

# **Aufnahme von Sauerstoff im Keller und durch den Flaschenverschluß**

**Volker Schneider, Schneider-Oenologie, Bingen**

Die normale und gängige Alterung von Weißwein beinhaltet stets eine Minderung seines fruchtigen Aromas, für dessen Erzeugung man viel Mühe und Geld investiert. Schon lange weiß man, dass dabei Reaktionen des Sauerstoffs eine erhebliche Rolle spielen. Diese Vorgänge werden wie alle chemischen Reaktionen durch die Temperatur beschleunigt. Nicht selten wird das Aroma in unkontrolliert warmen Flaschenlagern systematisch zerstört, nachdem es durch extrem niedrige Gärtemperaturen vorübergehend optimiert wurde. Ganz offensichtlich steht die Gewinnung von Aromen im Vordergrund, während ihre Erhaltung sträflich vernachlässigt wird.

Auf ähnliche Weise wird die Aufnahme von Sauerstoff in ihrer Bedeutung unterschätzt. Doch Weißweine sind oxidationsempfindliche Produkte. Über die Folgen der Einwirkung von Sauerstoff während der Weinbereitung wurde häufig berichtet, wobei die Aussagen für den Praktiker bei oberflächlicher Betrachtung widersprüchlich sind. Deshalb drängt sich eine Klärung auf.

Grundsätzlich vertragen und benötigen Rotweine mehr Sauerstoff als Weißweine. Die zur Reifung großer Rotweine erforderlichen Mengen an Sauerstoff werden durch gezielte kellertechnische Maßnahmen wie Abstiche über Luft, Lagerung im Holzfass oder Mikrooxidation zugeführt. Für die Mehrzahl der gängigen Rotweine ist die passive bzw. unvermeidbare Sauerstoffaufnahme jedoch ausreichend, so dass eine gezielte Sauerstoffzufuhr keine zusätzlichen Qualitätsvorteile mehr erbringt.

Im spezifischen Fall des Weißweins spielt der Zeitpunkt der Sauerstoffzufuhr eine Rolle. Die Oxidation des weißen Mostes ist der Haltbarkeit und Aromastabilität des späteren Weins förderlich, weil der Sauerstoff enzymatisch auf alterungsrelevante Phenole übertragen wird, die in der Folge ausflocken und mit dem Mosttrub entfernt werden. Oxidierbare Substanz, die im Moststadium entfernt wird, steht zur Oxidation des Weins nicht mehr zur Verfügung. Dies ist das Prinzip der Mostoxidation. Es ist ein Verdienst der Flotation, zumindest in der Ausführung mit Luft als Betriebsgas, dass sie auf indirektem Weg der Mostoxidation zur Gesellschaftsfähigkeit verholfen hat. Dabei sind sich die Beteiligten meist nicht bewußt, dass sie damit genau das durchführen, wogegen sie sich einst aus emotionalen Gründen gesträubt haben.

Im Stadium der hefetrüben Jungweine wird hinzutretender Sauerstoff durch die Hefe absorbiert und steht so zur Oxidation von Weininhaltsstoffen nicht mehr zur Verfügung. Dazu genügen geringe Mengen sogenannter Feinhefe in der Schwebelphase, die vor der Filtration stets vorliegen. Erst in den der Filtration nachgelagerten Phasen kommt der Aufnahme von Sauerstoff eine Bedeutung zu, die für Frische, Haltbarkeit und Aromatik der Weißweine entscheidend ist. Es muß also sehr genau differenziert werden, zu welchem Zeitpunkt der Sauerstoff hinzutritt.

## **Sauerstoffaufnahme im Keller**

Wein nimmt den Sauerstoff aus der Luft auf, die davon 20,8 % bzw. 291 mg/l enthält. Damit der Sauerstoff in den Wein diffundieren kann, ist eine Flüssigkeitsoberfläche erforderlich, die statischer oder turbulenter Natur sein kann. Statische Oberflächen liegen in teilbefüllten Gebinden vor. Werden solche gerührt, entsteht eine turbulente Oberfläche, die ebenso beim Fließen des Weins durch schlecht entlüftete Leitungen, Filter und Pumpen zu finden ist.

Die Geschwindigkeit, mit der atmosphärischer Sauerstoff in den Wein übergeht und die Menge, die sich darin löst, hängt von einigen physikalischen Grundgesetzen ab, von denen Temperatur und Druck eine herausragende Bedeutung zukommen. Messungen in Wein haben gezeigt, dass bei 12°C pro Stunde ca. 200 mg O<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> in die ruhende Flüssigkeit diffundieren, bei bewegter Oberfläche ein Vielfaches (1). Die sich daraus ergebenden Konsequenzen sind abhängig von dem Weinvolumen, in dem sich der Sauerstoff verteilt. Auf den Liter umgerechnet, werden kleine Gebinde durch das Vorliegen einer austauschaktiven Oberfläche oder technische Behandlungsmaßnahmen stärker mit Sauerstoff belastet als solche größeren Flüssigkeitsvolumens. Ausschlagend ist nicht das Volumen oder die Höhe des Kopfraums, sondern die Größe der Oberfläche und ihr Verhältnis zum Inhalt des Gebindes.

Für den Praktiker ist wichtig, dass über nicht konsequent begefüllte Behälter unkontrollierbar hohe Mengen Sauerstoff in den Wein gelangen können. Deren Beitrag zur Alterung wird begleitet durch Verluste von Aromastoffen und Kohlensäure, die über die austauschaktive Oberfläche zur Verdunstung gelangen. Überschichtung mit Inertgas kann zwar die Sauerstoffaufnahme unterbinden, nicht jedoch die Abreicherung von Aromen in den mit Inertgas gefüllten Kopfraum.

Bezogen auf Kellertemperatur und Normaldruck, sind in Wein ziemlich genau 9 mg/l O<sub>2</sub> als Gas löslich. Diese Menge entspricht der Sättigungskonzentration, das heißt, der Wein ist mit Sauerstoff gesättigt derart, dass er nicht mehr davon aufnehmen kann. Der gasförmig gelöste Sauerstoff kann mittels polarometrischen Elektroden gemessen werden. Im Zeitraum von einigen Tagen oder Wochen wird er durch Weininhaltsstoffe gebunden. Aus deren Oxidation resultieren sensorische Konsequenzen. Der gebundene Sauerstoff kann meßtechnisch nicht mehr festgestellt werden; er ist sozusagen verschwunden.

Die Abnahme des gelösten Sauerstoffs durch Bindung erlaubt, dass der Wein immer wieder erneut Sauerstoff aufnehmen kann, sofern er mit Luft in Kontakt kommt. Der gemessene Sauerstoffgehalt ist ein momentaner Nettowert, der sich aus der Differenz zwischen aufgenommener und zwischenzeitlich gebundener Menge ergibt.

Nicht nur über die Oberfläche teilbefüllter Behälter, sondern bei jeder Bewegung des Weins im weitesten Sinn erfolgt eine Aufnahme von Sauerstoff. Die Effekte einzelner Vorgänge und Behandlungen addieren sich und es ist interessant, eine Summenbilanz zu wagen.

Die prozessbedingte Sauerstoffaufnahme hängt erheblich von der momentan noch vorhandenen Kohlensäure ab. Beim Befüllen von oben ist die Sauerstoffaufnahme höher, wenn der Wein bereits weitgehend seine Gärungskohlensäure verloren hat. Sie ist geringer, wenn durch ein Entbinden von Kohlensäure ein Teil des im Kopfraum enthaltenen Sauerstoffs ausgewaschen wird. Während des unterschichtigen Umlagerens CO<sub>2</sub>-haltiger Jungweine ist praktisch keine Aufnahme von Sauerstoff messbar, weil er durch eine gleichzeitige CO<sub>2</sub>-Entbindung ausgewaschen bzw. durch Feinhefe gezehrt wird. Für die Praxis heißt das, dass alle Behandlungen und Bewegungen um so belastender für den Wein sind, je weiter dieser in seiner Entwicklung fortgeschritten ist.

Tabelle 1 zeigt durchschnittliche Werte der Sauerstoffaufnahme, die bei verschiedenen Varianten von Ausbau und Lagerung eintritt. Die Angaben beziehen sich auf Weine bei durchschnittlicher Kellertemperatur, die ihre natürliche Gärungskohlensäure weitgehend verloren haben. Insofern kann es sich nur um Richtwerte handeln. Einige angeführten Behandlungsmaßnahmen, die in der Praxis oft unbewußt durchgeführt werden, führen dem Wein Sauerstoffmengen bis zu der Größenordnung einer Sättigungskonzentration zu (2). Dazu zählt unter anderem das Befüllen der Gebinde von oben und der Transport in teilbefüllten Tanks.

Für Weißweine sollte das Befüllen der Gebinde von oben der Vergangenheit angehören, weil damit schlagartig über 70 % des vorhandenen Aromas unwiderruflich verloren gehen. Ein solches Vorgehen rechtfertigt sich auch nicht zur Behandlung von Böckern, weil deren Entfernung mit Kupfersulfat ungleich produktschonender ist.

Bei den mechanischen Klärtechniken ist die Sauerstoffaufnahme in dem angewandten Gerät, sofern gut entlüftet, meist geringer als in den ihm nachgelagerten Phasen. So erfolgt nach jeder Filtration eine zusätzliche Sauerstoffaufnahme beim Einfließen in den Filtrattank, die stark ist bei der Variante "Befüllen von oben" und weniger bedeutend bei der Variante "Befüllen von unten". Die Art des Befüllens der Gebinde differenziert die den einzelnen Klärtechniken zugeschriebene Sauerstoffaufnahme erheblich.

Unter den spezifisch deutschen Bedingungen werden gängige Weißweine im Tank ausgebaut und wenige Monate nach Abschluß der alkoholischen Gärung abgefüllt. Bis zur Bereitstellung zur Abfüllung erfolgt im Allgemeinen ein Abstich durch Befüllen von unten, eine Schönung in Verbindung mit Rühren, zwei Filtrationen und mindestens ein zusätzliches Umlagern im Rahmen von Verschnitten, Süßung und Beifüllen. Summiert man die mit all diesen Vorgängen verbundene Sauerstoffaufnahme auf, kommt man leicht auf 10 mg/l O<sub>2</sub>, die ein Weißwein während eines schonend durchgeführten Ausbaus im Tank vor seiner Abfüllung aufnehmen kann. Davon entfällt die Hälfte auf die Phase des hefetrüben Jungweins, während der aufgenommener Sauerstoff durch Hefe gezehrt und

von Oxidationsreaktionen ferngehalten wird. Die verbleibenden 5 mg/l oxidieren Weinhaltstoffe und werden sensorisch relevant, ohne zu wahrnehmbaren Alterungserscheinungen zu führen.

Diese Verhältnisse ändern sich grundlegend, wenn der Wein im Keller strapaziös behandelt wird, wie es oft noch unbewußt geschieht. Umpumpen über Luft zum Befüllen der Gebinde, Lagerung im Anbruch und der Transport in teilbefüllten Behältern sind Methoden, die die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs unkontrolliert vervielfachen. Die oxidative Alterung wird bereits vor der Abfüllung induziert. Aromaverluste durch Verdunstung verschärfen diesen Effekt. Der Wein ist bereits müde, gezehrt und aromatisch benachteiligt, bevor er in die Flasche gelangt.

Strapaziöse Behandlung von Weißweinen ist ein betriebsspezifisches und mentales Problem. Sie verrät die mangelnde Sensibilität des Erzeugers für ein empfindliches Produkt.

### **Sauerstoffaufnahme beim Abfüllen**

Die meisten Weine werden mittels Unterdruckfüller ohne Schutz durch Inertgase abgefüllt. Unter diesen Bedingungen erfährt der Wein eine Sauerstoffaufnahme im Füllkessel und beim Einlaufen in die Flasche. Vergleicht man den Sauerstoffgehalt vor dem Einlauf in den Füller und direkt nach dem Verschließen der Flaschen, stellt man eine Erhöhung im Bereich von 0,5-1,5 mg/l O<sub>2</sub> fest, wobei eine gewisse Abhängigkeit vom Füllsystem zu beobachten ist (2, 3). Eine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von 1 mg/l O<sub>2</sub> während des eigentlichen Füllvorgangs darf nicht überbewertet werden. Sie ist vernachlässigbar gering gegenüber den Mengen, die der Wein vor und nach dem Abfüllen aufnimmt.

Besonders im Rahmen strapaziöser Behandlungsmaßnahmen zur Herstellung der Füllbereitschaft gelangt oft überraschend viel Sauerstoff - bis 9 mg/l - in den Wein, dessen Folgen fälschlicherweise dem Füllsystem zugeschrieben werden. Investitionen in die Abfülltechnik können somit Probleme mit vorzeitiger oxidativer Alterung kaum lösen.

### **Sauerstoffaufnahme durch Flaschenverschluß**

Im Kopfraum der verschlossenen Flaschen ist Luft enthalten, sofern diese nicht durch eine Vakuumeinrichtung oder Einblasen von Kohlensäure kurz vor dem Verschließen entfernt wird. Bezogen auf eine Flasche von 0,75 Ltr. und einen durchschnittlichen Kopfraum von 4,0 ml bzw. 12 mm Höhe unter dem Kork, beträgt der in dieser Luft enthaltene Sauerstoff 1,5 mg/l. Wird die gleiche Flasche mit einem Schraubverschluß verschlossen, verbleibt ein größerer Kopfraum, in dem ca. 5 mg/l O<sub>2</sub> enthalten sind.

Der mit dem Wein in der Flasche eingeschlossene Sauerstoff reagiert nun mit Weinhaltstoffen und verschwindet. Eine meßtechnisch leicht zugängliche Folge dieser Oxidation ist die Abnahme der schwefligen Säure, wenngleich diese nur einen Teil des Sauerstoffs abfängt. Die Geschwindigkeit, mit der sich der Sauerstoff chemisch umsetzt, schwankt von Wein zu Wein und ist meist innerhalb weniger Tage beendet. Im ungünstigsten Fall kann die Bindung einer Sättigungskonzentration Sauerstoff jedoch bis zu einem Monat in Anspruch nehmen. Durch Oxidation bedingte Alterungsreaktionen, die nach diesem Zeitpunkt eintreten, sind auf eine Sauerstoffzufuhr durch den Flaschenverschluß zurückzuführen.

Über die Sauerstoffaufnahme während der Flaschenlagerung ist wenig bekannt. Im Wein gelöster Sauerstoff entzieht sich der Bestimmung, nachdem er sich mit Weinhaltstoffen umgesetzt hat. Aus den Folgen der Oxidation kann nicht auf die Menge umgesetzten Sauerstoffs geschlossen werden. Deshalb werden entsprechende Studien mit chemisch definierten und kontrollierbaren Modelllösungen durchgeführt.

Zur Messung der Sauerstoffaufnahme durch den Flaschenverschluß wurde eine wässrige Lösung abgefüllt, in der Sauerstoff eine meßbare Veränderung hervorruft, die stöchiometrisch umgerechnet werden kann. Diese Lösung enthielt 12 % Ethanol, 150 mg/l Ascorbinsäure, 2,5 g/l Weinsäure und 2,0 mg/l Eisen. Die Aufnahme von 1 mg Sauerstoff führt zu einer Minderung der Ascorbinsäure von 5,1 mg. Die Flaschen von 750 ml waren mit Stickstoff vorgespannt und wurden mit 18 verschiedenen Korken und einem Anrollverschluß verschlossen. Jede der 19 Varianten wurde während 12 Monaten unter verschiedenen Bedingungen gelagert: liegend bei 22°C, liegend bei 12°C und stehend bei 12°C.

Anschließend wurde der durch den Verschuß aufgenommene Sauerstoff aus der Abnahme der Ascorbinsäure errechnet.

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 zusammengefaßt und als Sauerstoffdiffusion in mg O<sub>2</sub> pro Verschuß und Jahr dargestellt. Es zeigt sich, dass alle Korken eine bemerkenswerte Aufnahme von Sauerstoff zulassen, die in diesem Versuch um einen Mittelwert von 15 mg O<sub>2</sub> schwankt. Nur die mit Schraubverschuß verschlossenen Varianten zeigten mit 4-5 mg O<sub>2</sub> eine deutlich geringere Sauerstoffaufnahme. Bei den Korken ergaben sich signifikante Unterschiede in der Sauerstoffdiffusion in Abhängigkeit von der Lagerung. Die Lagerung bei 12°C führt zu einer deutlich höheren Sauerstoffaufnahme als eine solche bei 22°C, bedingt durch die bessere Löslichkeit des Gases in der Kälte. Die stehende Lagerung bei 12°C ergab die stärkste Streuung zwischen den Korken; die Sauerstoffdiffusion schwankte zwischen 9 und 17 mg O<sub>2</sub> pro Jahr. In den bei 12°C liegend aufbewahrten Varianten minimierten sich die Unterschiede zwischen den Korken.

Der Korkverschuß versorgt also den Wein mit beachtlichen Mengen von Sauerstoff, die für Alterungsreaktionen zur Verfügung stehen. Der Schraubverschuß verringert die Sauerstoffaufnahme um einen Faktor von drei bis vier. Je gasdichter der Verschuß, desto geringer ist die Sauerstoffzufuhr. Die Sauerstoffdurchlässigkeit von Korken ist ein bis jetzt vernachlässigtes Qualitätskriterium.

Andererseits sind die bekannt guten Eigenschaften des Schraubverschlusses hinsichtlich Dichtigkeit und geschmacklicher Neutralität auch eine Frage der Verschleißtechnik. Die Dichtigkeit ergibt sich aus dem Anpressdruck, mit dem er angerollt wird. Doch gerade damit treten immer wieder Probleme auf, wie schlecht verschlossene Flaschen bis hin zu Ausläufern zeigen. Daraus erklären sich die teilweise widersprüchlichen Ergebnisse im Vergleich mit anderen Verschlüssen. Bei aller Euphorie um die exzellente Haltbarkeit mit Schraubverschuß abgefüllter Weißweine sollte nicht vergessen werden, dass diese Verschlüsse nur so gut wie die Einstellung der Verschleißmaschine sind.

In einem weiteren Versuch wurden Korken sieben verschiedener Qualitäten jeweils in dreifacher Wiederholung eingesetzt und die Flaschen bei 10-15°C liegend gelagert. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse. Die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme über alle Korken lag in diesem Versuch bei 10 mg O<sub>2</sub> pro Jahr und damit innerhalb der bereits bekannten Größenordnung. Die Durchschnitte der verschiedenen Korksortierungen schwankten innerhalb eines Bereichs von 5-14 mg O<sub>2</sub>. Das heißt, eine Korkcharge mit geringer Gasdurchlässigkeit kann die mittlere Sauerstoffdiffusion um einen Faktor von 2,8 gegenüber einer solchen mit hoher Gasdurchlässigkeit reduzieren.

Beachtlich ist die Streuung zwischen den Einzelstücken (7). Innerhalb einer Korksortierung können beträchtliche Schwankungen bis zu einem Faktor von 2,2 auftreten. Somit ist die Sauerstoffaufnahme durch den Kork sowohl von der Korksortierung als auch von dem jeweiligen Einzelstück abhängig. Die Streuung zwischen den Einzelstücken ist eine Folge der biologischen Variabilität des Rohstoffes. Sie gestaltet es schwierig, die Sauerstoffdiffusion als Qualitätskriterium von Korksortierungen heranzuziehen. Sie erklärt aber, warum Flaschen ein und desselben Weins, mit vordergründig gleichen Korken verschlossen, nach einigen Monaten der Lagerung unterschiedlich weit in der Alterung fortgeschritten sein können.

Je nach Flaschengröße wirkt der Sauerstoff auf unterschiedliche Weinvolumen, die ihn aufnehmen und verarbeiten. Ein in einer 0,375 Ltr.-Flasche abgefüllter Wein erfährt, auf den Liter umgerechnet, eine annähernd dreifach höhere Sauerstoffaufnahme als der in einer 1,0 Ltr.-Flasche. Daraus wird die Problematik beschleunigter oxidativer Alterung in kleinen Flaschengrößen deutlich. Andererseits entspricht der über den Kork zugeführte Sauerstoff - bezogen auf die 0,75 Ltr.-Flasche und 1 mg O<sub>2</sub> pro Monat - annähernd der Menge, die im Rahmen der Mikrooxidation zur Reifung von Rotweinen eingesetzt wird.

### **SO<sub>2</sub>-Verlust durch Oxidation**

Während den ersten Tagen nach der Abfüllung ist eine mehr oder weniger große Abnahme der schwefligen Säure zu beobachten. Sie ist auf ihre Oxidation durch den in der Flasche eingeschlossenen Sauerstoff zurückzuführen. Er wurde direkt vor der Abfüllung, im Füllsystem oder aus dem Kopfraum der Flasche aufgenommen. Nach spätestens einem Monat ist in dem abgefüllten Wein kein Sauerstoff mehr nachzuweisen. Trotzdem ist während den folgenden Monaten und Jahren eine weitere, wenngleich langsamere Minderung der freien und gesamten schwefligen Säure festzustellen. Der dazu

notwendige Sauerstoff tritt durch den Flaschenverschluß hinzu. Die Gasdurchlässigkeit des Verschlusses kontrolliert die Geschwindigkeit der Reaktion.

Abb. 3 zeigt die Abnahme der gesamten schwefligen Säure von sechs abgefüllten Weißweinen, die mit unterschiedlichen Korken verschlossen wurden. Der Beobachtungszeitraum (Tag 0) begann einen Monat nach der Abfüllung, so dass der beim Abfüllen in der Flasche eingeschlossene Sauerstoff bereits abreagiert war. Damit ist die beobachtete  $\text{SO}_2$ -Abnahme ausschließlich eine Folge des über den Kork aufgenommenen Sauerstoffs. Es wird deutlich, dass dieser Sauerstoff nach Ablauf eines Jahres die schweflige Säure um 6-16 mg/l (Mittelwert 10 mg/l) gemindert hat, ohne dass die Reaktion einen festen Endpunkt erkennen läßt.

Da zur Oxidation von 4 mg  $\text{SO}_2$  rechnerisch 1 mg Sauerstoff erforderlich ist, läßt eine durchschnittliche  $\text{SO}_2$ -Abnahme von 10 mg pro Jahr auf eine Sauerstoffdiffusion von 2,5 mg/l schließen. Die in Modelllösungen gemessene Sauerstoffdiffusion durch Korken erwies sich jedoch um ein Vielfaches höher. Ursache dieser Diskrepanz ist die Reaktionskinetik des Sauerstoffs im realen Wein. Dort wird nur ein Bruchteil des aufgenommenen Sauerstoffs durch die schweflige Säure abgefangen, die ein relativ beschränkt wirkendes Reduktionsmittel darstellt. Sie ist nicht in der Lage, alle Weininhaltsstoffe vor Oxidation zu schützen. Ein variabler Anteil des Sauerstoffs wird zur Oxidation von Phenolen und Aromastoffen verbraucht. Daraus resultieren die bekannten sensorischen Konsequenzen bis hin zur Hochfarbigkeit.

Die Abfüllung mit erhöhten Gehalten an freier schwefliger Säure ist eine ungeeignete Maßnahme, Weißweine vor den Folgen ungewollter Alterung zu schützen. Durch ihr Stechen in der Nase beeinträchtigt sie bestenfalls die aromatische Qualität der Weine. Viele deutsche Weine leiden darunter, weil sie im internationalen Vergleich mit sehr hohen Gehalten freier  $\text{SO}_2$  abgefüllt werden. Trotzdem gelingt es ihr nicht, wie die bekannten Erscheinungen oxidativer Alterung zeigen, eindringenden Sauerstoff vollständig abzufangen.

Obwohl die  $\text{SO}_2$ -Abnahme auf der Flasche nicht die gesamte Sauerstoffumsetzung widerspiegelt, stellt sie einen brauchbaren Index dar, mittels dem Verschlüsse hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für Sauerstoff miteinander verglichen werden können. .

Der Aufnahme von Sauerstoff über den Korken liegen mehrere Mechanismen zugrunde. Er kann in Form von Peroxid-Rückständen im Korken in den Wein gelangen. Mit Peroxid kontaminierte Korken wurden beobachtet, woraus ein außerordentlich rapider  $\text{SO}_2$ -Abfall resultierte (4, 5). Diese Form von Oxidation scheidet in den beschriebenen Meßreihen aus, da sich in den verwendeten Korken mittels der einschlägigen Tests (4) keine Peroxid-Rückstände nachweisen ließen.

Molekularer Sauerstoff als verbleibende Ursache ist sowohl im Korkgewebe selbst als auch in der Atmosphäre des Flaschenlagers zu finden. Kork besteht zu 85-90 % aus Luft. Wenn Kork in den Flaschenhals gedrückt wird, vermindert sich sein Volumen um 50-60 %, wobei sich der Luftdruck in den Korkzellen annähernd verdoppelt. Nach einer Phase des Druckabbaus, während der Alkohol und Wasser in den Kork eindringen, diffundiert das in den Korkzellen enthaltene Gas heraus. Damit einher geht ein gewisser Sauerstoffeintrag in den Wein (6).

Die im Korkgewebe enthaltene Luft ist nicht die einzige Ursache. Lagert man Flaschen ein und desselben Weines sowohl in reiner Stickstoff-Atmosphäre als auch an der Luft, verzeichnen die unter Stickstoff gelagerten Flaschen eine geringere Bräunung und einen geringeren  $\text{SO}_2$ -Abbau (5). Da die aus dem Korkgewebe aufgenommene Sauerstoffmenge identisch ist, ergeben sich diese Unterschiede im Oxidationsverhalten aus dem in der umgebenden Atmosphäre verfügbaren Sauerstoff. Damit dieser in den abgefüllten Wein eindiffundiert, ist eine gewisse Durchlässigkeit des Korkens gegenüber atmosphärischem Sauerstoff erforderlich.

Unklar ist noch, ob die Sauerstoffdiffusion durch das Korkgewebe als solches oder entlang der Grenzfläche zwischen Kork und Glas erfolgt, und welche Bedeutung die Beschichtung hat. Mit Sicherheit spielt die Sauerstoffdiffusion durch die Kontaktfläche zwischen Flascheninnenwand und Verschlußaußenwand eine Rolle. Damit ist die Gasdurchlässigkeit von Flaschenverschlüssen nicht nur eine Frage der Dichtigkeit des Materials als solches, sondern auch des Kontaktes mit der Flaschenmündung.

## **Zusammenfassung**

Sauerstoff als Alterungsfaktor kann vor, während und nach der Abfüllung in den Wein gelangen. Die Sauerstoffaufnahme vor dem Abfüllen, besonders relevant nach der Filtration, ist stark vom handwerklichen Können und der Sorgfalt des Kellermeisters abhängig und kann durch eine schonende Weinbehandlung minimiert werden. Während des eigentlichen Abfüllens und aus dem Kopfraum der Flaschen gelangt relativ wenig Sauerstoff in den Wein. Die Sauerstoffaufnahme nach dem Abfüllen ist vom Verschuß abhängig. Der Korken stellt dem Wein eine vielfach höhere Menge an Sauerstoff zur Verfügung als der Schraubverschluß.

## **Literatur**

1. Ribéreau-Gayon J., Peynaud E.: *Traité d'Oenologie*, 2<sup>e</sup> tome, Béranger, Paris 1961.
2. Müller-Späth H.: Sauerstoff - Weinbereitung und Abfüllung. *Der Deutsche Weinbau* 25/26, 1982, 1210-1222.
3. Ketterer W. : Bedeutung von SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und Sauerstoff bei der Abfüllung. *Die Weinwirtschaft-Technik* 5, 1985, 142-148.
4. Michellod R., Fabre S.: *Traitement des bouchons et détection de résidus oxydants*. *Industrie delle Bevande* 23, 1994, 128-132.
5. Waters E.J., Peng Z., Pockock K.F., Williams P.J.: The role of corks in oxidative spoilage of white wines. *Austr. J. Grape and Wine Research* 2, 1996, 191-197.
6. Casey J. A.: Closures for wine bottles - a user's viewpoint. *The Austr. Grapegrower and Winemaker*, 4, 1989, 99-107.
7. Caloghiris M., Waters E.J., Williams P.J.: An industrie trial provides further evidence for the role of corks in oxidative spoilage of bottled wines. *Austr. J. Grape and Wine Research* 3, 1997, 9-17.

<b>Tab. 1: Durchschnittliche Sauerstoffaufnahme durch verschiedene kellertechnische Behandlungsmaßnahmen.</b>	
<b>Vorgang</b>	<b>O<sub>2</sub>, mg/l</b>
Umlagern, Einlauf unten	2
Umlagern mit undichter Saugleitung	7
Umlagern, Einlauf oben, über Auslaufbogen	4
Umlagern, Einlauf oben, über Reißrohr	7
Zentrifugation	5
Kieselgurfiltration	4
Cross-Flow-Filtration, offener Vorlaufbehälter	5
Rühren	3
Transport in teilbefüllten Tanks	7
Abfüllung	2
Lagerung im alten Holzfass, pro Jahr	10