BACHELOR-THESIS
Winter Semester 2022/2023

Vergleich unterschiedlicher Behandlungsmaßnahmen von Wein, vergoren in einem Vbung-Fass

Referent: Herr Ludwig Pasch M.Sc
Institut für Oenologie
Hochschule Geisenheim

Korreferent: Frau Prof. Dr. Bianca May
Institut für Oenologie
Professur für Wein- und Getränkechemie
Hochschule Geisenheim

Vorgelegt von: Martin Eggert
Meyerheimstraße 11
10439 Berlin
7. Semester Weinbau und Oenologie

Geisenheim, den 14.12.2022

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis

„Vergleich unterschiedlicher Behandlungsmaßnahmen von Wein, vergoren in einem Vbung-Fass“

selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich habe dabei nur die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt.

Martin Eggert Geisenheim, den 14.12.2022

Für meine verstorbene Mutter und
meine sich unterstützende Familie

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung I
Abkürzungsverzeichnis V
Abbildungsverzeichnis VI
Tabellenverzeichnis VII
1 Einleitung 1
2 Theoretische Grundlagen 2
2.1 Phenole als Weinbestandteil 2
2.1.1 Chemische Eigenschaften der Phenole 3
2.1.2 Oxidation von Phenolen 4
2.1.3 Einteilung der phenolischen Bestandteile im Wein 4
2.2 Bräunungsreaktion 12
2.2.1 die reaktive Sauerstoffspezies 12
2.2.2 Enzymatische Bräunungsreaktion 13
2.2.3 Nicht-enzymatische Bräunungsreaktion 15
2.3 Pinking von Weißwein 16
2.4 Wirkungsweise der eingesetzten Behandlungsmitteln 16
2.4.1 Kälteverfahren 16
2.4.2 Schwefeldioxid 17
2.4.3 ESTAAN 18
2.4.4 Glutathion 18
2.4.5 Ascorbinsäure 19
2.4.6 Kurzzeiterhitzung 19
2.4.7 Belüftung 20
2.5 Licht, Farbe, Farbraum und der CIE-Lab-Farbraum 20
3 Material und Methodenteil 23
3.1 Aufbau des VBung-Fass 23
3.2 Weinbereitung und oenologische Analysen 25
3.2.1 Analysen vor und nach der Gärung 26
3.3 Entnahme und Vorbereitung des Weins 26
3.4 Füllung der Probeflaschen 27
3.5 Erstellung der einzelnen Versuchsvarianten 27
3.6 Beschreibung, Aufbau und Konzeption des Fotoversuch 30
3.7 Beschreibung und Durchführung der Spektralanalyse 31
3.8 Im Labor quantitative bestimmte Werte 31
3.8.1 Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu 32
3.8.2 Flavonoidbestimmung über DMAC-Reagenz 32
3.8.3 Iodometrische Bestimmung der schwefligen Säure 33
3.8.4 FTIR-Analyse 33
3.8.5 Bestimmung der Eiweißstabilität 34
3.8.6 Bestimmung des Acetaldehydgehalts 34
4 Ergebnisse 35
4.1 quantitative Ergebnisse 36
4.2 Ergebnisse der Spektralanalyse 38
4.3 Ergebnisse des Fotoversuchs 45
4.4 Vergleich der Methoden 53
5 Diskussion der Ergebnisse 57
5.1 Die einzelnen Varianten 57

5.2 Probleme der optischen Bestimmungsmethoden 67
6 Zusammenfassung 69
7 Literaturverzeichnis 70
Anhang 73
Anhang 1: Gesamtübersicht über 21 Tage 73
Anhang 2: Abbildung Variantenvergleich zu Schwefeldioxid 74
Anhang 3: Daten der Spektralanalyse 75
Anhang 4: Daten des Fotoversuch 77
Anhang 5: Farbabweichung beider Methoden..... 81
Anhang 6: FTIR-Datensatz..... 82

Abkürzungsverzeichnis

z.B.:	zum Beispiel
bspw.:	beispielsweise
s. g.:	sogenannt
Abb.:	Abbildung
Tab.:	Tabelle
html:	Hypertext Markup Language
RGB:	Farbraum Rot-Grün-Blau
CMYK:	Farbraum Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz
CIE:	Centre Internationale d'Eclairage, Internationale Beleuchtungskomission
OIV:	Organisation Internationale de la Vigne et du Vin, Internationale Organisation für Rebe und Wein
LED:	light-emitting diode; Leuchtdiode
SO2:	Schwefeldioxid
GRP:	Grape Reaction Product (2-S-glutathionyl caftaric acid)
Δ:	Differenz
E:	optische Dichte, Extinktion
T:	Durchlässigkeit eines Mediums für Wellen, Transmission
I:	transmittierte Lichtintensität
I_0:	eingestrahlte Lichtintensität
Φ_N:	Suspension mit der Anzahlkonzentration
C_{ext}:	Extinktionsquerschnitt
L_d:	Schichtdicke
h:	Einheitszeichen der Stunde
d:	Einheitszeichen des Tages
µg/L:	Einheit der Konzentration, Mikrogramm pro Liter
mg/L:	Einheit der Konzentration, Milligramm pro Liter
mL/L:	Einheit der Konzentration, Milliliter pro Liter
g/L:	Einheit der Konzentration, Gramm pro Liter
nm:	Einheit der Länge, Nanometer
mm:	Einheit der Länge, Millimeter
cm:	Einheit der Länge, Zentimeter
L:	Einheit des Volumens, Liter
mL:	Einheit des Volumens, Milliliter
g/cm^3:	Einheit der Dichte, Gramm pro Kubikzentimeter
bar:	Einheit des Drucks, bar
bar rel.:	Überdruck gegenüber dem atmosphärischen Druck
NTU:	Einheit des Trübungwertes in Flüßigkeiten, Nephelometric Turbidity Unit
°Oe:	Einheit des Mostgewichts, Grad Oechsle
°C:	Einheit der Temperatur, Grad Celsius

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für die Struktur von flüchtigen Phenolen 5
Abbildung 2: Strukturelle Darstellung von Phenolsäuren 6
Abbildung 3: Struktur von Resveratrol..... 7
Abbildung 4: Grundstruktur der Flavonoide anhand des Moleküls Flavan 8
Abbildung 5: Strukturelle Darstellung von monomeren Flavan-3-olen..... 9
Abbildung 6: Darstellung der Struktur Leukocyanidin.....11
Abbildung 7: Strukturelle Darstellung von Flavonolen.....11
Abbildung 8: Darstellung der enzymatischen Bräunungsreaktion 14
Abbildung 9: Darstellung der Reaktionen von Schwefeldioxid mit Chinonen.... 17
Abbildung 10: Längsschnitt eines Vbung-Fasses..... 23
Abbildung 11: Firmenlogo von VbungVDoor..... 24
Abbildung 12 Darstellung der Erhitzungs- und Abkühlungszeit der Proben 29
Abbildung 13: Fotoversuchsaufbau 30
Abbildung 14: Streudiagramm zu Farbunterschieden der Spektralanalyse..... 38
Abbildung 15: Streudiagramm der Werte der Wellenlänge 420 nm..... 43
Abbildung 16: Streudiagramm zu Farbunterschieden des Fotoversuchs (24 h)46
Abbildung 17: Streudiagramm zu Farbunterschieden des Fotoversuchs (21 d)48
Abbildung 18: Abweichung der einzelnen Varianten methodenübergreifend.... 54
Abbildung 19: Gesamtübersicht die durchgeführten Behandlungsvarianten 73
Abbildung 20: Optischer Vergleich der einzelnen Varianten zu Schwefeldioxid 74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: reaktive Sauerstoff Spezies in der Übersicht..... 13
Tabelle 2: Interpretation von Farbabständen ΔE 22
Tabelle 3: Analyseergebnisse nach 24 Stunden Lagerzeit 36
Tabelle 4: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten der Spektralanalyse (24 h) 38
Tabelle 5: Errechnete Werte für die Wellenlänge 420 nm..... 43
Tabelle 6: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten des Fotoversuchs (24 h)..... 46
Tabelle 7: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten des Fotoversuchs (21 d)..... 48
Tabelle 8: Vergleich der Ergebnisfarben bei Methoden 53
Tabelle 9: Mittelwertbildung der jeweiligen Methode zu einem L-a-b-Farbwert 56
Tabelle 10: Reihenfolge der Variante nach Stärke der Farbabweichung 56
Tabelle 11: Tabelle 5: Spektralanalyse Variante 1 Kontrolle..... 75
Tabelle 12: Spektralanalyse Variante 2 Kältebehandlung..... 75
Tabelle 13: Spektralanalyse Variante 3 Schwefeldioxid..... 75
Tabelle 14: Spektralanalyse Variante 4 ESTAAN..... 75
Tabelle 15: Spektralanalyse Variante 5 Glutathion 76
Tabelle 16: Spektralanalyse Variante 6 Ascorbinsäure..... 76
Tabelle 17: Spektralanalyse Variante 7 Kurzzeiterhitzung..... 76
Tabelle 18: Spektralanalyse Variante 8 Belüftet 76
Tabelle 19: Fotoversuch Variante 1 Kontrolle 77
Tabelle 20: Fotoversuch Variante 2 Kältebehandlung..... 77
Tabelle 21: Fotoversuch Variante 3 Schwefeldioxid 78
Tabelle 22: Fotoversuch Variante 4 ESTAAN 78
Tabelle 23: Fotoversuch Variante 5 Glutathion 79
Tabelle 24: Fotoversuch Variante 6 Ascorbinsäure..... 79
Tabelle 25: Fotoversuch Variante 7 Kurzzeiterhitzung..... 80
Tabelle 26: Fotoversuch Variante 8 Belüftet 80
Tabelle 27: Übersicht der berechneten Farbabweichung 81
Tabelle 28: FTIR-Daten bestimmt nach 24 Stunden..... 82

1 Einleitung

Schwefeldioxid ist seit vielen Jahre in der Weinbereitung ein gängiges Behandlungsmittel zur Konservierung von Weinen. Mit den vielseitigen Wirkungen des Schwefeldioxids stabilisierte man die Weine unkompliziert. Eine s. g. Schwefelung des Weins galt lange Zeit als unumgänglich. Das war sehr zum Nachteil vieler Menschen, die auf Schwefeldioxid allergische Reaktionen zeigten. Mittlerweile gibt es viele Bestrebungen der Weinproduzenten, wenn möglich auf die Gabe von Schwefeldioxid zu verzichten oder die Menge auf ein Minimum zu reduzieren. Hierbei gibt es unterschiedliche Ansätze. Zum einen gibt es hier die Möglichkeit der Stabilisierung durch Zugabe einer oder mehrerer Substanzen, welche die Weine chemisch stabilisieren. Zum anderen gibt es technische Verfahren, welche die vorhandenen Strukturen stabilisieren, so z.B. das Vbung-Fass.

„No Added Additives and Preservatives Winemaking“(Popa, 2022)

Ist der Slogan mit dem VBung-Fass beworben wird, welcher eine Gabe von Schwefeldioxid oder andere Behandlungen im Grunde ausschließen soll. Bei der Entnahme einer Probe aus dem Vbung-Fass nach sieben Monaten fiel auf, dass sich der Wein mit Luftkontakt sehr schnell sensorisch verändert. Direkt aus dem entnommen, konnte eine Rebsorten typische Farbe und eine fruchtige Aromatik wahrgenommen werden. Jedoch nach nur kurzer Zeit wurden eine intensive Braunfärbung und eine oxidative Aromatik festgestellt. Aus der Beobachtung hat sich die Fragestellung nach einem notwendigen Behandlungsbedarf von direkt entnommenem Wein aus dem Fass ergeben. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Unterbinden des Oxidationsprozess. Genutzt werden unterschiedliche Versuchsmethoden um

2 Theoretische Grundlagen

Im folgenden Teil werden die Grundlagen beschrieben, die notwendig sind, um die ermittelten Ergebnisse zu interpretieren. Hierbei wird der Fokus zunächst auf die wichtigsten Bestandteile, die Phenole und deren unterschiedliche auftretenden Derivate gelegt. Weiterführend werden Prozesse und Reaktionen beschrieben, die welche in den Ergebnissen gezeigte Farbveränderung verursachen.
Des Weiteren wird auf genutzte Methoden und Behandlungsmittel eingegangen, die Farbveränderungen unterbinden sollen. Hierbei wird auf die Umsetzung und die Funktionsweise der unterschiedlichen Behandlungsansätze eingegangen.
Zuletzt beschäftigt sich dieses Kapitel mit dem Begriff der Farbe, dem Farbraum, der es möglich macht, die Farbe mathematisch zu bewerten und deren Vergleichbarkeit.

2.1 Phenole als Weinbestandteil

Wein besteht aus ca. 86% Wasser, 11% Ethanol und 3% aus allen weiteren Bestandteilen, wie z. B. Säuren, Zuckern, Glycerol, Aldehyden, höheren Alkoholen, Phenolen und Metaboliten. Hauptverantwortlich für die Farb- und Geschmacksveränderung des Weines ist die Stoffgruppe der Polyphenole. Es ist nachgewiesen, dass Polyphenole eine antioxidative, antibakterielle und eine gesundheitsförderliche Wirkung haben. Im Wein haben Phenole einen ausschlaggebenden Einfluss auf das Redoxpotential des Weins (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Phenole sind ubiquitär in der Pflanzenwelt. Jedes aus Pflanzen hergestellte Lebensmittel enthält zu mindestens einen geringen Anteil an Phenolen. Neben Wein prägen Phenole ebenfalls den Geschmack und die Qualität von bspw. Kaffee, Tee und von vielen anderen Lebensmitteln (Waterhouse et al., 2016). Hefen, Bakterien und andere Mikroorganismen, welche in Verbindung mit der Weinbereitung stehen, liefern einen sehr geringen Input an Phenolen. Diese Organismen haben aber einen erheblichen Einfluss auf die Phenol-Struktur und können damit sensorische und optische Veränderungen zur Folge haben (Singleton, 1992).

2.1.1 Chemische Eigenschaften der Phenole

In der Chemie bezeichnet man Verbindungen als Phenole, die aus einem aromatischen Ring, s. g. Arenen, und einer oder mehrere daran gebundene Hydroxygruppen bestehen. Aus der chemischen Struktur der Phenole ergibt sich, dass sie Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden können und Phenole als schwache Säure gelten. Die aliphatischen Eigenschaften des aromatischen Rings ergeben für das Molekül überwiegend hydrophobe Eigenschaften. Phenole können glykosidische Bindungen ausbilden, wodurch sie im System der Pflanze transportfähig sind (Mortimer et al., 2003)

Durch die Hydroxygruppe ist es Phenolen möglich mit Säuren zu Estern zu reagieren. Unter dem Begriff Phenol können auch die aus Phenolen gebildete Derivate zusammengefasst werden. So kann es durch verschiedene Reaktionen an der Hydroxy-Gruppe des Phenols zur Bildung unterschiedlicher funktioneller Gruppen kommen, z.B. zur Akryl-, Methoxyl-, Vinyl-, Allyl- oder Aldehydgruppe (Mortimer et al., 2003).

Für eine Substitution von Wasserstoffatomen aus dem elektrophilen aromatischen Ring durch Halogene sind Phenole ebenfalls empfänglich. (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Phenolen polymerisieren durch eine Kondensationsreaktion, d.h. verketten gleiche oder strukturähnliche Moleküle zu großen Makromolekülen unter Abspaltung von z.B. Wasserstoff, zu s. g. Polyphenolen. Wird die Polymerisation durch Enzyme, wie Laccase, katalysiert spricht man von einer enzymatischen Polymerisation (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Ullrich and Hofrichter, 2007).

2.1.2 Oxidation von Phenolen

Eine Oxidation wird vereinfacht dargestellt im Wein mit einer Zunahme der Bindungen zu Sauerstoff und Abnahme der Bindungen zu Wasserstoff verstanden. Molekularer Sauerstoff reagiert nur durch Eisen(II+)-Ionen katalysiert mit Phenolen im Wein (Morata, 2022). Hierbei werden die Phenole in der ortho-Konjunktion aufgrund der höheren Reaktivität bevorzugt. Aus der Oxidation resultieren die reaktiven Verbindungen Chinone, Wasserstoffperoxid und Eisen(III+)-Ionen. Chinone sind sehr stark elektrophil und reagieren im Wein mit Antioxidantien oder nukleophilen Verbindungen, wie bspw. Hydrogensulfit, Thiolen oder Flavonoide. Der nukleophile Angriff der Chinone auf Flavonoide ist in entweder am sechsten oder am achten Kohlenstoffatom (Abb. 4) lokalisiert und bildet Polyphenole. Wenn das Wasserstoffperoxid nicht durch Hydrogensulfit oder durch Antioxidantien abgebunden wird, reduziert es das Eisen(III+)-Ion wieder zurück zu Eisen(II+)-Ion (Morata, 2022). Diese Reaktion wird als Fenton-Reaktion bezeichnet. Dabei werden zusätzlich Aldehyd-Verbindungen, bspw. Acetaldehyd gebildet, die ebenfalls mit Phenolen oder anderen Weinbestandteilen reagieren können und ungewollte flüchtige Verbindung bilden (Waterhouse et al., 2016).

2.1.3 Einteilung der phenolischen Bestandteile im Wein

Die verschiedenen Phenolklassen kommen in unterschiedlichen Teilen der Traube vor. So findet man bspw. die s. g. Phenolsäuren nur in der Pulpe der Traube. Flavanole sind in Schale und Kernen der Traube vorhanden. Dagegen findet man Flavonole und Anthocyane nur den Traubenschalen. Der Anteil der Phenole im Wein ist abhängig von der Weinbereitung und der jeweiligen Rebsorte, denn jede Sorte hat genetisch bedingt eine andere Phenolzusammensetzung (Singleton, 1992). In der Regel unterscheidet sich der Phenolgehalt eines Weißweins deutlich von dem eines Rotweins, da bei der Rotweinbereitung allgemein betrachtet ein längerer Maischekontakt das übliche Produktionsverfahren ist. Genauso kann der Einsatz von Holz in der Weinbereitung einen zusätzlichen Eintrag von Phenolen für den Wein bedeuten (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).

Flüchtige Phenole

Eine Einteilung der Phenole im Wein beginnt mit einer Unterteilung zwischen flüchtigen und nicht-flüchtigen Phenolen. Flüchtige Phenole sind nicht in der Traube oder im Most vorhanden und sind aufgrund ihrer geringen Molekülgröße leichte aromatische Alkohole. Diese flüchtigen Verbindungen sind mit deren geringen Wahrnehmungsschwellenwerten für bestimmte Gerüche, wie z.B. Rauch, Leder, Arznei- oder Reinigungsmittel, Vanille, Gewürze und weitere in Wein oder anderen Getränken verantwortlich. Im Wein können diese Strukturen in Konzentrationen von µg/L bis mg/L auftreten. Chemische Vorgänger können Lignine aus dem Holz oder auch Benzoe- und Hydroxyzimtsäuren sein, welche in der Regel während der alkoholischen Gärung über mikrobiologische Prozesse zu flüchtigen Phenolen umgewandelt werden. Bei bestimmten Saccharomyces cerevisiae- und Nicht-Saccharomyceten-Hefestämmen ist durch eine spezielle Enzymaktivität, durch s. g. Decarboxylasen, eine erhöhte Produktion von flüchtigen Phenolen nachgewiesen worden. Es führen allerdings auch thermische Umwandlungen von Ligninen zu flüchtigen Säuren (Eder and Wendelin, 2002; Nikfardjam et al., 2021; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).

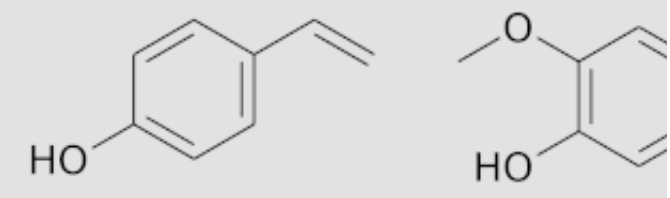


Abbildung 1: Beispiel für die Struktur von flüchtigen Phenolen
(links 4-Vinylphenol, rechts 4-Vinylguaiacol)
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common

Alle folgenden Phenole gelten als nicht flüchtig. Eine weiterführend spezifizierende Einteilung unterscheidet diese Phenole in Nicht-Flavonoide und Flavonoide.

Nicht-Flavonoide

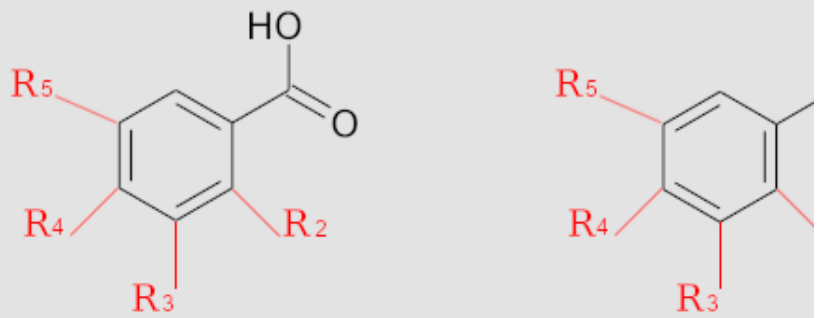
Zu den Nicht-Flavonioden Strukturen zählen neben den Phenolsäuren, also Benzoe- und Hydroxyzimtsäuren, auch die Gruppe der Stilbene.

Hydroxybenzoe- und Hydroxyzimtsäuren

Die Hydroxybenzoe- und Hydroxyzimtsäuren sind meist über Ester oder Ether an andere Pflanzeninhaltsstoffe, wie z.B. Lignin oder Zellulose gebunden (Quosdort, 2015). Im Wein findet man sie meist mit Weinsäure verestert oder glykosyliert. Der Gehalt von Hydroxyzimtsäuren liegt in der Regel bei einem Rotwein zwischen 100 – 200 mg/L und in einem Weißwein 10 – 20 mg/L. Diese Phenolsäuren sind in einer Alkohollösung farblos. Hydroxyzimtsäuren, speziell die Caftarsäure spielen eine maßgebliche Rolle in der Bräunung von Weißweinmosten, welche weiterführend in Kapitel 3.3 beschrieben wird. Die Caftarsäure ist ein Ester aus Kaffeesäure und der Weinsäure. Organoleptisch haben Hydroxyzimtsäuren keine Bedeutung. Vertreter der Hydroxyzimtsäuren im Wein sind p-Cumarsäure, Kaffeesäure und Ferulasäure, dargestellt in Abb. 2 (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Hydroxybenzoesäuren sind nicht als Ausgangsstoff in Beeren vorhanden. Gebildet werden diese Phenolsäuren aus der hydrolytischen Zersetzung von kondensierten und hydrolysierten Tanninen. Man findet diese Verbindungen daher eher in gereiften Weinen. Der Gehalt liegt bei Rotweinen etwa bei 70 mg/L und bei Weißweinen etwas über 10 mg/L (Waterhouse et al.,

2016). Wie andere Phenolsäuren bilden die Hydroxybenzoesäuren Ester mit Alkoholen im Wein aus und sind oxidationsanfällig.

Hydrolysierte Tannine sind polymere Verbindungen aus Gallussäure oder Ellagsäure über eine Ester Verbindung mit einem Zuckermolekül. Man unterscheidet je nach vorhandener Phenolsäure in Gallus- oder Ellagtannine. Die Bindung zwischen den einzelnen Molekülen ist nicht so stabil, wie bei den kondensierten Tanninen (siehe 3.1.4 Flavoniode). Hydrolysierte Tannine hemmen die Bildung flüchtiger Schwefelverbindungen und verringern den Abbau von Methionin. Chinone reagieren mit diesem Methionin und verhindern damit eine weitere Oxidation (Morata, 2022; Waterhouse et al., 2016).



Hydroxybenzoesäuren

	R_2	R_3	R_4	R_5
4-Hydroxy-benzoesäure	H	H	OH	H
Protocatechu-säure	H	OH	OH	H
Vanillinsäure	H	OMe	OH	H
Gallussäure	H	OH	OH	OH
Syringasäure	H	OMe	OH	OMe

Stilbene

Stilbene sind eine weitere Gruppe der Nicht-Flavonoide, welche in der Beerenschale vorhanden sind. Diese Polyphenole weisen eine cis-trans-Isomerie auf. Stilbene sind für die Weinbereitung aber nur von geringer Bedeutung.

Lediglich das Derivat Resveratrol (Abb. 3) hat für den Weinbau eine Bedeutung, da es als Stressreaktion auf den Befall der Beere durch Botrytis oder durch Wassermangel in Beerenschale gebildet wird (Waterhouse et al., 2016). Im Weißwein sind in der Regel unter 1 mg/L und einen Rotwein zwischen 4-12 mg/L vorhanden (Eder and Wendelin, 2002; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).

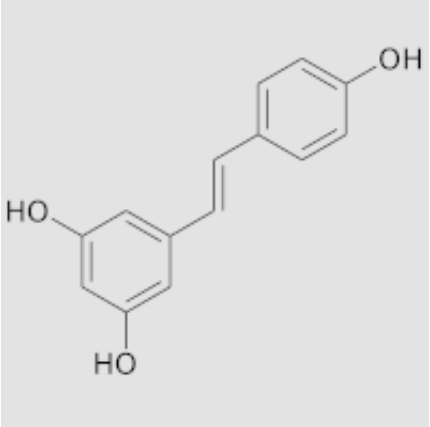


Abbildung 3: Struktur von Resveratrol
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022

Flavonoide

Diese Klassifizierung umfasst unterschiedliche Stoffgruppen, die nach ähnlicher Struktur aufgebaut sind. Alle Flavonoide sind durch ein Ringsystem aus drei Ringen mit daran gebundener Hydroxylgruppe charakterisiert. Hierbei sind zwei aromatische Ringe über einen Tetrahydropyran-Ring verbunden, hier dargestellt anhand der Struktur von Flavan in Abb. 4.

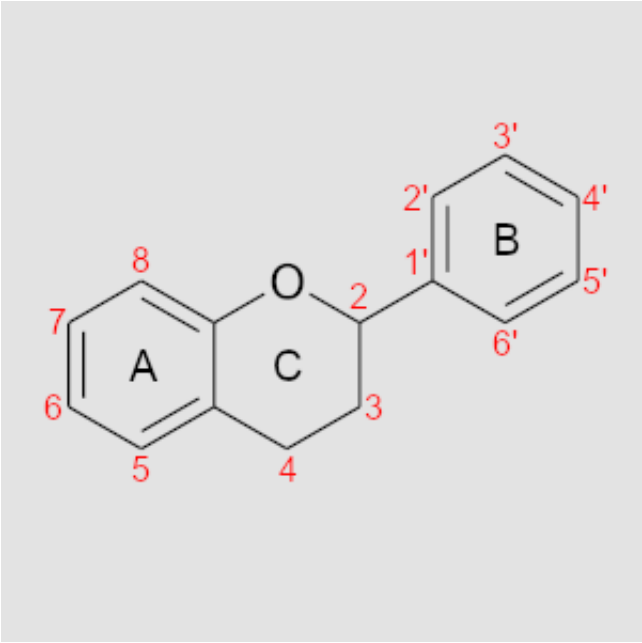


Abbildung 4: Grundstruktur der Flavonoide
anhand des Moleküls Flavan
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022

Alle Flavonoide zählen zu den Polyphenolen und können eine Färbung des Weines hervorrufen.

Der Name der Stoffgruppe leitet sich von dem lateinischen Wort *flavus* für gelb ab, da man diese Stoffe als verantwortlich für damals praktizierte Gelbfärbungen identifizierte. Heute weiß man, dass viele zu dieser Stoffgruppen zugehörende Verbindungen nicht gelb, sondern farblos sind. Alle im Wein gefunden Flavonoide haben die gleichen Hydroxyl-Substitutionsgruppen lokalisiert am A Ring an Position fünf und sieben. Zu unterscheiden sind die Flavonoide im Wein erst

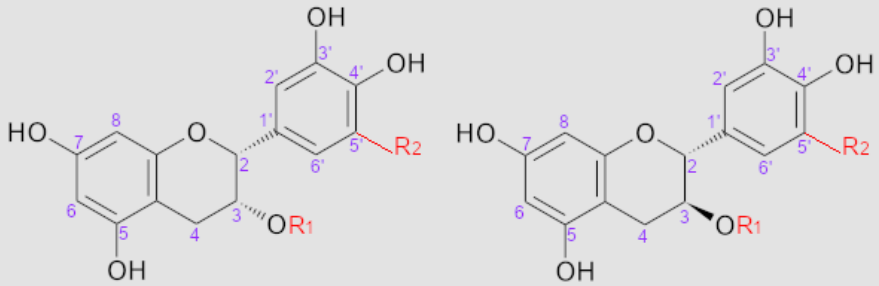
durch die verschiedenen Substituten und den Grad der Oxidation am B-Ring (Mortimer et al., 2003; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).

Flavanole: Flavan-3-ol

Wie sich aus dem Namen dieser Gruppe von Flavonoiden ableiten lässt, handelt es sich hierbei, von Flavan (Abb. 5) ausgehend, um Alkohole, deren namensgebende Hydroxylgruppe an dem dritten Kohlenstoffatom des Kohlenstoff-Rings sitzt. Die Flavanole machen den größten Anteil der Phenole im Wein aus. Die polymeren kondensierten Strukturen der Flavan-3-ole, auch als Proanthocyanidine bezeichnet, sind verantwortlich für eine adstringente und bittere Wahrnehmung der Weine (Morata, 2022). Die monomeren Verbindungen treten entweder aglycon oder glycosidiert auf. In einem Rotwein kann man bis 100 mg/L nachweisen. Bei einem Weißwein ohne Maischekontakt kann man dagegen nur 1 – 3 mg/L nachweisen. Erklären lässt sich diese Tatsache mit der allgemein unterschiedlichen Vinifikation von Rot- und Weißwein. Flavan-3-ole sind in Beerenschale und den Beerenkernen lokalisiert und werden bei einer üblichen Weißweinbereitung nur in sehr geringem Maße extrahiert (Waterhouse et al., 2016).

Die wichtigsten monomeren Vertreter sind Catechin, Gallocatechin, deren cis-trans-Isomere an den Kohlenstoffatomen zwei und drei Epicatechin, Epigallocatechin und deren Ester mit Gallussäure, abgebildet in Abb. 5. An dem vierten und sechsten Kohlenstoffatom des Moleküls entsteht durch die Anwesenheit von Hydroxylgruppen in der direkten Umgebung, also dem dritten, fünften und siebenten Kohlenstoffatom eine hohe Reaktivität (Abb. 5).

Der Anteil dieser unterschiedlichen Verbindungen im Wein ist abhängig von der Rebsorte. Im Regelfall macht Catechin den größten Teil der Flavan-3-ole aus, gefolgt von Epicatechin (Quosdort, 2015; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Catechin wird bei quantitativer Bestimmung der Gesamtphenole (Kapitel 3.8.1) und der Flavonoide (Kapitel 3.8.2) wegen des großen Anteils als Referenzsubstanz genutzt. Ein großer Teil der phenolischen Komponenten in Rotweinen bestehen aus oligomeren und polymeren



cis-Konfiguration	R_1	R_2	trans-Konfiguration
Epicatchin	H	H	Catechin
Epigallocatechin	H	OH	Gallocatechin
Epicatechingallat	galloyl	H	Catechingallat
Epigallocatechingallat	galloyl	OH	Gallocatechingallat

Abbildung 5: Strukturelle Darstellung von monomeren Flavan-3-olen
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022 und Ribéreau-Gayon et al., 2006

Verbindungen basieren auf Flavan-3-olen. Die Kondensationsprodukte, welche auch als Proanthocyanidine bezeichnet werden, zeigen Unterschiede im Grad der Polymerisation. Ausgangsstruktur für diesen Verkettungsreaktionsmechanismus sind Catechin und Epicatechin (Waterhouse et al., 2016).

Ein oxidiertes Neutrum bindet sich über eine s. g. Interflavanylbindung über das vierte Kohlenstoffatom an das achte Kohlenstoffatoms oder an das sechste Kohlenstoffatoms eines weiteren Moleküls. Es ergibt sich ein Dimer. Wiederholt sich dieser Mechanismus mehrfach entstehen Oligo- oder Polymere der Phenole. Gelegentlich kann es auch zu einer Etherbindung zwischen dem zweiten Kohlenstoffatom und dem siebenten Kohlenstoffatom eines darauffolgenden Moleküls kommen (Quosdort, 2015).

Proanthocyanidine stabilisieren durch mögliche Verkettung mit Anthocyanen die Farbe in Rotweinen. Die Proanthocyanidine werden aber auch, abhängig von Art und Grad der Polymerisierung, als Grund für die Braunfärbung, Bitterkeit und Adstringenz von Rotweinen identifiziert. Die Polymerisation der Flavonole findet nicht selektiv, sondern basierend auf Verfügbarkeit von Molekülen statt. Aufgrund der hohen Reaktivität des A-Rings können diese Moleküle Reaktionen im Wein,

wie z.B. Oxidation puffern, indem sie als Radikalfänger wirken (Eder and Wendelin, 2002; Waterhouse et al., 2016).

Verbindungen, die über eine Interflavanylbindung zwischen mindestens drei Proanthocyanidinen und möglicher Integration von Makromolekülen, wie z.B. Anthocyanen, Zellulose, Pektin oder Proteine, unlösbare Komplexe bilden bezeichnet man als kondensierte Tannine. Diese Tannine nehmen durch deren Adstringenz Einfluss auf die Sensorik, puffern Oxidation und können auch UV-Licht absorbieren, damit stabilisieren sie die Weinmatrix (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

Flavanole: Flavan-3-4-diol

Ähnlich wie die Flavan-3-ole ist Flavan-3,4-diol eine auf Flavan basierende Phenolstruktur im Wein. Es handelt sich hierbei jedoch um einen zwei-wertigen Alkohol mit der Lokalisation der Hydroxylgruppen am dritten und vierten Kohlenstoffatom. Wie die Flavan-3-ole verketten sich die Flavan-3-4-diole zu Polymeren durch die annähernde Struktur des A-Rings. Die daraus entstehende Stoffgruppe bezeichnet man als Leukoanthocyanide. Diese Polymere bilden die Ausgangsstoffe für die Biosynthese zu Anthocyanen, Anthocyanidinen und Catechinen (Morata, 2022; Nikfardjam, 2001).

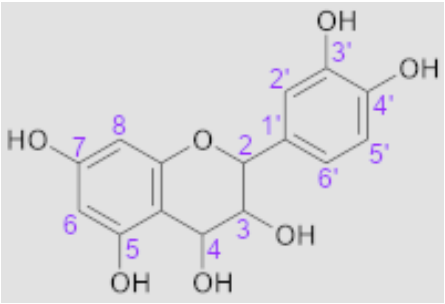
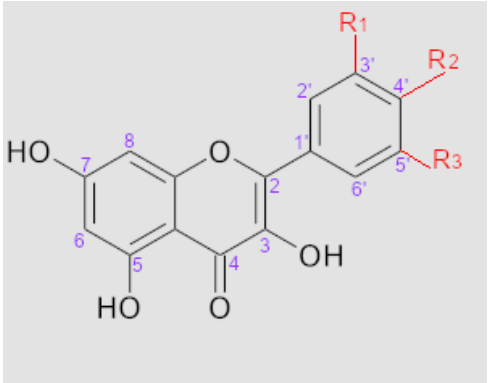


Abbildung 6: Darstellung der Struktur Leukocyanidin
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022

Flavonole

Flavonole sind Monomere und gekennzeichnet durch die namensgebende Ketogruppe an dem vierten Kohlenstoffatom, eine ungesättigte Bindung zwischen zweiten und dritten Kohlenstoffatom und einer Hydroxylgruppe am dritten Kohlenstoffatom (Abb. 7). Flavonole sind gelbe Farbstoffe und deshalb für die allgemeine Namensgebung der Flavonoide verantwortlich. In der Natur treten die Flavonole in unterschiedlichen Formen auf. Selten treten Flavonole als Aglycon auf. Man findet Flavonole am dritten Kohlenstoffatom glykosyliert. Gebunden an die Zucker Glukose, Rhamnose, Galaktose aber auch an Glucuronsäure kann man Flavonole in Pflanzenbestandteilen, wie z.B. Blüten und Früchten nachweisen. Im Wein findet man Aglycone und glykosyliert Flavonole, wobei der in den Aglyconen vorkommende Anteil durch die Lagerung zu nimmt. Im Rotwein liegt der Gehalt bis zu 40 mg/L. Im Weißwein liegt der Gehalt dagegen nur zwischen 1 – 3 mg/L (Waterhouse et al., 2016). Das lässt sich genau wie bei Flavan-3-olen durch die unterschiedlichen allgemeinen Produktionsverfahren erklären, da sich Flavonole in der Traubenschale befinden. Flavonole werden bei starker Sonneneinstrahlung vermehrt in Rotweintrauben gebildet und gelten als Sonnenschutzmechanismus der Beere, weil sie UV-Licht absorbieren (Eder and Wendelin, 2002). Wie Flavan-3-ole sind Flavonole bitter und zeigen aufgrund der

hohen Reaktivität des A-Rings der Moleküle eine große Pufferkapazität gegenüber Oxidationsreaktionen. Die wichtigsten Vertreter der Flavonole sind Kämpferol, Quercetin, Myrecetin und Isorhammnetin (Eder and Wendelin, 2002; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).



	R1	R2	R3
Kämpferol	H	OH	H
Quercetin	OH	OH	H
Myrecetin	OH	OH	OH
Isorhamnetin	OMe	OH	H

Abbildung 7: Strukturelle *Darstellung* von *Flavonolen*
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022 und Ribéreau-Gayon et al., 2006

Anthocyane

Man bezeichnet als Anthocyane die an Glukose gebundenen Anthocyanidine, welche mit deren roten, violetten bis blauen Färbung den Farbstoff eines Rotweins charakterisieren (Nikfardjam, 2001). Anthocyane sind durch aromatische Ringstrukturen und eine positive Ladung gekennzeichnet. Die wichtigsten Verbindungen der Anthocyane sind Cyanidin und Delphinidin. Deren Reaktion mit kondensierten Tanninen erzeugt stabile Farbpigmente des Rotweins (Waterhouse et al., 2016). Es wurde aber mittlerweile auch kleine Mengen an monomeren Anthocyanen in weißen Rebsorten, wie z.B. Síria gefunden (Andrea-Silva et al., 2014; Morata, 2022).

2.2 Bräunungsreaktion

2.2.1 die reaktive Sauerstoffspezies

Sauerstoff als eines der grundlegendsten Elemente für die wichtigsten biologischen und chemischen Prozesse der Erde, wie z.B. Photosynthese oder Zellatmung, ist verantwortlich für die Bildung der s. g. reaktiven Sauerstoffspezies (englisch, reactive oxygen species, ROS), welche der Grund für vielseitige Probleme ist. Diese reaktive Sauerstoffspezies wird als Sauerstoffradikal bezeichnet, also einer besonders reaktionsfreudigen Struktur (Morata, 2022) und

wird in vielen chemischen Strukturen beschrieben. In der Regel haben diese Verbindungen eine Oxidation, also einen Elektronenübergang anderer Stoffe zur Folge. Man findet diese Strukturen in Organismen als Abwehrmechanismen gegen Viren, Bakterien genauso wie in entzündeten Zellen. In vielen Fällen werden die Strukturen mit schädlichen und ungewollten Reaktionen gleichgesetzt. ROS kann in unterschiedlichen Formen auftreten, dargestellt in Tab. 1. Es ist nachgewiesen, dass ROS für viele unterschiedliche Erkrankungen des Menschen verantwortlich ist, wie z.B. Diabetes, Krebs oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Ebenso ist nachgewiesen, dass ROS teilweise die Bildung von Antioxidantien unterbindet (Morata, 2022; Oliveira et al., 2011).

Tabelle 1: reaktive Sauerstoff Spezies in der Übersicht
In Anlehnung an Panth et al., 2016

Formelzeichen	Bezeichnung
O_2^-	Hyperoxid-Anion
HO	Hydroxyl-Radikal
HOO	Hydroperoxyl-Radikal
ROO	Peroxyl-Radikal
RO	Alkoxyl-Radikal
H_2O_2	Wasserstoffperoxid
ROOH	Hydroperoxid
O_3	Ozon
OCl^-	Hypochlorid-Anion
O_2	Singulett-Sauerstoff

2.2.2 Enzymatische Bräunungsreaktion

Die Bräunungsreaktion (Abb. 8) von Weinen und Mosten ist zum Teil eine enzymatische Reaktion und zum anderen Teil eine nicht enzymatische Reaktion. Die Polyphenoloxidasen (PPO) Tyrosinase oder Laccase wandeln die Hydroxyzimtsäuren, z.B. Caftarsäure erst in ein Di-Phenol (1) und anschließend in ein ortho-Chinon um (2). Die Enzyme gelangen unter anderem durch Bakterien oder Pilze, wie bspw. Botrytis in den Wein (Khider, 2007). An das gebildete ortho-Chinon der Phenolsäure bindet sich Glutathion (Kapitel 2.4.4) zu dem s. g. Grape Reaction Product bis kein freies Glutathion mehr vorhanden ist (Li et al., 2008). Dann oxidieren die gebildeten Chinone andere Weinbestandteile, also bspw. Flavonoide, Alkohole und Aminosäuren (4).

Das GRP wird wieder in die Ausgangsbestandteile gespalten. Es resultiert Glutathion und das Diphenol aus Craftarsäure (3) (Ribéreau-Gayon et al., 2006). Die erneute Umwandlung unter weiterem Sauerstoffverbrauch durch die PPO ist wieder möglich (1,2). Diese Schritte (1,2,3) laufen unabhängig voneinander ab. Diese Reaktion wird lediglich durch das Vorhandensein von Hydrogensulfit verhindert. Großen Einfluss auf diese Reaktion nimmt das Hydroxyzimtsäuren-

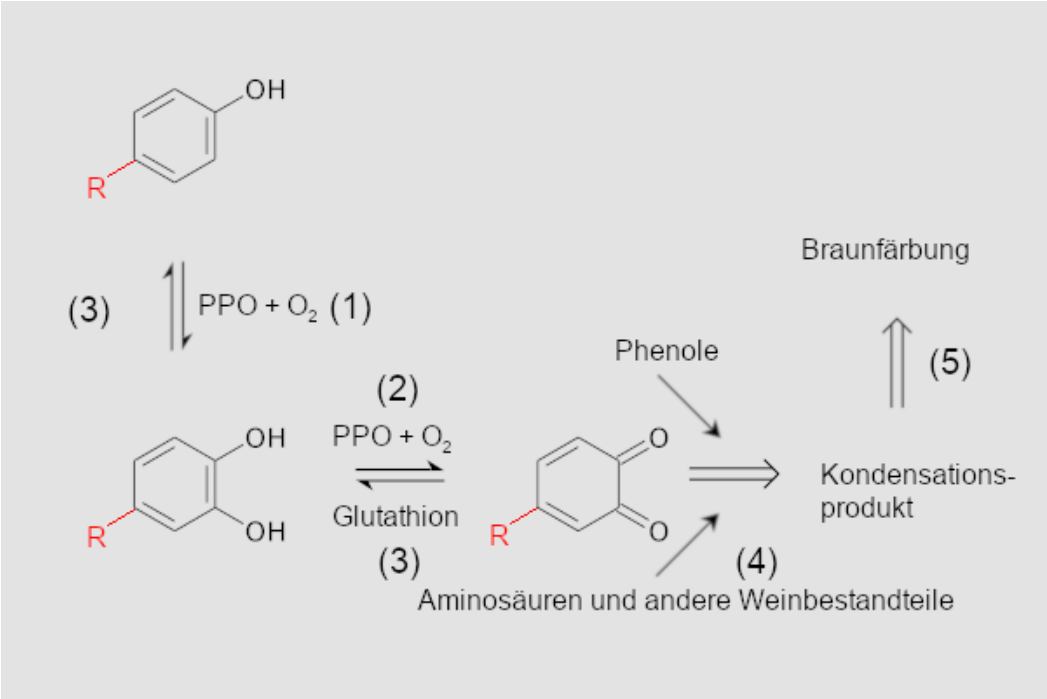


Abbildung 8: Darstellung der enzymatischen Bräunungsreaktion
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022 und Li et al., 2008

Glutathion-Verhältnis, welches abhängig von der Rebsorte ist (Schneider, 1998). Die gebildeten Polymere und die dadurch entstehende Veränderung der Farbe basieren meist auf Flavan-3-olen. Die anderen Flavonoiden Phenole werden durch diese Reaktionen ebenfalls polymerisiert, es dominieren jedoch aufgrund der hohen Gehalte im Wein die Flavan-3-ole (5). Dieser Mechanismus wird sich bei der Hyperoxidation, eine Methode des Phenolmanagements von Most oder jungem Wein (Kapitel 2.4.7), zum Nutze gemacht (Khider, 2007; Li et al., 2008; Waterhouse et al., 2016).

2.2.3 Nicht-enzymatische Bräunungsreaktion

Oxidationsprozesse können auch durch Faktoren, wie z.B. Licht, Temperatur oder Schwermetallsalze katalysiert werden. Bei der s. g. nicht-enzymatischen Bräunung polymerisieren ebenfalls Anthocyane, Flavonole und Hydroxyzimtsäuren. Für die eigentliche Bräunung sind auch hierbei die Polymere der Flavan-3-ole ausschlagend (Li et al., 2008). Für die nicht-enzymatische Bräunungsreaktion von Wein verantwortlich ist s. g. Maillard-Reaktion. Diese Reaktion ist eine mehrstufige Reaktion und spielt eine zentrale Rolle für die Bildung von Aromastoffen und braunen Pigmenten bei der Wertveränderung von Lebensmitteln, genauso bei Wein (Angrick and Rewicki, 1980).
Fördernd für diese Reaktionen sind hohe Temperaturen, geringe Wasseraktivität, hoher pH-Wert, Sauerstoffverfügbarkeit oder lange Lagerung. In der frühen Phase reagieren vorhandene Carbonylverbindungen, also reduzierende Zucker, Aldehyde oder Ketone, unter Abspaltungen von Wasser mit Aminosäuren oder anderen Aminoverbindungen, bspw. Peptide oder Proteine, zu den s. g. Glykosylamine. Diese wandeln sich in s. g. Amadori-Produkte um, welche als Sekundäre Aminoverbindungen zählen. Diese Produkte können Weinbestandteile (Kapitel 2.1.2) durch Eisen(II+) katalysiert oxidieren, sind somit sehr reaktiv (Khider, 2007).

Die Fortgeschrittene Phase ist durch eine Umsetzung der Amadori-Produkte mit weiteren Carbonylverbindungen beschrieben. Als Reaktionsprodukt entstehen a-Dicarbonylverbindungen. Bedingt durch Temperatur und pH-Wert zerfallen die Moleküle in Aminoverbindungen und 1,2-Dicarbonylverbindungen. Die wieder frei gegebenen Aminoverbindungen stehen einer erneuten Reaktion zur Verfügung. Dadurch kann ein Kreislauf entstehen indem einfache Carbonylverbindungen in Di- und Tricarbonylverbindungen umgewandelt werden. Die Di- und Tricarbonylverbindungen sind sehr reaktiv und oxidieren Weinbestandteile (Angrick and Rewicki, 1980; Khider, 2007).

2.3 Pinking von Weißwein

Pinking steht in der Weinbereitung für ein ungewünschtes Auftreten einer lachs-roten Färbung von Weißweinen. Dieses Phänomen tritt nach der alkoholischen Gärung oder erst nach dem Abfüllen der Weine auf. Beobachtet wurde es bisher nur bei den Rebsorten Chardonnay, Chenin blanc, Crouchen, Muscat Gordo blanco, Palomino, Riesling, Sauvignon blanc, Semillon und weiteren meist unter reduktivem Ausbau (Andrea-Silva et al., 2014). Die genaue Ursache ist noch nicht bestimmt. Es bestehen unterschiedliche Hypothesen über die Bildung der Färbung.

Die erste Hypothese sagt, dass sich aus Leukoanthocyaniden über eine Dehydration und eine anschließende Oxidation der entstehenden Flavene das Anthocyan Flavylium bildet. Eine weitere Hypothese besagt, dass Bindungsspaltungen von Interflavanbindungen bei Proanthocyanidinen eine Anthocyanbildung hervorrufen. Außerdem wird behauptet das es durch eine Reaktion mit dem GRP (Kapitel 2.2.3) zu bisher unbekannten roten Verbindungen kommt (Morata, 2022).

2.4 Wirkungsweise der eingesetzten Behandlungsmitteln

2.4.1 Kälteverfahren

Dieses Verfahren wird genutzt, um Weine gegen eine spätere kolloidale Ausfällung von z.B. von Weinstein, also Kaliumhydrogentartrat, in der Flasche zu stabilisieren. Dabei wird der Wein auf eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt gekühlt und für eine definierte Zeit bei dieser Temperatur gelagert (OIV, 2021). Die Kristallbildung der Weinsäure hat Einfluss auf den pH-Wert und andere Weininhaltsstoffe, also auf Aroma und Farbe. So können sich Polyphenole, wie z.B. das farbige Xanthylium-Kationen an die Kristalle binden (Xia et al., 2022) und über die sich anschließende Filtration aus dem Wein entfernt werden. Diese Kältebehandlung gilt zusätzlich der Enzyminaktivierung, hemmt unter anderem die enzymatische Bräunungsreaktion. (Xie et al., 2021).

2.4.2 Schwefeldioxid

Schwefeldioxid ist ein Allergen und bedarf für Wein eine Deklarierung auf dem Etikett. Die Verwendung von Schwefeldioxid hat unterschiedliche Effekte im Wein. Sowohl die Wirkungsweise als auch die auftretende Form sind vom pH-Wert des Weines abhängig. Im pH-Wert von Wein (2,8 – 3,8) reagiert das Schwefeldioxid in Form von Hydrogensulfit. Diese Struktur wirkt nukleophil und kann elektrophile Verbindungen, wie bspw. Acetaldehyd abbinden. Hydrogensulfit wirkt außerdem reduzierend und reagiert als ein Antioxidans. Es kann zusätzlich die Enzymaktivität hemmen und damit Reaktionen verlangsamen oder verhindern. Auf Mikroorganismen wirkt Hydrogensulfit als Selektionskriterium.

In Bezug auf Ortho-Chinone sind durch Schwefeldioxid zwei Reaktionen nachgewiesen. Hydrogensulfit bindet das, sich in der Lösung befindende Acetaldehyd und verhindert damit eine mögliche weitere Oxidation anderer Weinbestandteile.

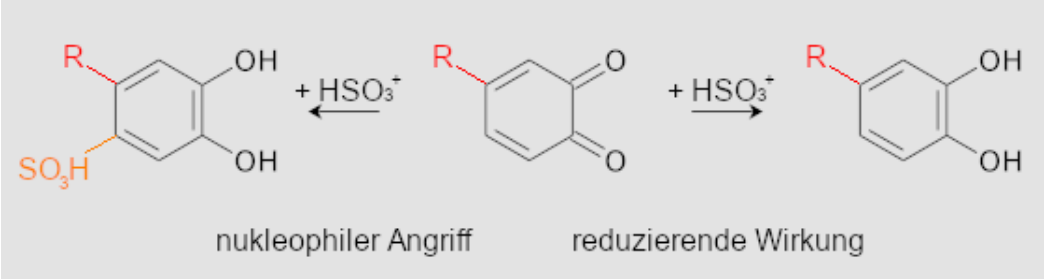


Abbildung 9: Darstellung der Reaktionen von Schwefeldioxid mit Chinonen
eigene Abbildung in Anlehnung an "CAS Common Chemistry," 2022 und Morata, 2022

Die erste Reaktion in Abb. 9 zeigt eine Reduktion des Chinons zu einem Di-Phenol durch Hydrogensulfit. Bei der zweiten Reaktionsoption bedeutet eine Bindung durch den elektrophilen Teil der Chinone an den nukleophilen Teil des Hydrogensulfits. In beiden Fällen ist eine weiterführende Oxidation anderer Weinbestandteil verhindert (Ough and Crowell, 1987).

Die antioxidative Wirkung schwefliger Säure ist im Kapitel 2.1.2 Oxidation von Phenolen beschrieben. (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016).

In der Kellerwirtschaft wird schweflige Säure in unterschiedlichen Formen eingesetzt. Je nach notwendigem Bedarf gibt es vielseitige Möglichkeiten die Schwefeldioxid Dosage durchzuführen. Bei einer großen notwendigen Dosage bietet sich gasförmiges SO_2 über die s. g. Schwefelbombe an. Bei kleineren

Bedarfsmengen ist das Nutzen von einer Bisulfit-Lösung in der entsprechenden Verdünnung angebracht.

2.4.3 E*STAAN*

Dieses Behandlungsmittel befindet sich noch in der Prüfungsphase.
ESTAAN (Biolethics Europe) ist laut Hersteller ein Phenolbehandlungsmittel aus 10 unterschiedlichen Komponenten pflanzlicher Herkunft. Es soll nach Angaben antioxidativ wirken. Weiterhin kann es Enzyme, die an der enzymatischen Bräunungsreaktion (Kapitel 2.2.2) wirken, hemmen, sowie Acetaldehyd abbinden, organoleptisch neutral und antibakteriell wirken. Der Hersteller verspricht aufgrund der natürlichen Herkunft soll ESTAAN keine Allergenreaktion hervorrufen. ESTAAN wird als Pulver in gewünschter Konzentration in Wein gelöst ("Biolethics Europe – – 100% PLANT BASED WINE PRESERVATIVES –," 2022).

2.4.4 Glutathion

Glutathion ist ein auf schwefelhaltigen Aminosäuren basierendes Tripeptid mit weitreichenden biologischem Aufgabenfeld und unter anderem wichtigen antioxidativen Eigenschaften beim Altern von Wein. Die vollständigen Mechanismen zur Wirkungsweise sind noch nicht erforscht. Es wird durch die Hefe nach der alkoholischen Gärung freigesetzt. Die freigesetzte Menge ist vom Verlauf der Gärung abhängig. Weinbeeren können bis zu 300 mg/L Glutathion beinhalten. Glutathions reduzierende Wirkung wandelt die sich gebildeten Chinone in Di-Phenole zurück (Noctor et al., 2011; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Durch die reduktive Wirkung kann Glutathion andere Carbonylgruppen durch Anbindung blockieren und damit weitere Oxidationsprozesse unterbinden (Khider, 2007). Studien bewerten Glutathion als Teilkomponente eines Schwefeldioxidersatzes (Badea and Antoce, 2015; Marchante et al., 2020; Nikolantonaki et al., 2018). Für die Dosage wurde das Mittel in Pulverform in gewünschter Konzentration in Wein gelöst.

2.4.5 Ascorbinsäure

Die Ascorbinsäure und alle ihre Derivate sind unter der Bezeichnung Vitamin C bekannt. Diese Verbindung übernimmt Aufgaben in einem weitreichenden Spektrum, in der Regel als Antioxidans. Im Wein wird Ascorbinsäure als Radikalfänger und als Schutz vor untypischen Alterungsnoten (UTA) genutzt (DLR Mosel, 2022). Ascorbinsäure limitiert die Bildung von Acetaldehyd während der alkoholischen Gärung und hemmt die Bindung von Thiolen und Hydrogensulfit (OIV, 2021). Es ist nachgewiesen, dass Ascorbinsäure die Phenolstruktur stabilisiert und damit negative Farbveränderungen verhindert (Gençdağ et al., 2022; Marchante et al., 2020).

Ascorbinsäure kann mit molekularem Sauerstoff reagieren. Das heißt es kann dazu kommen, dass Ascorbinsäure für die Bildung von ROS (Kapitel 3.1) verantwortlich ist und damit auf Weinbestandteile eine oxidierende Wirkung hat (Barril et al., 2012). Diese Reaktion der Ascorbinsäure ist jedoch unüblich in Weinen mit vorhandenem Glutathion und Schwefeldioxid (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Waterhouse et al., 2016). Es wurde festgestellt, dass eine Behandlung mit Ascorbinsäure zu erhöhten Werten für Acetaldehyd führen kann (Panero et al., 2015). Ascorbinsäure wird in der Regel als Pulver vor der Dosage in gewünschter Konzentration in Wein gelöst.

2.4.6 Kurzzeiterhitzung

Die Kurzzeiterhitzung ist ein thermisches Verfahren zur Keimabtötung und Enzyminaktivierung. Das Erreichen der Zustände ist abhängig von der Temperatur und von der Zeit. Es ist eine Art der Pasteurisierung, nur werden im ausgeführten Fall keine Pasteurisierungseinheiten (PE) definiert. Eine Pasteurisationseinheit wird durch eine aufrechterhaltene Temperatur von 60 °C über eine Minute definiert. In der Regel wird eine PE zur Stabilisierung von Wein genutzt. Bei zu hohen Temperaturen dehydrieren Zucker und es kann zur Bildung der Substanz Hydroxymethylfurfural (HMF) kommen, welche als negativer sensorischer Einfluss (Kochton) identifiziert werden kann (“https://glossar.wein.plus/pasteurisierung,” 2022).

Nachteilig an dieser Methode ist die mögliche Veränderung anderer Weinparameter durch Maillard-Reaktionen, wie z.B. Farbe und Geschmack (Kulozik, 2006; Morata, 2022; Ribéreau-Gayon et al., 2006).

2.4.7 Belüftung

Hierbei wurde die Methodik der Hyperoxidation von Most auf einen fertig vergorenen Wein angewendet. Es wird dem Most oder Wein aktiv Sauerstoff zu geführt und eine Oxidation der Weinbestandteile angestrebt. Durch diese Oxidation kommt es zu einer Braunfärbung und zu Ausfällungen von Trubstoff, die vor der Gärung über einen Abstich entfernt werden können. Die in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Oxidationsreaktionen im Most werden durch Enzyme katalysiert (Kapitel 3.3.1 enzymatische Bräunungsreaktion) (Ribéreau-Gayon et al., 2006; Schneider, 1998; Waterhouse et al., 2016). Bei der Belüftung von Wein spielt die enzymatische Bräunungsreaktion aber keine Rolle, da PPO durch das vorhandene Ethanol gehemmt werden (Morata, 2022).

2.5 Licht, Farbe, Farbraum und der CIE-L-a-b-Farbraum

Für das Verständnis von Farben sind die Entdeckungen Newtons zur Lichtbrechung und der sich daraus ergebenden Prismen und deren Einteilung in Spektralfarben essenziell. Die Definition der Farben über die Summe der bestimmten Wellenlänge des Lichts ermöglichten erst neue Ansätze zum Verständnis vieler Sachverhalte in der Natur. So z.B., die Erkenntnis, dass weißes Licht ein Gemisch aus Licht mit vielen unterschiedlichen Wellenlängen ist (Bibliographischen Instituts, 1980). Lange Zeit hat die Physik die Frage nach der korrekten Definition eines Photons, ein Teilchen mit den Eigenschaften einer Welle gestellt. Heute ist es als ein masseloses, energiereiches, Drehimpuls innehaltendes und in einer bestimmten Frequenz auftretendes Teilchen aus elektromagnetischer Strahlung definiert (Brümmer, 2003). Dieses Photon erzeugt durch Auftreffen auf einen Gegenstand durch die Absorption und Reflektion bestimmter Wellenlänge für unser Auge eine Farbe. Die Farbwahrnehmung des Menschen ist eine komplexer elektrochemischer Vorgangskomplex beginnend auf der Netzhaut des Auges über die Informationsweiterleitung über Nervenzellen

bis zur Verarbeitung und Aufbereitung im Gehirn. Verantwortlich für die Aufnahme der Farbinformation sind die Fotorezeptoren, die Stäbchen, welche nur Helligkeitsunterschiede wahrnehmen können und den Zapfen. Diese Zapfen lassen sich je nach ihrer Wellenlängenempfindlichkeit in drei Typen unterscheiden, die bei 450 nm aktiven Blauvioletten, die bei 540 nm aktiven Grünen und die bei 640 nm aktiven Orangeroten. Die jeweiligen Fotorezeptoren werden biochemisch aktiviert und nach kurzer Zeit regeneriert. Nach dem Prinzip der additiven Farbmischung ergeben sich die acht Grundfarben nach anteiligem Auftreten der Wellenlänge aus dem von Gegenständen reflektierten Licht (Maschke and Maschke, 2004). Mit fortlaufender Entwicklung digitaler Farbdarstellungen haben sich einige Farbmodelle zur Darstellung von Farben durchgesetzt.

Die Modelle nach RGB oder CMYK haben sich in der digitalen Farbdarstellung durchgesetzt und basieren auf der Tatsache mit möglichst wenig Basisfarben einen großen Farbraum zu definieren. Hierbei funktioniert das RGB-Farbmodell nach der additiven Farbmischung und das CYMK-Modell nach der subtraktiven Farbmischung. In beiden Farbräumen ist es möglich nur einen Teil der realen Farben darzustellen und diese Farben variieren schon auf unterschiedlichen Geräten in der Abbildung (Maschke and Maschke, 2004).

Das CIE-L-a-b-Farbmodell basiert auf der CIE Norm von 1931 und wurde 1976 um das L-a-b-Farbsystem erweitert. Die dargestellten Farben sind rein rechnerisch erstellte Farben und sind physikalisch nicht darstellbar. Dieses Modell umfasst die Farbbereiche von RGB und CYMK und ermöglicht eine geräteunabhängiges Farbbeschreibung. Die CIE-Norm basiert auf den drei Farbrezeptoren des menschlichen Auges.

Da die Farbwahrnehmung bei jedem Menschen variiert wurde eine s. g. „Normalbetrachter“ definiert, der dem Durchschnitt der Bevölkerung entspricht. Das ergab jedoch das Problem, das die Abstände zwischen den Farben ungleich waren. Die Erweiterung dieses Farbraums um die L-a-b-Komponente löste das Problem (Brümmer, 2003). Im L-a-b-Farbraums sind die Farben im Raum einer

Kugel angeordnet. Die L-Komponente beschreibt in den Werten von 0 (Schwarz) bis 100 (Weiß) die Helligkeit. Die a-Komponente ist durch den Bereich von Grün (-a) bis Rot (a) durch Werte von -127 bis 127 definiert. Die b-Komponente beschreibt Werte von Blau (-b) bis Gelb (b) ebenfalls in den Werten von -127 bis 127.

Mit dieser mathematischen Beschreibung einer Farbe lässt sich über die Ermittlung eines Delta E (ΔE) zwischen zwei Farben eine Aussage über die Unterschiedlichkeit von Farben nach der in Tab. 2 aufgeführten Definition treffen (Brümmer, 2003; Maschke and Maschke, 2004).
ΔE aus den Farbwerten von $(L, a, b)_p$ und $(L, a, b)_v$ berechnet sich nach dem Euklidischen Abstand, über die Formel (1).

$$\Delta Ep, v = \sqrt{(Lp - Lv)^2 + (ap - av)^2 + (bp - bv)^2} \quad (1)$$

Tabelle 2: Interpretation von Farbabständen ΔE
in Anlehnung an DIN 5033

ΔE	Bewertung
0,0 – 0,5	nahezu unmerklich
0,5 – 1,0	für das geübte Auge bemerkbar
1,0 – 2,0	geringer Farbunterschied
2,0 – 4,0	wahrgenommener Farbunterschied
4,0 – 5,0	wesentlicher, selten tolerierter Farbunterschied
Oberhalb 5,0	als andere Farbe bewertet

3 Material und Methodenteil

Dieses Kapitel beschreibt anfangs, ausgehend vom Aufbau, die Eigenschaften des Vbung-Fasses. Es werden wichtige Informationen zum Lesegut und genaue weiterführende Verarbeitungsschritte genannte. Nach den Ergebnissen der Analysen vor und nach der Gärung wird in diesem Kapitel beschrieben, wie sich die Entnahme des Weines aus dem Fass und die Vorbereitung der Proben durchgeführt wurde. Es wird auf die unterschiedlichen Varianten eingegangen und beschrieben, wie diese angefertigt und vorbereitet wurden. Anschließend beschäftigt sich dieses Kapitel mit den Methoden die angefertigten Varianten untersuchen. Zuerst wird der Aufbau und die Konzeption des Fotoversuchs erklärt. Darauf folgt die Schilderung der spektralphotometrischen Untersuchung. Als letzter Punkt beschäftigt dieses Kapitel den genutzten quantitativen Analysen, die benötigt wurden, um die Gehalte der relevanten Weininhaltsstoffe zu bestimmen.

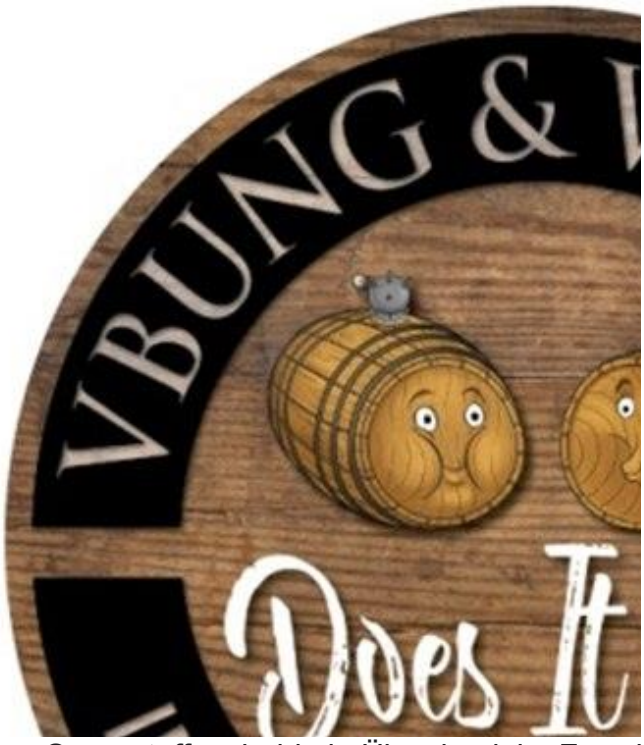
3.1 Aufbau des VBung-Fass

Das Vbung-Fass ist ein Barrique-Fass aus slawonischer Eiche mit einer medium Toastung und einer speziellen Konstruktion, um den Gaseintrag in das Holzfass zu verringern, abgebildet in Abb. 10. Um den Gaseintrag zu verringern ist zwischen den einzelnen Dauben und um die Fassböden das Fass mit Silikon abgedichtet. Zusätzlich ist einer der Fassböden zur optischen Kontrolle durch eine Acrylglasplatte ersetzt. Das Spundloch ist mit einem Spundapparat ausgestattet und ringsum ebenfalls mit Silikon abgedichtet. Deshalb kann das Fass hermetisch verschlossen werden kann. Dieser Spundapparat ist über mehrere NC-Ball-Lock-Kupplungen für Manometer, Überdruckventil, Entnahmehahn und Begasung ausgestattet. Das ermöglicht somit eine Lagerung

des Weines unter Überdruck und Unterdruck, wie auch schon dem Firmenlogo, Abb. 11, entnehmen kann.

Vivas and Glories (1997) haben in ihrer Studie die Oxidation in einem Barrique-

Fass über die Zeit untersucht und haben festgestellt, dass 21% des Sauerstoffeintrags durch das Spundloch, 63% durch die Dauben Zwischenräume und 16% des Sauerstoffs direkt durch das Holz in das Fass eingetragen wird. Wie del Alamo-Sanza und Nevares (2014) gezeigt haben erhöht sich der Sauerstoffeintrag mit Versiegelung des Spundlochs. Doch ebenso ist der Sauerstoffeintrag von den Druckverhältnissen in Fass abhängig, so verringert



sich der Eintrag von Sauerstoff, sobald ein Überdruck im Fass besteht (Qiu et al., 2018).

3.2 Weinbereitung und oenologische Analysen

Die Versuche wurden mit Weintrauben der Rebsorte Müller-Thurgau durchgeführt. Diese Beeren entstammen der Geisenheimer Lage Eibinger Weg (Versuchsfeld E6). Die Handlese erfolgte am 28.09.2021, bei einem sehr guten Gesundheitszustand der Trauben (< 5% Botrytis) und trockenen Witterungsbedingungen (bewölkt, 16 °C Lufttemperatur). Der Transport der Trauben zum Weingut der Hochschule Geisenheim erfolgte in 450 kg fassenden Einheitsbütten. Im Weingut wurde die Erntemenge durch Verwiegen der Bütten bestimmt. Im Anschluss wurden die Trauben sofort weiterverarbeitet und aus den Bütten mittels Gabelstapler und Drehkranz auf eine halboffene Tankpresse (Firma Flath, 1.800 L Pressinhalt) aufgeschüttet. Für die Ganztraubenpressung wurde das „Standard“ Pressprogramm mit einem Maximaldruck von 2,0 bar ausgewählt. Der Most wurde in der Mostwanne aufgefangen. Direkt nach Ende des Pressvorgangs wurden 225 L des unvorgeklärten Mostes aus der Mostwanne entnommen und in ein Barrique (Firma VBung) gefüllt. Die Konstruktion und Funktionsweise des Gefäßes ist Kapitel 3.1 zu entnehmen. Unter der Weinnummer 21713d wurden die weitere Dokumentation über diese Versuchsvariante durchgeführt.

Im Anschluss wurde das Barrique hermetisch verschlossen und der Spundapparat auf 0,8 bar rel. Druck eingestellt. Die alkoholische Gärung erfolgte spontan, ohne jegliche Zusätze. Der Gärverlauf wurde täglich durch Bestimmung der Dichte und des Mostgewichts überwacht. Nachdem ein Drittel des Mostzuckers vergoren war, wurde das Barriques permanent unter Freiluftbedingungen im Hof gelagert. Die Acrylglasplatte des Barriques war tagsüber während der alkoholischen Gärung nicht bedeckt. Nach Gärungsende verblieben das Barrique bis zur Probenentnahme im April 2022 im Außenbereich, wobei die Acrylglasplatte mit einem Styropordeckel abgedeckt wurde. In diesem Zeitraum erfolgten keine Eingriffe, bis auf die Nachregulierung des Fassinnendrucks mittels Stickstoffs.

Die Freisetzung der Gärungskohlensäure während der Gärung führte zu einem Druckaufbau im Fass von 0,8 bar rel. Druck. Die darüber hinaus entstehende Gärungskohlensäure wurde über ein Überdruckventil am Spundapparat

abgeblasen. Die Gärung verlief somit unter einem leichten Überdruck. Nach Gärungsende kam es bedingt durch den Lufttemperaturabfall und somit besseren Löslichkeit der Kohlensäure im Wein zu einem Druckabfall in dem Fass, welcher durch eine regelmäßige Stickstoffgabe ausgeglichen wurde und somit der Fassinnendruck auf 0,8 bar rel. Druck eingestellt wurde.

3.2.1 Analysen vor und nach der Gärung

Bei dem Most wurde vor dem Einfüllen in das Vbung-Fass eine Dichte von 1,07608 g/cm³, ergo ein Mostgewicht von 76 °Oe festgestellt. Es wurde ein pH-Wert von 3,2 und eine titrierbare Gesamtsäure von 6,1 g/L ermittelt. Eine Untersuchung der Gesamtphenole nach Folin-Ciocalleu ergab 211 mg/L. Mit Ende der Gärung am 11.20.2021 wurde für den fertig gegorenem Jungwein ein Alkoholgehalt von 87,7 g/L, ein pH-Wert von 3,7, ein Wert der Gesamtphenole von 145 g/L und ein Wert für die Gesamtsäure von 6,9 g/L bestimmt.

3.3 Entnahme und Vorbereitung des Weins

Der Wein lag bis zum Zeitpunkt der Entnahme auf der Vollhefe in dem Barrique Fass (Vbung, Tonellerie Auric Timber, slawonische Eiche, medium Toast). Die Weinentnahme erfolgte mittels Gasdrucks (Stickstoff) über den Spundapparat des Fasses. Der entnommene Wein wurde vor in 20 L Keg Fass über einen 20 x 20 cm Schichtenfilter (Tiefenfilterschicht: Firma Eaton, Becopad® 350) filtriert. Alle Schlauchleitungen, der Schichtenfilter und das 20 L Keg wurden zuvor mit Stickstoff inertisiert.

3.4 Füllung der Probeflaschen

Im nächsten Schritt wurden die acht unterschiedlichen Verfahren zur Oxidationsvermeidung vorbereitet. Dazu wurden die einzelnen Probeflaschen (transparente Glasflaschen mit Randvolumen von 212 mL) vor und nach der unterschiedlichen Behandlung durch Stickstoff inertisiert. Gefüllt wurde der Wein mit Silikonschlauch per Hand, wobei der Wein direkt aus dem Keg mittels N-Gasdruck entnommen wurde. Das Füllvolumen von 200 mL wurde über Wägung des Weines unter Berücksichtigung der Dichte ermittelt. Anschließend wurden die Flaschen mit einem MCA-Verschluss verschlossen.

3.5 Erstellung der einzelnen Versuchsvarianten

In einer vergleichenden Untersuchung wurden die abgefüllten Weine mit acht unterschiedlichen Behandlungsvarianten hinsichtlich ihres Oxidationsverhalten untersucht. Die einzelnen Varianten unterscheiden sich nach den folgenden Behandlungskriterien:

Variante 1: Kontrolle

Variante 1 entspricht einer Kontrolle ohne eine weitere Behandlung und wurde in der Folge als Vergleichsprobe genutzt.

Variante 2: Kältebehandlung

Es wurden 10 L Wein aus dem Barrique Fass entnommen und in ein mit Stickstoffgas inertisiertes 20 L Keg-Fass gelegt, welches anschließend über 24 Stunden bei -15 °C gelagert wurde. Die Weintemperatur lag bei -4 °C. Nach der Kühlphase wurde der Wein, analog zu den anderen Varianten, über einen Schichtenfilter (Tiefenfilterschicht: Firma Eaton, Becopad® 350) filtriert und mit Stickstoff überlagert.

Variante 3: Schwefeldioxid

Dem filtrierten Wein wurden 80 mg/L Schwefeldioxid zugesetzt. Dafür wurde eine 1,3%ige Lösung von schwefeliger Säure verwendet. Voraussetzung für eine gleichmäßige Verteilung der Dosage ist hierbei die korrekte Berechnung des benötigten Volumens der Schwefellösung und ein anschließendes Schütteln und damit eine Homogenisierung der Probe. Die Menge an freiem Schwefeldioxid wurde nach den Versuchen iodometrisch (Kapitel 3.8.3) im Labor bestimmt und lag bei 62 mg/L.

Variante 4: ESTAAN

ESTAAN (Biolethics Europe) ist ein derzeit sich noch in der Zulassungsphase befindliches Tannin Präparat, basierend auf pflanzlichen Polyphenolen diverser botanischer Herkunft. Es wurde den filtrierten Proben während des Füllvorgangs mit 1 mL/L zu dosiert. Anschließend wurde durch das Schütteln der befüllten und verschlossenen Probeflaschen die Proben homogenisiert.

Variante 5: Glutathion

Glutathion wurde in einer Konzentration von 40 mg/L während der Füllung zugesetzt. Nach abgeschlossenem Füllen der Flaschen, wurden die Proben durch Schütteln homogenisiert.

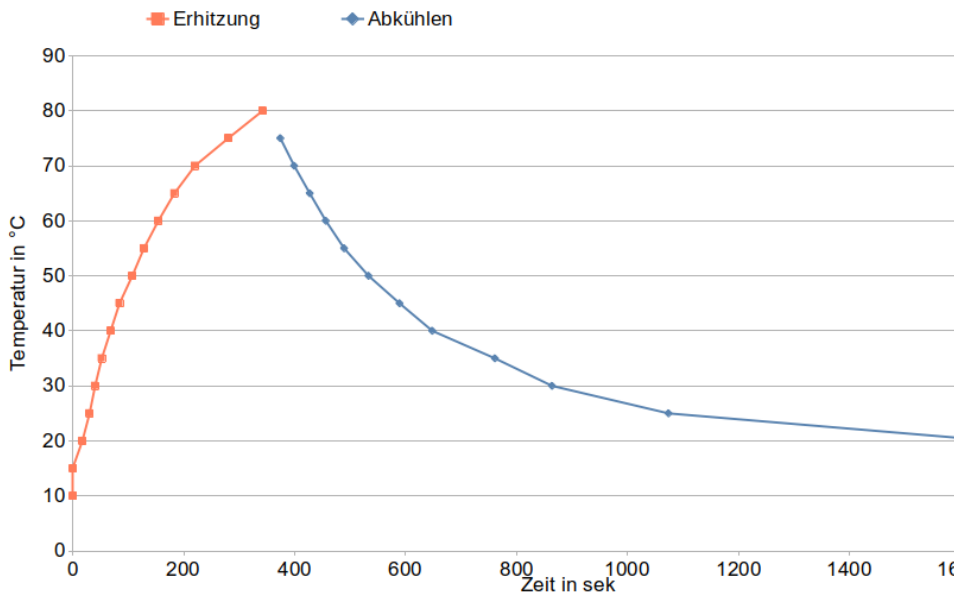
Variante 6: Ascorbinsäure

Ascorbinsäure wurde in einer Konzentration von 250 mg/L während der Füllung zugesetzt. Nach abgeschlossener Füllung der Flaschen, wurde die Proben durch Schütteln der Flaschen homogenisiert.

Variante 7: Kurzzeiterhitzung

Zwei abgefüllte, aber unverschlossene Flaschen wurden unmittelbar nach der Abfüllung nach folgendem Schema behandelt.

Zur Erhitzung der Proben wurden zwei der gefüllten Glasflaschen von oben in ein Gefäß mit 10 Liter 90 °C heißem Wasser eingetaucht und die Weintemperatur kontinuierlich mit einem Thermometer bestimmt.



So bald eine Temperatur von 80 °C erreicht war, wurden die Glasflaschen in einen Behälter mit 10 Liter 10 °C kalten Wasser gehängt. Nach Erreichen von 20 °C Weintemperatur war der Prozess abgeschlossen und die Proben wurden mit einem MCA-Verschluss verschlossen. Abb. 12 zeigt den Zeit-Temperaturverlauf des Temperaturbehandlungsprozess.

Variante 8: Belüftung mit Sauerstoff

Der filtrierte Wein wurde in eine mit reinem Sauerstoffgas vorgelegte Flasche gefüllt. Anschließend wurde die Probe mit MCA-Verschluss verschlossen und durch Schütteln homogenisiert.

3.6 Beschreibung, Aufbau und Konzeption des Fotoversuch

Die acht unterschiedlich abgefüllten Varianten wurden in einem LED-Fotostudio (Firma YORBAY) unter konstanten Lichtverhältnissen und in definiertem Zeitintervallen mit einer Kamera (Canon D 100 mit einem 50 mm F1.8 STM-Objektiv) fotografiert.

Abbildung 13:

Um gleichmäßige Bilder zu erstellen, wurde hierfür die Kamera mit einem Stativ in einem Abstand von 70 cm Abstand zur Fotobox aufgebaut und über eine zusätzliche Fernbedienung in der Selbstauslösefunktion mit aktiviertem Weißabgleich ausgelöst (Abb. 13).

Das Ziel des Fotoversuchs ist es, die optisch wahrnehmbare Veränderung der Proben über die Zeit mittels der Bilder festzuhalten.

Die Auswertung der Bilder soll eine Basis zur Untersuchung der Behandlungsvariante sein.

3.7 Beschreibung und Durchführung der Spektralanalyse

Da alle Probeflaschen wurden in doppelter Ausführung vorbereitet, wobei eine Flasche über den Beobachtungszeitraum unberührt im Fotostudio verblieb. Aus der zweiten Probeflasche jeder Variante erfolgte eine spektralphotometrische Analyse der Farbe gemäß OIV-MA-AS2-11 ("Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts," 2021) im Wellenlängenbereich von 380 – 770 nm in 10 nm Schritten. Hierzu wurde mit einer Kolbenpipette eine 3 mL Probe der einzelnen Varianten entnommen und in Kunststoffküvetten mit 1,2 cm Durchmesser gefüllt, um die spektralphotometrische Messung (Spektralphotometer photoLab 7600UV-VIS©) durchzuführen. Hierbei wurde ein Lichtstrahl durch die eingesetzte, mit einer Probe befüllte Küvette, gesendet, welcher die gemessene Transmission angab.

Es lässt sich dadurch ein Wert der Extinktion berechnen. Das Licht kann Flüssigkeiten mit Trübungen nur zu einem geringen Teil durchdringen. Bei zunehmender Partikelkonzentration fällt der Wert der Transmission exponentiell und nimmt Einfluss auf die Farbe (2). Hergeleitet ist diese Tatsache durch das Bouger-Lamber-Beersche Gesetz (Hofmann, 2013). Somit können keine nutzbaren Daten ermittelt werden.

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\Phi_N C_{ext} L_d} \qquad (2)$$

Die erhaltenen Wertetabellen wurden mittels LibreOffice Calc in den L-a-b-Farbraum umgerechnet, was es ermöglichte, eine nummerische Farbveränderungen nachzuweisen. Die Extinktion der Wellenlänge von 420 nm gibt Auskunft über den Grad der Braunverfärbung der Proben (Lopes et al., 2009).

3.8 Im Labor quantitative bestimmte Werte

Um einen Überblick über stattgefundene Reaktionen zu gewinnen, wurden jeweils eine Probe der unterschiedlichen Varianten im Labor auf unterschiedliche Inhaltsstoffe untersucht.

Es wurde folgende Analyse durchgeführt:

3.8.1 Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu

Bei allen Proben wurden die Gesamtphenole über die Folin-Ciocalteu-Reagenz nach der Methode OIV-MA-AS2-10 kolorimetrisch bestimmt. Das Erstellen einer Stammlösung mit Catechin und dem Verdünnen mit Wasser dieser Stammlösung in vorgegebenen Konzentrationen ermöglichte unter Beigabe des Folin-Ciocalteu-Reagenzes und einer Natriumcarbonatlösung über eine Spektralanalyse auf der Wellenlänge von 720 nm eine Datenerhebung. Aus diesen Daten wurde eine Kalibriergerade erstellt. Parallel dazu wurde die zu bemessende Probe Weißwein entsprechend verdünnt und ebenfalls das Folin-Ciocalteu-Reagenz und die Natriumcarbonatlösung hinzugegeben. Mit Hilfe der Kalibriergerade konnte der sich ergebende Wert in mg/L Catechin angegeben, berechnet werden.

Grundlegend für diese Nachweismethode ist die Reaktion des Folin-Ciocalteu-Reagenz mit den phenolischen Komponenten der Proben zu Molybdän- und Wolframoxid.

Zu beachten ist, dass das Folin-Ciocalteu-Reagenz stark mit Antioxidantien, wie bspw. Schwefeldioxid, Ascorbinsäure oder Glutathion, im Wein reagiert und Ergebnisse verfälscht, wenn diese nicht korrekt verrechnet sind (Morata, 2022; Ribéreau-Gayon et al., 2006; Singleton et al., 1999).

3.8.2 Flavonoidbestimmung über DMAC-Reagenz

Die Bestimmung der Flavoniode erfolgte über die Analyse der Menge des Catechins mittels einer kolorimetrischen Untersuchung unter Einsatz des Färbereagenzes Dimethylaminocinnamaldehyd (DMAC) nach Nagel and Glories, (1991).

Vergleichbar, wie bei der Gesamtphenolbestimmung, wurde eine Catechin-Stammlösung erstellt, die verdünnt und durch Beigabe des DMAC-Reagenzes eine Kalibriergerade ermittelt. Unterschiedlich ist, dass die Reaktion im sauren Milieu zwischen Catechin und DMAC stattfindet und die Wellenlänge von 640 nm kolorimetrischen bemessen wird. (Schneider and Kost, 2021).

3.8.3 Iodometrische Bestimmung der schwefligen Säure

Die angegebenen Werte über das freie Schwefeldioxid wurden über eine Titration mit einer Jodlösung nach der OIV-MA-AS323-04B-Norm ermittelt. Zuvor wurde der Probe eine geringe Menge von einer Stärke-Lösung und 25%ige Schwefelsäure hinzugegeben. Man titriert die Probe, bis diese einen Farbumschlag zu blau erreicht hat.

Das Ergebnis beinhaltete den Gehalt der Reduktone, welcher zusätzlich in einer weiteren Titration bestimmt werden musste. Diese Titration ist eine Wiederholung der durchgeführten Titration mit einer zusätzlichen Zugabe von einer Acetaldehyd-Lösung. Acetaldehyd bindet die freie schweflige Säure in der Flüssigkeit. Die Differenz beider Titrationsergebnisse liefert einen Wert der freien schwefligen Säure ("Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts," 2021).

3.8.4 FTIR-Analyse

FTIR, die Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie ist ein rein physikalisches Verfahren. Mit dieser Methode erhält man schnell viele Daten über Inhaltsstoffen der Proben, so z.B. Alkohol, Dichte, pH-Wert, Gesamtsäuregehalt, Anteil der Weinsäure, der Äpfelsäure, der flüchtigen Säure und weitere.

Die Genauigkeit der Angaben über die Inhaltsstoffe ist abhängig von der hinterlegten Datenbank und somit der durchgeführten Probenanzahl des Gerätes, da die Kalibrierung des Geräts auf einer Referenzprobenanalytik basiert.

Um Abweichungen zu minimieren, wurden die Proben vor der Messung vor Beginn der Analyse filtriert und gebundenes CO_2 entfernt. Durchgeführt wurde die Analyse mit dem FT2-Winescan mit SO_2-Modul. Hierfür wurde 50 mL der Proben über einen Papierfilter in speziell für diesen Apparat konzipierte Reagenzgläser gefüllt und direkt gemessen. Ein Programm wandelte innerhalb kurzer Zeit die Werte des durch das Interferometer aufgenommene Interferogramms über eine Fourier-Transformation in ein Spektrum um.

Damit lassen sich Aussagen zur Mengenverteilungen von Inhaltsstoffen treffen. Es ist mit diesem Verfahren möglich eine Vielzahl von unterschiedlichen Produkten, wie z.B. Jungwein, fertigen Vollwein, Obstwein und weitere Getränke, zu analysieren.
Verglichen mit quantitativ analytischen Bestimmungen unterschiedlicher Inhaltsstoffe ergeben ungenauere Werte. Jedoch werden mit einer Analyse über FTIR viele Analysewerte abgedeckt und somit gibt diese Methode schnell einen Überblick über die Probe (Teuschler, 2001).

3.8.5 Bestimmung der Eiweißstabilität

Zu Beginn wurde die Probe EK-filtriert, so dass die Trübung unter 1 NTU betrug. Die Trübungsmessung, dem s. g. Wärmetest, wurde mittels einem Trübungsphotometers durchgeführt. Anschließend wurden die Proben bei 80 °C für zwei Stunden in einem Wärmeschrank gelagert und danach in einem Eisbad herab gekühlt. Darauf erfolgte eine zweite Trübungswertbestimmung.
Aus der Differenz des Ausgangs- und des Endtrübheitswertes ist es möglich, eine Aussage zu treffen, ob der Wein eiweißstabil ist oder nicht. Bei Trübheitswerten ΔNTU > 2 wird ein Wein als instabil bezeichnet (Ribéreau-Gayon et al., 2006).

3.8.6 Bestimmung des Acetaldehydgehalts

Zur Bestimmung des Acetaldehyds wurde eine UV-Test (BOEHRINGER MANNHEIM) genutzt, welcher über die enzymatische Umwandlung durch eine Aldehyd-Dehydrogenase Acetaldehyd in Essigsäure oxidiert. Aus dem sich ergebenden Produkt und einem für die spätere Berechnung relevanten Leerwert wurden über eine spektralphotometrische Messung auf der Wellenlänge von 340 nm Werte der Extinktion errechnet. Wichtig ist hierbei, dass die Küvette mit einem Parafilm während der Messung versiegelt ist. Die erhaltenden Extinktionswerte wurden differenziert und weiter stöchiometrisch der Gehalt des Acetaldehyds errechnet. Im Falle der Bestimmung von Acetaldehyd von einer verdünnten Lösung ist ein Verdünnungsfaktor in der Rechnung zu beachten (Boehringer, 2019).

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die gewonnen Daten ausgewertet. Beginnend wurde hierbei die Analyse der Inhaltsstoffe aufgelistet und ausgewertet.
Die Spektralanalyse (Kapitel 3.7) ergab nummerische Werte für die Wellenlängen von 380 bis 770 nm in 10er Schritten. Diese Werte wurden in L-a-b-Werte umgerechnet. Alle sich ergebenen Werte sind im Anhang 3 aufgeführt. Hervorgehoben betrachtet wurden die Werte der Wellenlänge 420 nm für alle Varianten.

Anschließend wurden die Ergebnisse der spektralphotometrischen Messung gegeben und ausgewertet. Begonnen wurde mit einem Vergleich der L-a-b-Farbwerte vom Ausgangszeitpunkt bis zum Endmesspunkt nach 24 Stunden. Die einzelnen Farbkomponenten der Varianten wurden miteinander verglichen und es wurde für alle Varianten ein Farbunterschied zu einem definierten Referenzwert, Ausgangsfarbwert der Variante 3 **„Schwefeldioxid“**, errechnet. Anhand der Bewertung von ΔE (Kapitel 2.5) wurden die Farbunterschiede bewertet. Es schließt sich eine Betrachtung des Verlaufs der Farbunterschiede über die Spanne bis 24 Stunden an.

Folgend wird erklärt, wie die Abbildungen aus Anhang 1 und 2 erstellt wurden. Anschließend wurde der Fotoversuch über eine Farbentnahme ausgewertet und ein vergleichbarer Datensatz erstellt (Anhang 4), wie bei der spektralphotometrischen Messung. Anschließend wurden die L-a-b-Farbwerte zu den Zeitpunkten nach 24 Stunden und nach 21 Tagen der einzelnen Varianten ausgewertet. Es schließt sich eine Betrachtung der Farbunterschiedsentwicklung über den Zeitverlauf an.

Dieses Kapitel endet mit einer Gegenüberstellung der beiden Methoden zur Farbwahrnehmung. Hierfür wurden zum einen die wiedergegebenen Farben im Farbraum RGB gegenüberstellt und die einzelnen Farbwerte der Varianten beider Methoden zum selben Zeitpunkt miteinander verrechnet und ausgewertet.

4.1 quantitative Ergebnisse

Alle quantitativen Untersuchungen (Kapitel 3.8) wurden nach der Erstellung des Messpunkt nach 24 Stunden durchgeführt (Tab. 3). Die nicht hier aufgeführten Ergebnisse der beschriebenen durchgeführten Nachweismethoden der FTIR-Analyse (Kapitel 3.8.4) sind im Anhang 6 aufgeführt (Tab. 28). Ein Wärmetest zur Proteinstabilität wurde für die Ausgangsprobe nicht durchgeführt.

Tabelle 3: Analyseergebnisse nach 24 Stunden Lagerzeit
Ausschnitt aus Tabelle aus Anhang 6

	Gesamtphenole [mg/L]	Flavonoide [mg/L]	Nicht-Flavonoide [mg/L]	Acetaldehyd [mg/L]	Wärmetest [ΔNTU]
Kontrolle	204	21,95	182,04	2,4	0,25
Kältebehandlung	189	18,43	170,56	2,5	0,21
Schwefeldioxid	269	26,44	242,55	0,3	0,32
ESTAAN	254	24,51	229,48	1,4	2,4
Glutathion	222	20,67	201,32	1,4	0,35
Ascorbinsäure	334	19,39	314,6	3,4	0,25
Kurzzeiterhitzung	218	19,71	198,28	1,8	0,3
Belüftung	194	16,83	177,16	1,7	0,25

Für die Gesamtphenolgehalte aller Varianten lagen die Ergebnisse im Bereich von 189 mg/L bis 334 mg/L. Die Varianten 3 „**Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 269 mg/L, Variante 4 „**ESTAAN“** mit einem Wert von 254 mg/L, Variante 6 „**Ascorbinsäure“** mit einem Wert von 334 mg/L, Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 222 mg/L und Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 218 mg/L lagen oberhalb im Vergleich zur Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 204 mg/L. Den geringsten Wert wies die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von 189 mg/L auf, gefolgt von der Variante 8 **„Belüftung“** mit einem Wert von 194 mg/L.

Die Analyse für die Flavoniode ergab einen ermittelten Catechin-Gehalt im Bereich von 16 mg/L bis 26 mg/L. Ausgehend von der Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 21 wiesen die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 26 mg/L und die Variante 4 **„ESTAAN“** mit einem Wert von 24 mg/L größere Catechin-Gehalte auf. Die Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 20 mg/L, die Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 19 mg/L, die Variante 6

„Ascorbinsäure“ mit einem Wert von 19 mg/L, die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von 18 mg/L und der Variante 8 **„Belüftung“** mit einem Wert von 16 mg/L zeigten geringere Gehalte an Flavonoiden als die Variante 1 **„Kontrolle“**.

Aus der Differenz der Gesamtphenole und der Flavoniode wurden die Nicht-Flavonoide ermittelt und diese Ergebnisse lagen im Bereich von 170 bis 314 mg/L, wobei die Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit einem Wert von 314 mg/L, die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 242 mg/L, die Variante 4 **„ESTAAN“** mit einem Wert von 229 mg/L und Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 201 mg/L stark abweichende Ergebnisse von der Variante 8 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 182 mg/L ergaben. Der sich ergebende Wert für Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 198 mg/L lag ebenfalls oberhalb der Kontrollvariante. Unterhalb des Wertes der Kontrollvariante ergaben die Berechnungen für die Variante 8 **„Belüftung“** einen Wert von 177 mg/L und für die für Variante 2 **„Kältehandlung“** einen Wert von 170 mg/L.

Der Wert für Acetaldehyd zeigte eine Streuung von der Variante 3 „**Schwefeldioxid**“ 0,3 mg/L bis zur Variante 6 **„Ascorbinsäure“** von 3,2 mg/L**.** Der Gehalt von Acetaldehyd lag bei der Variante **„Kontrolle“** bei 2,4 mg/L. Ebenfalls niedrige Werte für Acetaldehyd wurde für die Variante 4 **„ESTAAN“** und Variante 5 **„Glutathion“** bei einem Wert von 1,4 mg/L nachgewiesen. Für die Variante 8 **„Belüftung“** wurde ein Wert von 1,7 mg/L ermittelt. Bei der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** ist ein Wert von 1,8 mg/L ermittelt worden. Der Wert der Variante 2 **„Kältebehandlung“** von 2,5 mg/L ist dem Wert der Kontrolle am nächsten.

Beim Wärmetest zur Bestimmung des Trübheitsgrades wurde nur für die Variante 4 **„ESTAAN“** eine Trübung nachgewiesen. Bei allen anderen Varianten wurde ein ΔNTU-Wert unterhalb 1 ermittelt.

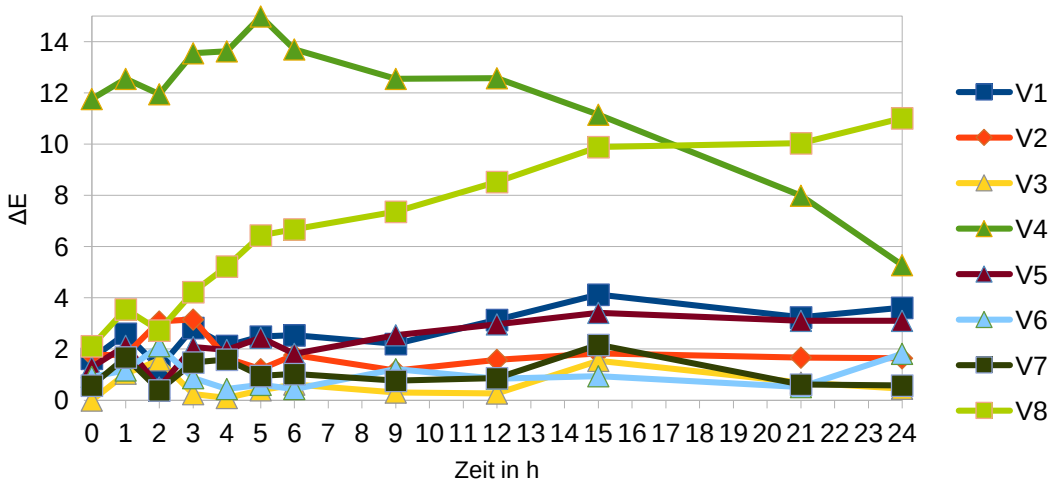
4.2 Ergebnisse der Spektralanalyse

Die Spektralanalyse ergab nummerische Wert für die Wellenlänge von 380 nm bis 770 nm in 10er Schritten. Diese Werte wurden über eine Wertetabelle und der gegebenen Funktion in die angegebenen L-a-b-Farbwerte umgerechnet. Alle sich ergebenen Werte sind im Anhang 1 (Tab. 11 - 18) aufgeführt (Ausschnitt in Tab. 4).

Tabelle 4: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten der Spektralanalyse (24 h)
(mit Umrechnung und Abbildung in RGB in html
eigene Datenerhebung

	Kontrolle	Kältebehandlung	Schwefeldioxid	ESTAAN	Glutathion	Ascorbinsäure	Kurzzeit erhitzung	Belüftung
L	96,57	98,14	99,17	94,02	96,79	100	98,69	94,12
a	0,55	-0,05	-1,05	-0,34	0,54	-0,92	-0,86	2,88
b	9,12	5,66	6,43	8,66	8,49	7,17	7,33	15,95
ΔE	3,62	1,64	0,46	5,28	3,10	1,82	0,58	11,02
RGB	fcf3e2	fdf8ee	fffcef	f3eddc	fcf4e4	fffef2	fefaec	fdebce

Abbildung 14: Streudiagramm zu Farbunterschieden der Spektralanalyse
(Zeitraum:



24 Stunden)

Die sich ergebenen L-a-b-Farbwerte wurden über die Webseite „colorizer.org“ in den RGB-Farbbereich umgerechnet und damit farblich in den jeweiligen Ergebnistabellen wiedergegeben und in der Fotoabbildung 19 zum direkten Vergleich eingesetzt.

Aus der Betrachtung der einzelnen Farbkomponenten für die spektralphotometrische Messung zum Zeitpunkt 24 Stunden ergaben sich folgende Ergebnisse:

Variante 3 **„Schwefeldioxid“** als Referenzvariante hat einen hohen L-Wert von 99,17. Nur der L-Wert der Variante 6 **„Ascorbinsäure“** war mit 100 höher. Als Variante mit dem nächsten höchsten L-Wert ist die Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 98,69 zu beschreiben. Gefolgt ist dieses Variante von der Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von 98,14, der Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 96,79, der Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 96,57 und der Variante 8 **„Belüftung“** mit einem Wert von 94,12. Der niedrigste L-Wert ergab sich für die Variante 4 **„ESTAAN“** mit einem Wert von 94,02.

Der errechnete a-Wert für die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** tendiert in den grünen Farbbereich mit einem Wert von -1,05. Ebenfalls Werte für eine Tendenz in den grünen Farbbereich ergaben die Berechnung für Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit einem Wert von -0,924, die Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von -0,86, die Variante 4 **„ESTAAN“** mit einem Wert von -0,34 und die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von -0,05. Werte mit einer Tendenz in den roten Farbbereich ergaben die Werte der Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 0,54, der Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 0,55 und die Werte der Variante 8 **„Belüftung“** mit einem Wert von 2,88.

Die errechneten b-Werte für die einzelnen Variante ergaben für alle Varianten eine Tendenz in Richtung gelb. Den geringsten Gelbanteil hatte die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von 5,88, gefolgt von der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 6,43, der Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit einem Wert von 7,17, der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 7,33, der Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 8,49, der Variante 4 **„ESTAAN“** mit einem Wert von 8,66 und der Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 9,12. Für die Variante 8 **„Belüftung“** wurde die größte Tendenz in den gelben Farbbereich errechnet mit 15,95.

Die berechneten ΔE-Werte zur Ausgangsprobe von der Variante **„Schwefeldioxid“** ergaben für die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** im Zeitraum 24 Stunden einen „nahezu unmerklichen“ Farbunterschied. Für die Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** wurde ein „nur für das geübte Auge bemerkbarer“ Farbunterschied errechnet. Für die Variante 2 **„Kältebehandlung“** und Variante 6 **„Ascorbinsäure“** wurden Werte für einen „geringen“ Farbunterschied errechnet. Die Werte der Varianten 5 **„Glutathion“** und Variante 1 **„Kontrolle“** ergaben einen „wahrgenommen“ Farbunterschied. Die errechneten Werte für die Variante 4 **„ESTAAN“** und Variante 8 **„Belüftung“** ergaben einen Wert der als neue Farbe bewertet wurde.

Das Diagramm für die Spektralanalyse auf Abb. 14 gibt wieder, wie sich diese Veränderung der Farbe zur Vergleichsprobe über die Zeit zeigt.

Über den Zeitraum von 24 Stunden ergab sich für den Versuchsverlauf nach der Definition von ΔE (Kapitel 3.7) für Variante 4 **„ESTAAN“** über alle gemessenen Werte eine Farbveränderung zur Vergleichsprobe von Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zum Versuchsbeginn mit der Bewertung zu einer anderen Farbe. Der Verlauf der Intensität der Farbveränderung nimmt über die Laufzeit des Versuches stark ab.

Bei Variante 8 **„Belüftet“** wird mit Versuchsbeginn ein wahrgenommener Farbunterschied errechnet. Bereits nach dritten Stunden zeigt diese Variante einen als „wesentlich, seltener tolerierten Farbunterschied“. Ab der vierten Stunde wird für alle weiteren Messungen eine „andere Farbe“ zur Referenzprobe festgestellt. Hierbei ist der ansteigende Farbunterschied über den Versuchsverlauf hervorzuheben.

Für die Variante 1 **„Kontrolle“** wurde zu Beginn der Messung ein „geringer Farbunterschied“ und zur letzten Messung ein „wahrnehmbarer Farbunterschied“ errechnet. Der größte Wert wurde in der Stunde 15 mit einem „wesentlichem, selten toleriertem Farbunterschied“ ermittelt. Stunde zwei weist für Variante 1 **„Kontrolle“** den geringsten errechneten Wert von einem „geringen Farbunterschied“ auf.

Variante 5 **„Glutathion“** weist zu Versuchsbeginn einen „geringen Farbunterschied“ auf und endet in einen „wahrgenommenen Farbunterschied“. Es werden in Stunde zwei Werte erreicht, die einem Wert „nur für das geübte Auge erkennbaren“ Farbunterschied entsprechen. Der maximale gemessene Farbunterschied ist in Stunde 15 gemessen und entspricht der Definition „wahrnehmbarer Farbunterschied“.

Die ermittelten Werte für Variante 6 **„Ascorbinsäure“** zeigen zu Beginn einen Farbunterschied der „nur für das übte Auge wahrnehmbar“ ist. Die Messreihe endet mit einem Wert, der einen „geringen Farbunterschied“ wiedergibt. Der Werteverlauf ist nicht gleichmäßig, sondern springt zwischen Werten die der Definition „wahrnehmbarer Farbunterschied“ und „nahezu unmerklich“.

Die Ergebnisse für Variante 2 **„Kältebehandlung“** zeigen nahezu konstante Ergebnisse mit dem Wert eines „geringen Farbunterschieds“. Lediglich in den Stunden zwei und drei wurde ein Wert für einen „wahrgenommenen Farbunterschied“ errechnet.

Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** zeigt Schwankungen in der Werten von „nahezu unmerklichen Farbunterschied“ in der zweiten Stunde bis zu einem „wahrgenommenen Farbunterschied“ in der 15. Stunde. Für Ausgangswert und Endwert ist der Wert nur „für das geübte Auge erkennbarem Farbunterschied“ errechnet.

Bei Variante 3 **„Schwefeldioxid“** ist der erste mögliche Farbunterschied zur ersten Stunde als „gering“ zu bewerten. Für das Ende der Messreihe ist eine „nahezu unmerklich Farbunterschied“ errechnet.

Für die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** wurde in der spektralphotometrischen Untersuchung das beste Ergebnis erreicht, gefolgt von Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“**, Variante 2 „**Kältebehandlung“**, Variante 6 **„Ascorbinsäure“**, Variante 5 **„Glutathion“**, Variante 1 **„Kontrolle“**, Variante 4 **„ESTAAN“** und Variante 8 **„Belüftung“**.

Betrachtet man die einzelnen errechneten Werte der Wellenlänge 420 nm für die einzelnen Varianten ergibt sich Tab. 5 und Abb. 15.

Tabelle 5: Errechnete Werte für die Wellenlänge 420 nm
der einzelnen Varianten inklusive des Mittelwertes dieser Werte
eigene Datenerhebung

	0	1	2	3	4	5	6	9	12	15	21	24	Mittelwert
V 1	0,12	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14
V 2	0,08	0,08	0,1	0,1	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,09	0,09
V 3	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,09	0,11	0,09	0,09	0,1
V 4	0,29	0,3	0,31	0,33	0,31	0,33	0,31	0,29	0,29	0,26	0,21	0,17	0,28
V 5	0,11	0,13	0,13	0,16	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13
V 6	0,1	0,11	0,09	0,11	0,09	0,09	0,1	0,08	0,1	0,09	0,1	0,07	0,09
V 7	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1	0,12	0,1	0,1	0,11
V 8	0,13	0,16	0,17	0,19	0,16	0,19	0,2	0,19	0,21	0,24	0,22	0,23	0,19

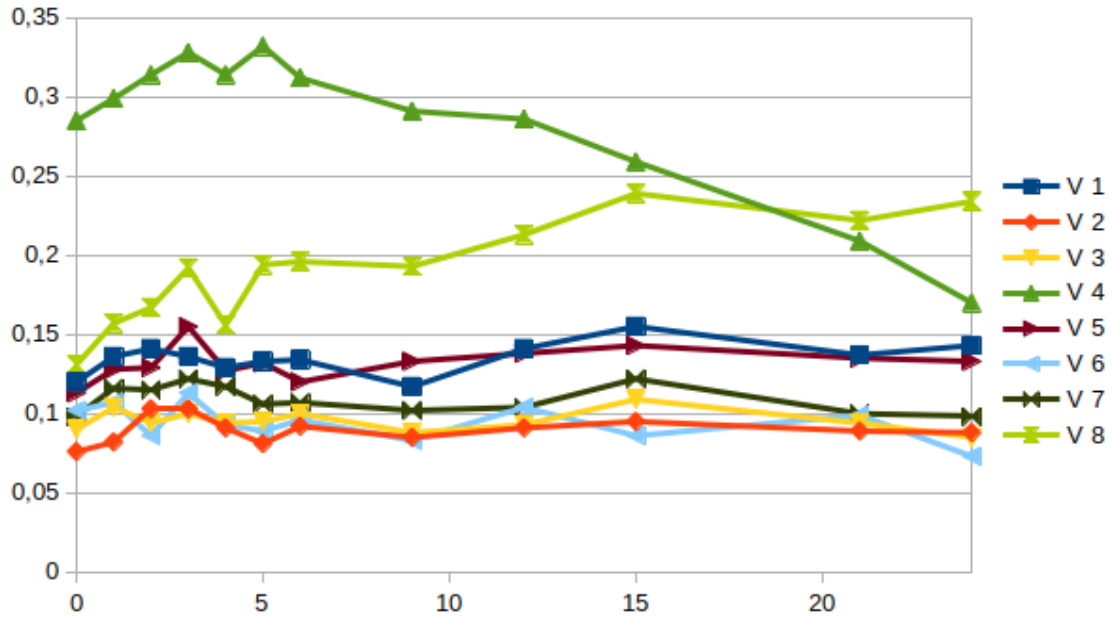


Abbildung 15: Streudiagramm der Werte der Wellenlänge 420 nm
der einzelnen Varianten über den Zeitraum von 24 Stunden
eigene Datenerhebung

Für Variante 1 **„Kontrolle“** haben sich Werte in einer Spanne von 0,12 bis 0,15 errechnet. Verglichen mit dem ersten Wert ist der zuletzt gemessene Wert größer. Ein Vergleich zu Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zeigt höhere Werte bei der Kontrolle. Der Mittelwert hierbei liegt bei 0,14.

Variante 2 „**Kältebehandlung“** hat Werte in der Spanne von 0,08 bis 0,1 ergeben. Es besteht eine Ähnlichkeit der Wert verglichen zu Variante 3 **„Schwefeldioxid“**.

Für den Mittelwert wurde ein Wert von 0,09 ermittelt. Der Ausgangswert ist kleiner als der Endwert.

Bei der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** bewegen sich die gemessene Werte in der Spanne von 0,09 bis 0,11. Der Ausgangswert entspricht dem Endwert. Es wurde hierbei ein Mittelwert von 0,1 ermittelt.
Die errechneten Werte für Variante 4 **„ESTAAN“** ergaben eine Spanne von 0,17 bis 0,33. Tendenziell fallen die Werte dieser Variante über Zeit. Diese Variante zeigt höhere Wert als die Vergleichsvariante **„Schwefeldioxid“**. Als Mittelwert wurde hier ein Wert von 0,28 bestimmt.
Eine Betrachtung der Werte der errechneten Wellenlänge 420 nm ergab bei Variante 5 **„Glutathion“** eine Spanne von 0,11 bis 0,16. Die Werte dieser Variante sind etwas höher als die der Werte der Variante 3 **„Schwefeldioxid“**. Es ergab sich ein Mittelwert von 0,13.

Für Variante 6 **„Ascorbinsäure“** wurden Werte in der Spanne von 0,07 bis 0,12 errechnet. Hierbei lag der Anfangswert über dem Endwert. Die errechneten Werte liegen fast auf demselben Niveau, wie die Vergleichsvariante **„Schwefeldioxid“**. Hierbei wurde ein Mittelwert von 0,09 bestimmt.

Für Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** lagen die ermittelten Werte in der Spanne von 0,10 bis 0,12. Der Anfangswert entspricht hier dem Endwert und ein Vergleich mit der Kontrollvariante zeigt, ähnliche Werte verglichen zur Variante **„Schwefeldioxid“**. Der errechnete Mittelwert wurde auf 0,11 ermittelt.

Bei der Variante 8 **„Belüftung“** wurde eine Spanne von 0,13 bis 0,23 ermittelt. Die Werte steigen tendenziell an und liegen über den Werten der Variante **„Schwefeldioxid“**. Hierfür wurde ein Mittelwert von 0,19 ermittelt.

Ausgehend vom Mittelwert hat die Variante 4 **„ESTAAN“** den größten Wert, gefolgt von Variante 8 **„Belüftung“**, Variante 1 **„Kontrolle“**, Variante 5 **„Glutathion“**, Variante 3 **„Schwefeldioxid“**, Variante 7

„Kurzzeiterhitzung“ Variante 2 **„Kältebehandlung“** und Variante 6 **„Ascorbinsäure“.**

4.3 Ergebnisse des Fotoversuchs

Im Gegensatz zu dem Versuch der Spektralanalyse ist der Fotoversuch über 21 Tage gelaufen. Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen sind hierbei zuerst alle Fotos in chronologischer Reihenfolge zu ordnen gewesen und anschließend zeitlich aufeinanderfolgend zusammen zu schneiden. Es wurde versucht den exakt selben Ausschnitt des gewünschten Bereichs aus allen Fotos zu erzeugen. Daraufhin wurde eine Achse zur zeitlichen Einordnung hinzugefügt, um die sich aus der Spektralanalyse ergebenen Farben zur besseren Übersicht und Verarbeitung gegenüberzustellen (Abb. 19 im Anhang 1).

Nach dem Erstellen der Darstellung wurde dem jeweiligen Bereich eine Farbe im Farbbereich RGB entnommen und ebenfalls über die Webseite (https://colorizer.org/) in Farbwerte aus dem L-a-b-Farbbereich umgerechnet.

Aus diesen Farbwerten wurden über die sich ergebenen Wertetabellen (Tab. 19 - 26 im Anhang 4), vergleichbar mit der Auswertung der Spektralanalyse wurde ein ΔE zur Ausgangsprobe von Variante 3 **„Schwefeldioxid“** errechnet, um Aussage über Farbveränderungen treffen zu können.

Zum direkten Vergleich zur Spektralanalyse wurde das Diagramm in Abb. 16 erstellt. Die Auswertung der sich ergebenden Daten wird nach Bewertungsschema der Definition von ΔE (Kapitel 2.7) durchgeführt.

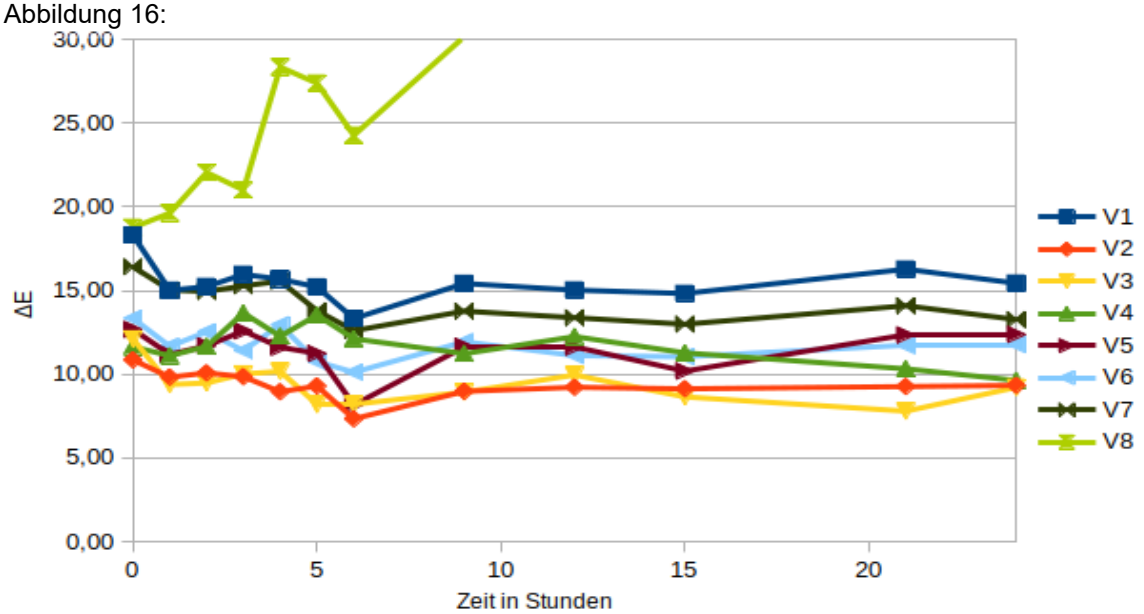
Nach Fertigstellung der Gesamtübersicht wurde für jede Probe ein Direktvergleich zur Ausgangsprobe von Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zu den Zeitpunkten 24 Stunden und 21 Tagen erstellt (Abbildung 20 in Anhang 2).

Aus der Betrachtung der einzelnen Farbkomponenten für den Fotoversuch zum Zeitpunkt 24 Stunden ergaben sich folgende Ergebnisse:

Tabelle 6: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten des Fotoversuchs (24 h)
mit Umrechnung und Darstellung in RGB in html
eigene Datenerhebung

	Kontrolle	Kältebehandlung	Schwefeldioxid	ESTAAN	Glutathion	Ascorbinsäure	Kurzzeiterhitzung	Belüftung
L	92,47	95,33	95,99	96,45	95,11	96,08	93,54	86,12
a	-6,89	-5,55	-5,86	-5,59	-5,64	-5,74	-4,78	2,58
b	22,00	12,67	13,62	16,37	19,08	16,87	18,91	50,68
ΔE	5,73	4,72	3,76	1,27	1,82	0,63	2,88	35,68
RGB	edecbf	f1f4d9	f3f6d9	f7f7d5	f5f3cc	f6f6d3	f2eec8	fad376

Abbildung 16:



Streudiagramm zu Farbunterschieden des Fotoversuchs (24 h)
eigene Datenerhebung

Der größte L-Wert wurde für die Variante **„ESTAAN“** mit 96,45 ermittelt. Der nächstgrößte L-Wert errechnete sich für die Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit 96,08. Es folgen darauf die Ergebnisse der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 95,99, die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit einem Wert von 95,33, die Variante 5 **„Glutathion“** mit einem Wert von 95,11, die Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit einem Wert von 93,54 und die Variante 1 **„Kontrolle“** mit einem Wert von 92,47. Der niedrigste L-Wert wurde für Variante 8 **„Belüftung“** mit 86,12 ermittelt.

Die errechneten a-Werte ergaben für 7 von 8 Varianten Werte im den grünen Farbbereich. Der kleinste Wert von -6,89 wurde für die Variante 1 **„Kontrolle“** ermittelt. Variante 3 **„Schwefeldioxid“** ergab in der Berechnung den nächstkleinsten Wert von -5,86. Der Wert ist gefolgt dem Wert der Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit -5,74, dem Wert der Variante 5 **„Glutathion“** mit -5,64, dem Wert der Variante 4 **„ESTAAN“** von -5,59, dem Wert der Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit -5,55 und dem Wert der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** von -4,78. Der errechnete Wert der Variante 8 **„Belüftung“** lag bei 2,58 im roten Farbbereich.

Alle errechneten b-Werte liegen im gelben Bereich. Der Wert der Variante 2 **„Kältebehandlung“** ist mit 12,67 der geringste errechnetet Wert. Gefolgt ist dieser Wert durch Werte der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** von 13,62, Variante 4 **„ESTAAN“** von 16,37, Variante 6 **„Ascorbinsäure“** von 16,87, Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** von 18,91, Variante 5 „**Glutathion“** von 19,08 und Variante 1 **„Kontrolle“** mit 22,00. Der Wert der Variante 8 **„Belüftung“** hat den größten Gelbanteil mit 50,68.

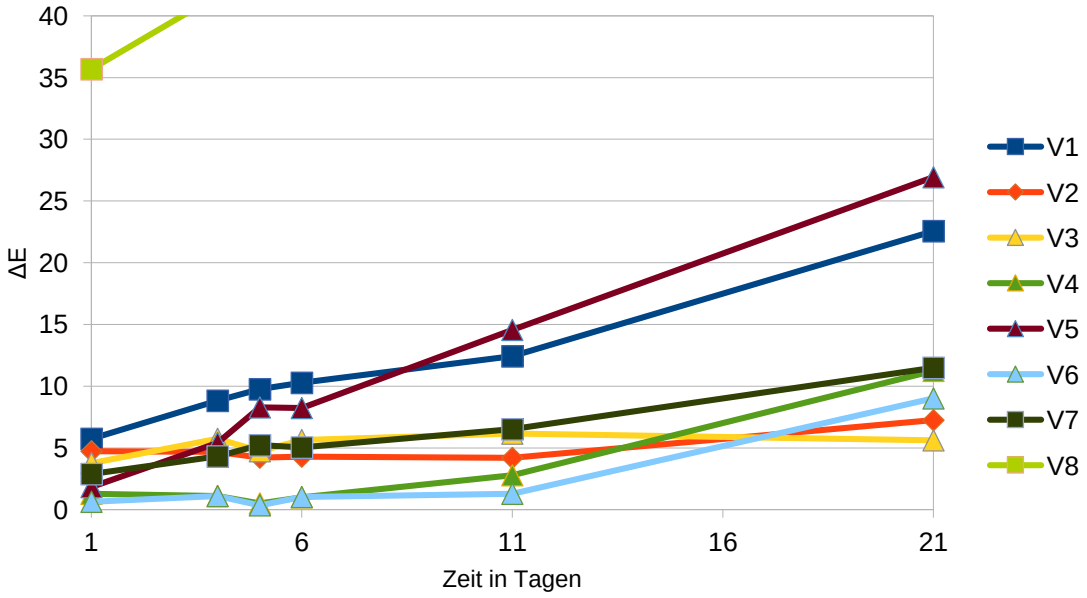
Es wurde in Bezug auf die Referenz Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zum Ausgangszeitpunkt für die Variante 6 **„Ascorbinsäure“** ein „nur für das geübte Auge bemerkbarer“ Farbunterschied errechnet. Für die Varianten 4 **„ESTAAN“** und Variante 5 **„Glutathion“** wurden „geringe“ Farbunterschiede ermittelt. Die Werte der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** und Variante 3 **„Schwefeldioxid“** ergaben einen „wahrgenommenen“ Farbunterschied auf die Referenzvariante. Es wurde der Wert eines „wesentlich, selten tolerierter“ Farbunterschied für die Variante 2 „**Kältebehandlung“** ermittelt. Für Variante 1 **„Kontrolle“** und Variante 8 **„Belüftung“** wurden Werte ermittelt, bei denen man die resultierenden Farben als „andere Farbe bewertet“.

Betrachtet man die Auswertung der Daten nach 21 Tagen errechneten sich folgende Ergebnisse (Tab. 7) und die Abb. 17.

Tabelle 7: L-a-b- und ΔE-Werte aller Varianten des Fotoversuchs (21 d)
mit Umrechnung und Darstellung in RGB in html
eigene Datenerhebung

	Kontrolle	Kältebehandlung	Schwefeldioxid	ESTAAN	Glutathion	Ascorbinsäure	Kurzzeiterhitzung	Belüftung
L	83,27	89,1	92,54	91,87	84,86	90,93	85,85	72,19
a	-4,63	-4,22	-5,58	-6,94	2,46	-6,13	-1,26	6,67
b	36,15	19,85	12,75	27,88	40,57	25,01	21,03	62,11
ΔE	22,56	7,25	5,61	11,24	26,94	9,02	11,49	52,08
RGB	dfd08b	e7e1ba	e9ecd1	efeab2	f2d087	ece7b5	e4d6af	daaa38

Abbildung 17: Streudiagramm zu Farbunterschieden des Fotoversuchs (21 d)
eigene Datenerhebu



ng

Die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zeigte den größten ermittelten L-Wert von 92,54. Der nächstgrößte Wert war der Wert der Variante 4 **„ESTAAN“** mit 91,87. Die darauffolgenden Werte der Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit 90,93, der Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit 89,1, der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit 85,85, der Variante 5 **„Glutathion“** mit 84,86 und der Variante 1 **„Kontrolle“** mit 83,27 reihten sich ein. Die Variante 8 **„Belüftung“** zeigte den niedrigsten Wert mit 72,19.

Die a-Werte ergaben sich für die Varianten **„ESTAAN“** mit -6,94, **„Ascorbinsäure“** mit -6,13, **„Schwefeldioxid“** mit -5,58, **„Kontrolle“** mit -4,63, **„Kältebehandlung“** mit -4,22 und **„Kurzzeiterhitzung“** mit -1,26 im grünen Bereich. Dagegen wurden für die Varianten 5 **„Glutathion“** mit 2,46 und Variante 8 **„Belüftung“** mit 6,67 rote Werte errechnet.

Für alle Varianten wurde der b-Wert im gelben Farbbereich errechnet. Die Variante mit dem geringsten Gelbanteil war die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** mit einem Wert von 12,75. Es folgten die Variante 2 **„Kältebehandlung“** mit 19,85, Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** mit 21,03, Variante 6 **„Ascorbinsäure“** mit 25,01, Variante 4 **„ESTAAN“** mit 27,88, Variante 1 **„Kontrolle“** mit 36,15 und Variante 5 **„Glutathion“** mit 40,57. Für die Variante 8 **„Belüftung“** wurde der größte b-Wert errechnet mit 62,11.

Für alle Varianten wurden die resultierenden Farben als „andere Farbe bewertet“.

Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der Farbunterschiede für die einzelnen Varianten ergab, geordnet nach dem stärksten Auftreten, folgende Ergebnisse:

Variante 8 **„Belüftung“** zeigte den stärksten Farbunterschied über die Zeit. Für alle Werte wurden die Farbunterschiede zum Ausgangswert von Variante 3 **„Schwefeldioxid“** als „andere Farbe bewertet“. Dabei war eine Zunahme des Farbunterschieds über die Zeit festzustellen.

Bei Variante 1 **„Kontrolle“** war schon zu Beginn ein Farbunterschied, der als „andere Farbe bewertet“ wurde, festzustellen. Die weiteren Werte schwankten von der Bewertung eines „wahrgenommenen Farbunterschieds“ und eines „wesentlich, selten tolerierten Farbunterschieds“. Die meisten Werte befanden sich jedoch im Bereich, der als „andere Farbe bewertet“ wurde.

Für Variante 2 **„Kältebehandlung“** war zu Beginn ein „wahrgenommener Farbunterschied“ errechnet. Die Versuchsreihe endete mit einem Wert für einen „wesentlich, selten tolerierten Farbunterschied“. Zur sechsten Stunde wurde für diese Variante ein Farbunterschied errechnet, der als „andere Farbe bewertet“ wurde. Die restlichen Zeitpunkte ergaben Werte im Bereich des „wahrgenommenen“ und des „wesentlich, selten tolerierten Farbunterschieds“.

Variante 3 **„Schwefeldioxid“** ergab außer zu den Zeitpunkten der fünften, sechsten und der 21. Stunde einen Wert des „wahrnehmbaren Farbunterschieds“. Diese Zeitpunkte entsprachen einem Wert für einen „wesentlich, selten tolerierten Farbunterschied“.

Für Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** begann die Messreihe mit einem Wert der als eine „andere Farbe bewertet“ wurde. Die darauffolgenden Werte bis zur vierten Stunde wurde jeweils als „selten, tolerierter Farbunterschied“ definiert. Bis auf den Wert der sechsten Stunde ergaben die restlichen Werte einen „wahrgenommenen Farbunterschieds“. In der sechsten Stunde wurde ein Wert für einen „geringen Farbunterschied“ errechnet.

Die errechneten Werte für Variante 5 **„Glutathion“** waren bis auf die Werte der ersten, dritten und der sechsten Stunde alle im Bereich eines „geringen Farbunterschieds“. Der Wert der ersten Stunde entsprach einem Farbunterschied, der „nur das geübte Auge bemerkbar“ war. Für die dritte und sechste Stunde wurden Werte für einen „wahrnehmbaren Farbunterschied“ ermittelt.

Die Werte für Variante 4 **„ESTAAN“** lagen bis auf die Werte der sechsten, neunten und der 15. Stunde im Bereich des „geringen Farbunterschieds“. In den verbleibenden Stunden ergab die Berechnung Werte für einen „wahrnehmbaren Farbunterschied“.

Variante 6 **„Ascorbinsäure“** errechnete sich in dem ersten Messwert ein „geringer“ und in dem letzten Messwert ein „nur für das geübte Auge bemerkbaren Farbunterschied“. Die errechneten Werte der ersten, dritten, neunten, und der 21. Stunde ergaben einem „nahezu unmerklichen Farbunterschied“.

Die Variante 6 **„Ascorbinsäure“** erreichte für den Fotoversuch zum Zeitpunkt der 24. Stunden das beste Ergebnis, gefolgt von Variante 4 **„ESTTAN“**, Variante 5 **„Glutathion“**, Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“**, Variante 3 **„Schwefeldioxid“**, Variante 2 **„Kältebehandlung“**, Variante 1 **„Kontrolle“** und Variante 8 **„Belüftung“**.

Ab dem Zeitpunkt 24 Stunden bis zum Ende der Versuchsreihe nach 21 Tagen ergaben sich folgende Ergebnisse, welche in Abb. 17 dargestellt wurden.

Variante 1 **„Kontrolle“** zeigte bereits nach 24 Stunden einen Farbunterschied der als „andere Farbe bewertet“ wurde. Von da an zeigten alle folgenden Ergebnisse eine Bewertung, die als eine „anderen Farbe zu bewerten“ ist und im Verlauf zunehmende Farbunterschiede aufweist.

Bei Variante 2 **„Kältebehandlung“** ergab die Berechnung am ersten Tag einen Wert für einen „wesentlich, selten tolerierter Farbunterschied“, welcher bis zur Berechnung für den elften Tag erhalten blieb. Am 21.Tag wurde für diese Variante die sich ergebene Farbe als „andere Farbe bewertet“.

Am ersten Tag wurde für die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** ein „wahrgenommener“ Farbunterschied ermittelt. Nach vier Tagen wurde die Farbe für diese Variante als „eine andere Farbe bewertet“. Am fünften Tag ermittelte sich für diese Variante ein „wesentlich, selten tolerierter Farbunterschied“. Ab dem sechsten Tag wurden alle folgenden Berechnungen der Farbe als eine „andere Farbe bewertet“.

Bei Variante 4 **„ESTAAN“** ermittelte sich für den ersten und vierten Tag ein „geringer Farbunterschied“. Für den fünften Tag wurde ein Farbunterschied errechnet, der „nur für das geübte Auge bemerkbar“ war. Die Berechnung für den sechsten Tag ergab wieder einen „geringen Farbunterschied“. Dagegen wurde für diese Variante am 11.Tag ein „wahrgenommener Farbunterschied“ errechnet. Am 21.Tag wurde die sich ergebende Farbe dieser Variante als eine „andere Farbe bewertet“.

Variante 5 „**Glutathion**“ ergab am ersten Tag einen errechneten Wert für einen „geringen Farbunterschied“. Doch schon ab dem vierten Tag ergaben alle weiter darauffolgenden Berechnungen für diese Variante einen Wert der eine „andere Farbe bewertet“.

Für Variante 6 **„Ascorbinsäure“** wurde am ersten Tag ein „nur für das geübte Auge erkennbarer Farbunterschied“ ermittelt. Am vierten ergab die Berechnung einen „geringen Farbunterschied“. Der fünfte Tag ergab in der Berechnung dagegen einen „nahezu unmerklichen Farbunterschied“. Tag sechs und elf wurde für diese Variante ein „geringer Farbunterschied“ errechnet. Für den 21.Tag wurde jedoch die sich ergebende Farbe als „andere Farbe bewertet“.

Die Berechnung des Farbunterschiedes zu Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** ergab für den ersten Tag einen „wahrgenommenen Farbunterschied“. Der vierte Tag ergab für diese Variante einen Wert von einem „wesentlich, selten tolerierter Farbunterschied“. Ab dem fünften Tag wurde alle sich ergebenden Farben als „andere Farbe bewertet“.

Für Variante 8 **„Belüftung“** wurden für alle Tage des Versuches die errechneten Farbwerte als „andere Farbe bewertet“.
Die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** erreichte für den Fotoversuch nach 21 Tagen das beste Ergebnis, gefolgt von Variante 2 **„Kältebehandlung“**, Variante 6 **„Ascorbinsäure“**, Variante 4 **„ESTAAN“**, Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“**, Variante 1 **„Kontrolle“**, Variante 5 **„Glutathion“** und Variante 8 **„Belüftung“**.

4.4 Vergleich der Methoden

In der unten gezeigten Tab. 8 ist eine Gegenüberstellung der photometrisch errechneten Daten (**S**) und der sich aus dem Fotoversuch ergebenden Daten (**F**) dargestellt. Es ist deutlich, dass keine der errechneten Farben in Tab. 8 mit der gegenüber gesetzten übereinstimmt.

Tabelle 8: Vergleich der Ergebnisfarben bei Methoden
je Zeit in RGB
eigene Datenerhebung

	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	9 h	12 h	15 h	21 h	24 h
Variante 1 Kontrolle												
S												
F												
Variante 2 Kältebehandlung												
S												
F												
Variante 3 Schwefeldioxid												
S												
F												
Variante 4 ESTAAN												
S												
F												
Variante 5 Glutathion												
S												
F												
Variante 6 Ascorbinsäure												
S												
F												
Variante 7 Kurzzeiterhitzung												
S												
F												
Variante 8 Belüftung												
S												
F												

Der nächste Vergleichsansatz berechnete die Farbabweichung der Varianten zwischen den Methoden zu den einzelnen Zeitpunkten. Der Mittelwert der errechneten Werte gab zusätzlich eine Aussage zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Die errechneten Werte sind in Tab. 27 im Anhang gegeben. Aus diesen Werten ergibt sich folgende grafische Abb. 18.

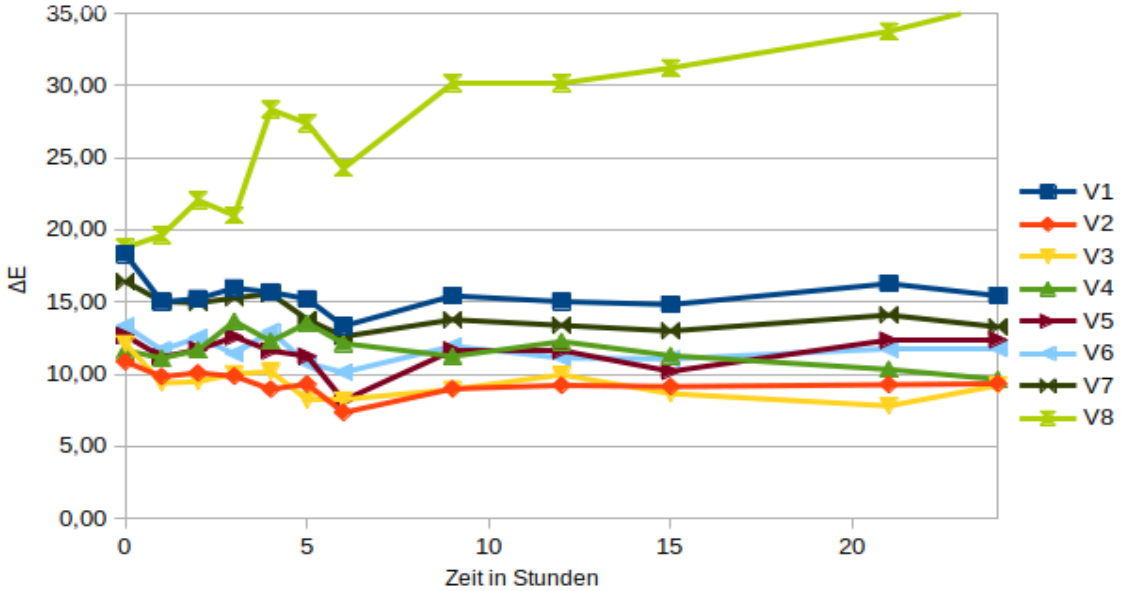


Abbildung 18: Abweichung der einzelnen Varianten methodenübergreifend
eigene Datenerhebung

Die hier errechneten Werte entsprechen den zwischen den einzelnen Methoden zur selben Zeit errechneten Farbunterschieden und wurden nach der Definition von ΔE (Kapitel 3.7) bewertet. Alle hier errechneten Werte überschreiten die Definition und ergeben keine übereinstimmenden Farben. Es zeigt sich lediglich eine Tendenz der Vergleichbarkeit.

Der Vergleich zwischen den beiden Methoden zu Variante 8 **„Belüftung“** ergab den geringsten Wert der Farbabweichung zum Ausgangszeitpunkt von 18,77 und den höchsten Wert zum Ende des Versuchs bei 35,64. Der errechnete Mittelwert ergab einen Wert von 26,86.

Dieser Vergleich angewendet auf Variante 1 **„Kontrolle“** ergab zur sechsten Stunde den Wert der geringsten Farbabweichung von 13,33. Die größte Farbabweichung errechnete sich für den Ausgangswert von 18,30. Im Mittelwert hat sich für Variante 1 **„Kontrolle“** zwischen den Methoden eine Farbabweichung von 15,48 errechnet.

Der Vergleich der errechneten Ergebnisse der Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** methodenübergreifend zeigte den geringsten Wert der Farbabweichung von 12,61 zur sechsten Stunde. Die größte Farbabweichung zeigte sich zum Ausgangszeitpunkt in Höhe von 16,42. Der Mittelwert dieser Werte ergab einen Wert von 14,26.

Für den Vergleich der Methoden für Variante 4 **„ESTAAN“** wurde der geringste Wert der Farbabweichung mit 9,64 zum Zeitpunkt zur 24.Stunde errechnet. Dagegen ergab diese Betrachtung für den Zeitpunkt zur dritten Stunde die größte Farbabweichung von 13,66. Für diese Variante ergab sich ein Mittelwert von 11,73.

Der geringste Wert der methodenübergreifenden Farbabweichung für Variante 6 **„Ascorbinsäure“** ergab sich zur sechsten Stunde mit einem Wert von 10,13. Dagegen wurde der Wert der größten Farbabweichung für diese Variante zum Ausgangszeitpunkt mit 13,34 errechnet. Ein Mittelwert aus den errechneten Werten für die Variante ergab 11,70.

Für Variante 5 **„Glutathion“** errechnete sich der geringste Wert der methodenübergreifenden Farbabweichung zur sechsten Stunde mit 8,18. Der größte Wert in Höhe von 12,68 ergab sich zum Zeitpunkt der sechsten Stunde. Aus allen Werten dieser Variante ergab sich ein Mittelwert von 11,45.

Der geringste Wert der methodenübergreifenden Farbabweichung wurde für Variante 3 **„Schwefeldioxid“** als 7,80 zur 21.Stunde errechnet. Der höchste Wert dagegen ergab zum Ausgangszeitpunkt in Höhe von 12,11. Der Mittelwert aller Werte dieser Variante wurde mit 9,35 ermittelt.

Variante 2 **„Kältebehandlung“** ergab als geringsten Wert der Farbabweichung zum Zeitpunkt der sechsten Stunde in Höhe von 7,34 und als größten Wert 10,86 zum Ausgangszeitpunkt. Der hierfür berechnete Mittelwert liegt bei 9,35.

Ein weiterer Ansatz des Methodenvergleichs basierte auf den Mittelwerten aus den Summen der einzelnen Farbkomponenten aus L-a-b-Farbbereich. Es ergab sich jeweils für die Spektralanalyse und den Fotoversuch eine Farbe (Tab. 9).

Tabelle 9: Mittelwertbildung der jeweiligen Methode zu einem L-a-b-Farbwert
(Tabelle: Eggert 2022)

	Spektralanalyse	**Fotoversuch**
Mittelwert der L-Werte	96,3989474264143	94,4132291666667
Mittelwert der a-Werte	-0,323902486669406	-5,51739583333333
Mittelwert der b-Werte	8,45305920812414	20,1959523809524
RGB-html	ffdb9f	eeebc2
Farbe dargestellt		

Die berechnete Farbe der Spektralanalyse hatte einen höheren L-Wert, einen größeren a-Wert und einen geringeren b-Wert. Die aus diesen beiden Farben berechnete Farbabweichung ergab bei 12,99.

In der nachfolgenden Tab. 10 ist eine Reihenfolge nach der Stärke der Farbabweichung zwischen den unterschiedlichen Methoden dargestellt.

Tabelle 10: Reihenfolge der Variante nach Stärke der Farbabweichung
eigene Datenerhebung

Reihenfolge	**Variante - Spektralanalyse**	**Variante - Fotoversuch**
1	8 Belüftet	8 Belüftet
2	4 ESTAAN	1 Kontrolle
3	1 Kontrolle	2 Kältebehandlung
4	5 Glutathion	3 Schwefeldioxid
5	6 Ascorbinsäure	7 Kurzzeiterhitzung
6	2 Kältebehandlung	5 Glutathion
7	7 Kurzzeiterhitzung	4 ESTAAN
8	3 Schwefeldioxid	6 Ascorbinsäure

Es fällt auf, dass nur bei Variante 8 **„Belüftung“** für beide Methoden eine Übereinstimmung erzielt wird.

5 Diskussion der Ergebnisse

In der Diskussion werden die aus dem Ergebnisteil erhaltenen Daten auf für jeweiligen die Varianten zusammengesetzt und deren Ergebnisse mit dem angestrebten Versuchsziel verglichen.
Es werden Probleme, die sich aus dem durchgeführten Vergleich ergaben, angesprochen und diese bewertet. Eine Fehlerbetrachtung soll Grundlage zur Verringerung der Abweichung bei weiterführenden Versuchen nach gleicher oder ähnlicher Methodik schaffen. Die abschließende Zusammenfassung bewertet die durchgeführten Versuche und beinhaltet ein Fazit.

5.1 Die einzelnen Varianten

Variante 3 „Schwefeldioxid“

Die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** wurde zum Ausgangszeitpunkt als Referenzvariante definiert, da diese Methode über eine lange Zeit in der Weinstabilisierung als Standard gilt. Deshalb wird auf die Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zuerst eingegangen.
Wie man in den angefertigten Abb. 19 und 20 in Anhang 1 und 2 deutlich erkennt, ergab für die Variante nur eine geringe Verfärbung. Die quantitativ bestimmten Werte zeigten ein Problem, welches durch eine Interferenz von Schwefeldioxid mit einer Nachweismethode begründet ist. Der Wert der Gesamtphenole von 269 mg/L war sehr stark abweichend von dem Gehalt der Kontrollvariante 204 mg/L und von dem Wert der nach der Gärung mit 211 mg/L gemessen wurde. Wie in Kapitel 3.8.1 beschrieben wird, inferiert das Folin-Ciocalteu-Reagenz mit der freien schwefligen Säure und verfälscht das Ergebnis. Dieses wurde während der Durchführung nicht beachtet und deshalb entstand ein abweichender Wert.

Der Wert der Flavonvoide 26,44 mg/L war ebenfalls größer als der Wert der Kontrollvariante. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass durch eine Reduktion der schwefligen Säure die schon polymerisierten Flavonoide zu monomeren Flavonoiden zerfallen sind. Die Bestimmungsmethode über Dimethylaminocinnamaldehyd (Kapitel 3.8.2) kann nur monomere Strukturen

bestimmen und damit erhöht sich der gemessene Wert. Da ein Wert der Flavonoide nach der Gärung nicht gemessen wurde und die Reaktion der Polymere durch die schweflige Säure für die eigentliche Bestimmung förderlich ist, wurde dieser Wert als Referenzwert betrachtet. Der bestimmte Wert für Acetaldehyd zeigte keine Auffälligkeiten. Die Bestimmung des Trübheitsgrad ergab keine Trübung für diese Variante.

Die Spektralanalyse ergab eine Farbe im L-a-b-Farbraum zum Zeitpunkt 24 Stunden. Im Vergleich zur Referenzvariante der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** zum Ausgangszeitpunkt, war die erhaltene Farbe heller, etwa genauso grün und gelb, wie die Referenz. Als Farbunterschied wurde für diesen Zeitraum ein geringer Wert ermittelt.

Die Betrachtung der Extinktion auf der Wellenlänge 420 nm ergab für diese Variante über den Zeitraum von 24 Stunden mit vernachlässigbar geringen Schwankungen im Mittel von 0,1.

Der Fotoversuch ergab nach 24 Stunden verglichen zur Referenzvariante eine dunklere, stärker grüne und gelbe Farbe. Es wurde hierfür ein „wahrgenommener Farbunterschied“ errechnet.

Für den Zeitraum von 21 Tagen ergab sich im Vergleich zur Referenzvariante eine dunklere, genauso grüne und stärker gelbe Farbe. Diese Farbe wurde nur knapp als „andere Farbe bewertet“.

Die Kombination aller Daten bestätigt die sehr gute Wirkung des Schwefeldioxids zum Schutz einer Oxidation des Weins. Diese Variante hat sehr gute Ergebnisse als Referenzvariante geliefert und das Versuchsziel erfüllt.

Variante 1 „Kontrolle“

Variante 1 „Kontrolle“ war die unbehandelte Vergleichsprobe. Wie aus den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2, ersichtlich wird, findet eine deutliche Veränderung der Farbe statt.

Die quantitativ ermittelten Werte der Gesamtphenole von 204 mg/L weichen von denen nach der Gärung bestimmen Gesamtphenolen von 211 mg/L ab. Zu erklären ist diese Abnahme des Gehalts mit einer Polymerisation der Flavonoide (Kapitel 2.1.3) durch stattgefundene Oxidationsreaktionen (Kapitel 2.1.2).

Der Wert der Flavoniode von 21,95 mg/L ist verglichen mit der Referenzvariante ebenfalls geringer und unterstützt denselben Erklärungsansatz. Die Nicht-Flavonoide mit 182,04 mg/L und das Acetaldehyd von 2,4 mg/L ergaben Werte, die diesen Ansatz ebenfalls unterstützen. Eine Trübung wurde bei dieser Probe nicht festgestellt.

Die Spektralanalyse und die darauf basierende Berechnung des Farbunterschieds ergab nach 24 Stunden für diese Variante im Vergleich zur Ausgangsmessung von der Variante 3 **„Schwefeldioxid“** einen „wahrgenommen Farbunterschied“. Die errechnete Farbe war im Vergleich zur Referenzvariante etwas dunkler, weniger grün und weniger gelb.

Die Betrachtung der Wellenlänge 420 nm ergab im Vergleich zu den anderen Varianten den drittgrößten braun-Farbwert. Man erkennt auch eine Zunahme der Werte über die Zeit.

Nach 24 Stunden errechnete sich für diese Variante im Fotoversuch eine Farbe, die dunkler, stärker grün und gelb als die Referenzvariante war. Die erhaltene Farbe wurde als „andere Farbe“, verglichen mit der Referenz bewertet. Im Zeitraum von 21 Tagen wurde eine dunklere Farbe als die Referenzvariante ermittelt. Diese Farbe lag weniger im grünen und deutlich stärker im gelben Farbbereich im Vergleich zur Referenz.

Aus dem Ergebnis vorangegangener Versuche wurden Annahmen getroffen, welche durch die meine Ergebnisse bestätigt werden konnten. Somit ist bewiesen, dass der Wein nach Entnahme aus dem Fass durch eine Behandlungsmaßnahme vor Oxidationen und den sich daraus ergebenden Veränderungen der Weinbestandteile zu schützen ist.

Variante 2 „Kältebehandlung“

In den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 ist erst ab dem 21. Tag des Versuchs eine Farbveränderung deutlich erkennbar.

Es konnte anhand der quantitativ ermittelten Werte der Gesamtphenole von 189 mg/L, der Flavonoide mit 18,43 mg/L, der Nicht-Flavonoide mit 170,56 mg/L im Vergleich zu den Referenzen eine Abnahme nachgewiesen werden. Diese Beobachtung unterstützt die in Kapitel 2.4.1 beschriebene Hypothese der Studie von Xia et al., 2022.

Bezieht man die Daten gemessen in der FTIR-Analyse ein, (Tab. 27 im Anhang 6) wurde für diese Variante eine geringe Weinsäurereduktion um 0,1 g/L festgestellt. Die sich dadurch ergebende Veränderung der Weinmatrix könnte eine Senkung des Redoxpotentials (Kapitel 2.1) bedeuten. Die Verschiebung des Gleichgewichts könnte bedeuten, dass ein größerer Teil des Ethanols zu Acetaldehyd oxidiert. Diese Annahme wird durch die Bestimmung des Gehalts von Acetaldehyd in Höhe von 2,5 mg/L bestätigt, da dieser Wert verglichen mit den anderen Varianten heraussticht. Es wurde für diese Variante keine Trübung festgestellt.

Die spektralphotometrische Untersuchung ergab für den Zeitpunkt 24 Stunden eine Farbe im L-a-b-Farbraum, die dunkler, weniger grün und gelb als die Referenzvariante war. Errechnet wurde nur ein „geringer Farbunterschied“.

Die errechneten Werte der Spektralanalyse auf der Wellenlänge 420 nm ergaben im Mittelwert für diese Variante einen Wert von 0,09. Verglichen mit den anderen Varianten zeigte diese Variante geringere braun-Farbwerte.

Aus dem Fotoversuch nach 24 Stunden ergab sich eine Farbe, die heller, minimal weniger grün und weniger gelb als die Referenzvariante war. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine „wahrgenommener Farbunterschied“ errechnet. Zum Zeitpunkt 21 Tage ergab sich eine Farbe, die verglichen mit der Referenzvariante deutlich dunkler, weniger grün und gelb war. Es errechnete sich hier eine Bewertung als „andere Farbe“.

Zusammenfassend muss man die Ergebnisse dieser Variante, verglichen mit den anderen Varianten, positiv bewerten. Es besteht jedoch ein deutlicher Unterschied zu den Ergebnissen der Referenz. Der geringe Aufwand bei der Durchführung für diese Variante stellt einen Vorteil gegenüber allen anderen untersuchten Varianten dar. Die einfache Durchführung dieser Behandlung spricht für diese Variante. Lediglich der erhöhte Wert des Acetaldehyds und das sich daraus ergebende erhöhte Potential, der Bildung flüchtiger Komponenten, ist als ein negativer Punkt zu bewerten.

Variante 4 ESTAAN

Aus den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 wurde erkennbar, dass es am 21. Tag zu einer Farbveränderung kam. Es ist der Abb. ebenfalls zu entnehmen, dass sich schon nach dem ersten Tag Sediment auf dem Flaschenboden gebildet hat.

Die Bestimmung der Gesamtphenole ergab einen viel höheren Wert als die Kontrollvariante. Mit einem Wert von 254 mg/L und der Tatsache, dass der Wirkungsmechanismus über dieses Behandlungsmittel auf phenolischen Verbindungen basiert, kann man davon ausgehen, dass diese in der Bestimmung (Kapitel 3.8.1) miterfasst wurden.

Dagegen ist der Wert der Flavonoide mit 24,51 mg/L eine realistische Angabe. Der Wert liegt zwar unterhalb der Referenzprobe aber mit dem ebenfalls niedrig ermittelten Wert des Acetaldehyds lässt die Annahme zu, dass ein guter Oxidationsschutz vorhanden ist.

Für diese Variante wurde nach dem Zeitraum von 24 Stunden ein Trübheitsgrad von 2,4 gemessen und damit eine Trübung nachgewiesen. Durch diese Trübung sind alle ermittelten Daten der spektralphotometrischen Messung für die Betrachtung des Sachverhalts unbrauchbar (Kapitel 3.7).

Durch den Fotoversuch wurde für den Zeitraum 24 Stunden eine Farbe ermittelt, die heller, weniger grüner und gelb im Vergleich zur Referenzvariante war. Für diesen Zeitraum wurde ein „geringer Farbunterschied“ ermittelt. Nach 21 Tagen wurde eine Farbe errechnet, die dunkler, stärker grün und gelb als die Referenz war. Die Farbe wurde von der Referenz ausgehend als „andere Farbe bewertet“.

Zusammenfassend ist zu dieser Variante zu sagen, dass es mit der positiv zu bewertenden Analyse zu den Flavonoiden und Acetaldehyd und den eigentlich guten Resultaten aus dem Fotoversuch ein guter Grundansatz für einen Schutz vor einer Oxidation der Phenole (Kapitel 2.1.2) gegeben ist.

Das Versuchsziel wurde nicht erreicht. Das Mittel eignet sich aus der Betrachtung dieses Versuchs nicht als direkte Zugabe bei der Füllung. Es wäre denkbar, dass dieses Behandlungsmittel in Vorbereitung auf die Füllung (z.B. vor der Filtration) besser einzusetzen wäre. Diese Annahme könnten weiterführende Untersuchen bestätigen werden.

Variante 5 Glutathion

Aus den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 lässt sich ab dem vierten Tag deutlich eine Farbveränderung erkennen. Die Farbveränderung zeigt deutliche rote Einflüsse. Verglichen mit den anderen Varianten wirkte diese Variante rosa. Der bestimmte Wert für die Gesamtphenole lag mit einem Wert von 222 mg/L ebenfalls über dem Wert der Messung vor der Gärung. Zu erklären ist das mit einer Interferenz mit dem Folin-Ciocalteu-Reagenz. Man könnte die Hypothese zum Pinking von Weißweinen (Kapitel 2.3), dass Glutathion-Verbindungen gebildet werden, darauf anwenden, um einen Erklärungsansatz zu finden.

Es wurde in der spektralphotometrischen Messungsmethode nach 24 Stunden eine Farbe ermittelt, die dunkler, stärkere rote und gelbe Farbkomponenten als die Referenz beinhaltete. Es wurde eine „wahrgenommener Farbunterschied“ errechnet.

Die errechneten Werte der Wellenlänge 420 nm für diese Variante lagen oberhalb der Referenzvariante, ungefähr auf dem Niveau der Kontrollvariante. Als Mittelwert wurde 0,13 wurde errechnet.

Der Fotoversuch nach 24 Stunden ergab sich eine Farbe, die nur sehr leicht dunkler, minimal weniger grün und etwas mehr gelb als die ermittelte Farbe Referenzvariante war. Nach 21 Tagen wichen die Werte deutlich von der Referenzvariante ab. Mit einem Wert der viel dunkler, deutlich in dem roten und sehr stark in dem gelben Farbbereich definiert ist.

Es wurde sehr deutlich, dass bei dieser Variante die beiden genutzten Methoden unterschiedliche Ergebnisse lieferten. Die Tendenz ins Rote wurde in der Fotodarstellung erst nach dem vierten Tag deutlich.

Dieser Variante kann man zusammenfassend eine schlechte Bewertung erteilen. Entgegen den Studien von Badea and Antoce, 2015; Gençdağ et al., 2022 oder Marchante et al., 2020 wurden ungewünschte Oxidationsprozesse in Form einer Verfärbung festgestellt. Das Versuchsziel wurde nicht erreicht.

Variante 6 Ascorbinsäure

Aus den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 lässt sich über die Versuchszeit erst gegen Ende eine Farbveränderung feststellen.

Es wurde ein deutlich erhöhter Wert der Gesamtphenole gemessen. Es war hierbei von einer Interferenz der Bestimmungsmethode nach Folin-Ciocalteu und dem Antioxidans auszugehen. Auffällig hierbei war der stark erhöhte Gehalt von Acetaldehyd von 3,2 mg/L. Eine Trübung wurde hierbei nicht festgestellt.

Im Zeitraum bis 24 Stunden wurde eine Farbe ermittelt, die im Vergleich zur Referenzvariante etwas heller, minimal weniger grün und etwas weiter im gelben Farbbereich definiert war. Es wurde hier ein „geringer Farbunterschied“ ermittelt.

Der errechnete Mittelwert für über die ausgelesenen der Daten aus dem Bereich der Wellenlänge 420 nm ergab einen niedrigen Wert von 0,09, welcher dem Wert der Referenzvariante entsprach.

Der Fotoversuch im Zeitraum bis 24 Stunden ergab eine Farbe für diese Variante, die im Vergleich zur Referenzvariante dunkler, weniger grün und weniger gelb war. In diesem Zeitraum wurde ein Farbunterschied zur Referenzvariante ermittelt der „für das geübte Auge bemerkbar“ war.

Nach 21 Tagen wurde für diese Variante eine Farbe ermittelt, die dunkler, stärker grün und deutlich stärker im gelben Farbbereich lag. Die ermittelte Farbe wurde als „andere Farbe bewertet“.

Das erhaltende Ergebnis bestätigt die Erkenntnisse der Studien von Marchante et al. (2020) und Panero et al., (2015). Ascorbinsäure stabilisiert die Phenolstruktur hat aber eine hohe Acetaldehydbildung zur Folge. Dadurch es kann vermehrt zur Bildung von flüchtigen Komponenten kommen. Ein erhöhter Gehalt an flüchtiger Säure wurde nicht gemessen (Anhang 6 Tab. 28). Zusammenfassend kann man dieser Variante als ein positives Ergebnis erteilen. Das Versuchsziel wurde erreicht.

Variante 7 Kurzzeiterhitzung

Verglichen mit der Referenzvariante ist aus den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 zu erkennen, dass es schnell zu einem Farbunterschied kommt, dieser sich jedoch über die Zeit sich nur leicht verstärkt.

Wie man den Werten entnehmen kann, ist der Wert der Gesamtphenole höher als bei der Referenzmessung. Zu erklären wäre das mit einem Abbau von polymeren Strukturen, vermutlich hydrolysierten Tannine (Kapitel 2.1.3). Das unterstützt die Tatsache, dass die Werte der Flavoniode nicht ansteigen, sondern sinken. Diese Flavonoide wurden vermutlich durch die Temperatur katalysierte Maillard-Reaktion (Kapitel 2.2) polymerisiert und sind deswegen nicht in der Bestimmung erfasst.

Die Analysen zur Bestimmung des Acetaldehyds und der Trübheitswerte ergaben keine auffälligen Ergebnisse.

In der spektralphotometrischen Messung wurde eine Farbe errechnet, die im Vergleich zur Referenzvariante nur minimal dunkler, etwas weniger grün und stärker gelb war. Der berechnete Farbunterschied zur Referenzvariante wurde auf „nur für das geübte Auge bemerkbar“ bestimmt.

Die Betrachtung der Wellenlänge 420 nm ergab ungefähr einen Wert der Referenzvariante.

Der Fotoversuch ergab im Zeitraum bis 24 Stunden eine Farbe, die im Vergleich zur Referenzvariante dunkler, weniger grün und stärker im gelben Farbbereich lag. Damit errechnete sich ein „wesentlicher Farbunterschied“.

Für den Zeitraum bis 21 Tagen errechnete sich eine Farbe, die gegenüber der Referenzvariante deutlich dunkler, um einiges weniger grün und stärker gelb war. Diese Farbe wurde als „andere Farbe bewertet“.

Zusammenfassend waren die ermittelten Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Varianten eher befriedigend. Die Methode bedarf entweder dafür konzipierte technische Lösungen oder ist sehr aufwendig in der Umsetzung. Eine Umsetzung dieser Methode nach den gelieferten Ergebnissen ist deshalb fraglich. Eine weiter zu untersuchende Variante, wäre eine Pasteurisation mit 60 °C über eine Minute.

Variante 8 Belüftung

Auf den Abb. 19 und 20 im Anhang 1 und 2 war schon direkt nach Versuchsbeginn ein sichtbarer Farbunterschied und eine Sedimentbildung am Flaschenboden festzustellen. Die ermittelten geringeren Werte der Gesamtphenole und der Flavonoide sprechen für eine Polymerisierung der Phenole, welche diese nicht mehr durch die genutzten Methoden bestimmbar macht (Kapitel 2.1.2). Die Bestimmungen von Acetaldehyd und Trübheit ergaben keine Auffälligkeiten.

Die Spektralanalyse errechnete für die Variante eine Farbe, die verglichen mit der Referenzvariante dunkler, mehr im roten und stärker im gelben Farbbereich lag. Diese Farbe wurde in Bezug auf die Referenzvariante als „andere Farbe bewertet“.

Die Betrachtung der Werte der Wellenlänge 420 nm ergaben Werte deutlich oberhalb der anderen Varianten.

Der Fotoversuch errechnete nach 24 Stunden eine Farbe, die im Vergleich zur Referenzvariante deutlich dunkler, mehr im roten und der sehr stark im gelben Farbbereich lag. Diese Farbe wurde als andere Farbe bewertet.

Nach 21 Tagen ergab sich eine Farbe, die von der Referenzvariante ausgehend, sehr deutlich dunkler, noch stärker im roten und noch stärker im gelben Farbbereich lag. Diese Farbe wurde als „andere Farbe bewertet“.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich diese Methode nicht zur Behandlung bei der Füllung geeignet. Der Prozess der Hyperoxidation (Kapitel 2.4.7) hatte eine starke Farbveränderung und eine Sedimentation am Boden der Flasche zur Folge. Beides ist in der Regel bei der Fertigstellung eines Produkts zu verhindern. Das Versuchsziel wurde nicht erreicht.

5.2 Probleme der optischen Bestimmungsmethoden

Wie sich in der Darstellung der Farben aller Varianten über die Zeit bis 24 Stunden in Kapitel 4.4 (Tab. 8) (Abb. 18) zeigt, gab es keine Übereinstimmung der errechneten Farben aus beiden genutzten Methoden.

Begründet liegt das in der Tatsache der unterschiedlichen Prinzipien der Farbentwicklung. Die spektralphotometrische Messung basiert auf der Transmission des Lichts durch die Küvette und das Foto stellt die Lichtreflektion farbig dar.
Dadurch ergibt sich die unterschiedliche Ergebnisrangfolge und die unterschiedlichen sich aus den Mittelwerten errechneten Farben.

Es zeigt sich in der Betrachtung der Verteilung der Extremwerte der Farbabweichungen zwischen den Methoden (Kapitel 4.4) (Tab. 27 im Anhang) zu bestimmten Zeitpunkten, dass bestimmte Aufnahmen häufig Extremwerte darstellen. So hat z.B. der Ausgangszeitpunkt besonders häufig die größten Farbabweichungen und in der sechsten Stunde findet man häufig die geringste Farbabweichung. Genauso ist auf der letzten Aufnahme nach 21 Tagen für alle Varianten eine dunklere Farbe wahrzunehmen.

Das lässt darauf schließen, dass beim Erstellen der verschiedenen Aufnahmen Fehler gemacht wurden (Lichtverschmutzung). Es wurde zwar versucht annähernd ähnliche Bedingungen für alle Fotos zu erstellen. Es war jedoch nicht möglich das absolut umzusetzen, da selbst ein Einschalten der Kamera dafür gesorgt hat, dass sich die eingestellte Konfiguration verändert haben.

Außerdem konnte aufgrund einer fehlenden Markierung auf den Versuchsflaschen kein konstanter Farbentnahmepunkt gewählt werden. Dadurch musste die punktuelle Farbe aus einem Bereich entnommen werden. Das führte zu Ungenauigkeiten, da es nicht möglich war auf den unterschiedlichen Bildern dem exakt selben Punkt die Farbe zu entnehmen. Man hätte für die Farbe aus einem Bereich über die Entnahme vieler Farben einen Mittelwert errechnen

können. Dieser Bearbeitungsaufwand hätte aber den Rahmen der Arbeit gesprengt.

Alternativ hätte man Software zur Farbauswertung verwenden können, umso wohl die Genauigkeit der Wert als auch die Bearbeitungszeit zu verbessern. Des weiterem ist davon auszugehen, dass der automatische regulierende Weißabgleich der genutzten Kamera nicht optimal funktioniert hat. Es wäre eine Kamera mit einem eigens definierbaren Weißabgleich von Vorteil gewesen.

Angeschlossen an einen Computer wäre es möglich, über die elektronische Farbentnahme direkt einen automatischen Weißabgleich durchzuführen. Die Steuerung der Kamera über einen Computer würde außerdem eine Automatisierung und Normierung des Prozesses der Bildaufnahme mit sich bringen.

Eine Kombination aus automatisierten Bildaufnahme und der über Software ausgewerteten Lösung würde es möglichen, ähnliche Versuche über einen langen Zeitraum ressourcenarm durchzuführen.

Allerdings zeigen jedoch schon die Ergebnisse des durchgeführten Versuches, dass Abweichungen der errechneten Resultate des Fotoversuch zu den Resultaten der Spektralanalyse im Mittel zueinander konstant waren.

Um weitere Farbverfälschungen der Fotovariante zu verringern, könnte man andere Behälter wählen. Die Glasflaschen mit dem großem Durchmesser verglichen mit dem eher kleinerer Durchschnitt der Küvette der Spektralanalyse von 12,5 mm und einer am Flaschenkopf gemessenen Glasdicke von 3 mm sind ausschlaggebende Faktoren, die Einfluss auf die Farbgenerierung (siehe Kapitel 3.7).

6 Zusammenfassung

Insgesamt ist einzuschätzen, dass der Versuch entsprechend seiner Konzeption zu positiven Aussagen geführt hat. Es wurde über unterschiedlich genutzte Methoden das Problem der Bräunung des aus dem VBung-Fass entnommenen Weines untersucht. Es wurden die Ergebnisse der einzelnen Varianten erfolgreich herausgearbeitet und gegenübergestellt. Allein auf der Basis der Ergebnisse dieses Versuches kann noch keine absolute Aussage über die Wirkung der einzelnen Behandlungen (Varianten) getroffen werden, dafür eine solche Aussage viele weitere Untersuchung gleicher Art notwendig würden. Allgemein betrachtet würde eine längere Versuchsdauer nachhaltigere Erkenntnisse zu Abgefüllten Flaschen liefern. An diesem Punkt ist es möglich, bis auf die Bestätigung der Wirkungsweise von Schwefeldioxid, Aussagen über Tendenzen über die durchgeführten anderen Behandlungsmethoden zu treffen und die durchgeführten Methoden zu bewerten. In der Tendenz hat sich gezeigt, dass die Variante 6 **„Ascorbinsäure“** und Variante 2 **„Kältebehandlung“** gute Ergebnisse erzielt haben. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Variante 4 **„ESTAAN“** auf dem derzeitigen Entwicklungsstand nicht für die Zugabe vor der Füllung eignet ist. Anstatt Variante 7 **„Kurzzeiterhitzung“** könnte man eine Pasteurisation mit 60 °C für eine Minute als Behandlung wählen. Hierbei ist über die praktische Umsetzung nachzudenken. Die Variante 8 **„Belüftung“** kann man entweder als negatives Ergebnisse weiterführen oder aufgrund des schlechten Ergebnisses als ungeeignet verwerfen. Die Variante 5 **„Glutathion“** fällt aus der Wertung, da eine ungewollte Ausprägung des Pinkings von Weißweinen (Kapitel 2.3) aufgetreten ist. Die spektralphotometrische Messung ist eine geeignete Methode, um diesen Sachverhalt der Behandlungsmaßnahmen von Wein zu untersuchen. Man sollte diese Untersuchungsmethode in jedem Fall weiterführen. Der Fotoversuch erzeugt gut verarbeitbare Daten, die sowohl einen schnellen Überblick verschaffen als auch aussagekräftige Ergebnisse liefern können. Diese Methode beinhaltet jedoch noch ein unerschlossenes Potential und bedarf deshalb der Überarbeitung in der Durchführung, um konstant aussagekräftige Daten mit einem geringen Aufwand zu erhalten.

7 Literaturverzeichnis

Andrea-Silva, J., Cosme, F., Ribeiro, L.F., Moreira, A.S.P., Malheiro, A.C., Coimbra, M.A., Domingues, M.R.M., Nunes, F.M., 2014. Origin of the Pinking Phenomenon of White Wines. J. Agric. Food Chem. 62, 5651–5659. https://doi.org/10.1021/jf500825h

Angrick, M., Rewicki, D., 1980. Die Maillard-Reaktion. Chem. Unserer Zeit 14, 149–157. https://doi.org/10.1002/ciuz.19800140503

Badea, G.A., Antoce, A.O., 2015. GLUTATHIONE AS A POSSIBLE REPLACEMENT OF SULFUR DIOXIDE IN WINEMAKING TECHNOLOGIES: A REVIEW 18.

Barril, C., Clark, A.C., Scollary, G.R., 2012. Chemistry of ascorbic acid and sulfur dioxide as an antioxidant system relevant to white wine. Anal. Chim. Acta 732, 186–193. https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.011

Bibliographischen Instituts, 1980. Meyers Grosses Handlexikon. Birkhäuser Boston, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9946-3

Biolethics Europe – – 100% PLANT BASED WINE PRESERVATIVES –, 2022. URL https://biolethics.com/ (accessed 11.21.22).

Boehringer, M., 2019. Test-Combination für 3 × 11 Bestimmungen 4.

Brümmer, H., 2003. Einige Grundbegriffe der Farbenlehre, der Farbensysteme und des Farbmanagements 18.

Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts [WWW Document], 2021. . oiv.int. URL https://www.oiv.int/en/technical-standards-and-documents (accessed 9.22.22).

del Alamo-Sanza, M., Nevares, I., 2014. Recent Advances in the Evaluation of the Oxygen Transfer Rate in Oak Barrels. J. Agric. Food Chem. 62, 8892–8899. https://doi.org/10.1021/jf502333d

DLR Mosel, 2022. Praxisleitfaden Oenologie 2022.pdf.

Eder, R., Wendelin, S., 2002. Phenolzusammensetzung und antioxidative Kapazität von Trauben und Weinen 4.

Gençdağ, E., Özdemir, E.E., Demirci, K., Görgüç, A., Yılmaz, F.M., 2022. Copigmentation and stabilization of anthocyanins using organic molecules and encapsulation techniques. Curr. Plant Biol. 29, 100238. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100238

Hofmann, M.K., 2013. Opto-fluidische Mikrosysteme zur Partikelanalyse 171.

Khider, T., 2007. Inhibition der nicht-enzymatischen Bräunung in Lebensmitteln. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Kulozik, U., 2006. Thermische Verfahren: Methoden und Kinetik der Keimreduktion und -inaktivierung in Lebensmitteln. Chem. Ing. Tech. 78, 1633–1645. https://doi.org/10.1002/cite.200600090

Li, H., Guo, A., Wang, H., 2008. Mechanisms of oxidative browning of wine. Food Chem. 108, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.065

Lopes, P., Silva, M.A., Pons, A., Tominaga, T., Lavigne, V., Saucier, C., Darriet, P., Teissedre, P.-L., Dubourdieu, D., 2009. Impact of Oxygen Dissolved at Bottling and Transmitted through Closures on the Composition and Sensory Properties of a Sauvignon Blanc Wine during Bottle Storage. J. Agric. Food Chem. 57, 10261–10270. https://doi.org/10.1021/jf9023257

Marchante, L., Marquez, K., Contreras, D., Izquierdo-Cañas, P.M., García-Romero, E., Díaz-Maroto, M.C., 2020. Potential of Different Natural Antioxidant Substances to Inhibit the 1-Hydroxyethyl Radical in SO_2 -Free Wines. J. Agric. Food Chem. 68, 1707–1713. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07024
Maschke, T., Maschke, T., 2004. Digitale Bildbearbeitung: Bildbearbeitung, Farbmanagement, Bildausgabe, Digi-Foto-Powerpack / Thomas Maschke. Springer, Berlin.
Morata, A., 2022. White wine technology. Academic Press, London.
Mortimer, C.E., Müller, U., Mortimer, C.E., 2003. Chemie: das Basiswissen der Chemie ; 520 Formelbilder, 125 Tabellen, 8., komplett überarb. und erw. Aufl. ed. Thieme, Stuttgart.
Nagel, C.W., Glories, Y., 1991. Use of a Modified Dimethylaminocinnamaldehyde Reagent for Analysis of Flavanols. Am J Enol Vitic.
Nikfardjam, M.P., 2001. Polyphenole in Weißweinen und Traubensäften und ihre Veränderung im Verlauf der Herstellung. Justus von Liebig-Universität Giessen.
Nikfardjam, M.P., Traut, A., Farr, T., Bachmann, S., Hirn, S., 2021. Einfluss kommerzieller Hefen auf flüchtige Phenole in Rieslingwein. Lebensmittelchemie 75. https://doi.org/10.1002/lemi.202158075
Nikolantonaki, M., Julien, P., Coelho, C., Roullier-Gall, C., Ballester, J., Schmitt-Kopplin, P., Gougeon, R.D., 2018. Impact of Glutathione on Wines Oxidative Stability: A Combined Sensory and Metabolomic Study. Front. Chem. 6, 182. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00182
Noctor, G., Queval, G., Mhamdi, A., Chaouch, S., Foyer, C.H., 2011. Glutathione. Arab. Book 9, 1–32. https://doi.org/10.1199/tab.0142
OIV, 2021. International code of oenological practices, 2021 issue. ed. OIV, Paris.
Oliveira, C.M., Ferreira, A.C.S., De Freitas, V., Silva, A.M.S., 2011. Oxidation mechanisms occurring in wines. Food Res. Int. 44, 1115–1126. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.050
Ough, C.S., Crowell, E.A., 1987. Use of Sulfur Dioxide in Winemaking. J. Food Sci. 52, 386–388. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06620.x
Panero, L., Motta, S., Petrozziello, M., Guaita, M., Bosso, A., 2015. Effect of SO2, reduced glutathione and ellagitannins on the shelf life of bottled white wines. Eur. Food Res. Technol. 240, 345–356. https://doi.org/10.1007/s00217-014-2334-5
Panth, N., Paudel, K.R., Parajuli, K., 2016. Reactive Oxygen Species: A Key Hallmark of Cardiovascular Disease. Adv. Med. 2016, 1–12. https://doi.org/10.1155/2016/9152732
Pasteurisierung [WWW Document], n.d. . wein.plus. URL https://glossar.wein.plus/pasteurisierung (accessed 11.21.22).
Popa, V., 2022. VbungVdoor - No Added Additives and Preservatives Winemaking [WWW Document]. URL https://www.vbungvdoor.com/ (accessed 11.27.22).
Qiu, Y., Lacampagne, S., Mirabel, M., Mietton-Peuchot, M., Ghidossi, R., 2018. Oxygen desorption and oxygen transfer through oak staves and oak

stave gaps: an innovative permeameter. OENO One 52. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.1.909
Quosdort, S.Y., 2015. In vitro Studien zur Aktivität von Flavan-3-olen und Proanthocyanidinen: Neuraminidase-inhibierende sowie vasorelaxierende Effekte.
Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., 2006. Handbook of enology, 2nd ed. ed. John Wiley, Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ.
Schneider, V., 1998. Must Hyperoxidation: A Review 49, 9.
Schneider, V., Kost, C., 2021. ROUTINE MEASUREMENT OF FLAVONOID PHENOLS RELATED TO AS- TRINGENCY AND PREMATURE AGING OF WHITE WINES, AND TECH- NICAL CONSEQUENCES 12.
Singleton, V.L., 1992. Tannins and the Qualities of Wines, in: Hemingway, R.W., Laks, P.E. (Eds.), Plant Polyphenols. Springer US, Boston, MA, pp. 859–880. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3476-1_51
Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M., 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent, in: Methods in Enzymology. Elsevier, pp. 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1
Teuschler, S., 2001. Prinzip und Anwendungsmöglichkeiten der FTIR in der Weinanalytik 2.
Ullrich, R., Hofrichter, M., 2007. Enzymatic hydroxylation of aromatic compounds. Cell. Mol. Life Sci. 64, 271–293. https://doi.org/10.1007/s00018-007-6362-1
Waterhouse, A.L., Sacks, G., Jeffery, D., 2016. Understanding Wine Chemistry 472.
Xia, N., Cheng, H., Yao, X., Pan, Q., Meng, N., Yu, Q., 2022. Effect of Cold Stabilization Duration on Organic Acids and Aroma Compounds during Vitis vinifera L. cv. Riesling Wine Bottle Storage. Foods 11, 1179. https://doi.org/10.3390/foods11091179
Xie, H., Huang, J., Woo, M.W., Hu, J., Xiong, H., Zhao, Q., 2021. Effect of cold and hot enzyme deactivation on the structural and functional properties of rice dreg protein hydrolysates. Food Chem. 345, 128784. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128784

Anhang

Anhang 1: Gesamtübersicht über 21 Tage

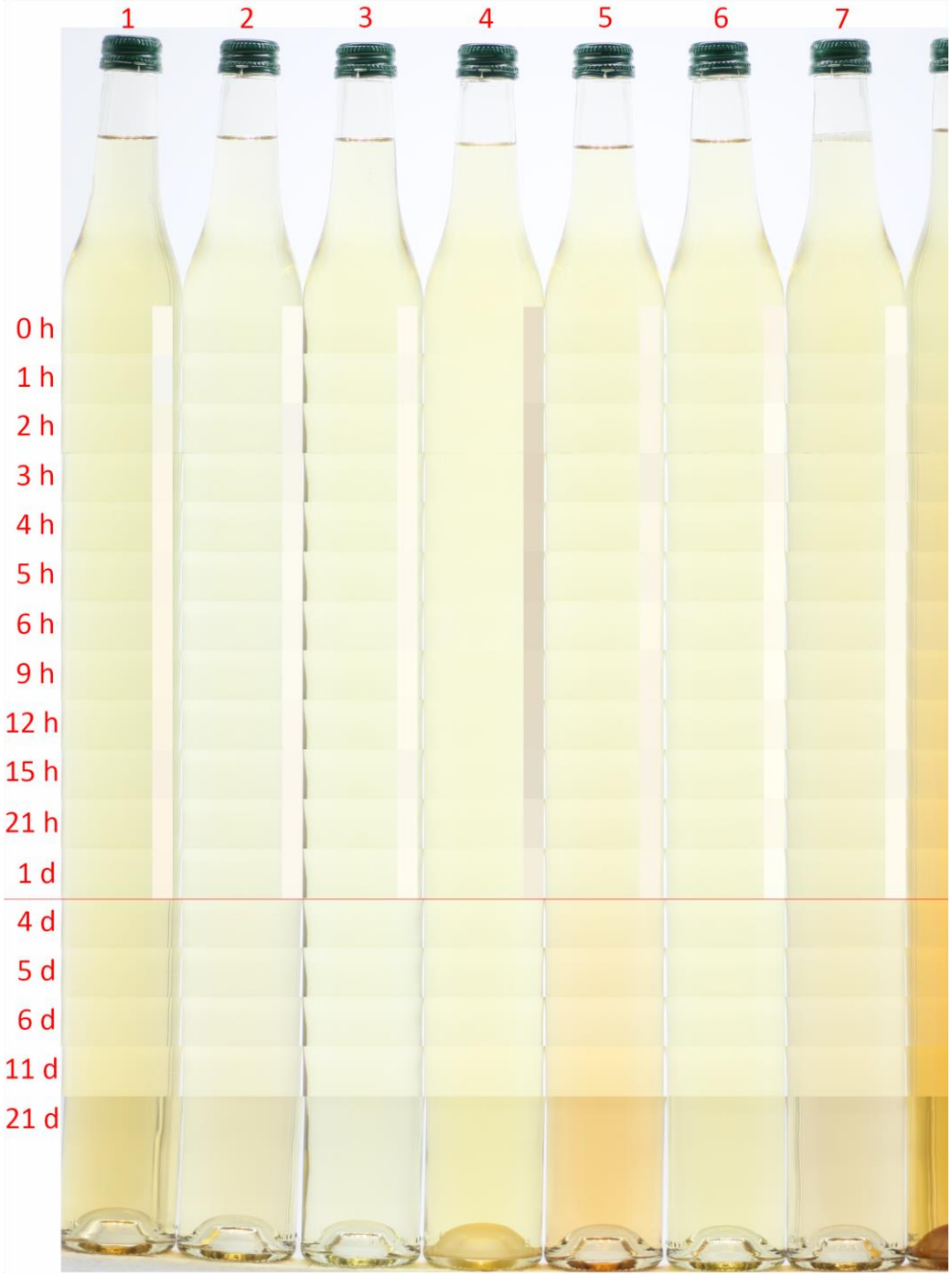


Abbildung 19: Gesamtübersicht die durchgeführten Behandlungsvarianten
Variante 1: Kontrolle, Variante 2: Kältebehandlung, Variante 3: Schwefeldioxid, Variante 4: ESTAAN, Variante 5: Glutathion, Variante 6: Ascorbinsäure, Variante 7: Kurzzeiterhitzung, Variante 8: Belüftung
Zusätzlich wurde bis 24 Stunden die sich aus der Spektralanalyse errechnete Farbe in den Ausschnitt an den rechten Rand eingefügt.

Anhang 2: Abbildung Variantenvergleich zu Schwefeldioxid

Abbildung 20: Optischer Vergleich der einzelnen Varianten zu Schwefeldioxid
über den Zeitraum von 24 Stunden(oben) und 21 Tagen (unten); links: Vergleichsprobe, rechts: Schwefeldioxid
eigene Datenerhebung

Anhang 3: Daten der Spektralanalyse

Tabelle 11: Tabelle 5: Spektralanalyse Variante 1 Kontrolle
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	97,66	96,60	96,46	97,02	97,55	97,06	97,18	98,75	96,65	95,53	96,93	96,57
a	-0,66	-0,91	-0,80	-0,43	-0,55	-0,47	-0,19	-0,16	0,06	0,37	0,43	0,55
b	7,79	7,96	8,18	8,43	8,38	8,38	8,50	8,86	8,74	8,76	8,96	9,12
ΔE	1,63	2,6	1,27	2,83	2,13	2,49	2,55	2,21	3,14	4,13	3,24	3,62
RGB	fcf8e9	f5f5ef	f8f4e4	f8f4e4	fcf7e7	fbf5e5	fcf6e5	fcf6e5	fbf4e3	f8f0e0	fdf4e4	fcf3e2

Tabelle 12: Spektralanalyse Variante 2 Kältebehandlung
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	98,62	98,29	96,31	96,78	97,97	98,67	97,85	98,55	97,96	97,7	97,91	98,14
a	-0,68	-0,82	-0,81	-0,56	-0,72	-0,71	-0,45	-0,55	-0,39	-0,18	-0,2	-0,05
b	5,07	5,15	5,03	5,47	5,47	5,63	5,49	5,77	5,67	5,67	5,69	5,66
ΔE	1,77	1,77	3,08	3,16	1,65	1,22	1,76	1,16	1,58	1,83	1,67	1,64
RGB	fdfaf0	fcf9ef	f6f4ea	f8f5ea	fbf8ed	fdfaef	fbf8ed	fdfaef	fcf8ed	fcf7ec	fcf8ed	fdf8ee

Tabelle 13: Spektralanalyse Variante 3 Schwefeldioxid
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	14,26	14,23	20,35	20,68	13,53	10,70	14,20	10,26	13,13	14,57	13,67	13,49
a	57,96	59,08	31,25	35,12	65,94	79,95	63,24	83,49	69,94	63,76	67,86	68,34
b	52,16	52,13	62,67	63,23	50,91	46,03	52,07	45,28	50,22	52,70	51,15	50,84
ΔE	0,00	1,04	1,57	0,25	0,10	0,39	0,62	0,31	0,27	1,54	0,69	0,46
RGB	fefbee	fbf8eb	fefbed	fefbed	fefbee	fdfaed	fdf9ec	fffcee	fefbed	faf7ea	fcfaed	fffcef

Tabelle 14: Spektralanalyse Variante 4 ESTAAN
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	89,15	88,36	87,05	86,10	86,83	85,20	86,56	87,62	87,18	88,25	91,33	94,02
a	0,50	0,55	0,55	0,89	0,68	0,68	0,62	0,57	0,46	0,17	-0,10	-0,34
b	13,20	13,42	13,17	13,15	12,86	12,58	12,48	12,06	11,09	9,85	9,16	8,66
ΔE	11,77	12,56	11,96	13,55	13,62	14,98	13,70	12,56	12,58	11,15	7,99	5,28
RGB	e9dec6	e9dec6	e3d8c0	e1d5bd	e2d7c0	ded3bc	e1d7c0	e4dac4	e2dac5	e4dccea	e5d4	f3eddc

Tabelle 15: Spektralanalyse Variante 5 Glutathion
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	97,85	97,10	97,26	95,24	97,72	97,03	98,19	97,10	96,64	96,10	96,64	96,79
a	-0,89	-0,87	-0,83	-0,72	-0,55	-0,48	-0,44	-0,18	0,07	0,22	0,44	0,54
b	7,53	7,90	8,05	8,18	8,31	8,29	8,40	8,41	8,40	8,33	8,39	8,49
ΔE	1,30	2,13	0,51	2,08	1,96	2,45	1,82	2,54	2,96	3,42	3,10	3,10
RGB	fcf8e9	faf6e6	fbf6e6	f5f0e0	fdf7e7	fbf5e5	fef9e8	fcf5e5	fbf4e4	f9f2e3	fbf4e4	fcf4e4

Tabelle 16: Spektralanalyse Variante *6 Ascorbinsäure*
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	11,27	16,16	3,92	15,91	15,30	17,68	14,54	18,11	19,89	21,64	20,46	20,44
a	97,35	79,76	133,90	83,44	87,14	76,70	91,23	75,91	68,15	60,03	65,62	66,62
b	47,01	55,45	34,34	55,01	53,96	58,07	52,65	58,81	61,88	64,89	62,85	62,83
ΔE	0,92	1,17	2,11	0,87	0,45	0,61	0,44	1,22	0,84	0,95	0,52	1,82
RGB	fcf4e4	fbf8ea	fffdef	faf7e9	fffced	fffdee	fefbed	fffef0	fdf9eb	fffeef	fdfaec	fffef2

Tabelle 17: Spektralanalyse Variante *7 Kurzzeiterhitzung*
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	98,56	97,35	97,64	97,08	97,44	98,17	98,12	98,52	98,33	96,82	98,62	98,69
a	-0,90	-0,92	-0,96	-0,91	-0,87	-0,89	-0,98	-0,91	-0,86	-0,85	-0,86	-0,86
b	7,26	7,41	7,53	7,60	7,37	7,39	7,44	7,45	7,44	7,34	7,33	7,33
ΔE	0,58	1,69	0,40	1,48	1,59	0,96	1,03	0,77	0,87	2,17	0,62	0,58
RGB	fefaec	faf7e8	fbf7e9	faf6e7	fbf7e8	fdf9ea	fcf9ea	fdf9eb	fdf9eb	f9f5e7	fefaec	fefaec

Tabelle 18: Spektralanalyse Variante *8 Belüftet*
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	97,27	96,28	96,61	95,22	98,70	95,66	95,73	96,51	95,07	92,99	94,64	94,12
a	-0,75	-0,42	-0,09	0,23	0,39	0,60	0,68	1,14	1,64	1,90	2,50	2,88
b	8,12	9,13	10,24	11,05	11,85	12,13	12,44	13,44	13,95	14,18	15,20	15,95
ΔE	2,12	3,56	2,72	4,23	5,22	6,44	6,68	7,36	8,52	9,88	10,04	11,02
RGB	fbf6e6	f9f3e2	fbf4e0	f9f0db	fff9e3	fbf1da	fcf1da	fff3da	fff1d8	f7e8cf	fdecd1	fdebce

Anhang 4: Daten des Fotoversuch

Tabelle 19: Fotoversuch Variante 1 Kontrolle
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	92,39	93,54	92,14	93,15	93,09	92,76	93,12	92,84	93,04	92,84	92,57	92,47
a	-7,45	-6,73	-6,74	-7,02	-7,24	-7,10	-6,87	-6,74	-7,46	-6,74	-8,11	-6,89
b	23,95	21,46	21,53	22,45	21,85	21,38	19,30	21,49	21,24	21,49	22,12	22,00
ΔE	7,53	4,71	5,55	5,8	5,36	5,12	3,38	5,09	4,96	5,09	6,11	5,74
RGB	edecb	f0efc	eceb	efeec	eeee	eded	edeec	eeed	edeec	eeed	ebedb	edecb

	4d	5d	6d	11d	21d
L	91,81	91,32	91,38	91,11	83,27
a	-7	-6,04	-5,8	-5,58	-4,63
b	25,2	26,09	26,7	28,91	36,15
ΔE	8,82	9,76	10,29	12,43	22,56
RGB	edeab	eee8	efe8b	f0e7a	dfd08

Tabelle 20: Fotoversuch Variante 2 Kältebehandlung
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	95,42	95,31	94,94	95,29	95,68	95,26	95,70	95,68	95,26	95,33	94,99	95,33
a	-5,33	-5,71	-5,87	-5,87	-5,55	-5,90	-5,25	-5,55	-5,90	-5,55	-5,55	-5,55
b	14,35	13,15	13,65	13,64	12,66	12,56	10,61	12,66	12,56	12,67	12,68	12,67
ΔE	3,09	4,24	3,8	3,75	4,72	4,83	6,79	4,72	4,83	4,73	4,76	4,73
RGB	f3f4d6	f1f4d8	f0f3d6	f1f4d7	f2f5da	f0f4d9	f1f5de	f2f5da	f0f4d9	f1f4d9	f0f3d8	f1f4d9

	4d	5d	6d	11d	21d
L	94,51	94,49	94,22	94,56	89,1
a	-4,52	-4,67	-4,33	-4,32	-4,22
b	13,05	13,53	13,66	13,65	19,85
ΔE	4,69	4,21	4,29	4,2	7,25
RGB	f1f1d65	f1f1d4	f1f0d	f2f1d5	e7e1ba

Tabelle 21: Fotoversuch Variante 3 Schwefeldioxid
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	95,71	96,09	97,34	95,72	95,72	96,01	96,36	96,33	95,60	96,33	97,07	95,99
a	-5,89	-5,48	-5,76	-5,63	-5,63	-5,70	-5,70	-5,86	-6,18	-5,86	-5,53	-5,86
b	17,37	14,82	14,93	15,31	15,31	13,13	13,12	13,86	14,60	13,61	12,62	13,62
ΔE	0	2,61	2,94	2,08	2,08	4,25	4,3	3,56	2,79	3,81	4,95	3,76
RGB	f5f5d1	f5f6d7	f5f6d7	f4f5d5	f3f6d7	f3f6da	f4f7db	f4f7da	f2f5d6	f4f7da	f6f9de	f3f6d9

	4d	5d	6d	11d	21d
L	96,07	96,03	95,8	95,82	92,54
a	-5,22	-5,54	-4,88	-4,72	-5,58
b	11,68	12,65	11,81	11,32	12,75
ΔE	5,74	4,74	5,65	6,16	5,61
RGB	f3f6dd	f3f6db	f3f5dc	f3f5dd	e9ecd1

Tabelle 22: Fotoversuch Variante *4 ESTAAN*
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	96,99	97,15	96,45	97,03	96,80	96,82	96,79	96,42	96,45	96,57	96,03	96,45
a	-6,54	-5,58	-5,59	-6,23	-5,58	-5,43	-5,47	-5,63	-5,59	-4,93	-5,94	-5,59
b	18,16	16,35	16,37	17,20	16,36	15,88	14,79	15,29	16,37	15,52	16,27	16,37
ΔE	1,64	1,79	1,28	1,37	1,52	1,91	2,83	2,21	1,28	2,25	1,15	1,28
RGB	f8f9d37	f9f9d5	f7f7d5	f8f9d5	f8f8d6	f8f8d7	f7f8d9	f6f7d7	f7f7d5	f8f7d7	f5f6d4	f7f7d5

	4d	5d	6d	11d	21d
L	95,68	95,69	95,67	95,84	91,87
a	-5,94	-6,04	-6,19	-5,57	-6,94
b	16,28	17,85	18,33	20,14	27,88
ΔE	1,09	0,5	1,01	2,79	11,24
RGB	f4f5d30	f5f5d	f5f5cf	f8f5cc	efeab2

Tabelle 23: Fotoversuch Variante 5 Glutathion
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	95,73	95,84	95,67	95,91	96,02	96,24	96,24	95,40	95,82	95,61	95,46	95,11
a	-5,99	-5,34	-6,19	-6,84	-6,19	-6,74	-4,78	-5,84	-5,49	-4,69	-5,64	-5,64
b	18,94	18,08	18,33	19,17	18,32	17,59	15,05	18,47	18,57	17,25	19,07	19,08
ΔE	1,57	0,91	1,01	2,05	1,04	1,03	2,63	1,14	1,27	1,21	1,74	1,83
RGB	f6f5ce	f7f5d0	f5f5cf	f5f6ce	f6f6d0	f5f7d2	f7f6d7	f5f4ce	f7f5cf	f7f4d1	f6f4cd	f5f3cc

	4d	5d	6d	11d	21d
L	93,82	93,45	93,27	92,59	84,86
a	-3,7	-2,42	-3,29	-2,1	2,46
b	21,94	24,54	24,78	31,07	40,57
ΔE	5,41	8,28	8,22	14,55	26,94
RGB	f7eec3	faecbd	f8ecbc	fce9ae	f2d087

Tabelle 24: Fotoversuch Variante 6 Ascorbinsäure
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	95,46	95,37	95,35	95,71	95,52	96,10	96,12	95,71	95,74	95,68	95,71	96,08
a	-5,64	-5,90	-6,05	-5,89	-6,90	-5,59	-5,44	-5,89	-5,74	-5,94	-5,89	-5,74
b	19,07	17,38	17,86	17,37	18,10	16,38	15,90	17,37	16,88	16,28	17,37	16,87
ΔE	1,74	0,34	0,63	0	1,26	1,11	1,59	0	0,51	1,09	0	0,64
RGB	f6f4cd	f4f4d0	f4f4cf	f5f5d1	f3f5cf4	f6f6d	f6f6d5	f5f5d1	f5f5d2	f4f5d3	f5f5d1	f6f6d3

	4d	5d	6d	11d	21d
L	95,68	95,37	95,76	95,48	90,93
a	-5,94	-5,9	-5,59	-5,49	-6,13
b	16,28	17,38	16,4	18,58	25,01
ΔE	1,09	0,34	1,02	1,29	9,02
RGB	f4f5d3	f4f4d0	f5f5d3	f6f4ce	ece7b5

Tabelle 25: Fotoversuch Variante 7 Kurzzeiterhitzung
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	94,10	93,98	94,06	94,04	94,23	94,04	94,43	94,19	93,86	94,14	93,77	93,54
a	-5,79	-6,23	-5,87	-6,01	-6,73	-5,79	-5,49	-5,07	-4,93	-5,29	-5,44	-4,78
b	22,28	21,07	21,19	21,68	21,43	19,61	18,63	19,85	19,38	19,25	19,75	18,91
ΔE	5,17	4,1	4,16	4,62	4,4	2,8	1,84	3,02	2,9	2,52	3,1	2,88
RGB	f4f0c3	f2f0c5	f3f0c5	f3f0c4	f2f1c5	f2f0c8	f3f1cb	f4f0c8	f3efc8	f3f0c9	f2efc7	f2eec8

	4d	5d	6d	11d	21d
L	92,54	92,64	92,41	91,72	85,85
a	-4,72	-4,28	-3,64	-3,7	-1,26
b	20,05	21,27	20,43	22,05	21,03
ΔE	4,31	5,22	5,03	6,53	11,49
RGB	f0ebc3	f2ebc1	f2eac2	f1e8bd	e4d6af

Tabelle 26: Fotoversuch Variante 8 Belüftet
eigene Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	1d
L	92,51	91,01	90,17	90,17	88,77	88,59	88,76	88,03	88,01	86,93	86,26	86,12
a	-7,00	-5,94	-5,21	-5,21	-4,04	-3,25	-2,19	-2,79	-1,30	0,16	1,77	2,58
b	25,16	27,21	30,69	30,69	38,02	38,30	35,51	42,12	43,14	44,75	47,89	50,68
ΔE	8,49	10,9	14,44	14,44	21,86	22,26	19,78	26,1	27,28	29,38	32,85	35,68
RGB	efecb9	eee7b1	efe4a8	efe4a8	f1df96	f2de95	f3de9b	f3dc8c	f6db8a	f6d784	f8d47c	fad376

	4d	5d	6d	11d	21d
L	84,81	83,64	82,21	79,78	72,19
a	4,42	5,47	5,51	7,35	6,67
b	56,25	59,01	60	65,76	62,11
ΔE	41,67	44,82	46,15	52,64	52,08
RGB	fbce67	faca5e	f6c658	f3be44	daaa38

Anhang 5: Farbabweichung beider Methoden

Tabelle 27: **Übersicht der berechneten Farbabweichung**
von Fotoversuch zur Spektralanalyse zur gleichen Zeit inklusive der Mittelwerte (MW)
eigener Datenerhebung

	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	12h	15h	21h	24h	MW
ΔE V1	18,30	15,01	15,24	15,96	15,68	15,21	13,33	15,42	15,03	14,83	16,28	15,44	15,48
ΔE V2	10,86	9,83	10,08	9,86	8,96	9,30	7,34	8,98	9,23	9,14	9,27	9,34	9,35
ΔE V3	12,11	9,39	9,48	10,02	10,17	8,20	8,20	8,94	9,96	8,65	7,80	9,22	9,35
ΔE V4	11,64	11,11	11,67	13,66	12,28	13,54	12,13	11,24	12,26	11,28	10,33	9,64	11,73
ΔE V5	12,68	11,19	11,70	12,59	11,62	11,24	8,18	11,67	11,63	10,19	12,35	12,37	11,45
ΔE V6	13,34	11,67	12,53	11,42	12,95	10,76	10,13	11,95	11,12	11,05	11,71	11,77	11,70
ΔE V7	16,42	15,03	14,95	15,28	15,57	13,80	12,61	13,77	13,38	12,99	14,10	13,27	14,26
ΔE V8	18,77	19,63	22,05	21,00	28,34	27,38	24,27	30,16	30,17	31,21	33,75	35,64	26,86

→ größte Farbabweichung
→ geringste Farbabweichung

Anhang 6: FTIR-Datensatz

Tabelle 28: FTIR-Daten bestimmt nach 24 Stunden
Datensatz vom Institut für Getränkeforschung, Anja Giehl

Variante	Dichte	Alkohol	Extrakt	zuckerfreier Extrakt	vergärbarer Zucker	Glucose	Fructose	Gesamtsäure
1	0,9922	90,5	18,1	18,0	0,1	0,0	0,1	5,1
2	0,9921	89,8	17,6	17,6	0,0	0,0	0,0	5,0
3	0,9921	89,5	18,2	18,1	0,1	0,1	0,0	5,2
4	0,9923	89,1	18,3	18,3	0,0	0,0	0,0	5,2
5	0,9923	89,1	18,0	18,0	0,0	0,0	0,0	5,1
6	0,9923	89,6	18,2	18,1	0,1	0,0	0,1	5,2
7	0,9924	89,1	18,3	18,2	0,1	0,0	0,1	5,2
8	0,9925	89,2	18,2	18,0	0,2	0,0	0,2	5,1
	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	mg/L

	pH-Wert	Weinsäure	Äpfelsäure	Milchsäure	flüchtige Säure	Glycerin	freie SO2	Gesamt SO2
1	3,3	2,6	0,0	2,1	0,6	6,3	2	12
2	3,3	2,5	0,0	2,0	0,6	6,3	2	12
3	3,3	2,6	0,0	2,1	0,6	6,4	21	65
4	3,3	2,6	0,0	2,0	0,7	6,4	2	13
5	3,3	2,6	0,0	2,0	0,6	6,4	2	11
6	3,3	2,6	0,0	2,0	0,6	6,5	2	12
7	3,3	2,6	0,0	2,1	0,6	6,4	2	11
8	3,3	2,6	0,0	2,1	0,6	6,4	2	11
		g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	mg/L	mg/L