

## SAUERSTOFF UND WEIN

**Roberto ZIRONI, Piergiorgio COMUZZO, Lata TAT, Sergiu SCOBIOALA**

Dipartimento di Scienze degli Alimenti, Università degli Studi di Udine, Italy

*Auszug aus "TECHNISCHE ANMERKUNGEN" LEITFADEN BIOLOGISCHER WEINBAU UND WEINBEREITUNG, EU-PROJEKT FP6 STREP - ORWINE*

### Allgemeine Prinzipien

Sauerstoff stellt etwa 20% der Luft dar, die wir atmen, und ist überall. Daher müssen Weinproduzenten wissen, dass er einen wichtigen Einfluss auf verschiedene technologische Operationen hat. Es gibt verschiedene Theorien der Weinerzeugung zum Sauerstoffmanagement in der Oenologie.

Einige Erzeuger sind davon überzeugt, dass O<sub>2</sub> ein "Feind" (Oxidationen, Bräunung) für den Wein ist, während andere meinen, dass eine beschränkte und kontrollierte Oxygenierung für eine richtige Weinentwicklung von grundsätzlicher Bedeutung ist

Diese entgegengesetzten Überzeugungen führen zur Definition von zwei verschiedenen Strategien in der Steuerung der Interaktionen zwischen Sauerstoff und Wein. Zum einen der totale Schutz des Weins selbst vor Kontakt mit Luft (z.B. in hyperreduktiven Techniken) oder im Gegenteil, die kontrollierte Oxygenierung des Weins ( wie bei der Mikro-oder Hyperoxygenierung ).

Diese beiden Ansätze finden heute in der Weinerstellung mit verschiedenen technologischen Auswirkungen und verschiedenen Wirkungen auf die Merkmale der erhaltenen Produkte Anwendung

### Wirkungen der Sauerstofflöslichkeit im Wein

Sauerstoff kann eine doppelte Rolle im Wein spielen, manchmal positiv beeinflussend, manchmal negativ auf den Weincharakter einwirkend. Das Gleichgewicht zwischen diesen Wirkungen hängt von der Menge der gelösten Sauerstoffkonzentration, dem Moment der Auflösung und der Charakteristik des Weins selbst ab (z.B. ist Rotwein weniger empfindlich gegenüber Oxydation als Weißwein).

Im Einzelnen können die Wirkungen des Sauerstoffs mit folgenden Aspekten zusammenhängen:

1. Änderung von Phenolzusammensetzungen:
  - Bräunung und Änderung der Farbe beim Most wie auch bei Weinen als Folge der Oxidation von Polyphenolen.
  - Positive Wirkungen auf die Weinentwicklung und Reifung (z.B. Reduktion der Adstringenz, Stabilisation von Phenolfractionen).
2. Änderung der aromatischen Fraktion:
  - Entwicklung des Weinaromas und Bildung von reifebezogenen Zusammensetzungen.
  - Verminderung von sortentypischen Noten und Entwicklung der oxidationstypischen Charaktere.
3. Wirkungen auf die Vermehrung und das Wachstum von Mikroorganismen.

Wie oben erwähnt, hängt das Gleichgewicht zwischen positiven und negativen Wirkungen von O<sub>2</sub> von verschiedenen Faktoren ab:

" Rebsorte

Einige Rebsorten (z.B. Sauvignon blanc, alle Muscat-Sorten) sind in Bezug auf Luftkontakt sehr empfindlich. Der Widerstand eines Substrats gegenüber Oxidation betrifft seiner Komposition: ein höherer Gehalt an natürlichen antioxidativen Verbindungen befindet sich im Saft (Polyphenole, Glutathione, Ascorbinsäure) was die Resistenz verbessern und die Empfindlichkeit für O<sub>2</sub> reduzierend kann.

" Temperatur

Diese Variable beeinflusst sowohl die Löslichkeit als auch die Aktivität von O<sub>2</sub> in Mosten und Weinen. Bei 20-25 ° C beträgt der mögliche Maximalbetrag für die Löslichkeit des Sauerstoffs ungefähres 6-7 mg/L (Konzept der "Sättigung"), aber dieses Niveau kann bei niedrigeren Temperaturen zunehmen: ca. 10 mg/L bei 5° C. Im Gegenzug steigt das Tempo von Oxidationsreaktionen bei höheren Temperaturen. Zum Beispiel tritt die Oxidation von Rotweinfarbzusammensetzungen wie Anthocyanen schneller bei 30° C, als bei 20° C auf.

" Phase der Weinherstellung

Das Oxidationstempo von Most ist normalerweise höher als das von Wein, weil im Most die Oxidationen enzymatisch von Polyphenoloxidasen (PPO) katalysiert werden. Diese Enzyme stammen von der Weintraube (Tyrosinase) oder von Schimmelformen (Laccase von Botrytis cinerea), und sie sind in der Lage, die Oxidationsreaktion dramatisch zu steigern. Speziell Laccase kann zu Schäden für die Komposition des Mostes führen. Deshalb ist die Vinifikation von mit Botrytis infizierten Weintrauben vom Standpunkt der O<sub>2</sub>-Steuerung aus oft problematisch und erfordert einen höheren Sulfitgehalt.

" Dauer der Lufteinwirkung

Sauerstoff wird nach seiner Lösung schnell verbraucht, und die Nutzung dieser Reaktion ist von der Zusammensetzung des Weins abhängig. Die Bindungsfähigkeit von O<sub>2</sub> bringt die Entwicklung von bestimmten Reaktionen mit sich. Wenn der Luftkontakt zeitlich eingegrenzt wird, bleibt die Wirkung der Oxygenierung beschränkt, wenn aber die Freisetzung verlängert wird, kann man eine kontinuierliche Lösung des Sauerstoffs beobachten. Der Endeffekt dieser Abfolge hängt von der Fähigkeit des Mosts bzw. des Weins ab, der Oxidation zu widerstehen. Wenn der Inhalt von Antioxidationsmitteln niedrig ist, wird der Wein nicht in der Lage sein, den Wirkungen des O<sub>2</sub>-Verbrauchs wirksam zu widerstehen.

### **Das Redox-Gleichgewicht des Weins und antioxidativer Verbindungen**

Viele Zusammensetzungen in Most und Wein koexistieren als Mischungen aus oxidierten und reduzierten Formen, so genannten "Redox-Paaren". Die Reduktion der einen Zusammensetzung verursacht automatisch die Oxidation einer anderen. In chemischen Verbindungen gehen diese Oxidations-/Reduktions-Reaktionen (Redox) weiter, bis der "Gleichgewichtspunkt" erreicht ist, und weder Reduktions- noch Oxidationszusammensetzungen dominieren. .

Bezogen auf die Weinherstellung reflektiert dieses "Redox" Gleichgewicht zwei Gruppen von Kräften: einige von ihnen können als Oxidationsmittel wirken, während andere Mittel reduzieren.

Das wichtigste Oxidationsmittel in Mosten und Weinen ist Sauerstoff. Andere Chemikalien können seine Wirkung im Wein durch das Wirken als starke Oxidationsmittel steigern. Ein wichtiges Beispiel dafür sind Schwermetalle wie Eisen und Kupfer. Diese Zusammensetzungen kommen normalerweise in Wein vor und sind mächtige Katalysatoren. Sie können die Wirkung von Sauerstoff und das Tempo von Oxidationsreaktionen stark steigern. Außerdem werden einige freie Radikale und Peroxide (z.B. Wasserstoffperoxid - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) durch die Oxidation von Phenolverbindungen produziert und können auch in oxidierende Verbindungen involviert sein.

Die wichtigsten in Wein zu findenden Reduktionsmittel sind Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ascorbinsäure, Phenolverbindungen und Glutathione.

Ascorbinsäure (AA), auch als Vitamin C bekannt, kann in einem breiten Spektrum von Konzentrationen in verschiedenen Früchten gefunden werden. Diese Zusammensetzung spielt eine wichtige Rolle in der Einschränkung enzymatischer Bräunung im Most, aber hinsichtlich seiner Wirkung in Weinen wurde festgestellt, dass es mit Sauerstoff zu generierendem Wasserstoffperoxid (einer mächtigen oxidierenden Verbindung) reagieren kann. Ascorbinsäure wird normalerweise bei Wein in Verbindung mit SO<sub>2</sub> verwendet, um H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Bildung zu vermeiden und das Risiko der oxidativen Schädigung zu reduzieren.

Glutathione (GSH) ist ein aus Glutaminsäure, Glyzin und Cysteine gebildetes, in der Natur häufig in Pflanzen und Mikroorganismen auftretendes Tripeptid. Es ist aktiv gegen freie Radikale und andere sauerstoffreaktive Zusammensetzungen. GSH kann die Mostoxidation stark reduzieren, indem es mit einigen Produkten der enzymatischen Transformation (PPOs) der Caffeoyl-Weinsäure (einer der am stärksten oxidierfähigen Substanzen im Traubensaft) reagiert.

Das Ergebnis dieser Reaktion ist 2S-Glutathionyl-Transcaffeoyl-Weinsäure, auch als „Weintraubenreaktionsprodukt“ (GRP) bekannt. Unter normalen Bedingungen (bei gesunden Weintrauben) ist diese Zusammensetzung in ihrer kontinuierlichen Oxidation stabil, und aus diesem Grund ist Glutathione in der Lage, die Oxidationskette zu stoppen, die zu Mostoxidation und Bräunung führen kann.

Das Problem besteht in den von Botrytis beeinträchtigten Mosten, weil GRP ein Substrat für das Laccase-Enzym sein kann; deshalb bringt die Vinifikation von mit Botrytis befallenen Weintrauben immer mehr Probleme hinsichtlich einer Bräunungsreaktion mit sich.

Bekanntlich sind Polyphenole und Tannine wirksame Antioxidationsmittel. Diese Verbindungen gehören zu den hauptsächlichsten sauerstoffreaktiven Chemikalien in Mosten und Weinen. Die Ergebnisse ihrer Oxidation sind Bräunung und der Verlust an Farbe, als auch die Bildung von Polymeren mit anschließender Ausfällung. Das Vorhandensein von größeren Mengen Polyphenolen in Rotweinen erklärt die höhere Resistenz dieser Produkte gegenüber Oxidation.

### **Sauerstoffreaktionen im Most**

Die Oxidationsreaktionen im Most werden hauptsächlich auf die enzymatischen Aktivitäten (PPO) von Phenolsäuren (z.B. Caffeoyl-Weinsäure) bezogen.

Im Falle von gesunden Weintrauben ist Tyrosinase (von der Weintraube selbst) das Hauptenzym für die Bräunungsreaktion. Die Wirkung dieses Makromoleküls besteht in seiner schnellen Reduktion des Safts, weil es in Bezug auf SO<sub>2</sub> ziemlich empfindlich ist und es dadurch leichter durch Schönungsmittel wie Bentonit entfernbar ist. Im Gegensatz dazu wird Laccase von Botrytis cinerea sowohl von Bentonitbehandlungen als auch von Sulfiten kaum beeinträchtigt, was ein größeres Problem für Weinhersteller ist.

Die starke Neigung von Mosten zur Oxidation kann genutzt werden, um den Most selbst zu stabilisieren. Das Konzept der Hyper-Oxygenierung basiert auf dem saturierenden O<sub>2</sub>-Zusatz zum Saft, indem alle oxidierbaren Substanzen aus Polymerisation und Ausfällung durch einfaches Abstechen entfernt werden.

### **Sauerstoffreaktionen in den Weinen**

Im Gegensatz zu den Reaktionen im Most bezieht sich die Weinoxidation hauptsächlich auf chemische oder nichtenzymatische Reaktionen.

Es ist wichtig, daran zu erinnern, dass O<sub>2</sub> nicht immer negativ für die Weinentwicklung ist. Pasteur selbst bemerkte während seiner Studien, dass geeignete Lüftung in der Entwicklung der alkoholischen Gärung wichtig war.

Eine gute gesteuerte Sauerstoffversorgung kann bestimmte Vorteile für den Wein bringen, insbesondere in Rotweinen:

- Entwicklung und Stabilisierung der Farbe durch die Reaktion zwischen Anthocyanen und Tanninen;
- Reduktion der Adstringenz bei der Entwicklung von Tanninen;
- Verbesserung der alkoholischen Gärung durch die Produktion von Basis-Wachstumsnährstoffen für die Hefe.

Diese Vorteile (besonders die ersten zwei Punkte) werden seit Beginn der Weinherstellung bei der Technik der Holzreifung (eingeschränkte und kontrollierte O<sub>2</sub>-Auflösung durch das Holz hindurch) und heute durch die moderne Anwendung der Mikrooxygenierungstechnik (Microox) genutzt. Bekanntlich ist ein eingeschränkter Sauerstofffluss durch die Flaschenverschlüsse sowohl für die richtige Entwicklung eines Weins als auch für seine Erhaltung nützlich.

Wenn die Sauerstoffversorgung zu hoch für die Fähigkeit des Weins ist, dem Sauerstoffgehalt zu widerstehen, tritt Oxidation automatisch auf.

Wie bei Most berichtet, sind es die Phenolverbindungen, die mit dem Sauerstoff reagieren, was Bräunung und Verlust an Farbe, zusammen mit der Ausfällung von färbenden Stoffen zur Folge hat.

Diese Oxidationsreaktionen können auch die Bildung verschiedenen Arten von flüchtigen Verbindungen verursachen, die manchmal für aromatische Veränderungen verantwortlich sind. Acetaldehyd (Ethanal) ist die hauptsächlich flüchtige Verbindung, die beim Sauerstoffverbrauch involviert ist. Es stammt nicht aus mikrobiellem Stoffwechsel, sondern von der Oxidation von Ethanol, welches von Schwermetallen (Eisen und Kupfer) katalysiert worden ist.

In der Holzreife oder Microox ist dieses Acetaldehyd an einigen mit Farbe und Phenolstabilisierung verbundenen Reaktionen beteiligt. Wenn die O<sub>2</sub>-Auflösung konzentriert oder verlängert wird, werden höheren Mengen an Ethanol gebildet, die die Produktion anderer Aromaverbindungen (Acetylene) herbeiführen können, welche wiederum für die typische sensorische Note von oxidiertem Wein verantwortlich sind.

### **Wichtige Anmerkung**

Wenn man über die Wirkungen der Belüftung auf aromatische Zusammensetzungen spricht, muss festgestellt werden, ob in den frühen Schritten der Vinifikation flüchtige Verbindungen relativ gut geschützt gegen O<sub>2</sub> waren, da sie in Form von "Vorgängern" anwesend waren. Beispielsweise sind Terpene, eine wichtige Familie von Verbindungen, die das Aroma von Muskat-Trauben charakterisieren (aber praktisch in all den Früchten vorkommen) hauptsächlich im Most als (an Zucker gebundenes) Glycosid vorhanden. In dieser Form sind solche Moleküle bezüglich Oxidation weniger empfindlich als in der freien Form.

Die Praxis der Hyperoxygenierung, die auf einer konzentrierten Sauerstoffversorgung unmittelbar nach der Saftextraktion basiert, beeinflusst die Komposition des Aromas des finalen Weins negativ, da das Aroma in der gemeinsamen Form dieser Vorgänger geschützt ist.

Aufgrund der Tatsache, dass Glycoside während der Vinifikation mit anschließender Freigabe der flüchtigen Verbindungen in freie Formen aufgegliedert sind, beeinflusst die Wirkung von O<sub>2</sub> auf die Aromaanteile des Weins den sortentypischen Charakter des Produkts negativ. Die Aromen sind in freier Form hinsichtlich Oxidation empfindlicher.

Dies gilt besonders für einige spezifische aromatische Rebsorten wie Sauvignon blanc oder Muskat Sorten. Das sortenspezifische Aroma von Sauvignon blanc-Weinen ist abhängig von bestimmten Schwefelverbindungen, die in Bezug auf Luft sehr empfindlich sind. Im Most sind diese Moleküle relativ geschützt als (an die Aminosäure Cysteine gebundenen) „Precursor“, aber im Wein ist die freie Form in Bezug auf O<sub>2</sub> sehr empfindlich.

### **Wirkungen des Sauerstoffs auf das Hefenwachstum**

Es herrscht generell Übereinstimmung darin, dass im Most die Hefen in der Lage sind, Zucker in aeroben Zuständen zu veratmen, während sie die alkoholische Gärung (AF) in luftunabhängigem Stoffwechsel durchführen.

In der Tat ist die Fähigkeit von Weinhefen, die Glucose durch Atmung aufzunehmen, vom Zuckergehalt des Mostes abhängig. Wenn die Zuckerkonzentration höher als 9 g/L ist, ist *Saccharomyces cerevisiae*, der mit alkoholischer Gärung verbundene Hauptmikroorganismus, außerstande, die aerobe Transformation von Zuckern zu bewirken. Dies bedeutet, dass unter normalen Bedingungen im Most (Zuckergehalt ca. 180-220 g/L) die Hefen nur die alkoholische Fermentation stimulieren können. Dieses Phänomen wird als "Crabtree-Effekt" bezeichnet.

Es ist klar, dass die Belüftung von Most nach der Impfung von Reinzuchthefen (oder die Oxygenierung der *Pied de cuvee* vor der Zugabe), der Entwicklung der Gärung nützt. Dieser Nutzen steht in keinem Verhältnis zur von Respiration<sup>1</sup> erhaltenen gesteigerten Hefepopulation, sondern er beruht hauptsächlich auf der Tatsache, dass die Oxygenierung selbst zur Produktion von rudimentären Wachstumsnährstoffen für die Hefen führt, wie einige Fettsäuren und Sterole. Ebenso ist eine leichte Luftversorgung (z.B. durch das Überpumpen) in der Mitte der AF nützlich, um eine zufriedenstellende Entwicklung der finalen Schritte der Gärung zu sichern.

<sup>1</sup> Die Ausnutzung der Zuckerrespiration produziert mehr Energie als die Gärung. Diese Respiration wird gefördert in Folge der rapiden Multiplikation der Hefepopulation während der industriellen Produktion von Reinzuchthefen.

### **Wichtige Anmerkung**

Neben seiner Wirkung auf Hefen kann Sauerstoff auch den Stoffwechsel anderer Mikroorganismen beeinflussen. Zum Beispiel sind Essigsäure-Bakterien verantwortlich für die Oxidation von Zuckern, die unter aeroben Bedingungen auftritt. Unter extremen Bedingungen wird Glucose völlig von diesen Mikroorganismen zu Wasser und Kohlendioxid oxidiert.

Ethanol ist auch ein potentielles Substrat dieser Bakterien. Es wird in Essigsäure verwandelt und dann zu Essigsäureethylester, Verbindungen, die für die Zunahme flüchtiger Säuren verantwortlich sind und für die Bildung des typischen Geruchs, der in vom Alterungsprozess beeinflussten Weinen auftritt. In dieser Hinsicht ist die Reduktion des Sauerstoffs während der Weinlagerung für die Prävention sowohl vor chemischer als auch mikrobiologischer Oxidation ganz wesentlich. Deshalb sollten Erzeuger alle Behälter vollständig füllen, um die erweiterte Exposition des Weins zum anwesenden Sauerstoff im Gasraum zu vermeiden (z. B. das Leerlassen der Tanks nach dem Abstechen). Die Verwendung von Inertgasen wie Stickstoff oder Kohlendioxid und die Kontrolle und Wiedereinleitung von Schwefeldioxid könnten nützliche Strategien sein, um den Wein während Transfer und Lagerung zu schützen.

### **DANKSAGUNG**

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung seitens der Kommission der Europäischen Gemeinschaft unter Prioritätsbereich 1,2 (biologischer Weinbau und Weinverarbeitung) des sechsten Rahmenprogramms für Forschung als technologische Entwicklung und Demonstration innerhalb der integrierten Projektnr. 022769 (biologischer Weinbau und Weinherstellung: Entwicklung von Umwelt und verbraucherfreundlichen Techniken für die Verbesserung der biologischen Weinqualität und des wissenschaftlich basierten gesetzgebenden Rahmens).

Die Information in diesem Bericht gibt nicht in jedem Fall die Ansichten der Kommission wider, und greift keinesfalls der zukünftige Politik der Kommission in diesem Bereich vor. Für den Inhalt dieses Berichts tragen allein die Autoren die Verantwortung. Die hierin enthaltenen Informationen, Meinungsäußerungen und jedliche Vorhersagen stammen aus Quellen, von denen die Autoren meinen, dass sie zuverlässig sind, was aber keine Garantie bezüglich ihrer Genauigkeit oder Vollständigkeit bedeutet. Die Informationen sind nicht bindend und basieren auf der Auffassung, dass jede Person, die diese bearbeitet oder ändert, dies ganz auf eigene Verantwortung tut.

### **HAFTUNGS AUSSCHLUSS**

Die auf diesen Seiten vermittelten Informationen werden in gutem Vertrauen geliefert. Diese Informationen sind nach bestem Wissen und professionellem Urteil der Autoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung exakt und richtig. Da die Autoren jedoch keine Kontrolle darüber haben, welchen Gebrauch die Empfänger von diesen Informationen machen, übernehmen die Autoren keinerlei Verantwortung oder Haftung hinsichtlich der Verwendung dieser Information durch Empfänger, (oder durch Dritte, welche die Informationen wiederum von Empfängern übernehmen).

Alle Angebote sind nicht bindend und ohne Verpflichtung. Teile der Seiten oder der vollständigen Veröffentlichung einschließlich aller Angebote und aller Informationen können ohne separate Ankündigung ergänzt, von den Autoren ausgetauscht, sowie teilweise oder vollständig gelöscht werden.