischung und Rosé-Vinifizierung) im Labormaßstab. Geffroy et al. (2017) verwiesen hier besonders auf das unterschiedliche Extraktionsverhalten zwischen Anthocyanen und Rotundon, erklärbar durch die Löslichkeit von Rotundon bzw. dessen Fähigkeit, sich an andere Materialien zu binden.

Bei schalenassoziierten Aromastoffen, wie beispielsweise Terpenen, Monoterpenoiden und C13-Norisoprenoiden, kommt der Art der Mostbehandlung und dem Schalenkontakt (Maischestandzeit) eine entscheidende Bedeutung zu. Üblicherweise führt ein verlängerter Schalenkontakt zu einer effektiveren Extraktion von Terpenen, wodurch es zu einer Zunahme sortentypischer Aromen und zu einer Qualitätsverbesserung der Weine kommt. Arbeiten von Versini et al. (1981) und Marais (1987 und 1988) belegen, dass Maischestandzeit und Gärtemperatur wesentlich die Extraktion von wichtigen Traubeninhaltsstoffen beeinflussen. Eine Mazeration von zerkleinerten Trauben für 4 bis 12 Stunden bei 10 °C (Rodriguez-Bencomo et al., 2008) oder 6 bis 23 Stunden bei 15 bis 18 °C vor dem Pressen und Fermentieren (Cabaroglu et al., 1997; Cabaroglu et al., 2002; Cabaroglu et al., 2003; Selli et al., 2006; Palomo et al., 2006) führte zu signifikanten Erhöhungen (insgesamt bis zum Doppelten) von flüchtigen Verbindungen wie Monoterpenoiden, Benzoloiden und C13-Norisoprenoiden. Auch Marais und Rapp (1988) kamen zur Erkenntnis, dass eine Maischestandzeit und Erhöhung der Gärtemperatur zu einer Steigerung des Terpenegehalts führen. Auch Cabaroglu und Canbas (2002) fanden heraus, dass eine siebenstündige Maischestandzeit bei 15 °C die allgemeine und aromatische Zusammensetzung von Weinen der Sorte 'Muscat of Alexandria' nachhaltig beeinflusste, indem die Gesamtkonzentrationen an freien und gebundenen Aromastoffen erheblich anstiegen. Da die Maischestandzeit die Extraktion von Aromastoffen beeinflusst, war es von Interesse zu untersuchen, inwieweit die Rotundonkonzentration davon betroffen ist. Es ist aber auch zu bedenken, dass eine verlängerte Schalenkontaktzeit auch einen Anstieg der Trubmenge und eher unerwünschter Substanzen, wie beispielsweise Phenolen, bewirkt, was sich nachteilig auf die Weinqualität auswirken kann (Ramey et al., 1986).

Eine wichtige Maßnahme bei der Weinbereitung ist die Schwefelung, welche die am häufigsten angewendete Methode zur Stabilisierung von Weinen ist. Aus önologischer Sicht ist neben der Höhe des Zusatzes an Schwefeldioxid auch der Zeitpunkt der Zugabe (Maische, Jungwein, Füllung) von Bedeutung. Aufgrund der Feststellung von De Azevedo et al. (2007), wonach Carbonylverbindungen und Bisulfit stabile Additive, sogenannte Hydroxyalkylsulfonsäuren (HASAs), bilden, ist es vorstellbar, dass der Zusatz von Schwefeldioxid Auswirkungen auf den Rotundongehalt hat, da Rotundon eine Ketogruppe enthält. Bisulfit ist ein schwaches Nucleophil, das mit schwachen Elektrophilen leicht kovalente Addukte formt, um Sulfonate zu erzeugen. Diese Bisulfitaddition an Carbonylen kann entweder als direkte nucleophile Addition an die Carbonylgruppe (1,2-Addition) oder als Michael-Addition, beobachtet für ungesättigte konjugierte Carbonyle (1,4-Addition), zum Beispiel (E)-2-Alkene und β -Damascenon, stattfinden. Auch Rotundon könnte ein möglicher SO₂-Binder sein, sodass die Bildung von Hydroxyalkylsulfonsäuren (HASAs) nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann. In diesem Kontext ist unbedingt auf sterische Effekte hinzuweisen, weil mit zunehmender Anzahl und Größe der an den Carbonylkohlenstoff gebundenen Alkylgruppen der Angriff des Nucleophils auf die Carbonylgruppe immer schwieriger wird, wodurch die Reaktivität entsprechend abnimmt. Dieser Effekt wird sterische Hinderung oder Verdichtung genannt. Somit ist erklärbar, dass aliphatische Aldehyde wie Formaldehyd und Acetaldehyd mit S (IV) eher schneller und leichter Addukte bilden, während Ketone, cyclische Aldehyde und trans-Alkene schwach interagieren und überwiegend in ihrer freien Form zu finden sind. Da es sich bei Rotundon um ein cyclisches Keton handelt, ist es unwahrscheinlich, dass überhaupt eine Bisulfit-Rotundon-Bindung stattfindet, und selbst wenn diese nucleophile Addition stattfinden würde, ist kaum eine signifikante Erhöhung der Hydrophile zu erwarten. Interessanterweise zeigen Rotundon und Anthocyane dennoch ein unterschiedliches Extraktionsverhalten wie Geffroy et al. (2017) in ihrer Arbeit im Labormaßstab beschreiben. Eine Abklärung in größerem Maßstab, ob durch die Schwefelung von Most und Jungwein ein positiver oder negativer Effekt auf den Rotundongehalt feststellbar ist, wird als sinnvoll erachtet.

Neben Maischestandzeit, Gärtemperatur, Maische- und Jungweinschwefelung könnten auch Mostklärung und Hefenährsalzzugabe einen Einfluss auf die Rotundonkonzentration haben. Während es häufig ist, dass flüchtige Weinaromastoffe aus ihren geruchlosen Vorläufern (wie Glykosiden oder Cystein-S-Konjugaten) freigesetzt werden, wird Rotundon direkt aus den Trauben extrahiert. Die Extraktion erfolgt ohne weitere chemische oder biochemische Umwandlung während der Weinherstellung. Auch wenn ein Großteil der Monoterpen-Konzentrationen in Weinen aus der Freisetzung von glykosidisch gebundenen Vorstufen stammt, kommt ein gewisser Teil aus direkter Extraktion. Die Gemeinsamkeit der direkten Extraktionen ist auch der Grund, weshalb der Vergleich mit Monoterpen in den folgenden Erläuterungen bewusst gewählt wird, um bereits technologische Erkenntnisse von Monoterpenen für das mögliche Verhalten von Rotundon abzuleiten (Herderich et al., 2012).

Wie Williams et al. (1978) erläuterten, wirkt sich die Mostklärung auf die sensorische Qualität von Weißwein unterschiedlich aus. Rasch geklärte Moste waren leicht und sehr fruchtig, während eine späte Mostklärung den Weinen einen würzigen und komplexen Eindruck verlieh. Dies bestätigten auch Moio et al. (2004), die beobachteten, dass die Konzentrationen von Terpenen und ihrer glykosylierten Vorläuferverbindungen in Weinen höher waren, die aus Most mit höherem Trubgehalt im Most gewonnen wurden. Andere Forscher wie Swiegers et al. (2005) haben hingegen gezeigt, dass die Trübungsreduktion durch Mostklärung zu einer Verringerung der Vorläufersubstanzen für das Sortenaroma führte. Die keller-technische Maßnahme der Mostklärung könnte somit auch Auswirkungen auf das Rotundon haben, da dieses schalenassoziiert und hydrophob ist und sehr wahrscheinlich durch Filtrationsmaßnahmen und Klärungen abgetrennt werden kann. Ein Einfluss der Hefenährsalzzugabe auf die Aromatik wurde von Carrau et al. (2005) beschrieben, wobei sie höhere Konzentrationen an Terpenen in Weinen fanden, die aus Mosten mit höherem Stickstoffgehalt hergestellt wurden. Dies führten sie auf eine durch Stickstoff induzierte Veränderung der Terpenbiosynthese zurück. Auch Vilanova et al. (2012) schrieben, dass man den Weinstil durch Zugabe von Diammoniumphosphat (DAP) beeinflussen kann. Eine gemäßigte DAP-Zugabe (0,5 g/l) erzeugte im Vergleich zum Kontrollwein höhere Konzentrationen an

sortentypischen Aromaverbindungen, insbesondere Monoterpenen wie Limonen (Zitronennote), Linalool (Blüten, Zitrusfrüchte), Terpeneol (Flieder), C13-Norisoprenoide β -Ionon (Tabak) und β -Damascenon (Apfel, Rose). Die DAP-Zugabe führte bei fünf von sechs ausgewählten Verbindungen zu einer signifikanten Erhöhung der Konzentration und einer Überschreitung der Schwellenwerte. Dieses Ergebnis legt nahe, dass Hefenährsalze verwendet werden könnten, um den Sortencharakter moderat zu verstärken. Ob eine Hefenährsalzzugabe auch im Fall des Sequiterpens Rotundon zu einer Zunahme der Gehalte führt, sollte daher überprüft werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss von gängigen önologischen Maßnahmen, wie Maischestandzeit, Gärtemperatur, Maischeschwefelung, Jungweinschwefelung, Mostklärung und Hefenährsalzzugabe auf den Gehalt von Rotundon bei der Sorte 'Grüner Veltliner' mittels statistischer Versuchsplanung zu testen.

Material und Methoden

Material

Als Ausgangsmaterial dienten pro Versuchsjahr (2011, 2012) ca. 900 kg Trauben der Sorte 'Grüner Veltliner' vom Versuchsgut Agneshof der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg aus der Weinbauregion Wagram (Riede Harrer). Die Trauben waren vollkommen gesund und vollreif, und die Mostgradation betrug im Lesejahr 2011 18,8 °KMW und im Jahr 2012 19,5 °KMW. Das Lesegut wurde auf drei Chargen entsprechend den drei Versuchsplänen aufgeteilt. In jedem Versuchsplan wurden zehn (Versuchsplan A + B) bzw. acht (Versuchsplan C) Varianten durchgeführt, sodass in Summe 28 Vinifizierungen in 35 l-Glasballons erfolgten.

Versuchsaufbau und Umsetzung

Mit Hilfe dreier voneinander unabhängiger Versuchspläne (A, B, C) mit 2^2 vollfaktoriellem Design wurde untersucht, wie sich die gewählten kellerwirtschaftlichen Faktoren Maischestandzeit, Gärtemperatur, Maische-/Jungweinschwefelung, Mostklärung und Hefenährsalzzugabe auf den Rotundongehalt der resultierenden Weine auswirken. In Tabelle 1 findet sich eine

Übersicht der drei durchgeführten Versuchspläne mit den untersuchten Faktoren inkl. Faktorstufen (Niveaus) und Zentralpunkte. Diese drei Versuchspläne wurden in zwei aufeinanderfolgenden Jahren (2011, 2012) wiederholt.

Versuchsplan A: Hierbei wurde die Gärtemperatur auf den beiden Niveaus (15 °C, 23 °C) und die Maischestandzeit (0 h, 6 h) variiert. Als Zentralpunkt wurde eine dreistündige Maischestandzeit und Vergärung bei 19 °C gewählt.

Versuchsplan B: Der Effekt der Schwefeldioxid-dosierung zur Maische wurde auf den beiden Niveaus (0 mg/l, 60 mg/l) und die Schwefeldioxid-zugabe zum Jungwein mit 40 mg/l bzw. 80 mg/l

überprüft. Als Zentralpunkt wurde eine Maischeschwefelung mit 30 mg/l und eine Jungweinschwefelung mit 60 mg/l durchgeführt.

Versuchsplan C: Es wurde der Einfluss der Mostklärung (ohne bzw. mit) sowie einer Hefenährsalzzugabe (ohne bzw. mit 0,3 g/l DAP (Vitamon A, Erbslöh Geisenheim GmbH, Geisenheim, Deutschland) ohne Zentralpunkt getestet.

Die Varianten der Versuchspläne A und C erhielten eine Maischeschwefelung mit 50 mg/l Schwefeldioxid. Die Kontrolle der Gärtemperatur erfolgte mit dem System VinPilot (WFT Weinfuchtsaft-Technologie GmbH, Klosterneuburg, Österreich).

Tab. 1: Übersicht der drei durchgeführten 2² Pläne inklusive Faktoren und Faktorstufen (Niveaus)

3 unabhängige Versuchspläne mit 2 ² vollfaktoriellem Design (in Summe 28 Versuchsvarianten (10 Varianten A, 10 Varianten B, 8 Varianten C)) in zweifacher Wiederholung und in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsjahren (2011, 2012)						
Einflussfaktor		Versuchsplan A				Durchgänge
		Einheit	Faktorstufen			
			-1	0	+1	
A	Maischestandzeit	h	0	3	6	5
B	Gärtemperatur	°C	15	19	23	5
Einflussfaktor		Versuchsplan B				Durchgänge
		Einheit	Faktorstufen			
			-1	0	+1	
A	Maischeschwefelung	mg/l	0	30	60	5
B	Jungweinschwefelung	mg/l	40	60	80	5
Einflussfaktor		Versuchsplan C				Durchgänge
		Einheit	Faktorstufen			
			-1	+1		
A	Mostvorklärung	-	Nein	Ja		4
B	Hefenährsalzzugabe	-	Nein	Ja		4

Die Vinifizierung von den Varianten erfolgte nach dem Standardprotokoll der Kellerwirtschaft HBLA Klosterneuburg (Scheibhofer, persönliche

Mitteilung, 2013). Die Weine wurden drei Monate nach der Vinifizierung in 0,5 l-Flaschen abgefüllt.

Analyseverfahren und Chemikalien für die Analyse der Rotundongehalte

Die Grundparameter der Versuchsweine (relative Dichte, vorhandener Alkohol, Gesamtzucker (Glucose + Fructose), pH-Wert, titrierbare Säuren, flüchtige Säuren) wurden mittels FTIR (WINESCAN, Foss GmbH, Hamburg, Deutschland) bestimmt. Die Methode zur Quantifizierung der Rotundongehalte der verschiedenen vinifizierten Varianten erfolgte basierend auf der SPE-SPME-GC-MS Methode nach Nauer et.al. (2018). Stark vereinfacht und überblicksartig wurde am Beginn als Probenvorbereitung eine Festphasenextraktion (= SPE) mit 100 ml Weinprobe versetzt mit 100 µl Internem Standard(5,7-Dimethyl-tetralone; Konzentration 1 mg/l)durchgeführt, gefolgt von einer Immersions-Festphasen-Mikroextraktion (IM-SPME) mit abschließender Gaschromatographie-Massenspektroskopie, abgekürzt SPE-SPME-GC-MS. Ein detaillierter Ablauf sowie eine Beschreibung der eingesetzten SPE-SPME-GC-MS-Methode ist bei Nauer et.al. (2018) zu entnehmen. Die relative Standardabweichung (RSD) der Methodenpräzision betrug 6,0 % (bei Kalibration mit Standardaddition in realer GV-Probe) bzw. 10,5 % (Modellweinkalibration) unter Wiederholbarkeitsbedingungen. Die Wiederfindung bei verschiedenen mit 100 ng/l gespickten Weinproben bewegte sich zwischen 102 und 124 % (bei Auswertung mit der Kalibration mit Standardaddition in realer GV-Probe). Für die Methode wurden als Grenze der Erkennung (LOD) und als Begrenzung der Quantifizierung (LOQ) die Konzentrationen definiert, die Signal-Rausch-Verhältnisse von 3:1 → 3 ng/l bzw. 10:1 → 10 ng/l ergaben. Für die Berechnung wurden die S/N-Verhältnisse von Weinen mit geringen Mengen (<15 ng/l) bzw. Modellweinstandards versetzt mit geringen Konzentrationen dieser Verbindung(<10 ng/l) als Ausgangspunkt herangezogen und mit der Agilent Software Data Analysis ein Signal to Noise-Check durchgeführt. Anhand dieser Methoden-Kenndaten wurde auch die Schwankung der analysierten Rotundongehalte in Tabelle 2 berücksichtigt.

Analyse der Ergebnisse der drei durchgeführten 2² statistischen Versuchspläne

Die statistische Auswertung erfolgte mit den Statistikprogrammen Minitab 18/19 (Minitab, LLC, Pennsylvania, USA) und DesignExpert 11/12 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA). Es wurden neben einer Varianzanalyse auch die Darstellung im Haupteffektdiagramm und Wechselwirkungsdiagramm durchgeführt. Die Normalverteilung und Varianzhomogenität der Rotundongehalte wurde angenommen. Aus der Visualisierung mit Faktordiagrammen (Haupteffektdiagramm, Wechselwirkungsdiagramm) konnten die Zusammenhänge zwischen der Antwortvariablen (Rotundongehalt) und den Faktoren (z. B. Gärtemperatur, Standzeit) graphisch dargestellt werden (Granato et al., 2014).

Ergebnisse und Diskussion

Weinzusammensetzung

Die Resultate der mittels FTIR ermittelten Grundweinparameter aus den beiden Versuchsjahrgängen (nicht präsentiert) zeigen, dass es in Bezug auf diese keine Besonderheiten gibt. Die Alkoholgehalte der Weine des Jahrgangs 2011 schwankten von 12,3 bis 12,8 %vol., jene des Jahrgangs 2012 von 13,5 bis 13,9 %vol., und alle Weine waren trocken (Jahrgang 2011 <3 g/l Zucker; bei Jahrgang 2012 <LOQ) vergoren.

Rotundongehalte in den Versuchsvarianten

Eine Übersicht über die ermittelten Rotundongehalte ergibt sich aus Tabelle 2, wobei das Versuchsdesign in Form einer Matrix mit Faktoren und Zentralpunkten dargestellt wird. Für Variante A lag das Rotundongehaltsmaximum 2011 bei jener Variante ohne Maischestandzeit und einer Gärtemperatur von 23 °C, 2012 hingegen war dieses bei der Variante mit einer Maischestandzeit von 3 Stunden und einer Gärtemperatur von 19 °C. Bei den Varianten B lieferte die Variante 30 mg/l Maischeschwefelung und mit 60 mg/l Jungweinschwefelung 2011, und die Variante 60 mg/l Maischeschwefelung und mit 80 mg/l Jungweinschwefelung 2012 den Rotundonspitzenwert. Die höchsten Rotundongehalte sind bei Variante C im

Versuchsjahr 2011 bei der Variante mit Mostklärung zu finden, 2012 hingegen lag der Höchstwert bei der Variante ohne Mostklärung und ohne Hefenährsalzzugabe.

Die niedrigsten Rotundongehalte sind 2011 bzw. 2012 bei folgenden Varianten zu finden - bei Variante A war es 2011 jene mit 6h Maischestandzeit und einer Gärtemperatur von 15° bzw. 2012 jene mit einer Maischestandzeit von 0h und einer Gärtemperatur von 23°. Bei Variante B 2011 hatte jene mit 60mg/l Maischeschwefelung und 80mg/l den niedrigsten Rotundongehalt bzw. 2012 jene mit 30mg/l Maischeschwefelung und 60mg/l Jungweinschwefelung 60mg/l. Von Variante C ergab 2011 jene ohne Mostklärung und mit Hefenährsalzzugabe das Minimum bzw. 2012 jene Variante mit Mostklärung und mit Hefenährsalzzugabe mit nur 20,7ng/l.

Diese Rohdaten wurden einer Varianzanalyse (ANOVA) unterzogen. Im Zuge des Versuchsplans A wurde im Jahr 2011 für den Faktor Gärtemperatur (p-Wert=0,0243) sowie für den Faktor Standzeit (p-Wert=0,0137) ersichtlich, dass diese Effekte für den Rotundongehalt statistisch signifikant ($\alpha=0,05$) sind. Die Wechselwirkung beider Faktoren (p-Wert=0,143) ist nicht signifikant. Der ebenfalls ermittelte F-Wert von 9,01 (8,582) impliziert, dass das Modell signifikant ist. Es besteht nur eine Wahrscheinlichkeit von 1,85 (2,1 %), dass ein so großer F-Wert aufgrund von Rauschen auftritt. Für das Versuchsjahr 2012 sind diese Effekte statistisch nicht signifikant (Gärtemperatur p-Wert=0,9181; Standzeit p-Wert=0,4010; Wechselwirkung Gärtemperatur/Standzeit p-Wert=0,8459). Daneben impliziert der F-Wert von 0,30 (1,78), dass das Modell im Verhältnis zum Rauschen nicht signifikant ist. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 82,58 % (26,9 %), dass ein solcher F-Wert aufgrund von zufälligen Schwankungen auftritt.

Im Zuge der Varianzanalyse der Resultate des Versuchsplans B vom Versuchsjahr 2011 wurde festgestellt, dass der Parameter Maischeschwefelung (p-Wert=0,049) für den Rotundongehalt statistisch signifikant ist ($\alpha=0,05$) Auf die Dosis

der Jungweinschwefelung (p-Wert=0,207) trifft dies hingegen nicht zu. Auch die Wechselwirkung beider Faktoren (p-Wert=0,657) ist nicht signifikant. Der ebenfalls ermittelte Modell-F-Wert von 4,92 impliziert, dass das Modell nicht signifikant ist. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 5,5 %, dass ein so großer F-Wert aufgrund von Rauschen auftritt. Fürs Versuchsjahr 2012 konnte weder für die Maischeschwefelung (p-Wert=0,411), die Dosis der Jungweinschwefelung (p-Wert=0,879) noch für deren Wechselwirkung (p-Wert=0,768) eine Signifikanz festgestellt werden. Auch der Modell-F-Wert von 0,41 impliziert, dass das Modell im Verhältnis zum statistischen Rauschen nicht signifikant ist. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 90,8 %, dass ein solcher F-Wert aufgrund von zufälligen Schwankungen auftritt.

Bei der Betrachtung der Resultate der Varianzanalyse des Versuchsplans C des Jahres 2011 wird ersichtlich, dass die Effekte Mostklärung (p-Wert = 0,769) beziehungsweise Hefenährsalzzugabe (p-Wert = 0,799) für den Rotundongehalt statistisch nicht signifikant sind ($\alpha=0,05$). Die Wechselwirkung dieser beiden Faktoren ist ebenfalls nicht signifikant (p-Wert = 0,808). Der ermittelte Modell-F-Wert von 0,08 impliziert, dass das Modell nicht signifikant ist. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 96,7 %, dass der F-Wert aufgrund zufälliger Variabilität auftritt. Im Jahr 2012 wirkt sich die Mostklärung signifikant auf den Rotundongehalt aus, da ein p-Wert von 0,028 vorlag. Hingegen zeigte der p-Wert von 0,713 für den Faktor Hefenährsalzzugabe, dass dieser nicht signifikant war. Auch für die Wechselwirkung beider Faktoren lag im Versuchsjahr 2021 keine Signifikanz (p-Wert = 0,478) vor. Der Modell-F-Wert von 4,02 impliziert, dass das Modell im Verhältnis zum Rauschen nicht signifikant ist. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 10,6 %, dass der F-Wert durch zufällige Variabilitäten bestimmt wird.

Tab. 2: Übersicht der Rotundongehalte der 28 Versuchsweine – drei 2² Versuchspläne A,B,C –2011, 2012

VERSUCHSPLAN A	FAKTOREN		Versuchsjahr 2011		Versuchsjahr 2012	
	Maischestandzeit (in h)	Gärtemperatur (in °C)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)
	Faktorstufe	Faktorstufe				
	0	15	9,9	10,4	15,5	15,7
	6	15	8,0	9,4	12,2	14,1
	0	23	12,3	15,2	11,8	19,0
	6	23	9,8	9,7	15,7	12,0
	3	19	8,9	8,5	18,1	23,1
RSD dieser Messdaten liegt bei 6,0 % (Matrixkalibration) bei 10,5 % (Modellweinkalibration)						
VERSUCHSPLAN B	FAKTOREN		Versuchsjahr 2011		Versuchsjahr 2012	
	Maischeschwefelung (mg SO ₂ /l)	Jungweinschwefelung (mg SO ₂ /l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)
	Faktorstufe	Faktorstufe				
0	40	9,6	9,9	16,2	16,8	
0	80	9,2	8,5	16,1	16,6	
60	40	6,0	9,6	18,4	15,9	
60	80	5,3	6,8	19,0	16,3	
30	60	12,4	10,6	15,5	18,6	
RSD dieser Messdaten liegt bei 6,0 % (Matrixkalibration) bei 10,5 % (Modellweinkalibration)						
VERSUCHSPLAN C	FAKTOREN		Versuchsjahr 2011		Versuchsjahr 2012	
	Mostklärung	Hefenährsalzzugabe	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)	Rotundongehalt (ng/l)
	Faktorstufe	Faktorstufe				
	+	+	12,9	10,2	20,7	23,7
	+	-	10,2	12,9	26,7	22,6
	-	+	12,2	9,6	31,7	29,9
	-	-	11,9	11,0	26,9	33,2
RSD dieser Messdaten liegt bei 6,0 % (Matrixkalibration) bei 10,5 % (Modellweinkalibration)						

Statistische Beurteilung der untersuchten Effekte mittels Haupteffektdiagrammen

Haupteffektdiagramme werden verwendet, um die Beziehung zwischen der Antwortgröße (Rotundongehalt) und den einzelnen Variablen (Gärtemperatur, Standzeit, Maischeschwefelung, Jungweinschwefelung, Mostklärung, Hefenährsalzzugabe) anzuzeigen. Mittels Haupteffektdiagrammen kann man die relative Stärke der Effekte über Faktoren hinweg vergleichen. Aus den Haupteffektdiagrammen für den Versuchsplan A (Abb. 1) erkennt man, dass im Versuchsjahr 2011 bei einer Gärtemperatur von 23 °C die Ro-

tundongehalte am höchsten (Mittelwert = 11,8 ng/l) und bei einer Gärtemperatur von 15 °C am niedrigsten (Mittelwert = 9,4 ng/l) sind. Für die Variante keine Standzeit (0 Stunden) wurde ein höherer Rotundongehalt (11,9 ng/l) gemessen als in der Variante mit 6 h Maischestandzeit (9,2 ng/l). Im Versuchsjahr 2021 sind die Ergebnisse ähnlich, aber die Unterschiede tendenziell geringer als im Vorjahr. In beiden Versuchsjahren zeigten die Ergebnisse für die Zentralpunkte (19 °C Gärtemperatur, 3 h Maischestandzeit) ein unerwartetes und kontroverses Bild. Im Jahr 2011 war es mit einem Rotundongehalt von 8,8 ng/l der niedrigste, im Versuchsjahr 2012 hingegen mit 20,6 ng/l Rotundon der höchste Wert.

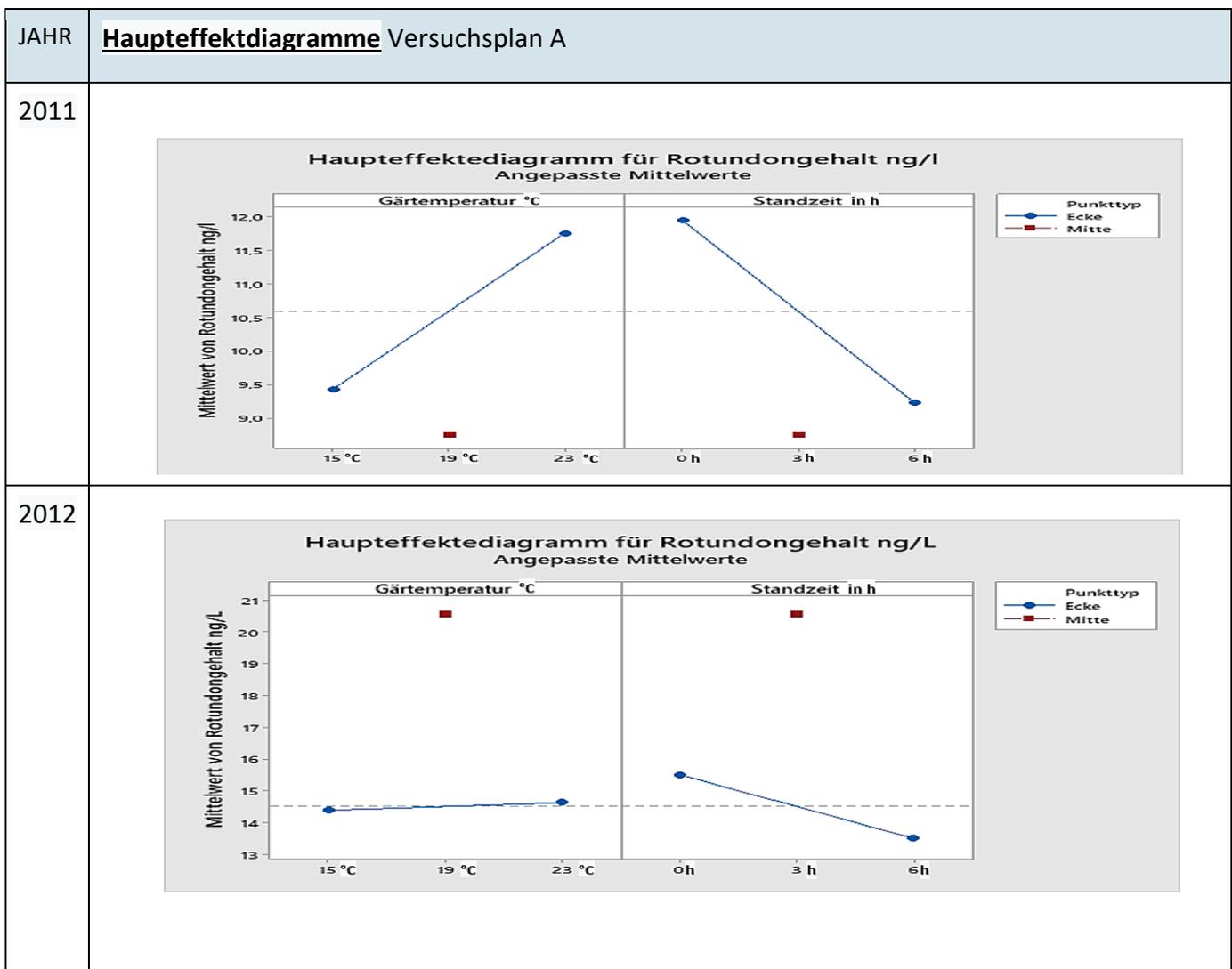


Abb: 1: Haupteffektdiagramme für die Faktoren Gärtemperatur und Standzeit der Versuchsserie A der Jahre 2011 und 2012

Aus den Haupteffektdiagrammen des Versuchsplan B (Abb: 2) kann für das Jahr 2011 abgeleitet werden, dass nicht geschwefelte Maische (0 mg/l) bzw. eine niedrige Jungweinschwefelung (40 mg/l) offenbar zu höheren Rotundongehalten (9,4 ng/l bzw. 8,8 ng/l) führt als eine Maischeschwefelung mit 60 mg/l bzw. eine Jungweinschwefelung mit 80 mg/l Schwefeldioxid (6,9 ng/l bzw. 7,4 ng/l Rotundon). Das Haupteffektdiagramm für das Jahr 2012 hingegen zeigt genau den gegenteiligen Effekt, so weist der Wein aus der nicht geschwefelten Maische (0 mg/l)

bzw. mit der niedrigen Jungweinschwefelung (40 mg/l) niedrigere Rotundongehalte (16,4 ng/l bzw. 16,8 ng/l) auf als die Weine, die mit Maischeschwefelung von 60 mg/l bzw. Jungweinschwefelung mit 80 mg/l hergestellt wurden (17,4 ng/l bzw. 17,0 ng/l Rotundon). Doch aufgrund der geringen absoluten Unterschiede im Rotundongehalt im Versuchsjahr 2012 muss festgehalten werden, dass Zeitpunkt und Intensität der Schwefelung offenbar keinen bzw. nur einen sehr geringen Effekt auf die Rotundongehalte haben.

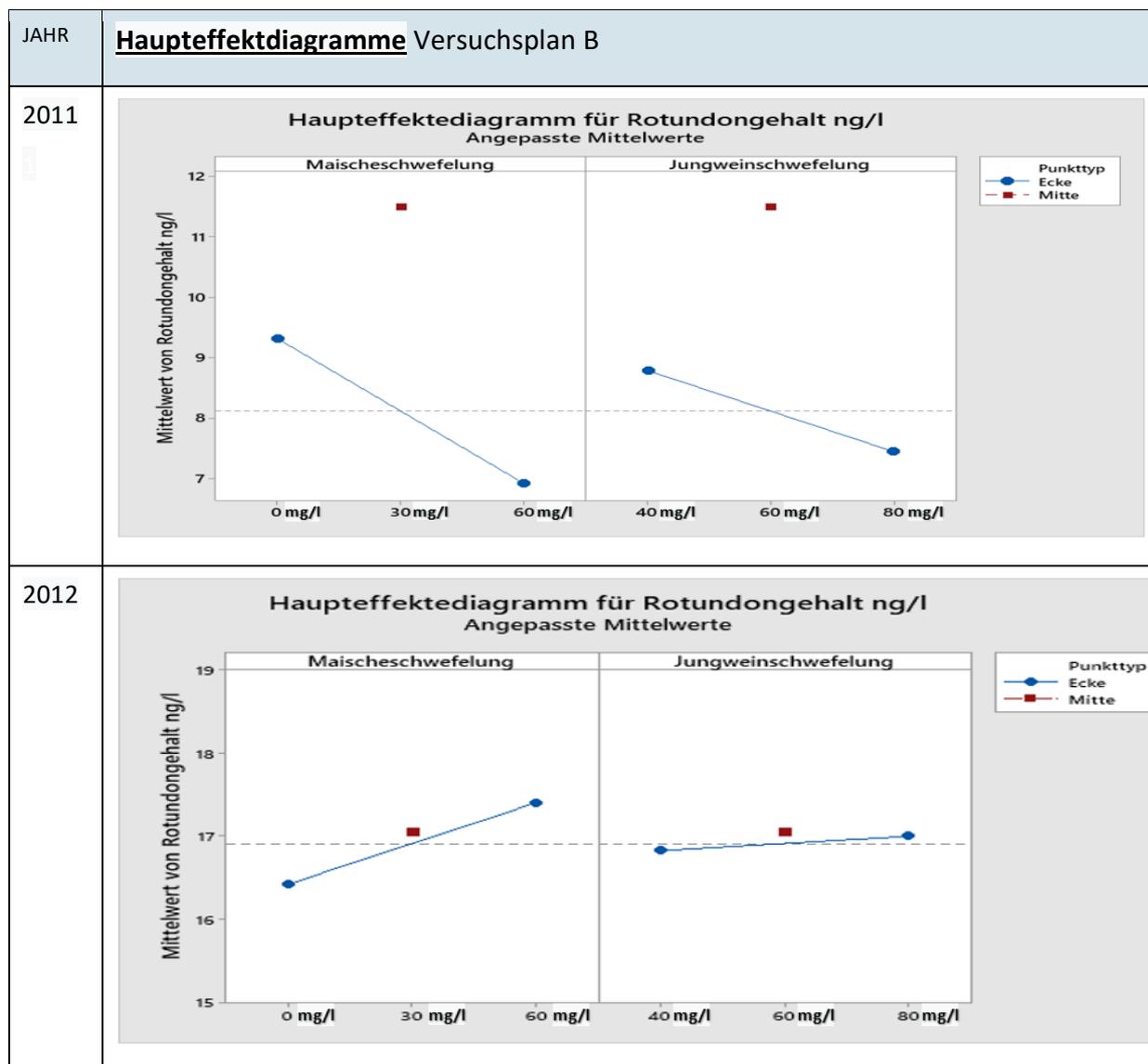


Abb. 2: Haupteffektdiagramme für die Faktoren Maischeschwefelung und Dosis der Jungweinschwefelung der Versuchsserie B der Jahre 2011 und 2012

Aus dem Haupteffektdiagramm des Versuchsplan C (Abb. 3) ist für das Jahr 2011 gut ersichtlich, dass die Weine mit Mostklärung bzw. ohne Hefenährsalzzugabe höhere Rotundongehalte aufweisen (11,5 ng/l bzw. 11,5 ng/l) als jene ohne Mostklärung bzw. mit Hefenährsalzzugabe (11,2 ng/l bzw. 11,2 ng/l Rotundon). Das Haupteffektdiagramm von 2012 hingegen zeigt teil-

weise genau das Gegenteil. So weisen Weine mit Mostklärung niedrigere Rotundongehalte (23,4 ng/l) auf als jene ohne Mostklärung (30,4 ng/l). Vergleichbare Effekte in beiden Versuchsjahre hat hingegen die Hefenährsalzzugabe, wobei Weine mit Hefenährsalzzugabe (26,5 ng/l) geringere Rotundongehalte hatten als jene ohne Hefenährsalzzugabe (27,3 ng/l).

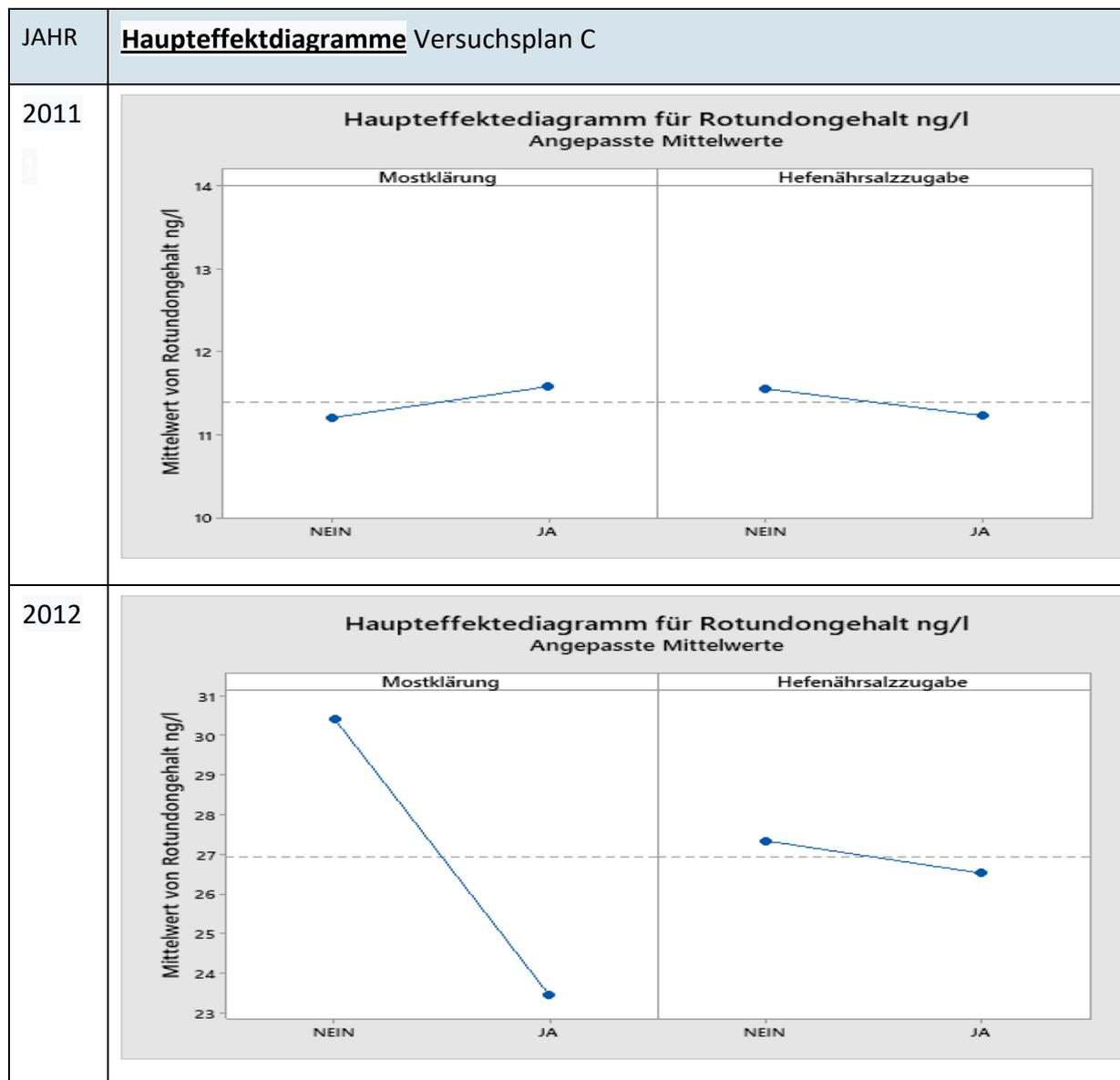


Abb. 3: Haupteffektdiagramme für die Faktoren Mostklärung und Hefenährsalzzugabe der Versuchsserie C der Jahre 2011 und 2012

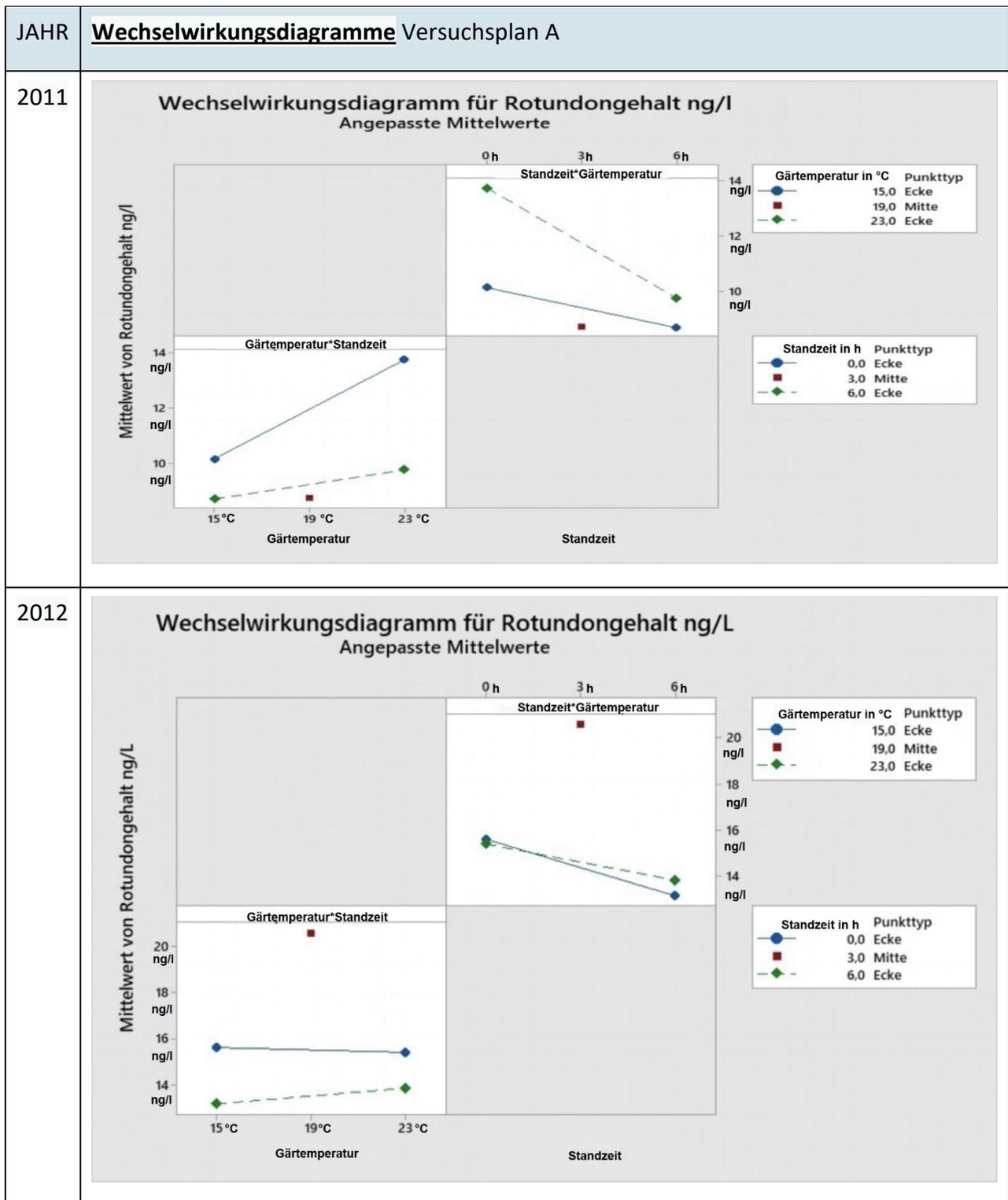


Abb. 4: Wechselwirkungsdiagramme für die Faktoren Gärtemperatur und Standzeit des Versuchs A der Jahre 2011 und 2012

Statistische Beurteilung der Wechselwirkungen

Da Weine ohne Maischestandzeit (0 Stunden) und mit hoher Gärtemperatur (23 °C) höhere Rotundongehalte (13,9 ng/l) aufwiesen als Weine mit langer Maischestandzeit (6 h) und niedriger Gärtemperatur (15 °C) (8,7 ng/l Rotundon), kann man aus dem Wechselwirkungsdiagramm des Versuchsplans A für das Untersuchungsjahr 2011 (Abb. 4) ableiten, dass hohe Gärtemperaturen gekoppelt mit kurzen Standzeiten für höhere Rotundongehalte förderlich sind. Das Wechselwirkungsdiagramm für 2012 bestätigt diese Aussage, da Weine mit hoher Gärtemperatur und kurzen Standzeiten (15,4 ng/ Rotundon) höhere Gehalte aufwiesen als Weine mit niedriger Gärtemperatur (15 °C) bzw. mit langer Maischestandzeit (6 h) (durchschnittlich 13,7 ng/l Rotundon). Von einer Wechselwirkung zwischen Gärtemperatur und Standzeit kann in beiden Versuchsjahren ausgegangen werden, wobei die Kombination aus kurzer/keiner Maischestandzeit und einer höheren Gärtemperatur höhere Rotundongehalte begünstigt.

Aus den Wechselwirkungsdiagrammen des Versuchsplans B (Abb. 5) wird für das Untersuchungsjahr 2011 ersichtlich, dass sich die Kombination aus keiner Maischeschwefelung und einer niedrigen Jungweinschwefelung (40 mg/l SO₂) förderlich für höhere Rotundongehalte auswirkt. So wiesen die Weine ohne Maischeschwefelung und mit niedriger Jungweinschwefelung im Mittel 9,9 ng/l Rotundon auf, während die Weine mit hoher Maischeschwefelung und hoher Jungweinschwefelung (80 mg/l) nur einen mittleren Rotundongehalt von 6,4 ng/l erreichten.

Das Wechselwirkungsdiagramm für das Jahr 2012 liefert aber ein gegenläufiges Bild und bestätigt daher die Ergebnisse nicht. In diesem Jahr hatten die Weine mit hoher Maischeschwefelung und hoher Jungweinschwefelung mit durchschnittlich 17,8 ng/l höhere Werte als die Weine ohne Maischeschwefelung und mit niedriger Jungweinschwefelung (16,5 ng/l Rotundon). Der Grad der Wechselwirkung zwischen Maische und Jungweinschwefelung dürfte dementsprechend sehr gering und variabel sein.

Aus den Wechselwirkungsdiagrammen des Versuchsplans C (Abb. 6) erkennt man für das Untersuchungsjahr 2011, dass Mostklärung und Hefenährsalzzugabe förderlich für höhere Rotundongehalte sind. So wiesen die Weine mit Mostklärung und Hefenährsalzzugabe etwas höhere Rotundongehalte (11,6 ng/l) auf als die Weine ohne Mostklärung und Hefenährsalzzugabe (10,9 ng/l). Aufgrund der geringen Konzentrationsunterschiede (0,7 ng/l!!) zwischen diesen Varianten ist von keiner nennenswerten Wechselwirkung auszugehen. Im Versuchsjahr 2012 war hingegen der Unterschied zwischen den Varianten deutlich größer (8,6 ng/l), da Weine ohne Mostklärung gekoppelt mit Hefenährsalzzugabe 30,8 ng/l Rotundon enthielten, während in Weinen mit Mostklärung und Hefenährsalzzugabe durchschnittlich nur 22,2 ng/l gefunden wurden. Man kann daher postulieren, dass zumindest im Jahr 2012 die Wechselwirkung Hefenährsalzzugabe, aber keine Mostklärung sich positiv auf die Rotundongehalte ausgewirkt hat.

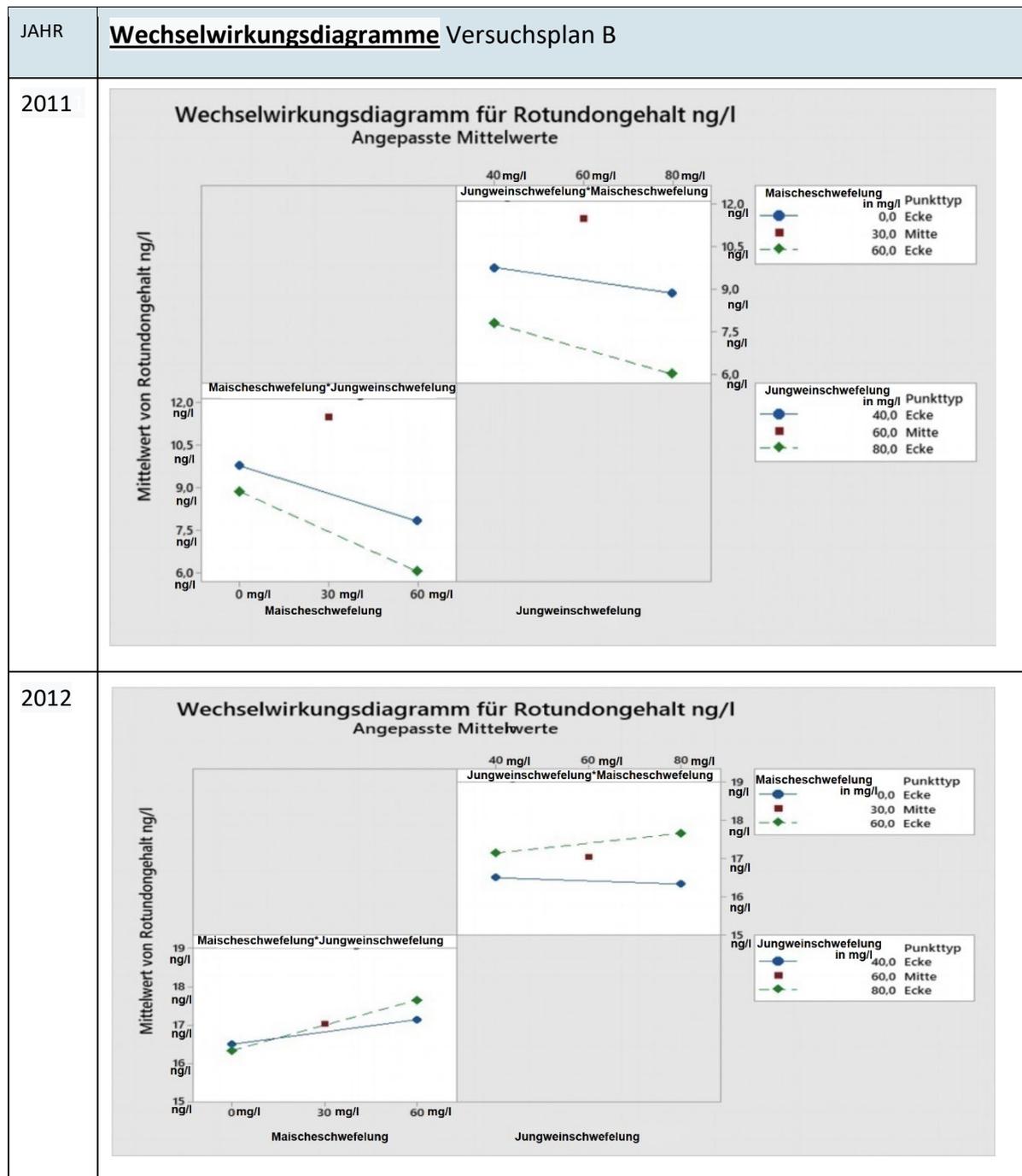


Abb. 5: Wechselwirkungsdiagramme für die Faktoren Maische- und Jungweinschwefelung des Versuchs B der Jahre 2011 und 2012

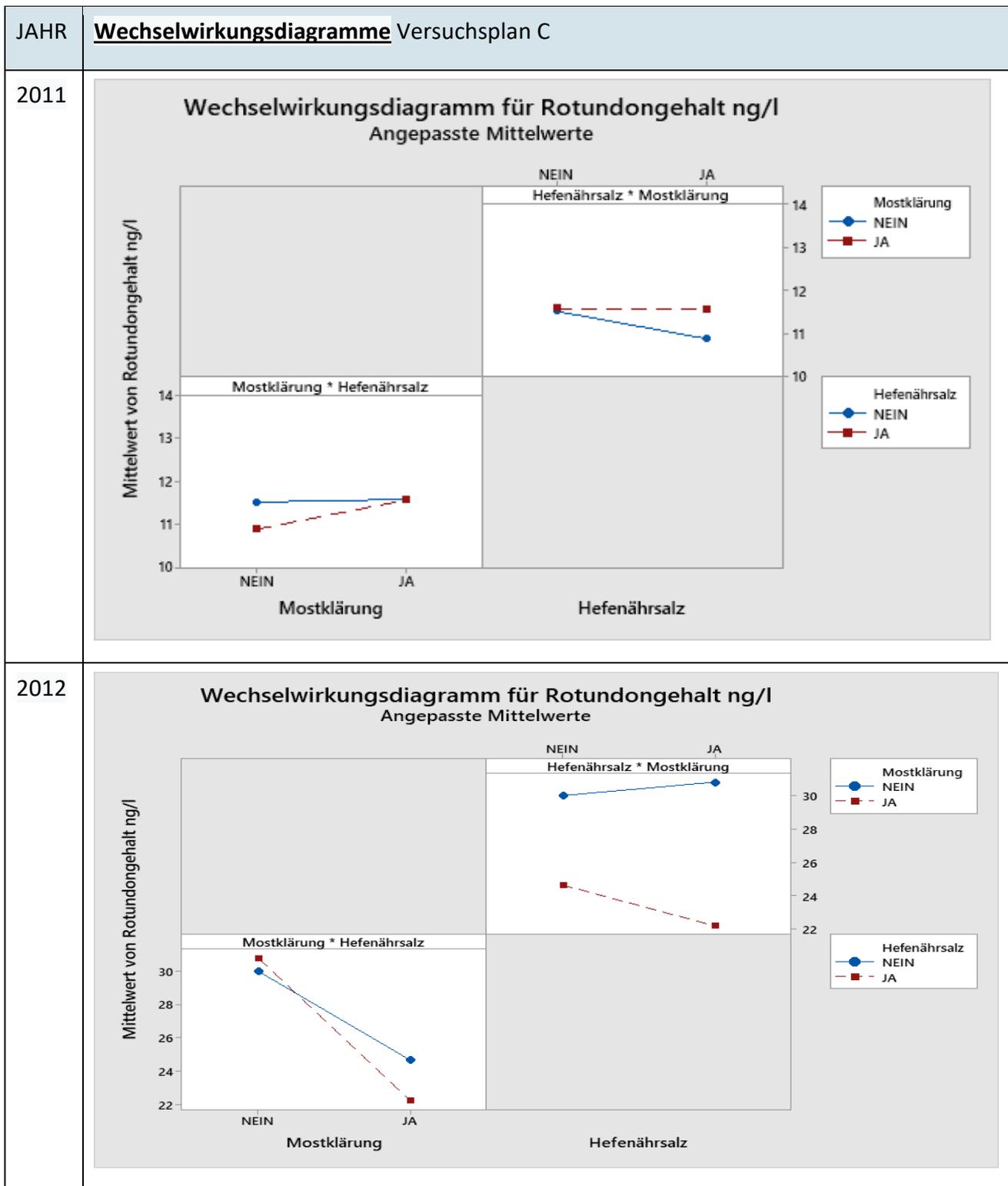


Abb. 6: Wechselwirkungsdiagramme für die Faktoren Mostklärung und Hefenährsalzzugabe des Versuchs C der Jahre 2011 und 2012

Schlussfolgerungen

Basierend auf den Resultaten der drei 2² Versuchspläne aus zwei Versuchsjahren (2011, 2012) lässt sich feststellen, dass die Konzentration des schalenlokalisierten Rotundons auf önologische Maßnahmen wie Gärtemperatur, Standzeit, Schwefelung und Mostvorklärung reagiert. Sowohl Reynolds et al. (2001) als auch Masneuf-Pomarède et al. (2006) bestätigen indirekt den positiv linearen Zusammenhang von höherer Gärtemperatur und höheren Rotundongehalten, wonach eine Temperatursteigerung bei der Gärung einen Anstieg an 4-Mercapto-4-methylpentan-2-on (= 4MMP, schalenlokalisierter Inhaltsstoff, für tropische Aromen) bewirkt. Auch die bereits von Marais (1983) erwähnten gesteigerten Terpenegehalte bei höheren Mazerationstemperaturen könnten bereits als indirektes Indiz interpretiert werden für den Einfluss der Temperatur auf Rotundon. In der vorliegenden Studie konnte dieser Zusammenhang für Rotundon sowohl im Jahr 2011 wie auch 2012 gefunden werden. Die Beobachtung, dass sich eine Maischestandzeit negativ auf den Rotundongehalt auswirkt, kann durch die Hydrophobizität des Moleküls erklärt werden. Demnach findet während der Maischestandzeit in wässrig-ethanolischer Umgebung nur ein geringer zusätzlicher Auslaugungseffekt statt, der durch Adsorption des schalenlokalisierten Rotundons an feste Bestandteile während längerer Standzeiten konterkariert wird. Die geringeren Gehalte infolge einer Maischestandzeit widersprechen vielen allgemeinen Beobachtungen, beispielsweise von Versini et al. (1981), Marais (1987 und 1988), Cabaroglu et al. (2002) und Selli et al. (2006), wonach eine Maischestandzeit zu höheren Terpenegehalten führt.

Die Ergebnisse betreffend Maische- bzw. Jungweinschwefelung zeigten in den beiden Versuchsjahren ein gegenläufiges Bild, und die Unterschiede waren auch nur gering. Da die inhaltstoffliche Zusammensetzung der Weine von Jahr zu Jahr variiert, kann es sein, dass die Gehalte an Carbonylen (nicht analysiert) unterschiedlich waren und daher die von De Azevedo et al. (2007)

beschriebene Bildung der Hydroxyalkylsulfonsäuren verschieden war.

Da die Ergebnisse der Versuche betreffend Mostklärung in den beiden Jahren nicht einheitliche und nur im Jahr 2012 signifikante Unterschiede zeigten, ist eine Interpretation schwierig. Tendenziell wird aber durch eine Mostklärung das hydrophobe Rotundon, das an Schalenbestandteile bindet, dem gärenden Most entzogen, wodurch im Wein geringere Gehalte verursacht werden. Dies entspricht der Feststellung von Swiegers et al. (2005), wonach die Entfernung des Trubs durch Mostklärung zu einer Verringerung aromatischer Vorläufersubstanzen im Wein führt. Andererseits kann damit die Aussage von Moio et al. (2004) nicht bestätigt werden, wonach der Terpenegehalt in Weinen aus Mosten mit höherem Trubgehalt höher ist.

Auch die Zugabe von Hefenährsalzen wirkte sich eher negativ als positiv auf die Rotundongehalte aus, sodass die Aussage von Carrau et al. (2005), wonach höhere Stickstoffgehalte in den Mosten zu höheren Terpenekonzentrationen in Weinen führen, nicht bestätigt werden konnte. Dies deckt sich auch mit der Aussage von Geffroy et al. (2017), dass Rotundon als schalenlokalisierter Inhaltsstoff ohne biochemische Aktivität extrahiert wird. Durch die Zugabe von Hefenährsalz kommt es zur vermehrten Biomasseproduktion. Rotundon könnte sich aufgrund seines hydrophoben Charakters an die Biomasse binden, was erklären würde, warum sich der Gehalt an Rotundon durch die Hefenährsalzzugabe reduziert hat.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch kellertechnische Maßnahmen, wie eine etwas höhere Gärtemperatur, das Vermeiden von Standzeit und Mostklärung, die saisonal bedingten Rotundongehalte in Weinen geringfügig erhöht werden können. Dadurch kann die pfeffrige Note auch in Weinen der Sorte 'Grüner Veltliner' trotz fortschreitenden Klimawandels zukünftig besser erhalten werden.

Literatur

Cabaroglu, T. and Canbas, A. 2002 : The effect of skin contact on the aromatic composition of the white wine of *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Alexandria grown in southern Anatolia. *Acta Alimentaria* 31(1): 45–55.

Cabaroglu, T., Canbas, A., Baumes, R., Bayonove, C., Lepoutre, J. P. and Gunata, Z. 1997 : Aroma Composition of a White Wine of *Vitis vinifera* L. cv. Emir as Affected by Skin Contact. *Journal of Food Science* 62(4): 680–683.

Caputi, L., Carlin, S., Ghiglieno, I., Stefanini, M., Valenti, L., Vrhovsek, U. and Mattivi, F. 2011: Relationship of changes in rotundone content during grape ripening and winemaking to manipulation of the „peppery“ character of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(10): 5565–5571.

Carrau, F. M., Medina, K., Boido, E., Farina, L., Gaggero, C., Dellacassa, E. and Henschke, P. A. 2005: De novo synthesis of monoterpenes by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts. *FEMS Microbiology Letters* 243(1) : 107–115.

de Azevedo, L. C., Reis, M. M., Motta, L. F., da Rocha, G. O., Silva, L. A. and de Andrade, J. B. 2007: Evaluation of the formation and stability of hydroxyalkylsulfonic acids in wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(21): 8670–8680.

Geffroy, O., Siebert, T., Silvano, A. and Herderich, M. 2017: Impact of winemaking techniques on classical enological parameters and rotundone in Red Wine at the laboratory scale. *American Journal of Enology and Viticulture* 68(1): 141–146.

Geffroy, O., Dufourcq, T., Carcenac, D., Siebert, T., Herderich, M. and Serrano, E. 2014: Effect of ripeness and viticultural techniques on the rotundone concentration in red wine made from *Vitis vinifera* L. cv. D uras. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20(3): 401-408.

Granato, D., de Araújo Calado, V. M. and Jarvis, B. 2014: Observations on the use of statistical methods in food science and technology. *Food Research International* 55: 137-149.

Marais, J. (1983). Terpenes in the aroma of grapes and wines: a review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 4(2), 49-58.

Marais, J. 1987: Terpene concentrations and wine quality of *Vitis vinifera* L. cv. Gewurztraminer as affected by grape maturity and cellar practices. *Vitis*. 26: 231–245.

Marais, J. 1988: Terpenes in grape juice and wine: effect of heat treatment and skin contact. In *Proceedings of the 5th. International Flavor Conference*.

Marais, J. and Rapp, A. 1988: Effect of skin-contact time and temperature on juice and wine composition and wine quality. *South African Journal of Enology and Viticulture* 9(1): 22–30.

Masneuf-Pomarède, I., Mansour, C., Murat, M. L., Tominaga, T., & Dubourdiou, D. (2006). Influence of fermentation temperature on volatile thiols concentrations in Sauvignon blanc wines. *International journal of food microbiology*, 108(3), 385-390.

Mattivi, F., Caputi, L., Carlin, S., Nanni, D., Valenti, L., Eder, R. and Vrhovsek, U. 2011: The sesquiterpene rotundone is an impact aroma in Gruener Veltliner and other peppery wines. *16th International Enology Symposium*, 63–66. DE.

Moio, L., Ugliano, M., Gambuti, A., Genovese, A. and Piombino, P. 2004: Influence of clarification treatment on concentrations of selected free varietal aroma compounds and glycoconjugates in Falanghina (*Vitis vinifera* L.) must and wine. *American Journal of Enology and Viticulture* 55(1): 7–12.

Nauer, S., Brandes, W., Patzl-Fischerleitner, E., Hann, S. and Eder, R. 2018: Analysis of (-)-rotundone by means of SPE-SPME-GC-MS in Austrian quality wines of the „Grüner Veltliner“ variety. *Mitteilungen Klosterneuburg* 68: 107–119.

Palomo, E. S., Pérez-Coello, M. S., Díaz-Maroto, M. C., González Viñas, M. A. and Cabezudo, M. D. 2006: Contribution of free and glycosidically-bound volatile compounds to the aroma of muscat “a petit grains” wines and effect of skin contact. *Food Chemistry* 95(2): 279–289.

Ramey, D., Bertrand, A., Ough, C. S., Singleton, V. L. and Sanders, E. 1986: Effects of skin contact temperature on chardonnay must and wine composition. *American Journal of Enology and Viticulture* 37(2): 99–106.

Reynolds, A., Cliff, M., Girard, B., and Kopp, T. G. (2001). Influence of fermentation temperature on composition and sensory properties of Semillon and Shiraz wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(3), 235-240.

Rodriguez-Bencomo, J. J., Méndez-Siverio, J. J., Pérez-Trujillo, J. P. and Cacho, J. 2008: Effect of skin contact on bound aroma and free volatiles of Listán blanco wine. *Food Chemistry* 110(1): 214–225.

Selli, S., Cabaroglu, T., Canbas, A., Erten, H. and Nurgel, C. 2003: Effect of skin contact on the aroma composition of the musts of *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Bornova and Narince grown in Turkey. *Food Chemistry* 81(3): 341–347.

Selli, S., Canbas, A., Cabaroglu, T., Erten, H. and Günata, Z. 2006: Aroma components of cv. Muscat of Bornova wines and influence of skin contact treatment. *Food Chemistry* 94(3): 319–326.

Selli, S., Canbas, A., Cabaroglu, T., Erten, H., Lepoutre, J.-P. and Gunata, Z. 2006: Effect of skin contact on the free and bound aroma compounds of the white wine of *Vitis vinifera* L. cv. Narince. *Food Control* 17(1): 75–82.

Siebert, T. E. and Solomon, M. 2011: Rotundone: Development in the grape and extraction during fermentation. *Proceedings of the 14th Australian Wine Industry Technical Conference*.

Swiegers, J. H., Bartowsky, E. J., Henschke, P. A. and Pretorius, I. S. 2005: Yeast and bacterial modulation of wine aroma and flavour. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11(2): 139–173.

Swiegers, Jan H. and Pretorius, I. S. 2005: Yeast modulation of wine flavor. *Advances in Applied Microbiology*, 57: 131–175.

Versini, G., Inama, S. and Sartori, G. 1981 : Indagine gascromatografica in colonna capillare dei costituenti terpenici del Riesling renano del Trentino Alto Adige: distribuzione dell’acino, passaggio del mosto e presenza nel vino a seconda di diverse tecniche di vinificazione. Considerazioni organolettiche=A capillary column gaschromatographic research into the terpenes constituents of Riesling Renano (Rhine Riesling) wine from Trentino Alto Adige: their distribution within berries, their passage into must and their presence in the wine according to different wine-making procedures. *Organoleptic considerations*. 23(133): 189–211.

Vilanova, M., Siebert, T. E., Varela, C., Pretorius, I. S. and Henschke, P. A. 2012: Effect of ammonium nitrogen supplementation of grape juice on wine volatiles and non-volatiles composition of the aromatic grape variety Albariño. *Food Chemistry* 133(1): 124–131.

Williams, J. T., Ough, C. S. and Berg, H. W. 1978: White wine composition and quality as influenced by method of must clarification. *American Journal of Enology and Viticulture* 29(2): 92–96.

Eingelangt am 16. Dezember 2020