

Mostoxidation in neuer Auflage

In: Das Deutsche Weinmagazin, 20, 18-21 und 21, 10-13, 2000.

Vor über einem Jahrzehnt ist die Diskussion um die Mostoxidation zu einem glaubenspolitischen Credo ausgeartet. Danach wurde sie zu Grabe getragen. Doch seit die Flotation als Technik der Mostvorklärung Verbreitung gefunden hat, ist sie in neuer Version wieder auferstanden. Die Flotation beinhaltet die intensivste Form der Mostoxidation. Volker Schneider, Önologisches Institut in Bingen, fast die Vorgeschichte und den Stand der heutigen Kenntnisse zusammen.

Die Mostoxidation ist ein klassisches Beispiel dafür, wie Lehrmeinungen aufgebaut oder demontiert werden in Abhängigkeit von den Interessen Dritter. Ihre verspätete Akzeptanz über den Umweg der Flotation zwingt zu einer erneuten Auseinandersetzung mit ihren Auswirkungen auf den Wein.

Vorgeschichte

Erste Berichte über die Mostoxidation liegen aus den 70er Jahren von deutscher Seite vor (1, 2, 3.). Zu dieser Zeit empfahl die klassische Lehre noch einen sorgfältigen Schutz der Moste gegen Oxidation, damit diese nicht bräunten. Deshalb war es das Ziel dieser ersten Versuche zu zeigen, dass die Oxidation des Mostes vor der Gärung nicht so schädlich für die Weinqualität sei als gemeinhin angenommen. Überraschenderweise wurden die Weine aus oxidierten Mosten oft besser bewertet als solche aus nicht-oxidierten oder eingeschwefelten Mosten. In der Folge setzte insbesondere im europäischen Raum eine Tendenz ein, den Einsatz schwefliger Säure vor der Gärung zu reduzieren oder vollständig zu eliminieren.

Die Entwicklung der maschinellen Lese führte zu längeren Maischestandzeiten und stärkerer mechanischer Belastung des Leseguts innerhalb der nachfolgenden Verarbeitungskette. Damit einher ging ein Anstieg des Phenolgehalts mit der Folge, dass die so hergestellten Weine zur Bildung von Bittere, Bräunung und Altersfirne tendierten. In dieser Situation wurden systematische Versuche zur Mostoxidation eingeleitet mit dem Ziel, die für die schlechte Haltbarkeit der Weißweine verantwortlichen Phenole bereits vor der Gärung auszufällen (4). Grundlage der Überlegungen war die Tatsache, dass die Oxidation der Moste anders als die der Weine ist. Wenn Phenole durch enzymatische Oxidation aus dem Most ausgefällt werden, stehen sie zur chemischen Oxidation während der Alterung des Weins nicht mehr zur Verfügung. Die oxidative Mostverarbeitung begünstigt die Umwandlung gelöster Phenole in braune, unlösliche Polymerisate, die im Zuge der üblichen Mostvorklärung entfernt werden. Obwohl oxidierte Moste sehr dunkel sind, präsentieren sich die daraus erhaltenen Weine mit normaler Farbe und besserer sensorischer Stabilität als konventionell hergestellte Weine.

Diese Sichtweise wird auf internationaler Ebene längst nicht mehr in Frage gestellt. Harte Rückschläge erlebte die Mostoxidation jedoch durch Vorwürfe dahingehend, sie würde das Aroma der Weine in Mitleidenschaft ziehen. Obwohl es an verschiedenen Beweisführungen auf molekularer Ebene nicht fehlte, steht eine sensorische Beweisführung mit objektivierten Methoden und abgesicherten Signifikanzen bis heute noch aus.

In Deutschland erreichte die Diskussion dieses Niveau erst gar nicht. Dem Aufkommen der Mostoxidation Ende der 80er Jahre wurde mit einer ablehnenden Emotionalität begegnet, der wissenschaftlich fundierte Sachargumente fremd waren. Die meinungsbildende Kampagne wurde überwiegend von Leuten geführt, die sich nie mit der Thematik beschäftigt hatten. Die Ursachen waren psychologischer, wirtschaftlicher und politischer Natur. Nachdem man gelernt hatte, deutschen Weißwein reduktiv auszubauen, löste der Begriff der Oxidation wahres Entsetzen aus. Doch die Oxidation des Mostes hat mit der des Weines absolut nichts zu tun und ist ihr im Ergebnis sogar diametral entgegengesetzt. Da aber rationales und emotionales Verstehen weit voneinander entfernt sind, blieb eine psychologische Hemmschwelle zwangsläufig bestehen.

Erschwerend kam hinzu, dass außer den traubenverarbeitenden Betrieben niemand an der Mostoxidation verdienen konnte. Das Marketing für den Vertrieb von Luft oder Sauerstoff, verpackt speziell für die Mostoxidation, war noch nicht erfunden. Andererseits wäre ein breites Spektrum von Schönungsmit-

teln, die den Geschmack durch Minderung schädlicher Phenole verfeinern sollen, durch die Mostoxidation überflüssig geworden.

Die deutschen Lehranstalten gingen auf die an sie herangetragene Konfrontation nur oberflächlich und punktuell ein, um sie rasch zu den Akten zu legen. Bis auf wenige Ausnahmen wurde die Thematik von Lehre und Beratung totgeschwiegen. Auch heute noch ist die umfangreiche Biographie zu diesem Thema überwiegend ausländischen Arbeitsgruppen zu verdanken. Eine zusammenfassende Abhandlung erschien 1998 in USA (5).

In einem Geflecht wechselseitiger Abhängigkeiten und Interessen, in deren Mittelpunkt selten der Wein selbst stand, ist die Mostoxidation schließlich als "nicht gesellschaftsfähig" zu Fall gekommen. In einer Branche, die emotional leicht zu führen ist und stark von Meinunsbildnern abhängt, war es unschwer, die öffentliche Meinung in die gewünschte Richtung zu lenken. Seitdem wurde die Mostoxidation in zahlreichen Betrieben beharrlich weiter praktiziert, bewußt und unter Ausschluß der Öffentlichkeit.

Mitte der 90er Jahre war die Flotation praxisreif. Sie ist eine Technik zur Mostvorklärung, bei der der Most im Durchlauf mit Druck beaufschlagt und mit einem Arbeitsgas imprägniert wird. Beim Einlauf in den Tank oder ein Flotationsbecken wird auf Normaldruck entspannt. Dabei entweicht das unter Druck imprägnierte Gas in Form einer Vielzahl kleiner Gasbläschen, die aufsteigen, sich an die Trubpartikel anhaften und diese an die Oberfläche treiben. Der darunter stehende, geklärte Most wird abgezogen. Flotationsanlagen werden für kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Betrieb konzipiert und sind prinzipiell für jede Betriebsgröße einsetzbar. Sie liefern Moste hoher Klärschärfe, wie man sie auch durch Sedimentation unter Zuhilfenahme pektolytischer Enzyme erreichen kann. Als Arbeitsgas ist Stickstoff unwirtschaftlich und Kohlensäure aus technischen Gründen unbrauchbar. Folglich kommt komprimierte Luft zur Anwendung, die bekanntlich 20,9 % Sauerstoff enthält. Es kommt zu einer Anreicherung des Mostes mit 40-43 mg/l Sauerstoff und damit zur intensivsten aller Varianten der Mostoxidation. Alterungsrelevante Phenole werden vollständig ausgefällt und in einem Arbeitsgang mit dem Mosttrub entfernt.

Im Gegensatz zu den früheren Praktiken der Mostoxidation war die Einführung der Flotation mit Umsätzen verbunden. Durch ihre zunehmende Verbreitung wird indirekt auch die Mostoxidation, gewollt oder ungewollt, auf breiter Ebene praktiziert. Die Phenolminderung wird sogar als ein Argument für die Flotation angeführt. Somit ist die einst totgesagte Mostoxidation wieder aktuell geworden.

Stabilität durch Flavonoidfällung

Zum Verständnis der Mostoxidation muß zwischen verschiedenen Arten von Phenolen im Wein unterschieden werden. Die einfachste Unterteilung des Gesamtphenolgehalts führt zu einer nichtflavonoiden und einer flavonoiden Phenolfraktion. Nichtflavonoide sind im Pulpsaft konzentriert und liegen in allen Mosten vor. Flavonoide finden sich ausschließlich in den festen Geweben von Kernen, Schalen und Stielen. Da Weißweine gewöhnlich durch eine rasche Traubenverarbeitung ohne längere Maischestandzeit gewonnen werden, enthalten sie relativ geringe Gehalte an Gesamtphenolen, die ihrerseits überwiegend aus nichtflavonoiden Phenolen bestehen. Der Gesamtphenolgehalt wird erhöht durch die zusätzliche Extraktion von flavonoiden Phenolen aus den festen Traubenbestandteilen. Durch mechanische Belastung des Leseguts und Maischestandzeit werden die Flavonoide der Extraktion verstärkt zugänglich gemacht. Ihre Anreicherung im Most wird durch erhöhte Temperaturen und Zusatz von schwefliger Säure weiter erhöht (6, 7, 8, 9, 10, 11).

Die Phenoldynamik der Moste ist abhängig von dem Einsatz schwefliger Säure. Wird die Aktivität der Oxidasen durch SO_2 inhibiert, sind die Phenole gegen Oxidation geschützt und in Lösung stabilisiert. Werden weiße Moste sich selbst überlassen, kommt es zu einer Oxidation, Bräunung und Ausfällung von Phenolen. Die Mostverarbeitung ohne SO_2 ist schon relativ oxidativ. Eine solche passive Oxidation wird ausschließlich durch den verfügbaren Sauerstoff begrenzt. Sie stellt den Übergang von der Mostverarbeitung unter SO_2 -Schutz zur aktiven Oxidation dar.

Die Mostoxidation verringert die Gehalte aller Arten phenolischer Substanzen (6, 7, 12, 13, 14, 15), die sensorischen Konsequenzen sind aber im wesentlichen auf die Minderung flavonoider Phenole zurückzuführen. Flavonoide sind für das Entstehen von Bittere, Adstringenz, Farbintensivierung und Aromaveränderungen während der oxidativen Alterung von Weißwein verantwortlich (8, 9, 10, 16, 17, 18, 19,

20, 21, 22). Sie vermindern die Haltbarkeit und das typische Sortenaroma. Die nichtflavonoide Phenolfraction kann solche Veränderungen nicht hervorrufen. In den in Weißwein vorliegenden Konzentrationen trägt sie auch nicht zur Bittere bei (23). Werden Weißweine so hergestellt, dass sie keine wesentlichen Mengen flavonoide Phenole enthalten, sind sie selbst ohne schweflige Säure bei Luftkontakt bräunungsstabil. Durch Zugabe flavonoide Phenole zu solchen Weinen kann die oxidative Alterung induziert werden (20, 21).

Solange in Suspension befindliche Feinhefe die reduktiven Bedingungen nach der Gärung aufrecht erhält, sind Flavonoide sensorisch kaum wahrnehmbar. Oxidative Veränderungen setzen erst verstärkt nach der Flaschenfüllung ein, wenn Sauerstoff durch den Kork in die Flasche eindiffundiert. Unter diesen Bedingungen reagiert der größte Teil des Sauerstoffs mit Phenolen und nur ein geringerer Anteil mit der schwefligen Säure (24). Eine Erhöhung der freien SO_2 von 30 auf 60 mg/l hat keinen wesentlichen Einfluß auf den durch Phenole konsumierten Anteil des Sauerstoffs (8, 19). Aus den Absorptionskurven im UV- und sichtbaren Bereich konnte abgeleitet werden, dass erst Gehalte freier SO_2 von über 500 mg/l die Oxidation von Phenolen bei der Sauerstoffaufnahme vollständig inhibieren (25). In mit Schraubverschluß verschlossenen Flaschen entwickeln selbst Weißweine mit hohem Flavonoidgehalt kaum Adstringenz und Altersfirne.

Flavonoide unterliegen dem Prozess der regenerativen Polymerisation, nachdem sie durch Sauerstoff oxidiert werden (26). Ihre Geschmacksintensität nimmt mit fortschreitender Polymerisation zu (27, 28, 29, 30, 31, 32, 33). Deshalb sind Flavonoide im jungen Weißwein kaum sensorisch feststellbar; ihr Eigengeschmack entwickelt sich erst nach einer gewissen Alterung. Insofern muß die Mostoxidation als eine Möglichkeit gesehen werden, die Flavonoide unter Ausnutzung natürlicher enzymatischer Reaktionen zu mindern und dadurch zur sensorischen Stabilität der Weißweine beizutragen. Sie ist den gesundheitlich motivierten Techniken der Phenolanreicherung durch Zusatz von Traubenkernen gegenläufig (34).

Oxidationsprodukte flocken aus

Die Oxidation des Mostes wird enzymatisch ausgelöst. Die beteiligten Enzyme sind die Tyrosinase gesunder Trauben und die Laccase aus mit Botrytis infizierten Trauben. Beide Arten von Polyphenoloxidase (PPO) katalysieren die Oxidation von Phenolen zu den entsprechenden Chinonen. Die Laccase hat ein breiteres Spektrum möglicher Substrate als die Tyrosinase (35, 36). Die weiteren Reaktionen, die zu unlöslichen braunen Pigmenten führen, sind nicht enzymatischer Natur.

Die quantitativ dominierenden Phenole in weißen Mosten sind Hydroxyzimtsäuren. Deren wichtigster Vertreter ist die Caftarsäure. Darüber hinaus enthalten Moste schwankende Gehalte an Glutathion, eine stark reduzierende Aminoverbindung, welche an den nichtenzymatischen Folgereaktionen beteiligt ist.

Die Tyrosinase oxidiert bevorzugt Caftarsäure, die in der ersten Phase der Mostoxidation zu ihrem entsprechenden Chinon oxidiert wird. Dieses primäre Oxidationsprodukt ist, bedingt durch seine hohe Konzentration und Reaktivität, Ausgangspunkt für drei Folgereaktionen rein chemischer Natur (6, 7, 12, 13, 14, 15):

- a) Es verbindet sich mit Glutathion zu einer farblosen Verbindung, die als 2-S-Glutathionyl-Caftarsäure (GRP) bezeichnet wird.
- b) Nach Verbrauch des vorhandenen Glutathions kann es andere Mostinhaltsstoffe einschließlich GRP und Flavonoide oxidieren. Dabei wird es zur ursprünglichen Caftarsäure reduziert. Die teilweise Rückbildung von Caftarsäure ermöglicht ihre erneute enzymatische Oxidation und eine weitere Sauerstoffzehrung des Mostes.
- c) Es kann mit seiner eigenen Vorläuferstufe, der Caftarsäure, polymerisieren. Dabei wird die ursprüngliche Phenolform ohne Zutun eines Reduktionsmittel wieder hergestellt und steht erneut zur enzymatischen Oxidation zur Verfügung.

Alle drei Reaktionen sind voneinander unabhängig. Wird aber das Chinon der Caftarsäure durch erhöhte Konzentrationen von Glutathion abgefangen (a) oder durch schweflige Säure reduziert, werden die Folgereaktionen bis hin zur Oxidation der Flavonoiden eingeschränkt. Der Sauerstoffbedarf erhöht sich. Das Sauerstoffbindungsvermögen der Moste ist äußerst unterschiedlich und hängt von der ursprünglichen Konzentration an Caftarsäure ab. Die Oxidationskinetik hingegen ist von dem molaren Verhältnis

von Caftarsäure zu Glutathion abhängig. Dieses Verhältnis ist für jede Rebsorte spezifisch (38). Über alle Rebsorten hinweg und unter identischen Bedingungen beträgt das durchschnittliche Sauerstoffbindungsvermögen der Moste 50 mg/l O₂ innerhalb drei Stunden, wobei 95% der Werte zwischen 30 und 65 mg/l O₂ liegen (41).

Werden Flavonoide durch das Chinon der Caftarsäure oxidiert (b), polymerisieren sie und fallen als unlösliche braune Partikel aus. Diese Polymerisation der Flavonoiden im Most ist prinzipiell die gleiche wie im Wein. Sie wird in beiden Fällen durch eine Oxidation ausgelöst. Die grundlegenden Unterschiede zwischen Most und Wein bestehen darin, dass

- a) die Oxidation im Most enzymatischer Natur ist und schneller verläuft als die chemische Oxidation des Weins,
- b) die polymeren Endprodukte im Most ausflocken, während sie im Wein löslich sind und sich sensorisch mitteilen,
- c) die enzymatische Oxidation des Mostes als Nebenprodukt nur Wasser liefert, während bei der chemischen Oxidation des Weins Peroxide mit weitreichenden sensorischen Konsequenzen entstehen.

Sauerstoffbedarf ist minimal

Moste binden Sauerstoff mit einer Geschwindigkeit, die zwischen 4 und 200 mg/l/h O₂ schwanken kann mit einem Mittelwert bei 30 mg/l/h (20, 35, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 47). Verantwortlich für diese Schwankungsbreite sind unterschiedliche Reaktionskinetiken und der Verbrauch phenolischen Substrates durch Sauerstoffumsetzung bereits vor dem Austritt aus der Presse. Bei der Ganztraubenpressung wird die Sauerstoffaufnahme in der Presse auf 10-15 mg/l O₂ geschätzt (14). Durch schweflige Säure wird die Oxidaseaktivität verringert und die Sauerstoffumsatzrate drastisch reduziert (35).

Die Zeitspanne, während der ein Most Sauerstoff umsetzen muß bis zur maximal möglichen Fällung flavonoider Phenole, schwankt zwischen 15 Minuten und zwei Stunden (20, 41, 44). Ist die Fällung nicht vollständig, werden geringe Mengen verbliebener Flavonoide durch die Hefe bei der Gärung adsorbiert. Die Umsetzung von 1 mg/l O₂ mindert den Flavonoidgehalt um bis zu 8,6 mg/l, wobei der anfänglich umgesetzte Sauerstoff die stärkste Flavonoidfällung bewirkt (Abbildung 1). In Abhängigkeit vom ursprünglich vorhandenen Flavonoidgehalt sind 10-30 mg/l O₂ zu seiner vollständigen Fällung nötig, entsprechend einer Menge von eins bis drei Sättigungskonzentrationen (20).

Die angegebenen Sauerstoffmengen liegen innerhalb des normalen Schwankungsbereichs der natürlichen Sauerstoffaufnahme ungeschwefelter Moste während ihrer Verarbeitung. Die zusätzliche Sauerstoffversorgung durch aktive Oxidation ist ein Mittel zur Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Flavonoiden und Sauerstoff, wenn der Flavonoidgehalt zu hoch ist, um durch den natürlich aufgenommenen Sauerstoff entfernt zu werden. Der oft gebrauchte Begriff der Hyperoxidation ist ungeeignet zur Beschreibung der Vorgänge, die bei der Mostoxidation ablaufen. Die Sauerstoffmenge, die ein Most zu seiner Phenolstabilisierung benötigt, kann als enzymatischer Sauerstoffbedarf angesehen werden, der mittels Oxidation bzw. Belüftung gestillt wird.

Technische Durchführung

Zur Mostoxidation stehen verschiedene technische Möglichkeiten bereit:

- a) Der Most wird über eine Begasungseinheit von der Presse zum Tank, oder von einem zu einem anderen Tank gepumpt. Dabei wird der Gasfluß dem Mostdurchsatz angepasst. Soll zum Beispiel bei einer Pumpenleistung von 10000 l/h eine Sauerstoffmenge von 20 mg/l O₂ zugeführt werden, entspricht das einer Sauerstoffentnahme aus der Stahlflasche von 200 g pro Stunde. Der Most kann unter diesen Bedingungen maximal 42-43 mg/l O₂ aufnehmen.
- b) Der Most wird im Rundlauf über eine Begasungseinheit gepumpt. Bei konstanter Sauerstoffzufuhr wird die absolute Menge des zugesetzten Sauerstoffs über die Dauer des Umpumpens kontrolliert.
- c) Anstelle einer Begasungseinheit wird auf eine einfache Fritte zurückgegriffen. Sie wird mit der Sauerstoffarmatur verbunden und bis auf den Boden in den Mosttank eingehängt. Das Sauerstoffventil wird so weit aufgedreht, bis ein gelindes Entbinden von Gasblasen auf der Mostoberfläche sichtbar ist. Nach etwa 15 Minuten ist die Sauerstoffsättigungskonzentration von 9 mg/l O₂ erreicht. Danach erfolgt ein weiterer, obgleich langsamerer Anstieg des gelösten Sauerstoffs im übersättigten Bereich. Rühren ist

nicht erforderlich, da sich das eingebrachte Gas gleichmäßig im Tank verteilt (48, 49). Bei diesem Verfahren ist die Sauerstoffmenge nicht exakt kontrollierbar. Überschüssiger Sauerstoff entweicht wirkungslos über die Oberfläche. Wenn die Begasung während 15 Minuten als unzureichend angesehen wird, kann der gleiche Vorgang nach etwa einer Stunde wiederholt werden. Während dieser Zeit wird der anfänglich eingebrachte Sauerstoff in Oxidationsreaktionen aufgebraucht. Zur optimalen Lösung des Gases ist eine geringe Bläschengröße erforderlich. Deshalb sollte eine feinporöse Fritte (2-10 μ) verwendet werden, deren Oberfläche regelmäßig von Mostrückständen befreit wird (48, 50).

d) Pumpen über Luft durch Befüllen der Tanks von oben führt zu einer Sauerstoffaufnahme von 3-4 mg/l O₂ und ist weniger wirkungsvoll.

e) Gleiches gilt, wenn nach Lockern der Saugleitung Luft über die Pumpe angesaugt wird.

f) Bei der Flotation wird im Druckbereich gearbeitet, wodurch sich der Sauerstoffeintrag erhöht. Flavonidfällung und Mostvorklärung sind optimal (51, 52, 53).

Bei der Verwendung von Sauerstoff genügt technische Qualität. Bei allen Verfahren kann er durch ölfreie Kompressorluft ersetzt werden. Da Luft nur 21 % Sauerstoff enthält, muß die Gasmenge verfünffacht werden.

Die entstandene Bräunung steht in keinem direkten Zusammenhang mit der Flavonidfällung. Der Erfolg der Mostoxidation wird über die Bestimmung des Flavonoidgehalts kontrolliert, wozu verschiedene analytische Methoden zur Verfügung stehen (54, 55, 56). Obwohl sich der Gesamtphenolgehalt zwangsläufig mindert, erlaubt er keinen Rückschluß auf den Flavonoidgehalt.

Mostvorklärung ist entscheidend

Da die Mostoxidation an die Aktivität der Oxidasen geknüpft ist, können alle technischen Maßnahmen, die zu deren Minderung führen, erst nach abgeschlossener Oxidation durchgeführt werden. Ein Teil der Oxidasen, 8-50 %, ist an Trubpartikel gebunden. Deshalb darf die Mostvorklärung erst im Anschluß durchgeführt werden. Schweflige Säure von 50 mg/l verringert die Oxidaseaktivität um 75-90 %. Sie reduziert die Oxidationsprodukte zur ursprünglichen Phenolform, erhöht die Löslichkeit der Phenole und hebt den Effekt der Mostoxidation zwar nicht vollständig, aber weitgehendst auf (35, 57, 58, 59). Die Schönung mit 100 g/hl Bentonit mindert die Oxidaseaktivität um 30 % (35). Trotzdem wird die Flavonidfällung davon nicht wesentlich beeinflusst, da Bentonit auch Glutathion entfernt. Hohe Glutathiongehalte im Most wirken der Oxidation der Flavonoiden entgegen, so dass eine Minderung des Glutathions den Verlust an Oxidaseaktivität kompensieren kann (60). Eine Erhöhung der Temperatur bis auf 45° C erhöht die Oxidaseaktivität, hat aber keinen Vorteil in Hinblick auf die Flavonidfällung (42, 61). Eine Pasteurisation macht die Mostoxidation unmöglich, da die Oxidasen bei 65° C vollständig zerstört werden.

Die kumulative Hemmung der Mostoxidation durch SO₂, Vorklärung und Bentonit erklärt, warum die Mostoxidation sofort nach dem Pressen und vor allen weiteren Mostbehandlungen durchgeführt werden muß. Nach erfolgter Flavonidfällung oder mindestens zwei Stunden nach der Begasung kann die Vorklärung mit den bekannten Methoden erfolgen. Die Schärfe der Mostvorklärung ist von entscheidender Bedeutung. Die Trubbelastung des geklärten Mosts sollte nicht mehr als 0,5 Gew.-% oder 100 NTU betragen um sicherzustellen, dass die ausgeflockten Phenole vollständig entfernt werden. Andernfalls lösen sie sich später durch Alkohol oder schweflige Säure wieder zurück (60). Der Effekt der Mostoxidation ist hinfällig, wenn der Most schlecht geklärt oder gar ungeklärt in Gärung tritt. Ungenügende und nicht reproduzierbare Mostvorklärung ist verantwortlich für widersprüchliche Ergebnisse der Mostoxidation. Der Gehalt an Restflavonoiden, analytische und sensorische Eigenschaften des Weins hängen stark von der Klärschärfe ab (60, 62).

Selbst nach der Vorklärung haftet dem Most noch eine braune Farbe an. Unter den reduktiven Bedingungen der Gärung sowie durch Adsorption auf Hefe verschwindet sie vollständig. Mostoxidierte Weine zeigen nach der Gärung die bekannte helle Farbe, die auch ohne SO₂ stabil bleibt. Die Filtration eines oxidierten Mostes ergibt ein Filtrat normaler, heller Farbe. Daraus geht hervor, dass die für die Bräunung verantwortlichen Substanzen ausgeflockt sind und mechanisch entfernt werden können.

Schweflige Säure kann nach der Mostvorklärung eingesetzt werden, wo sie aus mikrobiologischen Gründen erwünscht ist. Eine Zunahme der bakteriellen Aktivität durch die Mostoxidation konnte nicht

beobachtet werden (42). Relevante Bakterien wie *Acetobacter* finden in allen Mosten Sauerstoff vor; zusätzliche Sauerstoffgaben können sie physiologisch nicht umsetzen. Gärungskinetik, Endvergärungsgrad und SO₂-Bedarf der Jungweine werden durch die Mostoxidation nicht beeinflusst, da der eingebrachte Sauerstoff bereits vor Eintritt des Hefewachstums durch enzymatische Umsetzung verschwunden ist.

Einfluß auf die Sensorik

Die hervorragende Farbstabilität mostoxidierter Weine selbst ohne SO₂ ist allgemein bekannt (1,2,3,6,7,19,20,42,63,64,65,66,67,68). Das Bräunungspotential der Weißweine korreliert eng mit ihrem Flavonoidgehalt. Nach enzymatischer Oxidation einzelner phenolischer Substanzen in äquimolarer Konzentration zeigten Catechin, Epicatechin, Procyanidin B2 und Procyanidin B3 eine ungefähr zehnfach stärkere Bräunung als die Hydroxyzimtsäure-Derivate der nichtflavonoiden Phenolfraktion (37). Nach der Mostoxidation zeigen filtrierte junge Weißweine ohne SO₂-Schutz bei Luftkontakt keine signifikante Bräunung, wenn sie einen Flavonoidgehalt nahe Null aufweisen. Daran ändert auch die zusätzliche Anwesenheit von Laccase aus *Botrytis cinerea* nichts. Die nicht mostoxidierten Varianten bräunen hingegen (Abbildung 2) (20).

Das Bräunungspotential unter Testbedingungen ist deshalb so wichtig, weil es die Veranlagung eines Weins zu tiefgreifenden Änderungen in Geruch und Geschmack während der oxidativen Alterung wiedergibt. Die Ausbildung von Bittere und Adstringenz kann durch Mostoxidation verhindert werden. Dies entspricht der Erwartung, da Flavonoide als Vorläuferstufen späterer adstringierender Tannine entfernt werden. Der Vorteil kommt besonders bei langfristiger Flaschenlagerung zum Tragen (19, 20). Andere Untersuchungen ergaben dagegen keine Unterschiede in der sensorischen Bevorzugung (6,13, 69, 70).

Die Oxidation des Mostes beinhaltet naturgemäß mehr als nur eine einfache Minderung oxidierbarer Phenole. Andere Weininhaltsstoffe können beeinflusst werden. Die Berichte über die durch Mostoxidation hervorgerufenen Aromaveränderungen sind jedoch widersprüchlich.

Für Chardonnay, Mauzac und Chenin blanc aus Frankreich erbrachte die Mostoxidation keine Aromaschäden. Bei Chardonnay wurde die mostoxidierte Variante sogar höher in der Aromaqualität als der geschwefelte Standard bewertet (13). Für Chardonnay, Parellada und Muscat von Spanien wurden höhere Aromaintensitäten in mehreren der mostoxidierten Varianten festgestellt und durch einen über Gaschromatographie gemessenen Zuwachs an Acetaten, Estern, Fettsäuren und Terpenen erklärt (63). Bei Faberrebe aus Deutschland erhöhte die Mostoxidation die Aromaintensität in den Varianten aus Maischestandzeit, hatte jedoch keinen Einfluß auf das Aroma der ohne Maischestandzeit vinifizierten Varianten (71). Bei Sauvignon blanc aus Italien ergab die Mostoxidation eine Minderung der sortentypischen Aromakomponenten, ohne dass dies in der Präferenzanalyse negativ bewertet wurde (72).

Nach Auswertung mittels quantitativer deskriptiver Analyse zeigte Riesling aus Deutschland (73) eine Zunahme des Attributs Citrone, eine Abnahme für Pfirsich und vergleichbare Intensitäten für Apfel und Birne, wenn die Mostoxidation auf Moste ohne Maischestandzeit angewandt wurde. Das Aroma war leicht verändert, aber nicht weniger fruchtig. Ein durch Maischestandzeit erzielter Aromazuwachs wurde durch die Mostoxidation aufgehoben. Ein Jahr später war für die Weine ohne Maischestandzeit kein Unterschied zwischen oxidierten und nichtoxidierten Varianten festzustellen, während nun die Weine mit Maischestandzeit in allen Aromaattributen höhere Intensitäten für die mostoxidierten Varianten zeigten. Dem Beobachtungszeitraum kommt eine entscheidende Beobachtung zu.

Einige Untersuchungen (11,69,74,75,76) stellen, abhängig von der Rebsorte, eine Minderung von Aromaintensität und Sortenaroma durch die Mostoxidation heraus. Mehrere europäische Rebsorten zeigten bei der Mostoxidation eine Zunahme von Acetaten und höheren Aldehyden (C3-C10) und eine Abnahme von höheren Alkoholen. Die Zunahme höherer Aldehyde wird für eine geringfügige Verstärkung vegetativer Aromakomponenten verantwortlich gemacht (69). Die Bildung von C6-Aldehyden und höheren Alkoholen während oxidativer Maischeverarbeitung ist bekannt (75, 77). Für flüchtige Phenole (66,78) und flüchtige Schwefelverbindungen (1,2,3,69) scheint sich eine Tendenz zu niedrigeren Werten in Weinen aus der Mostoxidation zu ergeben.

Andere Untersuchungen (6,13,66,70,79,80) ergaben keine signifikante Bevorzugung der mostoxidierten Varianten im Vergleich mit Mostschwefelung oder passiver Oxidation der Moste. Diese widersprüchlichen Ergebnisse haben mehrere Erklärungen:

- a) Die natürliche Sauerstoffaufnahme der Moste kann zur vollständigen Fällung der Flavonoiden genügen, wenn deren Extraktion durch schonende Traubenverarbeitung und Verzicht auf Maischestandzeit limitiert wird. In diesem Fall kann die Mostoxidation die Haltbarkeit der Weine nicht weiter verbessern.
- b) Bittere und Adstringenz existieren nicht a priori in einem jungen flavonoidbelasteten Weißwein, sondern äußern sich erst, wenn die Flavonoiden im Verlauf der oxidativen Alterung polymerisieren. Ihre sensorisch wahrnehmbare Intensität korreliert nicht mit der Konzentration. Sie hängt vielmehr vom chemischen Alter des Weins und dem Zeitpunkt der Beurteilung ab.
- c) Die durch Mostoxidation erzielte Flavonoidminderung wird hinfällig in dem Maß, wie sich der ausgeflockte Phenoltrub, mangels genügend scharfer Mostvorklärung, während der Gärung zurücklöst. Direkte Vergleiche erfordern eine Mostvorklärung standardisierter Schärfe.
- d) Bei der sensorischen Auswertung wird oft nach der Bevorzugung der Varianten gefragt. Die Prüfer antworten darauf in Funktion des Weintyps, den sie gewöhnt sind oder persönlich bevorzugen. Deshalb sind Prüfergruppen bei Präferenzproben immer gespalten. Im Vergleich mit einem flavonoidhaltigen Kontrollwein kann die mostoxidierte Variante weniger Körper und Fülle aufweisen. Das kann in einem Fall als feynfruchtig und rassig interpretiert werden, aber als dünn und ausdruckslos in einem anderen Fall. Ein flavonoidbelasteter Weißwein kann für einen Prüfer körperreich und voll sein, für einen anderen Prüfer jedoch hart und plump. Kurzlebig ist er in jedem Fall. Die quantitative deskriptive Analyse ist ein hilfreiches Instrument zur Spezifizierung sensorischer Eindrücke, sofern eindeutig definierte Parameter benutzt werden.

Flavonoide Phenole verändern während der Alterung das geruchlich wahrnehmbare Aroma, obwohl sie selbst nicht flüchtig sind. Wird ein Wein mit geringem Flavonoidgehalt durch Catechin oder einen Flavonoidextrakt aus Traubenkernen angereichert, erscheint nach wenigen Monaten der Lagerung in mit Kork verschlossenen Flaschen das typische Aromaprofil der Altersfirne, während der Standard höhere Intensitäten für die fruchtigen Aromakomponenten aufweist. Steht Sauerstoff zur Verfügung, bindet der mit Flavonoiden angereicherte Wein mehr Sauerstoff, bildet mehr Acetaldehyd und verliert mehr SO_2 als der Standard (21). Je mehr Sauerstoff der Most aufnimmt, desto weniger kann davon der Wein umsetzen, und desto weniger des vom Wein aufgenommenen Sauerstoffs reagiert mit Phenolen (42).

Bei der Oxidation flavonoider Phenole in Weißwein entstehen Peroxide als starke Oxidationsmittel, die Ethanol zu Acetaldehyd oxidieren (81). Die enzymatische Oxidation im Most liefert stattdessen nur Wasser. Man nimmt an, dass diese Peroxide, durch Oxidation noch unbekannter Vorläuferstufen, auch an der Bildung jener Substanzen beteiligt sind, die man als Altersfirne wahrnimmt. Dieser Reaktionsweg würde erklären, warum die als solche geruchlosen Flavonoide zu Aromaveränderungen während der Alterung führen (21). Die Wirkung flavonoider Phenole als Katalysator des Aromazerfalls ist die Erklärung für die hervorragende Aromastabilität mostoxidierten Weine (1,2,3,8,16,19,20). Sie erklärt weiterhin, warum ein durch Maischestandzeit verstärkt extrahiertes Sortenaroma recht kurzlebig ist, wenn gleichzeitig extrahierte Flavonoide nicht entfernt werden.

Zusammenfassung

Die Mostoxidation erlaubt, dem Weißwein schädliche Phenole bereits mit dem Mosttrub abzutrennen. Dadurch wird die Haltbarkeit der Weine in Hinblick auf die Bildung von Gerbstoff und Altersfirne verbessert. Die Mostoxidation hat über den Umweg der Flotation weitere Verbreitung gefunden, kann aber auch unabhängig davon durchgeführt werden. Anwendung, Reaktionsmechanismen und Auswirkungen auf die sensorische Qualität werden beschrieben sowie die Ursachen widersprüchlicher Ergebnisse erörtert.

Literatur

1. Müller-Späth, H.: Neueste Erkenntnisse über den Sauerstoffeinfluß bei der Weinbereitung aus der Sicht der Praxis. *Weinwirtschaft* 113, 144-157 (1977).
2. Müller-Späth, H., Löscher T., Schäfer G.: Einfluß des Sauerstoffs bei der Weinbereitung von der Traube bis zur Flaschenfüllung. *Der Deutsche Weinbau* 32, 384-392 (1977).
3. Müller-Späth, H., Moschert N., Schäfer G.: Beobachtungen bei der Weinbereitung. Eine Bestandsaufnahme. *Weinwirtschaft* 114, 1084-1089 (1978).
4. Guerzoni M.E. et al.: Stabilisation of white wine by early hyperoxidation of must. *Food Technol. Austral.* 33, 442-446 (1981)
5. Schneider, V.: Must hyperoxidation. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 49, 65-73 (1998).
6. Cheynier, V. et al.: Effect of pomace contact and hyperoxidation on the phenolic composition and quality of Grenache and Chardonnay wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 36-42 (1989).
7. Cheynier, V. et al.: Oxidation enzymatique et chimique des polyphénols au cours de la vinification. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart, 50-59 (1995).
8. Schneider, V.: Verhalten phenolischer Substanzen. *Weinwirtschaft-Technik* 124, 2, 12-16 und 3, 16-20 (1988).
9. Singleton V.L., Esau P.: Phenolic substances in grapes and wine and their significance. In: *Advances in Food Research*. Academic Press, London (1969).
10. Singleton V.L., Noble A.C.: Wine flavor and phenolic substances. *Am. Chem. Soc. Symposium Series* 26, 47-70 (1976).
11. Singleton V.L., Zaya J., Trousdale E.: White table wine quality and polyphenol composition as affected by must SO₂ content and pomace contact time. *Am. J. Enol. Vitic.* 31, 14-20 (1980).
12. Cheynier V. et al.: Must browning in relation to the behavior of phenolic compounds during oxidation. *Am. J. Enol. Vitic.* 41, 346-349 (1990).
13. Cheynier V. et al.: Hyperoxidation: influence of various oxygen supply levels on oxidation kinetics of phenolic compounds and wine quality. *Vitis* 30, 107-115 (1991).
14. Cheynier V. et al.: Estimation of must oxidation during pressing in Champagne. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 393-399 (1993).
15. Ricardo da Silva J.M. et al.: Effect of pomace contact, carbonic maceration and hyperoxidation on the procyanidin composition of Grenache blanc wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 168-172 (1993).
16. Johner H., Schneider V.: Mostoxidation-Erfahrungen aus Baden. *Der Badische Winzer* 10, 359-361 (1991).
17. Peri C. et al.: Madeirization of white wines. Influence of pressing and the susceptibility of grapes to oxidative browning. *J. Sci. Food Agric.* 22, 24-28 (1971).
18. Rossi J.A., Singleton V.L.: Contribution of grape phenols to oxygen absorption and browning of wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 17, 231-239 (1966).
19. Schneider V.: Weinalterung, Teil III. *Weinwirtschaft-Technik* 125, 10, 23-27 (1989).
20. Schneider V.: Comportement des vins obtenus par oxygénation des moûts blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 130, 33-42 (1991).
21. Schneider V.: Entstehung und Charakterisierung von Altersfirne. *Das Deutsche Weinmagazin* 14, 19-21 (1996).
22. Simpson R.F.: Factors affecting oxidative browning in white wine. *Vitis* 21, 233-239 (1982).

23. Verette E., Noble A.C., Somers T.C.: Hydroxycinnamates of *Vitis vinifera*: Sensory assessment in relation to bitterness in white wine. *J. Sci. Food Agric.* 45, 267-272 (1988).
24. Fabre S.: Destination de l'oxygène consommé par le vin. *Revue Fr. d'Oenologie* 71, 23-26 (1993).
25. Schneider V.: Die Entwicklung der Farbe in Rotwein, Farbsüßreserve und rotem Traubensaft. *Weinwirtschaft-Technik* 121, 7, 208-212 (1985).
26. Singleton V.L.: Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines and model systems: observations and practical implications. *Am. J. Enol. Vitic.* 38, 69-77 (1987).
27. Arnold R.A., Noble A.C., Singleton V.L.: Bitterness and astringency of phenolic fractions in wine. *J. Agric. Food Chem.* 28, 675-678 (1980).
28. Delcour J.A. et al.: Flavor thresholds of polyphenolics in water. *Am. J. Enol. Vitic.* 35, 134-136 (1984).
29. Joslyn M. A., Goldstein J.L.: Astringency of fruits and fruit products in relation to phenolic content. *Wall. Lab. Comm.* 28, 143-159 (1965).
30. Lea A.G.H.: The analysis of cider phenolics. *Ann. Nutr. Alim.* 32, 1051-1061 (1978).
31. Lea A.G.H., Arnold G.M.: The phenolics of cider: bitterness and astringency. *J. Sci. Food Agric.* 29, 478-483 (1978).
32. Lea A.G.H. et al.: The procyanidins of white grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 30, 289-300 (1979).
33. Rossi J.A., Singleton V.L.: Flavor effects and adsorptive properties of purified fractions of grape seed phenols. *Am. J. Enol. Vitic.* 17, 240-246 (1966).
34. Williams R.L., Duvernay J.M., Recht J.: Influencing polyphenols in white wine. Seed enhancements studies. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart, 233-239 (1995).
35. Dubernet M.: Recherches sur la tyrosinase de *Vitis vinifera* et la laccase de *Botrytis cinerea*. Thèse, Université de Bordeaux II, 1974.
36. Dubernet M., Ribéreau-Gayon P.: Causes et conséquences de la consommation de l'oxygène par les moûts de raisin. *Vitis* 13, 233-244 (1974).
37. Lee C.Y., Jaworski A.W.: Phenols and browning potential of white grapes grown in New York. *Am. J. Enol. Vitic.* 39, 337-340 (1988).
38. Rigaud J. et al.: Mécanismes d'oxydation des polyphénols dans les moûts blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 27-31 (1990).
39. Rigaud J. et al.: Influence of must composition on phenolic oxidation kinetics. *J. Sci. Food. Agric.* 57: 55-63 (1991).
40. Singleton V.L. et al.: Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymic oxidation in grape must and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 50-56 (1985).
41. Crapisi A.R. et al.: Prefermentative treatments interaction on the white must phenolic composition. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart, 79-84 (1995).
42. Bagnoud X.: Etude de la réactivité des moûts et des vins blancs vis-à-vis de l'oxygène: Méthodes d'analyse et applications pratiques. Diplomararbeit, Ecole d'Ingénieurs ETS, Changins (1993).
43. Gétaz J., Fabre S.: Mesure de l'absorption d'oxygène dans les moûts par la méthode D.B.O. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 21-26 (1990).
44. Koch T., Baumgarten G.F.: Research report on the influence of grape varieties and the oxidation thereof on polyphenols of South African grape juice. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart, 60-66 (1995).
45. Neradt F.: Sauerstoffbindungsgeschwindigkeit bei Traubenmost. *Weinberg und Keller* 17, 519-526 (1970).

46. Perscheid M., Zürn F.: Über die Bedeutung des Sauerstoffs bei der Weinbereitung. *Weinwissenschaft* 31, 4, 287-300 (1976).
47. Perscheid M., Zürn F.: Der Einfluß von Oxidationsvorgängen auf die Weinqualität. *Weinwirtschaft* 113, 10-12 (1977).
48. Riba J.P.: L'oxygène en solution: Solubilité et lois de transfert. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 14-19 (1990)
49. Vivas N.: Les oxydations et les réductions dans les moûts et les vins, 56-66, Editions Féret, Bordeaux 1999.
50. Schneider V.: Forcierte Mostoxidation-technische Anwendung. *Weinwirtschaft-Technik* 126, 8, 35-36 (1990).
51. Establet G., Mulinazzi W.: Innovations dans les procédés de clarification des moûts. *Revue Fr. d'Oenologie* 77, 35-40 (1994)
52. Schneider V., Chapron P.: Mostvorklärung durch Flotation. *Weinwirtschaft Technik* 128, 2, 17-19 (1992).
53. Tournier R.: Conditions de mise en oeuvre de l'hyperoxygénation. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 39-41 (1990).
54. Schneider V.: Oxidative Weinalterung. Analytische Ansätze. *Das Deutsche Weinmagazin* 17, 18-26 (1993).
55. Schneider V.: Aussagekraft des Catechinwertes. *Weinwirtschaft-Technik* 125, 2, 17-19 (1989).
56. Schneider V.: Evaluation of small amounts of flavonoid phenols in white wines by colorimetric assays. *Am. J. Enol. Vitic.* 46, 274-277 (1995).
57. Moutounet M. et al.: Les mécanismes d'oxydation mis en jeu lors de la préparation des moûts destinés à l'élaboration de vins blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 117, 23-29 (1989).
58. Moutounet M. et al.: Influence de quelques paramètres sur l'oxydation des moûts de raisin. Interprétations technologiques. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 32-38 (1990).
59. Schmitt A. et al.: Über den Einfluß des Sauerstoffs auf Maische und Most unter Berücksichtigung der Reduktionsmittel SO₂ und Ascorbinsäure. *Der Deutsche Weinbau* 23, 856-859 und 24, 890-897 (1980).
60. Schneider V.: Neuere Erkenntnisse zur Mostoxidation. *Die Winzer-Zeitung* 10, 20-23 (1994).
61. Mayer G., Dietrich H., Wucherpfenning K.: Weinausbau ohne SO₂ mit Enzymen möglich? *Weinwirtschaft-Technik* 7, 18-22 (1990).
62. Bach H.P., Nobis P.: Einfluß der Mostoxidation auf den Wein. *Weinwirtschaft-Technik* 9, 294-311 (1985).
63. Artajona J.R.: et al.: Expériences d'hyperoxygénation au Penedés. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 65-67 (1990).
64. Bailly B.: Essai d'hyperoxygénation des moûts sur cépages locaux en Alsace. *Revue Fr. d'Oenologie* 127, 7-14 (1990).
65. Müller-Späth H.: Der POM-Test. *Der Deutsche Weinbau* 23, 1099-1100 (1992).
66. Piracci A. et al.: Influenza della ossigenazione spinta dei mosti su alcuni parametri fenolici di vini bianchi e loro conservabilità. *Vignevini* 6, 43-51 (1994).
67. Nicolini G., Mattivi F., Dalla Serra A.: Iperossigenazione dei mosti: conseguenze analitiche e sensoriali su vini della vendemmia 1989. *Riv. Vitic. Enol.* 3, 45-56 (1991).
68. Perez-Bustamante J.A. et al.: Influence of controlled oxydation on the polyphenolic contents of sherry must. In: *Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft"*, Stuttgart, 152-160 (1995).
69. Guedes de Pinho P., Bertrand A., Guillou I.: Influence de l'hyperoxygénation des moûts sur la composition chimique et sensorielle des vins blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 145, 9-17 (1994).

70. Nagel C.W., Graber W.R.: Effect of must oxidation on quality of white wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 39, 1-4 (1988).
71. Schneider V.: Primäroroma. *Die Winzer-Zeitung* 10, 24-25 (1994).
72. Nicolini G.: Variazioni nel profilo sensoriale di vini Sauvignon blanc in relazione all' iperossidazione dei mosti. *Riv. Vitic. Enol.* 4, 35-43 (1992).
73. Schneider V.: Einfluß von Maischestandzeit und Mostoxidation auf die Sensorik von Riesling. *Die Winzer-Zeitung* 7, 22-25 (1996).
74. Blanck G.: Utilisation de l'hyperoxidation pour la valorisation des moûts de tailles en Champagne. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 50-57 (1990).
75. Cordonnier R.E., Bayonove C.L.: Etude de la phase préfermentaire de la vinification: extraction et formation de certains composés de l'arôme, cas des terpénols, des aldéhydes et des alcools en C6. *Conn. Vigne Vin* 15, 269-286 (1982).
76. Ough C.S., Crowell E.A.: Use of sulfur dioxide in winemaking. *J. Food Sci.* 52, 386-388 (1987).
77. Guillot I., Bertrand A.: Dosage des aldéhydes dans les vins - influence de l'hyperoxygénation des moûts sur leurs teneurs dans les vins. *Rapport des activités de recherches 1990-92, Institut d'Oenologie, Université de Bordeaux II*, 96-98 (1993).
78. Dubourdiou D., Lavigne V.: Incidence de l'hyperoxygénation sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins blancs secs du Bordelais. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 58-61 (1990).
79. Meistermann E.: Hyperoxygénation des moûts: essais réalisés en Alsace. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 62-64 (1990).
80. Schneider V.: Maischestandzeit bei weißen Rebsorten. *Das Deutsche Weinmagazin* 20, 26-32 (1998).
81. Wildenradt H.L., Singleton V.L.: The production of aldehydes as a result of oxidation of phenolic compounds and its relation to wine aging. *Am. J. Enol. Vitic.* 25, 119-126 (1974).

