

Inhaltsverzeichnis

Teil Eins	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Einleitung	2
1.2	Zielsetzung	4
Teil Zwei	Literaturübersicht und oenologischer Kontext	5
2.1	Phenolische Verbindungen in Trauben und Wein	6
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
2.2	Die Rolle des Sauerstoffs in der Weinbereitung	27
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	Barrikelagerung 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
2.3	Reaktionen phenolischer Verbindungen während der Rotweinbereitung und -lagerung	48
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
2.4	Sensorische Bedeutung phenolischer Weininhaltsstoffe	75
2.4.1	Farbe	76
2.4.2	Adstringenz	81
2.5	Mikrooxygenierung	87
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
Teil Drei	Material und Methoden: Technologie	111
3.1	Traubenmaterial	112
3.2	Weinbereitung und Ausbau	113
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	Technik der Sauerstoffzufuhr	119
3.4	Protokoll der kontinuierlichen Sauerstoffzufuhr.....	120
3.4.1	Makrooxygenierung	122
3.4.2	Mikrooxygenierung.....	122
3.4.3	Mikrooxygenierung geschwefelter Weine	123
3.5	Probenentnahme	124
3.5.1	Technische Umsetzung	124
3.5.2	Protokoll der Probenentnahme	126
3.6	Sauerstoffmessung.....	126
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
Teil Vier	Material und Methoden: Analytik.....	131
4.1	Chemikalien	132
4.2	Analysenprotokoll und Probenvorbereitung	133
4.3	Routineanalytik	135
4.3.1	Fourier Transformation Infrarot Spektroskopie (FTIR).....	135
4.3.2	Lebendzellzahlbestimmung der Hefen.....	135
4.4	Phänotypische Analytik	136
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
4.5	Zielkomponentenanalytik	145
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
4.6	Sensorische Analytik	164
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	Attributuffizienz	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
4.7	Statistische Methoden	175
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
Teil Fünf	Ergebnisse und Diskussion	183
5.1	Technologische Machbarkeitsstudie	184
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
5.2	Sensorische Analytik.....	197
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 mikrooxygenierter 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-Reiftank	246
5.2.5.1	Spätburgunder im Barriquefass	247
5.2.5.2	Lemberger im Barriquefass	248
5.2.5.3	Spätburgunder im HDPE-Reiftank	250
5.2.5.4	Fazit.....	251
5.2.6	Einfluss des SO ₂ -Gehaltes bei der Mikrooxygenierung von Spätburgundern	253
5.3	Chemische Analytik	255
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
Teil Sechs	Zusammenfassung und Ausblick.....	307
6.1	Zusammenfassung	308
6.2	Ausblick	311
Teil Sieben	Literaturverzeichnis.....	313