

Önologisches Kompendium

No. 3 - III./2002

Mostoxidation unter besonderer Berücksichtigung der Flotation

Volker Schneider, Önologisches Institut, Bingen

Die Mostoxidation ist eine relativ junge Technologie der Weißweinbereitung. In den 80er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts war die Diskussion um dieses Verfahren zu einem glaubenspolitischen Credo ausgeartet. Danach wurde es wieder still um sie. Doch seit die Flotation als Technik der Mostvorklärung Verbreitung gefunden hat, kommt sie in neuer Version wieder zur Anwendung. Die Flotation, auf ungeschwefelte Moste angewandt, beinhaltet die intensivste Form der Mostoxidation.

Die Mostoxidation ist ein klassisches Beispiel dafür, wie Lehrmeinungen aufgebaut oder demontiert werden in Abhängigkeit von den ökonomischen Interessen Dritter. Ihre verspätete Akzeptanz über den Umweg der Flotation zwingt zu einer aktualisierten Auseinandersetzung mit ihren Auswirkungen auf den Wein. Dieser Beitrag beschreibt ihren Einfluß auf die phenolischen Inhaltsstoffe des Weins, die beteiligten Reaktionsmechanismen und die sensorischen Konsequenzen.

Historie

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 defizitäre 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 Persönlichkeiten 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. Dem naturwissenschaftlich ungeschulten Fachpublikum blieb die Kenntnis der Zusammenhänge fremd. 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, speziell für die Mostoxidation aufbereitet, war noch nicht erfunden. Andererseits wäre ein breites Spektrum von Schönungsmitteln, 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 Meinungsbildnern 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 wenig wirtschaftlich und Kohlensäure aus technischen Gründen unbrauchbar. Folglich kommt meist komprimierte Luft zur Anwendung, die bekanntlich 21 % Sauerstoff und 79 % Stickstoff enthält. Es kommt zu einer Anreicherung des Mostes mit 40-43 mg/l Sauerstoff und damit zur intensivsten aller Varianten der Mostoxidation, solange der Most keine schweflige Säure enthält. In diesem Fall werden alterungsrelevante Phenole annähernd 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, bewußt oder unbewußt, auf breiter Ebene praktiziert. Die Phenolminderung wird sogar als ein Argument für die Flotation angeführt. Somit ist die einst totgesagte Mostoxidation wieder aktuell geworden.

Herkunft und Eigenschaften der nichtflavonoiden Phenole

Im deutschen Sprachraum werden immer noch kontroverse Diskussionen über den Wert von Phenolen in Weißwein geführt (6). Widersprüche ergeben sich aus ihrer antioxidativen, geschmacklichen und gesundheitlichen Wirkung einerseits, und ihrer Fähigkeit zur oxidativen Alterung andererseits. Solche scheinbaren Widersprüche bleiben zwangsläufig bestehen, solange Phenole ohne weitere Differenzierung als Gesamtphenolgehalt gemessen und beurteilt werden.

Um die Auswirkungen der Mostoxidation auf den späteren Wein zu verstehen, muß zunächst eine solche Differenzierung zwischen den verschiedenen Arten von Phenolen in Weißwein herbeigeführt werden. Die einfachste Unterteilung der aus den Trauben in den Wein übergehenden Phenole umfasst eine flavonoide und eine nichtflavonoide Fraktion.

Die nichtflavonoiden Phenole bestehen aus Phenolcarbonsäuren der Grundstruktur C₆-C₁ oder C₆-C₃. Sie besitzen nur einen Benzolring, an dem eine einzelne weitere Kohlenstoffeinheit (Benzoessäurederivate) oder eine Kette von drei Kohlenstoffatomen (Zimtsäurederivate) sitzt. Sie liegen meist an andere Säuren gebunden vor. Mengenmäßig wichtigster Vertreter ist die Caftar säure, eine mit Weinsäure veresterte Hydroxyzimtsäure (Abb. 1). Auch die Shikimisäure, zur analytischen Differenzierung von Rebsorten herangezogen, zählt dazu.

Die Phenolcarbonsäuren liegen in Pulpasaft und Fruchtfleisch der Traubenbeeren gelöst vor. Weitgehend unabhängig von den technischen Bedingungen der Traubenverarbeitung finden sie sich im Most wieder (7). Ihr Gehalt ist in erster Linie von der Traube, insbesondere Rebsorte und Reifegrad, vorgegeben. Durch eine Oxidation des Mostes kommt es zu chemischen Veränderungen innerhalb dieser Fraktion (8). Dabei wird ihre Konzentration als solche jedoch nicht wesentlich vermindert (9).

Phenole sind die primären Sauerstoffakzeptoren des Weines, und Nichtflavonoide fangen den größten Teil des in den Weißwein eindringenden Sauerstoffs ab. Ihre Oxidation führt aber nicht zu den bekannten, sensorisch wahrnehmbaren Oxidationserscheinungen der Weine wie Bittere, Hochfarbigkeit und Altersfirne. Weißweine, deren Phenolspektrum ausschließlich oder überwiegend aus Nichtflavonoiden besteht, sind somit weitgehend resistent gegen oxidative Alterungserscheinungen und von hoher Stabilität hinsichtlich des Erhalts des fruchtigen Geruchs und Geschmacks (10).

Die in den fruchteigenen Nichtflavonoiden enthaltenen Einzelsubstanzen schmecken wie alle Phenole bitter, sofern sie eine bestimmte Konzentration überschreiten. Bei einem durchschnittlichen Gehalt von 200 mg/l wird der Geschmacksschwellenwert jedoch selten erreicht (74). Eine Gerbigkeit geht ihnen vollkommen ab. Der sensorische Beitrag der Nichtflavonoiden aus der Traube besteht darin, dass sie einen Sinnesindruck von Körper und Mundfülle hinterlassen (11). Diese positive Eigenschaft wird besonders dann deutlich, wenn man in einem Weißwein, dessen Gesamtphenolgehalt ausschließlich aus Nichtflavonoiden besteht, eine weitere Phenolminderung durch Schöning herbeiführt. Der Wein präsentiert sich danach deutlich leerer, ohne dass sich zusätzliche Vorteile in Hinblick auf die Haltbarkeit ergeben.

Aufgrund ihrer sensorischen Stabilität während der Alterung und ihres geschmacklichen Beitrags besonders in Weißweinen ist es widersinnig, den Gehalt traubenbürtiger nichtflavonoider Phenole reduzieren zu wollen. Da er andererseits vom Pulpensaft der Traube her vorgegeben ist, bestehen keine keller-technischen Möglichkeiten, ihn wesentlich zu erhöhen.

Herkunft und Eigenschaften der flavonoiden Phenole

Flavonoide Phenole besitzen als Gemeinsamkeit eine Grundgerüst der Struktur $C_6-C_3-C_6$. Zwei Benzolringe sind durch eine Kette von drei C-Atomen und einem Sauerstoffatom verbunden (Abb. 2). Befindet sich nur eine Alkoholgruppe am mittleren Ring, so spricht man von den Flavan-3-olen oder den Catechinen. Findet sich in der Nachbarschaft der Alkoholgruppe eine Ketogruppe, so gehören die Verbindungen den Flavonolen an. Trägt der Sauerstoff am mittleren Ring eine positive Ladung, handelt es sich um die rot-blauen Anthocyane. Zumindest in Rotweinen liegen Vertreter all dieser Stammgruppen vor, wobei einigen von ihnen gesundheitlich hoch positive Effekte beigemessen werden. Die in Weißwein relevanten flavonoiden Phenole sind die Flavanole bzw. Catechine. Sie können sich zu Polymeren verbinden, deren Dimere aus zwei Molekülen Procyanidine genannt werden. Der Begriff der flavonoiden Phenole, auf Weißwein angewandt, ist somit näherungsweise ein Synonym für Flavanole, Catechine und daraus entstandene Procyanidine.

Die flavonoiden Phenole sind in den festen Bestandteilen der Traube - Kerne, Stiele und Schalen - lokalisiert. Während der Verarbeitung von Trauben und Maische werden sie teilweise herausgelöst. Das Ausmaß dieser Extraktion schwankt zwangsläufig in Abhängigkeit von den Vinifikationsbedingungen. Die Ganztraubenpressung verfolgt das Ziel minimalster Extraktion zur Erzielung hochfruchtiger und haltbarer Weißweine. Das ihr entgegengesetzte Extrem, die bewußt oder unbewußt durchgeführte Maischestandzeit, führt zu einer systematischen Erhöhung des Flavonoidgehaltes (12).

In der Praxis der gängigen Traubenverarbeitung hat die mechanische Belastung des Lesegutes eine entscheidende Bedeutung. Das Pumpen der Maische, erhöhte Pressdrücke und insbesondere die Anzahl der Scheiterintervalle während des Pressens treiben den Gehalt flavonoider Phenole oft auf unkontrollierte Art in die Höhe. Das Entrappen hat darauf nur einen beschränkten Einfluß, da über die Hälfte der extrahierbaren Flavonoiden aus den Kernen resultiert (13). Die maschinelle Traubenlese hat als solche ebenfalls kaum Einfluß auf den Flavonoidgehalt, da sie meist intakte Beeren liefert. Oft sind jedoch die ihr nachgelagerten Phasen der Traubenverarbeitung für eine erhöhte Extraktion von Flavonoiden verantwortlich, wenn die Verarbeitungskapazität der Erntekapazität nicht angepasst ist (7,11,14,15,16,17). Diese Zusammenhänge erklären, warum der Gehalt flavonoider Phenole in erster Linie betriebspezifisch ist.

Flavonoide Phenole zeigen eine hohe Reaktionsfreudigkeit mit weitreichenden sensorischen Konsequenzen, die von den traubenbürtigen Nichtflavonoiden her nicht bekannt sind. Diese Reaktionen umfassen im wesentlichen Oxidation und Polymerisation. Im Zuge der Polymerisation verbinden sich kleine Einzelmoleküle zu größeren Molekülkomplexen von meist brauner Farbe (76,77,78). Dabei nimmt die ihnen eigene Bittere und Adstringenz zu (79,80,81,82,83,84,85). Die Polymerisation kann in Abwe-

senheit von Sauerstoff ablaufen, wird jedoch durch eine vorgängige Oxidation der Flavonoiden beschleunigt (75). Deshalb ist die passive oder aktive Zufuhr von Sauerstoff zum Wein von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung von Adstringens und Bittere.

Alle Phenole binden Sauerstoff; in filtrierten Weinen sind sie die primären Sauerstoffakzeptoren. Doch während die Oxidation der fruchteigenen Nichtflavonoiden keine weitreichenden sensorischen Folgen hat, verändert die der Flavonoiden nicht nur ihre Gerbigkeit, sondern schlägt sich auch im Geruchsbild der Weine nieder (18,19,20). Da Flavonoide aufgrund ihres hohen Siedepunktes bzw. niedrigen Dampfdruckes nicht flüchtig und somit dem Geruchssinn selbst nicht zugänglich sind, resultiert diese Veränderung des Aromas aus Folgereaktionen, die der Sauerstoffbindung nachlaufen.

Zahlreiche Phenole bilden bei ihrer Oxidation Peroxide, eine Form aktivierten Sauerstoffs, die Substanzen zu oxidieren vermag, die der direkten Oxidation mit molekular gelöstem Sauerstoff nicht zugänglich sind. Diese Peroxide reagieren auf verschiedenen Wegen weiter. Während ihr überwiegender Anteil durch die schweflige Säure spontan abgefangen wird, reagiert ein kleiner Anteil mit anderen Weinhaltstoffen. Dabei entstehen letztlich auch solche Verbindungen, die für die geruchlich wahrnehmbare Altersfirne und einen Verlust von Fruchtaromen verantwortlich sind (19,20).

Bezogen auf die Konzentrationseinheit und eine gegebene Menge aufgenommenen Sauerstoffs, bilden flavonoide Phenole ungleich mehr Peroxide als die nichtflavonoiden Phenolcarbonsäuren. Daraus erklärt sich die katalytische Bedeutung von Flavanolen für die oxidationsbedingte Veränderung des Geruchsbildes.

Nach der Gärung schützt die noch in Suspension befindliche Feinhefe den selbst ungeschwefelten Jungwein vor Oxidation, weil sie zutretenden Sauerstoff vollständig zehrt (21) und so von der Reaktion mit phenolischen Substanzen fernhält. In dieser Phase treten Flavonoide sensorisch kaum in Erscheinung, weil sich ihr Eigengeschmack erst mit einer gewissen chemischen Alterung entwickelt. Erst nach der Filtration reagiert zutretender Sauerstoff mit Phenolen. Liegen nun die im Most angereicherten Flavonoide noch vor, setzen die für sie typischen Reaktionen von Oxidation und Polymerisation ein. Dabei nimmt ihre Geschmacksintensität zu und es entstehen Gerbstoffe bzw. Tannin (22). Der Wein altert mehr oder weniger schnell. Über das Entstehen von Gerbigkeit hinaus ist auch eine Abnahme fruchtiger Aromakomponenten zugunsten von Altersfirne zu beobachten. Der bereits beschriebene Peroxid-Mechanismus ist eine der wesentlichen Ursachen für den frühzeitigen Verlust von Fruchtaromen im Weißwein. Nur im Extremfall tritt eine Farbintensivierung bis zur Bräunung auf.

Die Geschwindigkeit, mit der diese Reaktionen ablaufen, hängt von der Konzentration an flavonoiden Phenolen, der Menge des aufgenommenen Sauerstoffs und der Temperatur ab (Abb. 3). Im jungen Weißwein sind Flavonoide kaum wahrnehmbar. Meist stellt sich die negative Entwicklung erst nach der Abfüllung ein. Der dazu erforderliche Sauerstoff diffundiert durch den Flaschenverschluß. Mit Korken verschlossene Weine erfahren dadurch eine Sauerstoffaufnahme in der Größenordnung von 10 mg/l O₂ pro Jahr, die sich bei Schraubverschlässen auf ein Drittel reduziert (20). Nur ein Bruchteil des so aufgenommenen Sauerstoffs wird durch schweflige Säure abgefangen mit der Folge einer langsamen Abnahme derselben über Monate und Jahre hinweg. Da sie die Flavonoiden nur unvollständig vor Oxidation zu schützen vermag, kann durch ein Abfüllen mit höheren Gehalten an freier schwefliger Säure die negative Entwicklung keineswegs verlangsamt oder unterbunden werden (18).

Die Bestrebungen, die den Flavonoiden zugeordneten Sinneseindrücke von Bittere, Adstringens und Firne zu minimieren, werden von den Herstellern kellertechnischer Behandlungsmittel nach Kräften unterstützt. Meist als Reparaturmaßnahme eingesetzt, halten diese glättenden Schönungsmittel eine ganze Handelssparte am Leben. Ihre Wirkung folgt einigen einfachen Grundsätzen (22):

- Mangels Spezifität mindern sie sowohl die schädlichen Flavonoiden als auch die gewünschten Nichtflavonoiden. Dabei besteht das Risiko, einen Wein leereschönen.
- Von den Flavonoiden wird im allgemeinen nur jener Anteil erfasst, der zum Zeitpunkt der Anwendung bereits so weit polymerisiert ist, dass er als gerbend wahrgenommen und als Gerbstoff ausgefällt werden kann. Weniger polymerisierte Flavonoide bleiben erhalten und stellen ein Potenzial für die erneute Bildung von Gerbstoff im Verlauf der Alterung.

- Durch diese nachträgliche Bildung von Gerbstoff können Weine, die sich nach der Behandlung als leergeschönt präsentieren, erneut eine Art von Vollmundigkeit in Form von Adstringens ausbilden.
- Nur PVPP ist in der Lage, zum Zeitpunkt der Anwendung noch nicht als Gerbstoff vorliegende Flavonoide zu entfernen und den Wein zeitlich unbeschränkt zu stabilisieren.
- Gelatine entfernt keine wesentlichen Mengen flavonoider noch sonstiger Phenole aus Weißwein, da dort keine Phenole in genügend hoher Konzentration vorliegen, um zu mit Gelatine fällbaren Gerbstoffen zu polymerisieren. Ihre gute Wirkung in Rotwein kann nicht auf Weißweine übertragen werden.

Aus den angeführten Gründen ist der Prevention der Vorzug vor der Reparatur zu geben. Prevention heißt in diesem Zusammenhang, die Aufnahme flavonoider Phenole während der Vinifikation zu minimieren oder sie möglichst spezifisch zu entfernen. Reparatur durch Schönung bedeutet eine unspezifische Minderung aller Arten phenolischer Substanzen. Im Folgenden wird gezeigt, wie die Mostoxidation durch die Ausfällung flavonoider Phenole wirkt.

Phenolanalytik in der Betriebskontrolle

Innerhalb der Gruppe der Weißweine macht der Gesamtphenolgehalt keine praktisch verwertbare Aussage, weil er sich aus zwei Variablen - Flavonoide und Nichtflavonoide - zusammensetzt. Abbildung 4 zeigt, dass Weißweine mit einem identischen Gesamtphenolgehalt unterschiedliche Mengen an Flavonoiden aufweisen können, und dass aus einem hohen oder niedrigen Gesamtphenolgehalt keine Aussage über die Konzentration kritischer Flavonoide abgeleitet werden kann.

Die Bestimmung des Flavonoidgehaltes gibt eine präzisere Information. Dazu ist es keineswegs nötig, die in der flavonoiden Phenolfraktion enthaltenen Einzelphenole mittels chromatographischen Methoden aufzuschlüsseln. Ihre fotometrische Bestimmung als Summenparameter ist einfacher und schneller und im übrigen reproduzierbarer als die des Gesamtphenolgehaltes (23). In der Praxis der Betriebskontrolle gibt sie eine wertvolle Information. Sie erlaubt eine Quantifizierung der flavonoiden Phenole unabhängig davon, ob sie sensorisch bereits als Gerbstoffe in Erscheinung getreten sind oder noch nicht. Wird sie auf Moste und Jungweine angewandt, können rechtzeitig Maßnahmen zur Entfernung erhöhter Flavonoidgehalte eingeleitet werden, bevor diese den Wein negativ verändern.

Die in dieser Fraktion enthaltenen Phenole haben im Redoxsystem des Weißweins eine eindeutig oxidative Wirkung, obwohl sie im menschlichen Organismus antioxidative Effekte durch das Abfangen freier Sauerstoffradikale aufweisen können. Sie sind verantwortlich für die Bildung von Gerbstoff und den frühzeitigen Zerfall der Fruchtaromen. Die ihnen innewohnende chemische Dynamik kann in einem SO₂-freien Wein nach der Filtration innerhalb kurzer Zeit visualisiert werden. Die dabei auftretende Bräunung ist ein Index für die Intensität, mit der die beteiligten Reaktionen nach dem Aufschwefeln ablaufen (Abb. 5).

Fällung flavonoider Phenole durch Mostoxidation

Werden frisch gepresste, weiße Moste sich selbst überlassen, kommt es zu einer Oxidation, Bräunung und Ausfällung von Phenolen. Verantwortlich dafür sind die im Most enthaltenen Polyphenoloxidasen. Wird die Aktivität dieser Enzyme durch schweflige Säure inhibiert, sind die Phenole gegen Oxidation geschützt und in Lösung stabilisiert. Die Bräunung bleibt aus.

Die Phenoldynamik in der Phase des Mostes ist stark von dem Einsatz schwefliger Säure abhängig. Die Mostverarbeitung ohne SO₂ ist schon relativ oxidativ. Eine solche passive Oxidation wird ausschließlich durch den verfügbaren Sauerstoff begrenzt. Sie stellt den Übergang von der Mostverarbeitung unter SO₂-Schutz zur aktiven Oxidation dar.

Die Oxidation des Mostes ist in ihrem Ursprung kaum chemischer, sondern überwiegend enzymatischer Natur. Die beteiligten Enzyme sind die Tyrosinase gesunder Trauben und die Laccase aus mit Botrytis infizierten Trauben. Beide Arten von Polyphenoloxidase übertragen Sauerstoff und katalysieren die Oxidation von Phenolen zu den entsprechenden Chinonen. Dabei hat die Laccase ein breiteres Spektrum möglicher Substrate als die Tyrosinase (24,25). Die weiteren Reaktionen, die von den Chinonen zu unlöslichen braunen Pigmenten führen, sind rein chemischer Art.

Wie bereits gezeigt, sind die quantitativ dominierenden Phenole in weißen Mosten nichtflavonoider Natur. Dabei handelt es sich überwiegend um Caftarssäure. Darüber hinaus enthalten Moste schwankende

Gehalte an Glutathion, eine stark reduzierende Aminoverbindung, welche an den nichtenzymatischen Folgereaktionen beteiligt ist. Das Zusammenwirken von Glutathion und Caftarsäure reguliert die Reaktionskinetik der Oxidation des Mostes.

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 (14,15,26,27,28,29,86,87):

- a) Es verbindet sich mit Glutathion zu einer farblosen Verbindung, die als 2-S-Glutathionyl-Caftarsäure oder grape reaction product (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), werden die Folgereaktionen bis hin zur Oxidation der Flavonoiden eingeschränkt. Der Sauerstoffbedarf erhöht sich. Ist schweflige Säure vorhanden, wird zunächst die Tyrosinase weitgehend inaktiviert und gleichzeitig das Chinon der Caftarsäure, so weit gebildet, wieder reduziert. Die Mostoxidation ist nicht möglich.

Das Sauerstoffbindungsvermögen ungeschwefelter Moste ist äußerst unterschiedlich und hängt von der ursprünglichen Konzentration der Caftarsäure ab. Die Oxidationskinetik hingegen ist von dem molaren Verhältnis von Caftarsäure zu Glutathion abhängig. Dieses Verhältnis ist für jede Rebsorte spezifisch (30). 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 (31).

Werden Flavonoide durch das Chinon der Caftarsäure oxidiert (b), polymerisieren sie und fallen als unlösliche braune Partikel aus. Darin besteht das eigentliche Ziel der Mostoxidation. 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 alkoholischen Milieu des Weins 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.

Enzymatischer Sauerstoffbedarf

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 (24,25,32,33,34,35,36,37,38). 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 (28). Durch schweflige Säure (24) oder hohe Fungizidrückstände wird die Oxidaseaktivität verringert und die Sauerstoffumsatzrate drastisch reduziert. Die Moste bleiben grün.

Die Zeitspanne, während der ein Most Sauerstoff umsetzen muß bis zur maximal möglichen Fällung flavonoider Phenole, schwankt zwischen 15 Minuten und zwei Stunden (31,32,35). Die Umsetzung von 1 mg/l O₂ mindert den Flavonidgehalt um bis zu 8,6 mg/l (9), wobei der anfänglich umgesetzte Sauerstoff die stärkste Flavonoidfällung bewirkt (Abb. 6). 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 (32).

Tabelle 1 zeigt, dass die Mostoxidation überwiegend auf die sensorisch relevanten Flavonoiden wirkt. Die nichtflavonoide Phenolfraction erfährt zwar tiefgreifende qualitative Veränderungen (9), wird jedoch nicht wesentlich in ihrer Konzentration gemindert. War die Fällung flavonoider Phenole nicht vollständig, werden geringe Restmengen durch die Hefe während der Gärung adsorbiert.

Die passive Sauerstoffaufnahme während der Verarbeitung ungeschwefelter Moste unterliegt einer breiten Schwankung und kann durchaus die oben angegebenen Sauerstoffmengen erreichen. In vielen Fällen schonender Traubenverarbeitung genügt sie zu einer ausreichenden Flavonoidminderung. 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 (39,40). 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 Bläßchengröße erforderlich. Deshalb sollte eine feinporöse Fritte (2-10 µ) verwendet werden, deren Oberfläche regelmäßig von Mostrückständen befreit wird (39,41).
- 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 auf einmalig 40-45 mg/l O₂ erhöht. Flavonoidfällung und Mostvorklärung sind optimal (42,43,44).

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 vervielfacht werden.

Die entstandene Bräunung steht in keinem direkten Zusammenhang mit der Flavonoidfällung. Der Erfolg der Mostoxidation wird über die Bestimmung des Flavonoidgehalts kontrolliert, wozu entsprechende analytische Methoden zur Verfügung stehen (23,45,46). Obwohl sich der Gesamtphenolgehalt zwangsläufig mindert, erlaubt er keinen Rückschluß auf den Flavonoidgehalt.

Bedeutung der Mostvorklärung

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. Allein deshalb darf die Mostvorklärung erst im Anschluß durchgeführt werden. Die Flotation mit Luft ist eine ausgezeichnete Möglichkeit, Mostoxidation und Mostvorklärung in einem Arbeitsgang durchzuführen. Die durchschnittliche Verweilzeit des mit Sauerstoff gesättigten Mostes bis zum Entfernen des auffloatierten Trubes genügt zur vollständigen Ausflockung der Flavonoiden (43).

Schweflige Säure von 50 mg/l verringert die Oxidasenaktivität 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 (24,47,48,49). Werden geschwefelte Moste floriert (grüne Flotation), kann nicht mehr von Mostoxidation gesprochen werden.

Die Schöpfung mit 100 g/hl Bentonit mindert die Oxidaseaktivität um 30 % (24). Trotzdem wird die Flavonoidfällung 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 (50). Deshalb schränkt eine Bentonitbehandlung vor der Flotation den Effekt der Mostoxidation, gemessen als Flavonoidminderung, nicht ein.

Eine Erhöhung der Temperatur bis auf 45° C erhöht die Oxidaseaktivität, hat aber keinen Vorteil im Hinblick auf die Flavonoidfällung (33,51). 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 traditionelle Form der Mostoxidation, also ohne Flotation, sofort nach dem Pressen und vor allen weiteren Mostbehandlungen durchgeführt werden muß. Nach erfolgter Flavonoidfällung oder mindestens zwei Stunden nach der Begasung kann die Vorklärung mit den klassischen Methoden erfolgen.

Die Schärfe der Mostvorklärung ist von entscheidender Bedeutung. Die Trubbelastung des geklärten Mostes sollte nicht mehr als 0,5 Gewichtsprozent 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 (50). Deshalb muß die Mostoxidation auf jeden Fall vor der Vorklärung stattfinden. Der Effekt der Mostoxidation ist weitgehend 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 objektiv gemessenen Klärschärfe ab (50, 52). Die durch Flotation erreichte Klärschärfe genügt allen Kriterien.

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.

Unter gewissen Bedingungen ist es möglich, Mostoxidation und schweflige Säure miteinander zu verbinden. In diesem Fall kann schweflige Säure nach der Mostvorklärung eingesetzt werden, wenn sie aus mikrobiologischen Gründen erwünscht ist. Der aus der Mostoxidation resultierende Phenoltrub ist zu diesem Zeitpunkt bereits abgetrennt. Andernfalls kommt es zu einer partiellen Rücklösung der ausgeflockten Flavonoiden (50).

Eine Zunahme der bakteriellen Aktivität durch die Mostoxidation konnte nicht beobachtet werden (33). Relevante Bakterien wie Acetobacter finden in allen Mosten Sauerstoff vor; zusätzliche Sauerstoffgaben können sie physiologisch nicht umsetzen. Probleme mit flüchtiger Säure haben in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ihren Ursprung in der Aktivität von Milchsäurebakterien im noch restsüßen Wein (53). Dies hat mit der oxidativen Mostverarbeitung nichts zu tun. Gärungskinetik, Endvergärungsgrad und SO₂-Bedarf der Jungweine werden durch die Mostoxidation nicht beeinflusst, da der ein-

gebrachte 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 (1,2,3,14,15,18,32,33,54,55,56,57,58,59). 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 (60). 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 in Abhängigkeit von ihrem Flavonoidgehalt (Abb. 5) (32).

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 widerspiegelt. 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 (18,32). Andere Untersuchungen ergaben dagegen keine Unterschiede in der sensorischen Bevorzugung (14,27,61,62).

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 (27). 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 (54). 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 (63). Bei Sauvignon blanc aus Italien ergab die Mostoxidation eine Minderung der sortentypischen Aromakomponenten, ohne dass dies in der Präferenzanalyse negativ bewertet wurde (64).

Nach Auswertung mittels quantitativer deskriptiver Analyse zeigte Riesling aus Deutschland (65) 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 (17,61,66,67,68) 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 (61). Die Bildung von C6-Aldehyden und höheren Alkoholen während oxidativer Maischeverarbeitung ist bekannt (67, 69). Für flüchtige Phenole (57,70) und flüchtige Schwefelverbindungen (1,2,3,61) scheint sich eine Tendenz zu niedrigeren Werten in Weinen aus der Mostoxidation zu ergeben.

Ursachen widersprüchlicher Ergebnisse

Andere Untersuchungen (12,14,27,57,62,71) 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) Der Zeitpunkt der sensorischen Bewertung spielt eine entscheidende Rolle. 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. Ähnliches gilt für die Aromatik. Obwohl die Mostoxidation in einigen Fällen zu einer verringerten Intensität fruchtiger Aromakomponenten im Stadium des jungen Weins führt, kehren sich die Verhältnisse mit fortschreitender Alterung um. Die Fruchtaromen der mostoxidierten Weine sind über die Zeit stabiler, während sie in flavonoidhaltigen Vergleichsvarianten durch eine zunehmende Altersfirne maskiert werden (19,20). Positive Effekte der Mostoxidation sind nicht im Stadium des Jungweins zu beobachten, sondern kommen erst bei der Alterung zum Tragen.
- 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, die in den seltensten Fällen gegeben ist.
- 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 feinfruchtig 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 und bildet mehr Firne als der Standard (19,20). Je mehr Sauerstoff der Most aufnimmt, desto weniger kann davon der Wein umsetzen, und desto weniger des vom Wein aufgenommenen Sauerstoffs reagiert mit Phenolen (33).

Bei der Oxidation flavonoider Phenole in Weißwein entstehen Peroxide als starke Oxidationsmittel, die u. a. Ethanol zu Acetaldehyd oxidieren (72). 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 (19). Die Wirkung flavonoider Phenole als Katalysator des Aromazerfalls ist die Erklärung für die hervorragende Aromastabilität mostoxidierten Weine (1,2,3,16,18,32,73). Sie erklärt weiterhin, warum ein durch Maischestandzeit verstärkt extrahiertes Sortenaroma recht kurzlebig ist, wenn gleichzeitig extrahierte Flavonoide nicht entfernt werden.

Zusammenfassung

Die Mostoxidation verfolgt das Ziel, flavonoide Phenole mittels enzymatisch eingeleiteter Reaktionen auszufällen. Sie 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 sowie die Erhaltung der Fruchtaromatik verbessert, während die sensorisch wertvolle nichtflavonoide Phenolfraktion weitgehend erhalten bleibt. Eine zu starke Phenolminderung mit dem Ergebnis zu schlanker Weine ist deshalb nicht möglich. Über den Umweg der Flotation hat die Mostoxidation weitere Verbreitung gefunden. Die Flotation ungeschwefelter Moste mit Luft ist die intensivste Form der Mostoxidation. Sie kann jedoch auch unabhängig von der Flotation durch alternative Methoden durchgeführt

werden. Anwendung, Reaktionsmechanismen und Auswirkungen der Mostoxidation auf die sensorische Qualität werden beschrieben sowie die Ursachen widersprüchlicher Ergebnisse erörtert.

Literatur

1. Müller-Späth, H. (1977): Neueste Erkenntnisse über den Sauerstoffeinfluß bei der Weinbereitung aus der Sicht der Praxis. *Weinwirtschaft* 113, 144-157..
2. Müller-Späth, H., Löscher T., Schäfer G. (1977): Einfluß des Sauerstoffs bei der Weinbereitung von der Traube bis zur Flaschenfüllung. *Der Deutsche Weinbau* 32, 384-392.
3. Müller-Späth, H., Moschert N., Schäfer G. (1978): Beobachtungen bei der Weinbereitung. Eine Bestandsaufnahme. *Weinwirtschaft* 114, 1084-1089.
4. Guerzoni M.E. et al. (1981): Stabilisation of white wine by early hyperoxidation of must. *Food Technol. Austral.* 33, 442-446.
5. Schneider, V. (1998): Must hyperoxidation. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 49, 65-73.
6. Dietrich, H.: Die Polyphenole des Weines im Spannungsfeld technologischer und gesundheitlicher Aspekte. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart 1995, 244-252.
7. Singleton, V.L., Esau, P.: Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Advances in Food Research, Supplement I. Academic Press, New York* 1969.
8. Cheynier, V., Rigaud, J., Moutounet, M. (1990): Oxidation kinetics of trans-caffeoyl tartrate and its glutathione derivatives in grape must and must-like model solutions. *Phytochemistry* 29, 6, 1751-1753.
9. Schneider, V. (1989): Stabilisierung von Weißwein durch Mostoxidation. *Weinwirtschaft-Technik* 1, 15-20.
10. Schneider, V. (1993): Oxidative Weinalterung, Teil II: Verringerung von Flavonoiden in Most und Wein. *Das Deutsche Weinmagazin*, 21, 8-14.
11. Singleton, V.L., Noble, A.C.: Wine flavor and phenolic substances. *American Chem. Soc. Symposium Series*, 26, Washington DC 1976.
12. Schneider, V. (1998): Maischestandzeit bei weißen Rebsorten. *Das Deutsche Weinmagazin* 20, 26-32.
13. Schneider, V. (1992): Entrappen oder nicht entrappen? *Weinwirtschaft-Technik* 5, 63-65.
14. Cheynier, V. et al. (1989): Effect of pomace contact and hyperoxidation on the phenolic composition and quality of Grenache and Chardonnay wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 36-42.
15. 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 1995, 50-59.
16. Schneider, V. (1988): Verhalten phenolischer Substanzen. *Weinwirtschaft-Technik* 124, 2, 12-16 und 3, 16-20.
17. Singleton, V.L., Zaya, J., Trousdale, E. (1980): White table wine quality and polyphenol composition as affected by must SO₂ content and pomace contact time. *Am. J. Enol. Vitic.* 31, 14-20.
18. Schneider, V. (1989): Weinalterung, Teil III. *Weinwirtschaft-Technik*, 10, 23-27.
19. Schneider, V. (1996): Altersfirne - Entstehung und Charakterisierung. *Das Deutsche Weinmagazin*, 14, 18-21.
20. Schneider, V., Teschke, M. (2000): Die Aromastabilität von Weißweinen. *Das Deutsche Weinmagazin*, 25, 10-14.

21. Schneider, V. (2000): Die Hefe nach der Gärung. *Das Deutsche Weinmagazin*, 22, 30-35.
22. Schneider, V. (2000): Gerbstoffe in Weißwein. *Das Deutsche Weinmagazin* 23, 30-35.
23. Schneider, V. (1995): Evaluation of small amounts of flavonoid phenols in white wines by colorimetric assays. *Am. J. Enol. Vitic.* 46, 274-277.
24. Dubernet M.: Recherches sur la tyrosinase de *Vitis vinifera* et la laccase de *Botrytis cinerea*. Thèse, Université de Bordeaux II, 1974.
25. Dubernet M., Ribéreau-Gayon P. (1974): Causes et conséquences de la consommation de l'oxygène par les moûts de raisin. *Vitis* 13, 233-244.
26. Cheynier V. et al. (1990): Must browning in relation to the behavior of phenolic compounds during oxidation. *Am. J. Enol. Vitic.* 41, 346-349.
27. Cheynier V. et al. (1991): Hyperoxidation: influence of various oxygen supply levels on oxidation kinetics of phenolic compounds and wine quality. *Vitis* 30, 107-115.
28. Cheynier V. et al. (1993): Estimation of must oxidation during pressing in Champagne. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 393-399.
29. Ricardo da Silva J.M. et al. (1993): Effect of pomace contact, carbonic maceration and hyperoxidation on the procyanidin composition of Grenache blanc wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 168-172.
30. Rigaud J. et al. (1990): Mécanismes d'oxydation des polyphénols dans les moûts blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 27-31.
31. Crapisi A.R. et al.: Prefermentative treatments interaction on the white must phenolic composition. In: Tagungsberichte 4. Intl. Symposium "Innovationen in der Kellerwirtschaft", Stuttgart 1995, 79-84.
32. Schneider V. (1991): Comportement des vins obtenus par oxygénation des moûts blancs. *Revue Fr. d'Oenologie* 130, 33-42.
33. Bagnoud X. (1993): Etude de la réactivité des moûts et des vins blancs vis-à-vis de l'oxygène: Méthodes d'analyse et applications pratiques. Diplomarbeit, Ecole d'Ingénieurs ETS, Changins.
34. Gétaz J., Fabre S. (1990): Mesure de l'absorption d'oxygène dans les moûts par la méthode D.B.O. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 21-26.
35. 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 1995, 60-66.
36. Neradt F. (1970): Sauerstoffbindungsgeschwindigkeit bei Traubenmost. *Weinberg und Keller* 17, 519-526.
37. Perscheid M., Zürn F. (1976): Über die Bedeutung des Sauerstoffs bei der Weinbereitung. *Weinwissenschaft* 31, 4, 287-300.
38. Perscheid M., Zürn F. (1977): Der Einfluß von Oxidationsvorgängen auf die Weinqualität. *Weinwirtschaft* 113, 10-12.
39. Riba J.P. (1990): L'oxygène en solution: Solubilité et lois de transfert. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 14-19.
40. Vivas N.: Les oxydations et les réductions dans les moûts et les vins, 56-66, Editions Féret, Bordeaux 1999.
41. Schneider V. (1990): Forcierte Mostoxidation-technische Anwendung. *Weinwirtschaft-Technik* 126, 8, 35-36.
42. Establet G., Mulinazzi W. (1994): Innovations dans les procédés de clarification des moûts. *Revue Fr. d'Oenologie* 77, 35-40.
43. Schneider V., Chapron P. (1992): Mostvorklärung durch Flotation. *Weinwirtschaft Technik* 128, 2, 17-19.
44. Tournier R. (1990): Conditions de mise en oeuvre de l'hyperoxygénation. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 39-41.

45. Schneider V. (1993): Oxidative Weinalterung. Analytische Ansätze. Das Deutsche Weinmagazin 17, 18-26.
46. Schneider V. (1989): Aussagekraft des Catechinwertes. Weinwirtschaft-Technik 125, 2, 17-19.
47. Moutounet M. et al. (1989): 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.
48. Moutounet M. et al. (1990): Influence de quelques paramètres sur l'oxydation des moûts de raisin. Interprétations technologiques. Revue Fr. d'Oenologie 124, 32-38.
49. Schmitt A. et al. (1980): 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.
50. Schneider V. (1994): Neuere Erkenntnisse zur Mostoxidation. Die Winzer-Zeitung 10, 20-23.
51. Mayer G., Dietrich H., Wucherpfenning K. (1990): Weinausbau ohne SO₂ mit Enzymen möglich? Weinwirtschaft-Technik 7, 18-22.
52. Bach H.P., Nobis P. (1985): Einfluß der Mostoxidation auf den Wein. Weinwirtschaft-Technik 9, 294-311.
53. Schneider, V. (2000): Essigstich. Alter Fehler-neue Ursachen. Das Deutsche Weinmagazin, 2, 12-14.
54. Artajona J.R.: et al. (1990): Expériences d'hyperoxygénation au Penedés. Revue Fr. d'Oenologie 124, 65-67.
55. Bailly B. (1990): Essai d'hyperoxygénation des moûts sur cépages locaux en Alsace. Revue Fr. d'Oenologie 127, 7-14.
56. Müller-Späth H. (1992): Der POM-Test. Der Deutsche Weinbau 23, 1099-1100.
57. Piracci A. et al. (1994): Influenza della ossigenazione spinta dei mosti su alcuni parametri fenolici di vini bianchi e loro conservabilità. Vignevini 6, 43-51.
58. Nicolini G., Mattivi F., Dalla Serra A. (1991): Iperossigenazione dei mosti: conseguenze analitiche e sensoriali su vini della vendemmia 1989. Riv. Vitic. Enol. 3, 45-56.
59. 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 1995, 152-160.
60. Lee C.Y., Jaworski A.W. (1988): Phenols and browning potential of white grapes grown in New York. Am. J. Enol. Vitic. 39, 337-340.
61. Guedes de Pinho P., Bertrand A., Guillou I. (1994): Influence de l'hyperoxygénation des moûts sur la composition chimique et sensorielle des vins blancs. Revue Fr. d'Oenologie 145, 9-17.
62. Nagel C.W., Graber W.R. (1988): Effect of must oxidation on quality of white wines. Am. J. Enol. Vitic. 39, 1-4.
63. Schneider V. (1994): Primäroroma. Die Winzer-Zeitung 10, 24-25.
64. Nicolini G. (1992): Variazioni nel profilo sensoriale di vini Sauvignon blanc in relazione all' iperossidazione dei mosti. Riv. Vitic. Enol. 4, 35-43.
65. Schneider V. (1996): Einfluß von Maischestandzeit und Mostoxidation auf die Sensorik von Riesling. Die Winzer-Zeitung 7, 22-25.
66. Blanck G. (1990): Utilisation de l'hyperoxydation pour la valorisation des moûts de tailles en Champagne. Revue Fr. d'Oenologie 124, 50-57.
67. Cordonnier R.E., Bayonove C.L. (1982): 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.
68. Ough C.S., Crowell E.A. (1987): Use of sulfur dioxide in winemaking. J. Food Sci. 52, 386-388.

69. Guillot I., Bertrand A. (1993): 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.
70. Dubourdiou D., Lavigne V. (1990): 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.
71. Meistermann E. (1990): Hyperoxygénation des moûts: essais réalisés en Alsace. *Revue Fr. d'Oenologie* 124, 62-64.
72. Wildenradt H.L., Singleton V.L. (1974): 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.
73. Johner H., Schneider V. (1991): Mostoxidation-Erfahrungen aus Baden. *Der Badische Winzer* 10, 359-361.
74. 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).
75. Singleton V.L. (1987): Oxygen with phenols and related reactions in musts, wines and model systems: observations and practical implications. *Am. J. Enol. Vitic.* 38, 69-77.
76. Peri C. et al. (1971): Madeirization of white wines. Influence of pressing and the susceptibility of grapes to oxidative browning. *J. Sci. Food Agric.* 22, 24-28.
77. Rossi J.A., Singleton V.L. (1966): Contribution of grape phenols to oxygen absorption and browning of wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 17, 231-239.
78. Simpson R.F. (1982): Factors affecting oxidative browning in white wine. *Vitis* 21, 233-239.
79. Arnold R.A., Noble A.C., Singleton V.L. (1980): Bitterness and astringency of phenolic fractions in wine. *J. Agric. Food Chem.* 28, 675-678.
80. Delcour J.A. et al. (1984): Flavor thresholds of polyphenolics in water. *Am. J. Enol. Vitic.* 35, 134-136.
81. Joslyn M. A., Goldstein J.L. (1965): Astringency of fruits and fruit products in relation to phenolic content. *Wall. Lab. Comm.* 28, 143-159.
82. Lea A.G.H. (1978): The analysis of cider phenolics. *Ann. Nutr. Alim.* 32, 1051-1061.
83. Lea A.G.H., Arnold G.M. (1978): The phenolics of cider: bitterness and astringency. *J. Sci. Food Agric.* 29, 478-483.
84. Lea A.G.H. et al. (1979): The procyanidins of white grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 30, 289-300.
85. Rossi J.A., Singleton V.L. (1966): Flavor effects and adsorptive properties of purified fractions of grape seed phenols. *Am. J. Enol. Vitic.* 17, 240-246.
86. Rigaud J. et al. (1991): Influence of must composition on phenolic oxidation kinetics. *J. Sci. Food Agric.* 57: 55-63.
87. Singleton V.L. et al. (1985): Caftaric acid disappearance and conversion to products of enzymic oxidation in grape must and wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 36, 50-56.

Tabelle 1: Abreicherung der phenolischen Fraktionen während der Mostoxidation und durch die Gärung. Werte in mg/l Catechin.

GP = Gesamtphenole, NF = Nichtflavonoide, F = Flavonoide

Lfd. Nr.		nach ...Stunden O ₂ -Zufuhr					nach Gärung
		0 h	0,5 h	1,0 h	1,5 h	2,0 h	
1	GP	300	246	173	173	173	192
	NF	173	173	173	173	173	192
	F	127	73	0	0	0	0
2	GP	260	230	213	205	193	196
	NF	200	185	172	165	165	196
	F	60	45	41	40	28	0
3	GP	347	333	318	295	266	203
	NF	245	245	245	240	228	203
	F	102	88	73	55	38	0
4	GP	260	260	247	227	218	190
	NF	200	200	200	190	183	190
	F	60	60	47	37	33	0

