

**Sauerstoffmanagement:**

# Sauerstoffaufnahme und Konsequenzen

V. Schneider

**Sauerstoff ist omnipräsent und kann zu einem kritischen Faktor für Haltbarkeit und Stilistik des Weines werden. Seine Konsequenzen sind ebenso unterschiedlich wie deren Bewertung und unterliegen dem Einfluss von Zeitgeist und vorherrschender Lehrmeinung.**

Jeder Winzer ist mit dem Einsatz von schwefliger Säure vertraut. Er misst sie in mg/l (oder lässt messen) und weiß die vorliegenden Gehalte zu interpretieren. Weniger sicher ist man sich in der Bewertung des vom Wein aufgenommenen Sauerstoffs. In Abhängigkeit von seiner Menge sowie der Art und dem momentanen Zustand des Weines führt er zu den unterschiedlichsten Konsequenzen. Ebenso unterschiedlich ist deren Bewertung unter dem Einfluss des Zeitgeistes, dem subjektiven Qualitätsempfinden und der vorherrschenden Lehrmeinung. Zwangsläufig hat sich das Sauerstoffmanagement längst zum eigenständigen Forschungsgebiet der Önologie entwickelt.

**Unterschiedliche Wirkungen von Sauerstoff**

Bereits in den 1970er Jahren hatte man sich intensiv mit den nachteiligen Folgen unkontrollierter Sauerstoffaufnahme bei der Abfüllung von Weißweinen beschäftigt. In den 1980er Jahren wurde die gezielte

Mostoxidation aus der Taufe gehoben. Die 1990er Jahre sahen die Entwicklung des aktiven Zusatzes von Sauerstoff zur Versorgung der Hefe während der Gärung. Die 2000er Jahre verhalfen der Mikrooxygenierung von Rotwein zum Durchbruch. Mit der Verbreitung verbesserter Messtechniken um das Jahr 2010 rückte die Sauerstoffzufuhr durch den Flaschenverschluss in den Mittelpunkt des Interesses. Sie löste eine kontroverse Diskussion über die Bedeutung und ideale Menge des Sauerstoffs aus, die ein Wein während seines Flaschenlagers aufnehmen sollte.

Besonders die alternativen Verschlüsse sahen und sehen sich dem Vorwurf ausgesetzt, dem Wein entweder zu viel (synthetische Korken) oder zu wenig (Schraubverschlüsse) Sauerstoff zuzuführen. Es handelt sich dabei um Mengen, die zwischen 0 und 20 mg O<sub>2</sub> pro Jahr schwanken.

Zu viel Sauerstoff fördert den Verlust der Fruchtigkeit von Weißwein, während zu wenig Sauerstoff die Entstehung von Reduktionsnoten begünstigt und die Reifung hochwertiger

Rotweine erschwert. In direktem Zusammenhang damit steht auch die Frage, wie viel Sauerstoff der Wein bereits vor oder beim Abfüllen aufgenommen hat und welche Mengen sich aus dem Kopfraum dazu addieren. Der durch den Verschluss als solches eintretende Sauerstoff ist nur ein Baustein in dem komplexen Mosaik, welches als Sauerstoffbelastung oder auch Sauerstoffmanagement beschrieben wird.

**Filtrierte Weißweine sind oxidationsempfindlich**

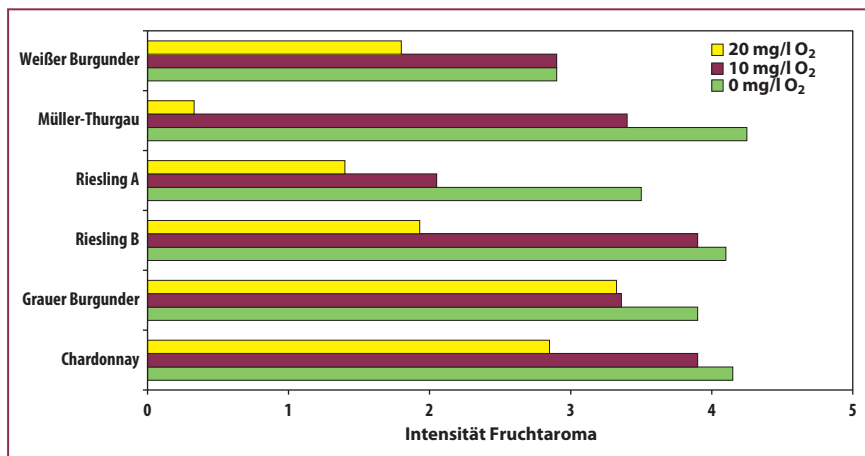
So lange der Wein hefetrüb ist, ist er vor einer Oxidation durch zutretenden Sauerstoff weitgehend geschützt. Noch lange nach der Gärung ist die in Schwebelage befindliche Hefe in der Lage, beachtliche Mengen an Sauerstoff zu konsumieren und ihn so der Reaktion mit Weininhaltsstoffen zu entziehen.

Die Problematik einer unzulässig hohen Sauerstoffaufnahme stellt sich in erster Linie nach der Filtration der oxidationssensiblen Weißweine. Im Gegensatz zu Rotweinen fehlen ihnen Tannine und Anthocyane, welche Sauerstoff schadlos zu binden vermögen.

Die Aufnahme von Sauerstoff durch Weißweine führt zunächst zu einer Minderung ihres Gehaltes an schwefliger Säure durch ihre Oxidation zu Sulfat. In einer weiteren Phase stellt sich eine Minderung der gesuchten Sortenaromatik ein, welche schließlich durch Altersfirmen überlagert werden kann. Eine eventuelle Farbvertiefung folgt erst mit langer Verzögerung. Diese Entwicklung wird durch die Menge des nach der Filtration zutretenden Sauerstoffs, die Lagertemperatur und die phenolische Zusammensetzung des einzelnen Weins kontrolliert. Weder schweflige Säure noch Ascorbinsäure bringen Sauerstoff spurlos zum Verschwinden; sie schützen nur teilweise vor Oxidation.

Abb. 1 zeigt am Beispiel sechs handelsüblicher Weißweine, dass eine Zunahme der Sauerstoffbelastung von nur 10 mg/l O<sub>2</sub> meist zu einer deut-

**Abb. 1: Intensität (0–5) des Fruchtaromas in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme (mg/l) in abgefüllten Weißweinen**



lichen Abnahme des Fruchtaromas führt. Der Sauerstoff wurde in diesem Fall über einen variablen Kopfraum zudosiert. Die sensorische Auswertung erfolgte zwei Monate später, nachdem der zugesetzte Sauerstoff vollständig abreagiert, gebunden und verschwunden war.

### Sauerstoffaufnahme durch Behältermaterialien

Als Lagerbehälter kommen Werkstoffe unterschiedlicher Gasdurchlässigkeit zum Einsatz. Damit kann dem unterschiedlichen Sauerstoffbedarf von Weiß- und Rotwein bewusst Rechnung getragen werden. Häufiger sind jedoch die Fälle, in denen Behälter in Unkenntnis ihrer realen Sauerstoffdurchlässigkeit allzu sorglos eingesetzt werden.

Holz in der Größe eines Barriques versorgt den darin enthaltenen Wein mit 10 bis 30 mg/l Sauerstoff pro Jahr. Absolut gasundurchlässige Materialien wie Stahl und Glas nehmen eine Extremposition ein, die sie zur sauerstofffreien Langzeitlagerung geeignet macht. Die verschiedenen Kunststoffe zeigen große Unterschiede in der Diffusion von Sauerstoff, wie in Tab. 1 dargestellt ist. Hochgradig sauerstoffdurchlässig sind z.B. die diversen Polyethylene (PE), während der Gasdurchgang von Barrierekunststoffen wie PVDC um einen Faktor 1.000 geringer ist.

Diese Verhältnisse werden in der Praxis oft nicht beachtet, wenn kleine Weinmengen in den weit verbreiteten Kunststoffbehältern aus weißem PE gelagert werden. Die hohe Sauerstoffdurchlässigkeit dieses Materials führt, in Verbindung mit den darin gelagerten beschränkten Mengen, besonders bei Weißweinen innerhalb kurzer Zeit zu starken Oxidationsschäden.

**Tab. 1: Sauerstoffdurchlässigkeit verschiedener Kunststoffe bei 20 °C und 0 % rel. Feuchte**

Kunststoffolie mit 100 µm Dicke	Sauerstoffdurchlässigkeit in cm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> /d/bar)
Polyethylen niedriger Dichte (LD-PE)	1.350
Polypropylen	628
Polyethylen hoher Dichte (HD-PE)	505
Polyvinylchlorid (PVC)	19
Polyethylenterephthalat (PET)	8,6
Polyvinylidenchlorid (PVDC)	1,4

Andererseits werden solche Behälter, aus HD-PE gefertigt und als Flextanks vermarktet, auch zur Reifung von Rotweinen durch gezielte Sauerstoffzufuhr eingesetzt. GFK-Tanks weisen trotz ihres schlechten Rufs nur einen geringen Sauerstoffdurchgang auf.

Ausschlaggebend für die Sauerstoffaufnahme ist in allen Fällen die Fläche der Tankwandung, durch die der Sauerstoff diffundiert, im Verhältnis zum Weinvolumen, auf das er einwirkt.

### Sauerstoffaufnahme über die Oberfläche

Eine unkontrollierte Sauerstoffaufnahme ergibt sich häufig über die Weinoberfläche, die statischer oder turbulenter Natur sein kann. Statische Oberflächen liegen in nicht vollständig befüllten Gebinden vor. Werden solche gerührt, entsteht eine turbulente Oberfläche, die ebenso beim Fließen des Weins durch schlecht entlüftete Leitungen, Filter oder Pumpen zu finden ist.

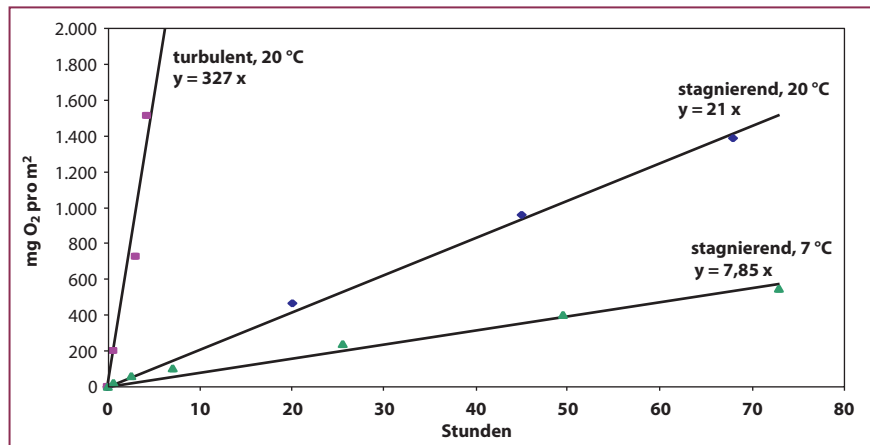
Bezogen auf Normaldruck, sind im Wein 9 mg/l O<sub>2</sub> bei 20 °C und sogar 11 mg/l O<sub>2</sub> bei 10 °C löslich. Obgleich ein Wein in der Kälte mehr Sauerstoff in Lösung halten kann als bei hoher Temperatur, lässt sich daraus keine Information ableiten über die Geschwindigkeit, mit der er ihn aus der

Atmosphäre aufnimmt. Über diese essenzielle Größe ist in der Literatur nur eine vage Schätzung aus den 1930er Jahren zu finden.

Um das Ausmaß der Sauerstoffaufnahme über die Oberfläche exakt zu erfassen, wurde eine weinähnliche Modelllösung (12% Ethanol, pH3,5) durch Begasung mit Inertgas vom gelösten Sauerstoff befreit, mit 200 mg/l Ascorbinsäure versetzt und bei verschiedenen Temperaturen in Breithalsflaschen von 1 Liter und einer definierten Flüssigkeitsoberfläche gelagert. Zutretender Sauerstoff reagiert stöchiometrisch mit Ascorbinsäure und wird dabei gebunden, analog zu den Verhältnissen im Wein. Aus der Abnahme der Ascorbinsäure über die Zeit kann so direkt auf die Menge des über die Oberfläche aufgenommenen Sauerstoffs (in mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h) umgerechnet werden. Abb. 2 gibt die Ergebnisse wieder.

Vergleicht man die beiden bei 20 °C gelagerten Varianten, ergibt sich für die ruhende Flüssigkeit eine Sauerstoffaufnahme von 21 mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h bzw. 504 mg/m<sup>2</sup>/Tag. Erfährt die gleiche Lösung durch konstantes Rühren eine turbulente Oberfläche, erhöht sich dieser Wert um das annähernd 15-Fache auf 327 mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h. Naturgemäß variiert dieser Wert mit der Intensität der Turbulenz.

**Abb. 2: Diffusion von atmosphärischem Sauerstoff über die stagnierende bzw. turbulente Oberfläche einer weinähnlichen Modelllösung bei Normaldruck**



### Einfluss der Temperatur

Auch der Einfluss der Temperatur ist erheblich. Die bessere Löslichkeit des Sauerstoffs bei niedrigen Temperaturen mag zu der leichtfertigen Annahme führen, dass unter diesen Bedingungen auch seine Diffusion aus der Atmosphäre in die Flüssigkeit zunimmt. Der Vergleich der Diffusion in die stagnierende Flüssigkeit bei jeweils 20 °C und 7 °C belegt das Gegenteil (Abb. 2): Bei 7 °C mindert sich die Diffusionsgeschwindigkeit um das 2,7-Fache von 21 auf nur 7,9 mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h. Dieses zunächst verblüffende Verhalten hat eine physikalische Erklärung.

**Tab. 2: Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre über die Oberfläche der Flüssigkeit (12 % Ethanol, pH 3,5) in mg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/h**

	20 °C	7 °C
ruhende Oberfläche	21	7,9
turbulente Oberfläche	~ 327*	~ 950*

\* genauer Wert abhängig von der Intensität der Turbulenz

Die Aufnahme eines Gases durch Flüssigkeit erfolgt in zwei Stufen:

► 1. Die Diffusion über die Oberfläche in die Flüssigkeitsgrenzschicht. Dieser Vorgang ist annähernd spontan, nur über eine kurze Strecke aktiv und bei gegebenem Druck abhängig von der Temperatur, der Oberflächenspannung und dem Sättigungsgrad des Gases in der Flüssigkeit.

► 2. Der Transport des Gases in das Innere der flüssigen Phase. Die treibende Kraft dabei ist die ständige Erneuerung der Grenzschicht. Diese kann durch Wärmekonvektion oder mechanisch herbeigeführte Turbulenz erfolgen. In beiden Fällen wird sauerstoffarmer Wein an die Oberfläche transportiert, wo er weiteren Sauerstoff aufnimmt. Mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche wird dieser Faktor zum geschwindigkeitsbestimmenden Schritt.

Grundsätzlich nimmt die Diffusion eines Gases innerhalb der Flüssigkeit mit der Temperatur ab. Obwohl die theoretische Löslichkeit des Sauerstoffs im Wein in der Kälte besser ist, hemmt die Kälte seine Verteilung im ruhenden Wein und damit auch alle nachgelagerten Reaktionen der Oxidation. Kommt es jedoch zum **Zusammenwirken von Kälte und Turbu-**

**Abb. 3: Für die Lumineszenzmessung zur Ermittlung des Sauerstoffgehalts in verschlossenen Flaschen werden sauerstoffsensitive Sensoren in das Innere der Flaschen geklebt**



**lenz**, erreicht die Sauerstoffaufnahme extreme Werte. Dieser Fall liegt z. B. bei der Weinsteinstabilisierung mittels Kontaktverfahren vor. Die Werte für die Sauerstoffaufnahme über die Weinoberfläche sind in Tab. 2 zusammengefasst.

### Weinoberfläche ist von Bedeutung

Für den Praktiker ist wichtig, dass über nicht konsequent befüllte Lagerbehälter unkontrolliert hohe Mengen an Sauerstoff in den Wein gelangen können. Nicht die Höhe des Kopfraums oder die fehlenden Liter sind entscheidend, sondern ausschließlich die Größe der Oberfläche (in m<sup>2</sup>) und ihr Verhältnis zum Weinvolumen (in Liter). Auf den Liter umgerechnet, werden kleine Gebinde durch das Vorliegen einer Oberfläche oder technische Behandlungsmaßnahmen ungleich stärker mit Sauerstoff belastet als solche größeren Weinvolumens. Konkret: Eine Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> bei 10 hl belastet den Wein zehnmal stärker mit Sauerstoff als bei einem Weinvolumen von 100 hl.

### Reaktionen des Sauerstoffs

Die Oxidation von Wein läuft in drei Phasen ab:

► 1. Die Aufnahme von Sauerstoff aus der Atmosphäre sowie seine Verteilung im Wein bis zu einer maximal möglichen Konzentration von ca.

9 mg/l O<sub>2</sub> bei Normaldruck, der sogenannten Sättigungskonzentration. Der Vorgang ist rein physikalischer Natur und wird durch die oben beschriebenen Parameter wie Oberfläche, Turbulenz, Temperatur und Druck kontrolliert. Der im Wein als Gas gelöste Sauerstoff kann gemessen werden.

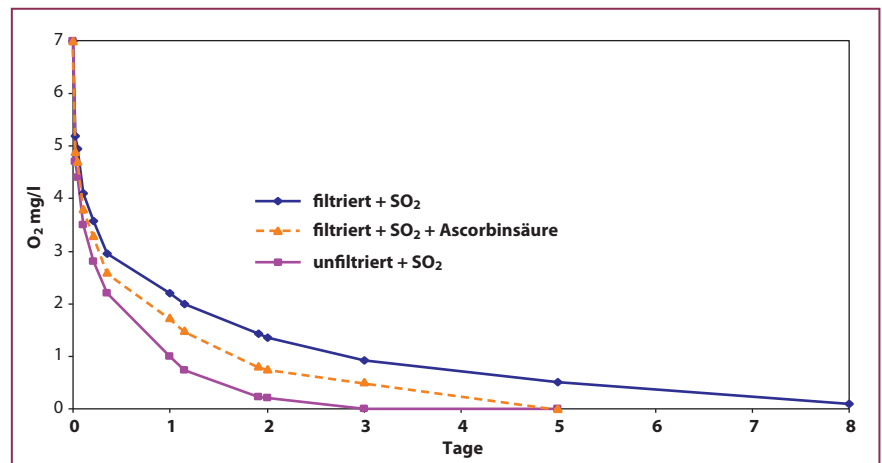
► 2. Im Zeitraum von einigen Tagen oder Wochen verbindet sich der gelöste Sauerstoff mit leicht oxidierbaren Weinhaltstoffen wie Metallen und Phenolen. Der gebundene Sauerstoff ist verschwunden und messtechnisch nicht mehr zugänglich. In dem Maße, wie gelöster Sauerstoff gebunden wird, kann der Wein erneut Sauerstoff aufnehmen, sofern er mit Luft in Kontakt kommt. Der gemessene Sauerstoffgehalt ist nur ein momentaner Nettowert, der sich aus der Differenz zwischen aufgenommener und zwischenzeitlich gebundener Menge ergibt.

► 3. Bei der Bindung des Sauerstoffs an leicht oxidierbare Weinbestandteile entstehen Sauerstoffradikale und Peroxyde. Diese werden auf Inhaltsstoffe übertragen, welche nicht direkt mit Sauerstoff reagieren können. Erst sie führen zu den bekannten Folgen der Oxidation, wie sie sensorisch oder analytisch als SO<sub>2</sub>-Verlust wahrnehmbar sind.

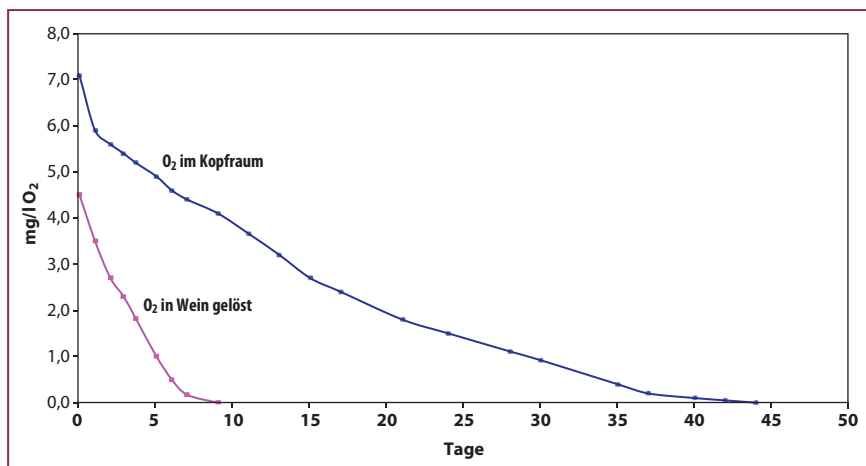
### SO<sub>2</sub>-Verluste durch Oxidation

Eine der entscheidenden Fragen vor der Abfüllung ist die nach dem idealen Gehalt an freier SO<sub>2</sub>. Es ist allgemein bekannt, dass er sich nach der Abfüllung durch Oxidation mit Sauerstoff mehr oder weniger stark mindert. Daher ist die Kenntnis des genauen Gehalts an freier SO<sub>2</sub> nur so viel wert, wie man auch den aktuell

**Abb. 4: Bindung von Sauerstoff in einem Weißwein in Abhängigkeit von Feinhefe und Ascorbinsäure**



RWA



**Abb. 5: Abbau des Sauerstoffs nach der Abfüllung eines handelsüblichen Weißweins, differenziert nach gelöstem Sauerstoff und Kopfraumsauerstoff**

vorliegenden Gehalt an gelöstem O<sub>2</sub> kennt. Nicht ohne Grund tendieren viele Betriebe der Neuen Welt dazu, beide Bestimmungen miteinander zu verbinden. Nur wenn die Sauerstoffaufnahme beim Abfüllen unter Kontrolle gehalten wird, können stabile SO<sub>2</sub>-Gehalte erreicht werden.

1 mg O<sub>2</sub> führt theoretisch zur Oxidation von 4 mg SO<sub>2</sub>. Im realen Wein ist der Verlust an SO<sub>2</sub> jedoch stets kleiner als dieser stöchiometrische Wert. In Weißweinen beläuft er sich auf durchschnittlich nur 2,6 mg SO<sub>2</sub> pro 1 mg/l O<sub>2</sub>. Der Rest des Sauerstoffs verbleibt bei anderen Inhaltsstoffen. Die daraus resultierende Oxidation erklärt die in Abb. 1 dargestellten Verluste von Fruchtaroma. In Rotweinen sind die Tannine ein wichtiger Reaktionspartner, woraus sich sensorische Verbesserungen ergeben können. Erst wenn der im Wein gelöste Sauerstoff vollständig verbraucht ist, kommt die Reaktion zum Stillstand. Ihre Geschwindigkeit

unter den verschiedensten Bedingungen wurde daher näher untersucht.

### Wie schnell reagiert der Sauerstoff?

Die Ermittlung des Sauerstoffgehalts in verschlossenen Flaschen erfolgte mittels Lumineszenzmessung auf zerstörungsfreiem Wege. Dazu werden vor dem Befüllen sauerstoffsensitive Sensoren in das Innere der Flaschen geklebt, jeweils im Kopfraum und im Bereich der späteren Flüssigkeit. Das eigentliche Messgerät bestrahlt die Sensorspots mittels eines Lichtfaserkabels mit einem definierten Lichtstrahl (Abb. 3). In Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt entsteht eine Lumineszenz, die von außen durch das Glas gemessen und auf mg/l O<sub>2</sub> umgerechnet wird. Die Entwicklung dieser hochempfindlichen, nichtinvasiven Technik erlaubt erstmals die Bestimmung des im abgefüllten Wein vorliegenden Sauerstoffs, ohne dass

die Werte durch Luftzutritt beim Öffnen der Flaschen verfälscht werden.

Abb. 4 zeigt den Verlauf der Sauerstoffbindung eines Weißweins, der mit 7 mg/l O<sub>2</sub> versetzt und in drei verschiedenen Varianten ohne Kopfraum luftdicht verschlossen bei 20 °C gelagert wurde. In der geschwefelten und filtrierten Variante, wie sie sich zum Abfüllen präsentiert, kam der gelöste Sauerstoff innerhalb von acht Tagen zum Verschwinden. Im noch leicht hefetrüben Wein vor der Filtration verkürzte sich dieser Vorgang auf drei Tage.

Der Grund ist die Aufnahme von Sauerstoff durch die suspendierte Feinhefe. Ebenso beschleunigt die zusätzliche Anwesenheit von Ascorbinsäure die Umsetzung des Sauerstoffs. Im Gegensatz zur Feinhefe bringt sie ihn jedoch nicht spurlos zum Verschwinden, sondern reduziert ihn nur zu Wasserstoffperoxyd, welches seinerseits als starkes Oxidationsmittel wirkt.

Ähnlich wirken erhöhte Gehalte an Kupfer oder Eisen. Sie beschleunigen die Umsetzung gelösten Sauerstoffs, sofern solcher überhaupt vorliegt. Ihre oft beschriebene Funktion als Katalysatoren der Oxidation büßen sie jedoch ein, wenn die Sauerstoffaufnahme begrenzt wird. Das maximal mögliche Ausmaß der Oxidation wird allein durch die Menge des verfügbaren Sauerstoffs vorgegeben, während ihre Geschwindigkeit von der Weinzusammensetzung abhängt.

Sofern keine unkontrollierte Sauerstoffaufnahme erfolgt, sind rund 90 % des ursprünglich im Wein gelösten Sauerstoffs innerhalb einer Woche gebunden. Daraus resultiert die klassische Empfehlung, sich zur SO<sub>2</sub>-Stabilisierung füllfertiger Weine eine Woche Zeit zu nehmen.

### Sauerstoffaufnahme beim Abfüllen

Bevor die Weine auf die Flasche gelangen, enthalten sie bereits gelösten Sauerstoff, dessen Menge von der handwerklichen Fähigkeit zur schonenden Weinbehandlung im Keller abhängt. Eine Schwachstelle dabei ist die Filtration, denn alle Schläuche, Pumpen, Armaturen und Filter sind zu Beginn voll mit Luft. Große Oberflächen, turbulente Strömungen und Überdruck begünstigen die prozessbedingte Sauerstoffaufnahme. Sie schwankt zwischen 0,5 bis 3 mg/l O<sub>2</sub> pro Vorgang. Besonders zu Anfang, bevor das System entlüftet ist, ist sie beachtlich, um sich bei weiterem Fort-

BU

gang der Filtration zu mindern. Folglich werden kleine Weinmengen stärker mit Sauerstoff belastet als große. Ein gezielter Einsatz von Inertgasen wäre hier wünschenswert.

Während des Abfüllprozesses nimmt der Wein weiteren Sauerstoff im Füllerkessel und beim Einlaufen in die Flaschen auf, meist zwischen 1 bis 3 mg/l O<sub>2</sub>. Die genaue Menge ergibt sich aus der eingesetzten Fülltechnik und kann durch Vorevakuierung und/oder Inertgasspülung der Flaschen reduziert werden. Nach dem Verschließen liegt noch ein variabler Kopfraum vor, der entweder aus Luft besteht und zu einem weiteren Sauerstoffeintrag führt, oder aber durch Kopfraumspülung mit Inertgas mehr oder weniger stark von Sauerstoff befreit wurde. Nicht zuletzt können ungeeignete Flaschenverschlüsse dem Wein während seiner gesamten Lagerdauer nachteilig hohe Sauerstoffmengen zuführen.

### Bedeutung des Kopfraums

In der Summe liegt im frisch abgefüllten Wein der Sauerstoff sowohl in der Flüssigkeit gelöst als auch gasförmig im Kopfraum vor. Die gesamte, in einer Flasche enthaltene Sauerstoffmenge wird inzwischen als TPO oder

**Tab. 3: Berechnung der Gesamtmenge an Sauerstoff (TPO) in Flaschen unterschiedlicher Größe bei gleichem Kopfraum (15 ml) mit Luft und 3 mg/l O<sub>2</sub> im Wein gelöst**

Nennvolumen der Flasche (ml)	375	750	1.000	1.500
Sauerstoff (mg O <sub>2</sub> ) im Kopfraum von 15 ml Luft	4,46	4,46	4,46	4,46
+ Menge (mg O <sub>2</sub> ) des im Weinvolumen gelösten Sauerstoffs bei 3 mg/l O <sub>2</sub>	1,13	2,25	3,00	4,50
= Gesamtmenge (mg O <sub>2</sub> ) an Sauerstoff in der Flasche (TPO)	5,59	6,71	7,46	8,96
Gesamtmenge an Sauerstoff umgerechnet auf mg/l	14,91	8,95	7,46	5,97
Kalkulationsbasis des im Kopfraum enthaltenen Sauerstoffs: 1 ml Luft = 0,208 ml O <sub>2</sub> ; 1 ml O <sub>2</sub> = 1,43 mg O <sub>2</sub>				

„total package oxygen“ bezeichnet.

Der im Kopfraum befindliche Sauerstoff löst sich nach und nach im Wein. Ein für Schraubverschlüsse typischer Kopfraum von 5 cm Höhe enthält ca. 15 ml Luft. Darin sind wiederum 3,12 ml bzw. 4,46 mg O<sub>2</sub> enthalten. Je nach Flaschengröße belastet diese Sauerstoffmenge den Wein unterschiedlich stark, z. B. bei einem Füllvolumen von 1,0 l mit 4,46 mg/l O<sub>2</sub> und bei einem Füllvolumen von nur 750 ml mit 5,95 mg/l O<sub>2</sub>. Dazu addiert sich der im Wein gelöste Sauerstoff. Diese Verhältnisse und ihre Berechnungsgrundlagen sind in Tab. 3 veranschaulicht. Bei vergleichbarem Kopfraum sind kleine Flaschen deutlich

benachteiligt. Mit zunehmender Flaschengröße wird der Einfluss des Kopfraums auf die Gesamtsauerstoffmenge (TPO) geringer.

Unter dem Schraubverschluss ist der Kopfraum vielfach größer als bei der Verwendung von Natur- oder synthetischen Korken. Wird in diesem Fall auf eine Kopfraumspülung verzichtet, kann der verbleibende Sauerstoff die gute Sauerstoffdichtigkeit der gängigen Schraubverschlüsse aufwiegen. Zumindest bei Weißweinen, allen voran dem oxidationsempfindlichen Sauvignon Blanc, kommt dem Sauerstoffmanagement im Kopfraum eine erhebliche Bedeutung zu.

### Der Sauerstoff nach der Abfüllung

Der im Wein gelöste Sauerstoff nimmt durch seine Bindung an Weininhaltsstoffe allmählich ab. Gleichzeitig strömt Sauerstoff aus dem Kopfraum in den Wein nach. Unter der Bedingung, dass der Flaschenverschluss eine absolute Sauerstoffbarriere darstellt, ist der TPO nach einiger Zeit vollständig verschwunden und das Flascheninnere frei von Sauerstoff. Ab diesem Moment kommt der durch Oxidation bedingte SO<sub>2</sub>-Verlust zum Stillstand. Schrauber mit Zinnsaran-Einlage, richtig aufgebracht, kommen den Verhältnissen einer absoluten Sauerstoffbarriere sehr nahe (O<sub>2</sub> < 0,3 mg/Jahr).

Abb. 5 zeigt exemplarisch den Abbau des Sauerstoffs in einem handelsüblichen Weißwein bei 20 °C nach der Abfüllung in Flaschen von 0,75 l mit Schraubverschluss. Der anfänglich im Wein gelöste Sauerstoff war hier nach 9 Tagen gebunden, während der im Kopfraum befindliche Sauerstoff erst nach 44 Tagen vollständig verschwunden war. Nach Ablauf dieser Frist war ein TPO von Null erreicht und der SO<sub>2</sub>-Verlust zum Stillstand gekommen. Die Diffusion des Kopfraum-

### Was bewirkt der Sauerstoff beim Dekantieren von Rotweinen?

Es ist ein weit verbreiteter Usus, große Rotweine vor ihrem Genuss zu dekantieren oder zumindest in breitbauchigen Gläsern zu schwenken. Das Ziel dieses Vorgehens besteht in ihrer Belüftung. Aus den beschriebenen Messungen wissen wir, dass der Wein über seine ruhende Oberfläche bei Zimmertemperatur ca. 500 mg Sauerstoff pro m<sup>2</sup> und Tag aufnimmt. Für ein gängiges Glas von 8 cm Durchmesser und einer Flüssigkeitsoberfläche von 50 cm<sup>2</sup> nach Befüllung mit 50 ml Wein ergibt sich so nach einigen Umrechnungen eine Sauerstoffaufnahme von 5 mg/l innerhalb von 15 Minuten. Schwenken wir den Wein im Glas, ist er in noch kürzerer Zeit annähernd mit Sauerstoff gesättigt.

Andererseits wissen wir aus den Abb. 4 und 5, dass ein durchschnittlicher Wein nicht mehr als 0,5 bis 1,0 mg/l gelösten Sauerstoff pro Tag chemisch umsetzen kann. Der in unserem Glas enthaltene Wein wird also mehrere Tage benötigen, um seinen Sauerstoff vollständig zu verwerten. Würden wir ihm diese Zeit

zugestehen, käme es zu weitreichenden Veränderungen am Gaumen, weil sich die Qualität des Tannins durch den Sauerstoff verändert. Tannin liegt in Rotweinen im Konzentrationsbereich von einigen 1.000 mg/l vor und muss dementsprechend auch mit einer beachtlichen Menge von 5 bis 10 mg/l Sauerstoff in Reaktion treten, damit seine qualitative Verbesserung geschmacklich signifikant ausfällt.

Bevor dieser Moment jedoch eintritt, fällt der Wein unserer Genusssucht zum Opfer. Bis dahin hat er nur einen geringen Bruchteil des in ihm gelösten Sauerstoffs verarbeitet – einige µg/l, die zur Reaktion mit den Aromastoffen genügen und auch Böckser verursachende Mercaptane beseitigen können. Deren Konzentration wird nämlich auch in µg/l bemessen und ist um 4 bis 5 Zehnerpotenzen niedriger als die des Tannins.

Mit anderen Worten: Belüften vor Genuss macht harte Rotweine am Gaumen keineswegs weicher, öffnet wohl aber ihre Aromatik.

sauerstoffs in den Wein wird durch die geringe Weinoberfläche begrenzt. Sie ist langsamer als die Bindung gelösten Sauerstoffs und kontrolliert die Geschwindigkeit des TPO-Abbaus.

Mit einer gewissen Schwankungsbreite ist der gesamte in der Flasche eingeschlossene Sauerstoff nach einer Lagerung von ungefähr eineinhalb Monaten abreagiert und verschwunden. Etwa genau so lange währt die so genannte Füllkrankheit, soweit diese überhaupt wahrgenommen wird. Es ist eine verführerische Spekulation, ihre Ursache in den durch die Umsetzung des Sauerstoffs induzierten Reaktionen zu suchen.

### Ermittlung des Sauerstoffbedarfs von Rotweinen

Rotweine können sich durch eine Sauerstoffaufnahme erheblich verbessern. Besonders in Verbindung mit einem Tankausbau werden daher Techniken wie die Mikrooxygenierung oder das belüftende Umpumpen eingesetzt. Es besteht daher ein berechtigtes Interesse, die Wirkung einer solchen Maßnahme experimentell zu überprüfen. Ein entsprechender Test kann auf einfache Weise in Flaschen von 750 ml (Randvoll-Volumen 765 ml) mit Schraubverschluss durchgeführt werden.

Zwei solcher Flaschen werden mit einem Probenschlauch unterschichtig befüllt. Dazu führt man den Schlauch bis zum Flaschenboden und zieht ihn, mit seinem Ende stets in den Wein eingetaucht, mit steigender Füllhöhe allmählich nach oben, ohne dass der Wein durch die Luft stürzt. Die Befüllung erfolgt randvoll. Eine der Flaschen wird sofort verschraubt; sie dient später als unbehandelter Standard.

Der zweiten Flasche werden mittels Pipette 20 ml Wein entnommen, bevor sie ebenfalls mit einer Schraubkappe dicht verschlossen wird. In dem

Kopfraum von 20 ml Luft steht eine Sauerstoffmenge zur Verfügung, die 7,9 mg/l O<sub>2</sub> entspricht (bzw. 15,8 mg/l O<sub>2</sub> bei 40 ml Kopfraum). Zur erleichterten Aufnahme des Sauerstoffs aus dem Kopfraum wird täglich geschüttelt. Nach Ablauf von 10 Tagen erfolgt der sensorische Vergleich mit dem unbehandelten Standard.

### Zusammenfassung

Die Aufnahme von Sauerstoff durch den Wein erfolgt in der Praxis meist unkontrolliert, hat jedoch erhebliche Folgen für die SO<sub>2</sub>-Stabilität und Sensorik. Mit dem Ziel eines besseren Sauerstoffmanagements wird dargestellt, an welchen Stellen im Keller und beim Abfüllen der Wein eine Sauerstoffaufnahme erfährt. Die Sauerstoffbelastung wird quantifiziert in Abhängigkeit von Weinoberfläche, Temperatur, Turbulenzen und Weinvolumen. Für oxidationssensible Weißweine ergeben sich Schwachstellen insbesondere durch ungenügendes Befüllen der Behälter, beim Filtrieren und Abfüllen, aus dem Kopfraum der Flaschen und durch ungeeignete Verschlüsse.

#### Der Autor

Volker Schneider, Schneider-Oenologie Bingen (D)  
Tel. +49(0)6721/182-764  
E-Mail: schneider.oenologie@googlemail.com,  
www.schneider-oenologie.com



Werbung

### TecSense GmbH:

## Neue Technologie ermöglicht einfache Sauerstoffmessung im Wein

Eine neue Technik der Sauerstoffmessung ermöglicht eine intensivere Beschäftigung mit dem Sauerstoff in Flüssigkeiten. Eine steirische Firma produziert einen robusten und präzisen Sauerstoffsensoren mit einer Glasfasersonde zur Messung in Kesseln und Fässern mit bioreaktiven Medien wie bei der Weinproduktion. Der **hochpräzise Sauerstoffsensoren** der Firma TecSense ist ein österreichisches Qualitätsprodukt, das sich bei der Messung in Kessel- und Rohrleitungen bereits bestens bewährt hat.

Der Sauerstoffmessung kommt in der Weinproduktion hohe Bedeutung zu, beispielweise um Schwefelung zur Verhinderung der Oxidation zu optimieren oder im Bereich

der Mikrooxygenierung. Durch gezielte Messungen kann die Zugabe von Schwefel entsprechend gesteuert und optimiert werden. Ziel es, die Qualität des Produktes durch gezielte Messung des Prozesses zu maximieren.

Der sauerstoffsensible Sensorspot ist auf der Spitze des Glasfaserkabels aufgebracht. Zur Messung führt der Anwender die Glasfasersonde in den Kessel oder in das Fass ein. Ein Druck auf den Button „Messung starten“ und der Sensor beginnt sofort mit der Messung der gelösten O<sub>2</sub>-Konzentration. Selbstverständlich können die Daten auch aufgezeichnet werden.



Nach der Messung das Kabel herausziehen und am besten in destilliertem Wasser abspülen.

Der Sensor ist **mit einem Akku ausgestattet und daher beliebig transportierbar**. Die digitalen Messdaten werden direkt am Display des Tablets ausgegeben, der Bediener kann das Gerät aufgrund des benutzerfreundlichen Apps wie ein Smartphone bedienen.

#### Die Eigenschaften:

- ▶ Messbereich von 0,01 mg/l bis Sättigung
- ▶ Höchste Genauigkeit
- ▶ Maximale Reproduzierbarkeit von 99,99 %
- ▶ Selbstdiagnose
- ▶ Selbstkalibrierung durch kodierte Spottechnologie
- ▶ Miniaturisiertes, integriertes Messsystem
- ▶ Keine Querempfindlichkeiten zu CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Ionenstärke
- ▶ Fähigkeit zur CIP-Reinigung, Sterilisation des Sensors

**Kontakt:** TecSense GmbH,  
Mag. Alexander Smolle, Grambach  
bei Graz, Tel. 0316/403 580,  
office@tecsense.com  
www.tecsense.com