

## Inhaltsverzeichnis

<b>Teil Eins</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Zielsetzung .....</b>	<b>4</b>
<b>Teil Zwei</b>	<b>Literaturübersicht und oenologischer Kontext.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Phenolische Verbindungen in Trauben und Wein.....</b>	<b>6</b>
2.1.1	Definition, Nomenklatur und Klassifikation.....	6
2.1.2	Biosynthese .....	7
2.1.3	Nicht-flavonoide Phenole.....	9
2.1.4	Flavonoide.....	14
2.1.4.1	Anthocyane.....	16
2.1.4.2	Flavan-3-ole, Proanthocyanidine und Tannine.....	23
2.1.4.3	Flavanonole und Flavonole .....	26
<b>2.2</b>	<b>Die Rolle des Sauerstoffs in der Weinbereitung.....</b>	<b>27</b>
2.2.1	Sauerstoffaufnahme und -verbrauch bei oenologischen Prozessen .....	27
2.2.1.1	Mostverarbeitung.....	28
2.2.1.2	Alkoholische Gärung.....	30
2.2.1.3	Weißweinbereitung .....	30
2.2.1.4	Rotweinbereitung .....	32
2.2.1.5	Barriquelagerung und Reifetanks .....	35
2.2.2	Chemie des Sauerstoffs .....	36
2.2.2.1	Lösungsverhalten.....	36
2.2.2.2	Radikalbildung .....	37
2.2.2.3	Fenton-Reaktion .....	39
2.2.3	Wirkungsmechanismen von Antioxidantien .....	40
2.2.3.1	Ascorbinsäure.....	41
2.2.3.2	Schwefeldioxid.....	42
<b>2.3</b>	<b>Reaktionen phenolischer Verbindungen während der Rotweinbereitung und -lagerung.....</b>	<b>48</b>
2.3.1	Extraktionsprozess .....	49
2.3.1.1	Maischegärung .....	50
2.3.1.2	Maischeerhitzung .....	53

## Inhaltsverzeichnis

2.3.2	Oxidation phenolischer Verbindungen .....	54
2.3.2.1	Substrate der Phenoloxidation .....	55
2.3.2.2	Phenoloxidation in Abwesenheit von Schwefeldioxid .....	56
2.3.2.3	Phenoloxidation in Anwesenheit von Schwefeldioxid .....	59
2.3.3	Phenolische Polymerisationsreaktionen .....	61
2.3.3.1	Direkte Polyphenolpolymerisation .....	62
2.3.3.2	Indirekte Polyphenolpolymerisation.....	66
2.3.3.3	Einflussfaktoren bei der Bildung von Polyphenolpolymeren.....	69
2.3.4	Pyranoanthocyane.....	71
<b>2.4</b>	<b>Sensorische Bedeutung phenolischer Weininhaltsstoffe .....</b>	<b>75</b>
2.4.1	Farbe .....	76
2.4.2	Adstringenz.....	81
<b>2.5</b>	<b>Mikrooxygenierung .....</b>	<b>87</b>
2.5.1	Geschichte der kontinuierlichen Sauerstoffzufuhr .....	88
2.5.2	Equipment zur Mikrooxygenierung.....	89
2.5.3	Rechtliches.....	90
2.5.4	Begriff und Definition .....	91
2.5.5	Technische Herausforderungen .....	92
2.5.6	Propagierte Ziele und Risiken .....	93
2.5.7	Empfehlungen zur Anwendung der Mikrooxygenierung.....	94
2.5.7.1	Empfehlungen seitens der Gerätehersteller .....	94
2.5.7.2	Empfehlungen von Oenologen .....	97
2.5.8	Mikrooxygenierung in wissenschaftlichen Studien.....	99
2.5.8.1	Verteilung des Sauerstoffs im Tank .....	99
2.5.8.2	Sauerstoffverbrauch durch den Wein .....	100
2.5.8.3	Variationen im Versuchsdesign.....	101
2.5.8.4	Untersuchte analytische Parameter.....	106
2.5.8.5	Einfluss oenologischer Parameter.....	109
2.5.8.6	Propagierte analytische Kontrollparameter .....	110
<b>Teil Drei</b>	<b>Material und Methoden: Technologie.....</b>	<b>111</b>
<b>3.1</b>	<b>Traubenmaterial .....</b>	<b>112</b>
<b>3.2</b>	<b>Weinbereitung und Ausbau.....</b>	<b>113</b>
3.2.1	Maischebehandlung vor der alkoholischen Gärung .....	114
3.2.1.1	Maßnahmen vor der Maischegärung .....	114

3.2.1.2	Maischeerhitzung .....	115
3.2.2	Alkoholische Gärung .....	115
3.2.2.1	Maischegärung .....	116
3.2.2.2	Mostgärung.....	116
3.2.3	Biologischer Säureabbau.....	117
3.2.4	Ausbau der Jungweine .....	117
3.2.4.1	Edelstahltanks.....	117
3.2.4.2	Lagerung in Barriquefässern und HDPE-Reifetanks.....	118
3.2.5	Abfüllung .....	118
3.3	<b>Technik der Sauerstoffzufuhr .....</b>	<b>119</b>
3.4	<b>Protokoll der kontinuierlichen Sauerstoffzufuhr.....</b>	<b>120</b>
3.4.1	Makrooxygenierung .....	122
3.4.2	Mikrooxygenierung.....	122
3.4.3	Mikrooxygenierung geschwefelter Weine .....	123
3.5	<b>Probenentnahme .....</b>	<b>124</b>
3.5.1	Technische Umsetzung .....	124
3.5.2	Protokoll der Probenentnahme.....	126
3.6	<b>Sauerstoffmessung.....</b>	<b>126</b>
3.6.1	Messprinzip.....	126
3.6.2	Technische Umsetzung der Sauerstoffmessung.....	127
3.6.3	Protokoll der Sauerstoffmessung und Prozessierung der Messwerte .....	129
3.6.4	Wiederholbarkeit der Sauerstoffmessung .....	130
<b>Teil Vier</b>	<b>Material und Methoden: Analytik.....</b>	<b>131</b>
4.1	<b>Chemikalien .....</b>	<b>132</b>
4.2	<b>Analysenprotokoll und Probenvorbereitung.....</b>	<b>133</b>
4.3	<b>Routineanalytik .....</b>	<b>135</b>
4.3.1	Fourier Transformation Infrarot Spektroskopie (FTIR).....	135
4.3.2	Lebendzellzahlbestimmung der Hefen.....	135
4.4	<b>Phänotypische Analytik .....</b>	<b>136</b>
4.4.1	Phenolische Reife und Extrahierbarkeit der Anthocyane .....	136
4.4.2	Adstringenz-Index .....	137
4.4.3	Gesamtfarbe und Phenolindex nach Glories .....	140
4.4.4	Farbmetrik (CIELab).....	141

## Inhaltsverzeichnis

4.4.5	Modifizierter Somers-Boulton Assay .....	142
4.4.6	Modifizierter Harbertson-Adams Assay .....	143
<b>4.5</b>	<b>Zielkomponentenanalytik .....</b>	<b>145</b>
4.5.1	Bestimmung des freien Acetaldehyds mittels HS-GC-FID .....	145
4.5.2	Enzymatische Bestimmung des Gesamtacetaldehyds .....	148
4.5.3	Gesamtphenolgehalt mittels Folin-Ciocalteu .....	150
4.5.4	Methylcellulose Tannin Assay .....	152
4.5.5	Bestimmung der Anthocyane und Flavan-3-ole mittels HPLC-DAD .....	154
4.5.6	Bestimmung von Polyphenoladdukten mittels LC-ESI-ToFMS .....	160
<b>4.6</b>	<b>Sensorische Analytik .....</b>	<b>164</b>
4.6.1	Prüferkollektiv .....	164
4.6.2	Deskriptive Profilanalyse .....	164
4.6.2.1	Auswahl von Attributen und Entwicklung von Geruchs- und Geschmacksstandards .....	165
4.6.2.2	Training der Prüfer .....	165
4.6.2.3	Evaluierung der Versuchsweine .....	167
4.6.2.4	Auswertung und Aufbereitung der Daten .....	168
4.6.2.5	Prüfereffizienz .....	169
4.6.2.6	Attributsuffizienz .....	169
4.6.3	Zeitintensitätsanalyse .....	170
4.6.3.1	Training der Prüfer .....	172
4.6.3.2	Evaluierung der Versuchsweine .....	173
4.6.3.3	Auswertung und Aufbereitung der Daten .....	174
<b>4.7</b>	<b>Statistische Methoden .....</b>	<b>175</b>
4.7.1	Deskriptive statistische Kennzahlen .....	175
4.7.2	Test auf Normalverteilung .....	176
4.7.3	Korrelationskoeffizienten .....	176
4.7.4	Regressionsanalyse .....	177
4.7.5	Varianzanalyse .....	179
4.7.6	Hauptkomponentenanalyse .....	181
<b>Teil Fünf</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>183</b>
<b>5.1</b>	<b>Technologische Machbarkeitsstudie .....</b>	<b>184</b>
5.1.1	Lösung des applizierten Sauerstoffs .....	184
5.1.2	Verteilung des Sauerstoffs in den Tanks .....	189

5.1.3	Sauerstoffaufnahme während der Makro- und Mikrooxygenierung.....	191
5.1.4	Sauerstoffverbrauch während der Makro- und Mikrooxygenierung.....	195
<b>5.2</b>	<b>Sensorische Analytik .....</b>	<b>197</b>
5.2.1	Veränderungen infolge der Makrooxygenierung .....	197
5.2.1.1	Dornfelder im Jahrgangsvergleich .....	197
5.2.1.2	Spätburgunder im Jahrgangsvergleich .....	200
5.2.1.3	Cabernet Sauvignon im Jahrgangsvergleich .....	203
5.2.1.4	Fazit.....	206
5.2.2	Veränderungen infolge der Mikrooxygenierung.....	208
5.2.2.1	Dornfelder im Jahrgangsvergleich .....	208
5.2.2.2	Spätburgunder im Jahrgangsvergleich .....	211
5.2.2.3	Cabernet Sauvignon im Jahrgangsvergleich .....	214
5.2.2.4	Rebsortenvergleich.....	218
5.2.2.5	Fazit.....	225
5.2.3	Makro- und Mikrooxygenierung im Vergleich .....	227
5.2.3.1	Jahrgang 2006 (am Beispiel der Zeitintensitätsanalyse) .....	227
5.2.3.2	Jahrgang 2007.....	230
5.2.3.3	Jahrgangsvergleich makro- und mikrooxygenerter Spätburgunder.....	233
5.2.3.4	Fazit.....	236
5.2.4	Einfluss der Mikrooxygenierung bei maischeerhitzten Weinen .....	239
5.2.4.1	Spätburgunder .....	239
5.2.4.2	Lemberger .....	241
5.2.4.3	Maischeerhitzte und maischevergorene Spätburgunder im Vergleich .....	243
5.2.4.4	Fazit.....	245
5.2.5	Vergleich zwischen Mikrooxygenierung, Barriquefasslagerung und Ausbau im HDPE-Reifetank .....	246
5.2.5.1	Spätburgunder im Barriquefass .....	247
5.2.5.2	Lemberger im Barriquefass .....	248
5.2.5.3	Spätburgunder im HDPE-Reifetank .....	250
5.2.5.4	Fazit.....	251
5.2.6	Einfluss des SO <sub>2</sub> -Gehaltes bei der Mikrooxygenierung von Spätburgundern .....	253
<b>5.3</b>	<b>Chemische Analytik .....</b>	<b>255</b>
5.3.1	Prozessanalytik während der Makrooxygenierung .....	255
5.3.1.1	Dornfelder .....	255
5.3.1.2	Spätburgunder .....	259

## Inhaltsverzeichnis

5.3.1.3	Cabernet Sauvignon.....	263
5.3.2	Prozessanalytik während der Mikrooxygenierung .....	266
5.3.2.1	Dornfelder.....	266
5.3.2.2	Spätburgunder.....	269
5.3.2.3	Cabernet Sauvignon.....	272
5.3.3	Reife- und Oxidationsindikatoren bei makro- und mikrooxygenierten Weinen.....	275
5.3.3.1	Entwicklung des Anthocyane bei 2006er Spätburgundern.....	275
5.3.3.2	Entwicklung des Acetaldehyds bei 2007er Spätburgundern .....	278
5.3.3.3	Einfluss der Mikrooxygenierung auf den Acetaldehyd .....	282
5.3.4	Sauerstoff-induzierte Veränderungen des Farb- und Phenolprofils .....	285
5.3.4.1	Einfluss der Mikrooxygenierung auf monomere Anthocyane und Flavan-3- ole .....	285
5.3.4.2	Rebsortenübergreifender Einfluss auf das Farb- und Phenolprofil.....	290
5.3.4.3	Jahrgangsübergreifender Einfluss auf das Farb- und Phenolprofil von Spätburgundern.....	294
5.3.5	Prognose der Mikrooxygenierungseffekte anhand des Flavan-3-ol- Anthocyan-Verhältnisses (FAV) .....	298
<b>Teil Sechs</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>307</b>
6.1	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>308</b>
6.2	<b>Ausblick .....</b>	<b>311</b>
<b>Teil Sieben</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>313</b>