

## **Alterung von Weißwein, I: Aufnahme von Sauerstoff in Keller und Flasche**

Weißweine sind oxidationsempfindliche Produkte. Die schweflige Säure schützt sie nur bedingt gegen oxidative Alterung. Über den Einfluß von Sauerstoff während der Weinbereitung wurde vielfach berichtet, wobei die Aussagen für den Praktiker bei oberflächlicher Betrachtung widersprüchlich sind. Deshalb drängt sich eine Klärung auf.

Rotweine vertragen und benötigen grundsätzlich mehr Sauerstoff als Weißweine. Die zur Reifung von Rotwein erforderlichen Mengen an Sauerstoff werden zum Teil durch gezielte kellertechnische Maßnahmen wie Abstiche über Luft, Lagerung im Holzfass oder Mikrooxygenation zugeführt. In spezifischen Fall des Weißweins spielt der Zeitpunkt der Sauerstoffaufnahme eine Rolle. Die Oxidation des weißen Mostes ist der Haltbarkeit des späteren Weins eher förderlich, weil der Sauerstoff enzymatisch auf alterungsrelevante Phenole übertragen wird, die ausflocken und mit dem Mosttrub entfernt werden. In Stadium der hefetrüben Jungweine wird hinzutretender Sauerstoff durch die Hefe absorbiert und steht so zur Oxidation nicht mehr zur Verfügung. 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 Zutritt.

Der Schutz filtrierter Weißweine vor unkontrollierter Sauerstoffaufnahme ist wichtig für ihre Haltbarkeit. Eine Bilanzierung des Sauerstoffeintrags drängt sich auf, bevor in einem späteren Teil technische und sensorische Konsequenzen erörtert werden.

### **Sauerstoffaufnahme im Keller**

Damit Sauerstoff aus der Atmosphäre 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 oder 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. 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.

Bezogen auf Kellertemperatur und Normaldruck, sind in Wein ca. 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. In Zeitraum von einigen Tagen oder Wochen wird er durch Weinhaltstoffe 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.

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.

Tabelle 1 zeigt durchschnittliche Werte der Sauerstoffaufnahme, die bei verschiedenen Behandlungen während 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 der angeführten Behandlungsmaßnahmen, die in der Praxis oft unbewußt durchgeführt werden, führen dem Wein Sauerstoffmengen bis zu der Größenordnung einer Sättigungskonzentration zu. Dazu zählt unter anderem das Befüllen der Gebinde von oben und der Transport in teilbefüllten Tanks.

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. Qualitätseinbußen durch Filter und Zentrifugen sind stark von ihrer Handhabung abhängig; Maschinen sind nur so gut wie ihre Bedienung.

Unter gängigen Bedingungen werden fruchtige 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 oder Beifüllen. Summiert man die mit all diesen Vorgängen verbundene Sauerstoffaufnahme, 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 aufgenommenen Sauerstoff durch Feinhefe gezehrt wird. Die verbleibenden 5 mg/l oxidieren Weininhaltsstoffe und werden sensorisch relevant.

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.

### **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. 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 das Füllsystem können somit Probleme mit vorzeitiger oxidativer Alterung kaum lösen.

## Sauerstoffaufnahme in der Flasche

Im Kopfraum der verschlossenen Flaschen ist Luft enthalten, sofern diese nicht durch eine Vakuumeinrichtung oder Einblasen von Inertgas entfernt wird. Bezogen auf eine Flasche von 0,75 Ltr. und einem 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 Verschluß zurückzuführen.

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 um 5,5 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 Verschluß 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 Verschluß und Jahr dargestellt. Es zeigt sich, dass alle Korken eine bemerkenswerte Aufnahme von Sauerstoff zulassen, die in diesem Versuch um einen Mittelwert von 15,4 mg O<sub>2</sub> schwankt. Nur die mit Schraubverschluß 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 Korkverschluß versorgt also den Wein mit beachtlichen Mengen von Sauerstoff, die für Alterungsreaktionen zur Verfügung stehen. Der Schraubverschluß verringert die Sauerstoffaufnahme um einen Faktor von drei bis vier. Die Sauerstoffdurchlässigkeit von Korken ist ein bis jetzt vernachlässigtes Qualitätskriterium.

In einem ähnlich angelegtem 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. 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 Einzelstück abhängig. Sensorische Unterschiede zwischen Flaschen des gleichen Weins können so erklärt werden.

Je nach Flaschengröße wirkt der Sauerstoff auf unterschiedliche Weinvolumen. 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 Mikrooxygenation von Rotweinen eingesetzt wird.

### **Sauerstoff durch Kork**

Der Aufnahme von Sauerstoff über den Korken liegen mehrere Mechanismen zugrunde. Sauerstoff kann in Form von Peroxid-Rückständen im Korken in den Wein gelangen. Solche mit Peroxid kontaminierte Korken führen zu einem außerordentlich rapiden SO<sub>2</sub>-Abfall. Diese Form von Oxidation scheidet in den vorliegenden Meßreihen aus, da sich in den verwendeten Korken keine derartigen 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.

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 SO<sub>2</sub>-Abbau. Da die aus dem Korkgewebe aufgenommene Sauerstoffmenge identisch ist, resultieren die 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 zwangsläufig erforderlich. Unklar ist noch, ob die Sauerstoffdiffusion durch das Korkgewebe als solches oder entlang der Grenzfläche zwischen Kork und Glas erfolgt, und welche Rolle die Beschichtung spielt.

### **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.

<b>Tab. 1: Durchschnittliche Sauerstoffaufnahme durch verschiedene kellertechnische Behandlungsmaßnahmen im Klein- und Mittelbetrieb.</b>	
<b>Vorgang</b>	<b>O<sub>2</sub>, mg/l</b>
Umlagern, Einlauf unten .	2
Umlagern mit gelockerter 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 Holzfass, pro Jahr	10
Lagerung im Barrique, pro Jahr .	30

Abb. 1: Sauerstoffdiffusion (mg O<sub>2</sub> pro Jahr) durch verschiedene Flaschenverschlüsse in Abhängigkeit von der Lagerung.

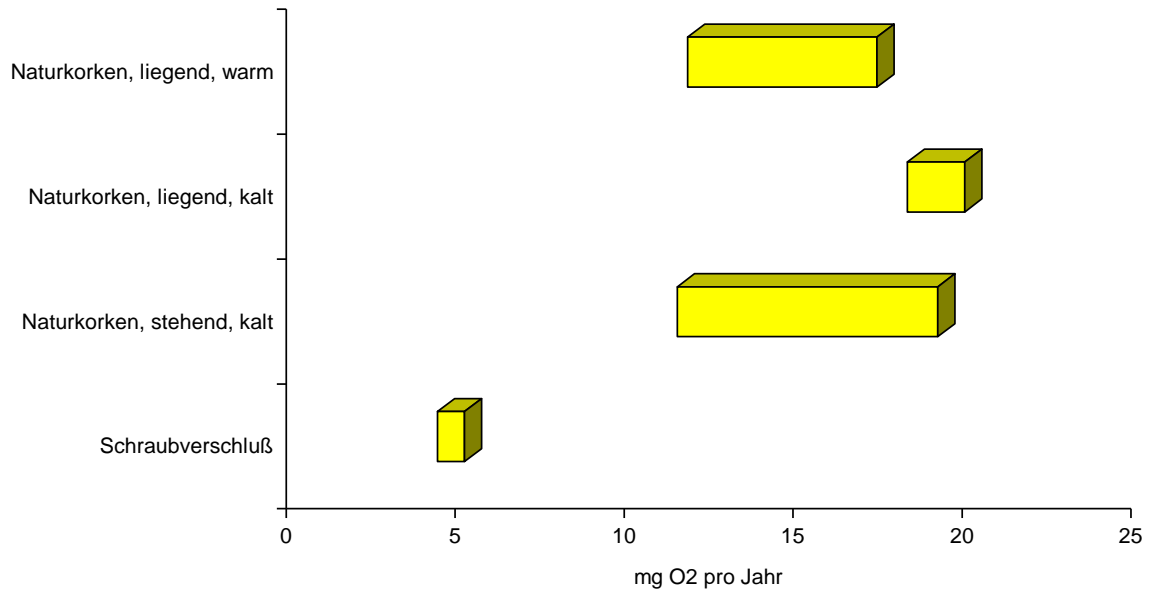


Abb. 2: Sauerstoffdiffusion (mg O<sub>2</sub> / Jahr) durch Korken verschiedener Chargen bei stehender Lagerung und 10-15°C. Schwankungsbreite von drei Einzelstücken pro Charge.

