



Einfluss des Flaschenverschlusses auf die Art der Alterung von Weißwein

Man kennt verschiedene sensorische Ausdrucksformen der Alterung von Weißwein. Die häufigste und bekannteste davon ist die oxidative Alterung, die zur Altersfirne führt. Sie resultiert aus der Aufnahme von Sauerstoff, wie sie zum Beispiel durch den Flaschenverschluss stattfinden kann. Hermetischer Sauerstoffabschluss vermag jedoch zu einer anderen Form der Alterung führen, die als reduktive Alterung bezeichnet wird. Volker Schneider, Bingen, stellt das neue Konzept der reduktiven Alterung vor, erläutert ihre Ursachen und ihre Abgrenzung zu anderen Formen der Alterung und beschreibt den Einfluss des Flaschenverschlusses.

Die Wertschätzung von fruchtigen Weißweinen ist eng an ihr charakteristisches Sortenaroma gebunden. In dessen Erzeugung wird viel Aufwand und oenologisches Wissen investiert. Ungleich weniger Aufmerksamkeit wird seiner Erhaltung gewidmet. Doch Weißweine sind sensible Produkte. Sie sind einer ungleich dynamischeren Alterung als Rotweine unterworfen. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle steht das sensorische Ergebnis der Alterung in Widerspruch zu den vorherrschenden Vorstellungen von Qualität. Die beschränkte Haltbarkeit abgefüllter Weißweine ist ein globales Problem.

Grundsätzlich unterliegt jeder Weißwein einer Alterung. Die Frage ist ausschließlich, um welche Form der Alterung es sich handelt und wie schnell sie sich einstellt. Nach sensorischen Kriterien unterscheidet man vier verschiedene Arten von Alterung:

- typische Alterung,
- untypische Alterung,
- reduktive Alterung,
- Petrolton.

Für das Entstehen dieser Formen von Alterung sind unterschiedliche chemische Reaktionswege und geruchlich aktive Verbindungen verantwortlich. Dabei kann durchaus mehr als ein Alterston gleichzeitig auftreten und die sensorische Identifizierung erschweren. Zwei Alterstöne sind jedoch durch weinbauliche Faktoren vorgegeben und auf bestimmte Weine beschränkt: So tritt der Petrolton fast nur in Rieslingen aus physiologisch reifem Lesegut auf, während die Entwicklung der untypischen Alterung ausschließlich in Weinen aus unreifem oder gestresstem Lesegut zu beobachten ist. Das Auftreten dieser beiden Arten von Alterung ist nicht oder nur unwesentlich an die Aufnahme von Sauerstoff geknüpft. Folglich bleibt es unbeeinflusst von oenologischen Maßnahmen, die eine Oxidation oder Reduktion zu Folge haben. Es handelt sich um relativ spezielle Fälle von Alterung.

DER SAUERSTOFF IN DER FLASCHE

Die oxidative Alterung und ihr Gegenteil, die reduktive Alterung, können grundsätzlich in allen Weinen auftreten. Ihre Entstehung wird stark durch die Verfügbarkeit von Sauerstoff in der

Flasche beeinflusst. Die Gesamtmenge dieses Sauerstoffs, auch als „total pack oxygen“ (TPO) bezeichnet, setzt sich zusammen aus:

- Sauerstoff, der im Rahmen der Füllvorbereitung aufgenommen wird und bereits vor dem eigentlichen Abfüllprozess im Wein gelöst ist.
- Sauerstoff, der während des Abfüllens aufgenommen wird.
- Sauerstoff, der sich im Kopfraum der Flasche befindet und allmählich im Wein löst.
- Sauerstoff, der durch den Flaschenverschluss in die Flasche diffundiert.

Abbildung 1 verdeutlicht diese Zusammenhänge. Die chemischen und sensorischen Folgen einer gegebenen Menge Sauerstoffs, die dem abgefüllten Wein zur Verfügung steht, fallen unterschiedlich stark aus in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Weins und der Lagertemperatur. Reduktionsmittel wie freie schweflige Säure, Ascorbinsäure und reduzierende Aminosäuren schützen bis zu einem gewissen Ausmaß vor oxidativer Alterung durch zu hohe Sauerstoffbelastung. Unter Bedingungen absoluten Sauerstoffabschlusses können sie jedoch auch die reduktive Alterung fördern.

OXIDATIVE ALTERUNG

Die oxidative Alterung wird umgangssprachlich auch als Altersfirne umschrieben. Sie erinnert geruchlich an Nüsse, gekochtes Gemüse, Kartoffeln, Silagefutter, Trockenfrüchte, trockene Kräuter, Stroh, Holz und Honig. Sie ist die Art von Alterung, die schon immer bekannt war. Deshalb wird sie auch als typische Alterung angesehen. Von ihr grenzt sich die erst Ende des 20. Jahrhunderts bekannt gewordene untypische Alterung ab.

Bei der oxidativen Alterung entstehen unter Einwirkung von Sauerstoff geruchsaktive Verbindungen, von denen Benzaldehyd, Phenylacetaldehyd, Methional, Furfural und Sotolon die wichtigsten sind und als Indikatoren gelten (1, 2, 3, 4). Es handelt sich dabei überwiegend um höhere Aldehyde, die sich durch Oxidation der korrespondierenden Alkohole bilden. Im Gegensatz zum Acetaldehyd, der in freier Form den sogenannten Luftton hervorruft und durch schweflige Säure abgebunden werden kann, reagieren diese höheren

Aldehyde nicht mit SO_2 . Die Reaktionen, die zu ihrer Bildung führen, sind irreversibel. Deshalb können sie nicht durch Maßnahmen gezielter Reduktion mittels Zusatz von SO_2 , Ascorbinsäure oder frischer Hefe entfernt werden.

In niedrigen Konzentrationen können die geruchsaktiven Reaktionsprodukte oxidativer Alterung zur Komplexität der Weine beitragen. Wenn ihre Konzentration steigt, ziehen sie die Qualität des Weins zunehmend in Mitleidenschaft, bis sie schließlich für das Aromaprofil oxidativ gealterter Weine verantwortlich werden. Liegen zusätzlich noch flavonoide Phenole in genügend hoher Konzentration vor, fördert die Oxidation ihre Polymerisation zu zunehmend adstringierend schmeckenden Gerbstoffen.

Parallel zur Bildung der neuen, für das Geruchsbild oxidativer Alterung verantwortlichen Verbindungen führt die Aufnahme von Sauerstoff auch zu einem Abbau positiver Aromakomponenten. Bis zu einem gewissen Grad sind davon traubenbürtige Terpene und Gäraromen aus dem Stoffwechsel der Hefe betroffen. Besonders empfindlich reagieren jedoch solche Aromastoffe, die Schwefel im Molekül enthalten. Dazu zählen für Böckser verantwortliche Verbindungen wie Thiole (Mercaptane) und Schwefelwasserstoff. Das Vermeiden ihres Auftretens, ihre Minderung oder gar ihr Verschwinden durch Oxidation ist sicher ein willkommener Effekt der Aufnahme von Sauerstoff.

Ähnlich empfindlich auf Sauerstoff reagieren jedoch auch die sogenannten polyfunktionellen Thiole bzw. Aromathiole, die für das typische Aroma nach schwarzen Johannisbeeren und Passionsfrüchten von Sauvignon blanc und, mit einigem Abstand, bestimmter anderer Rebsorten wie Scheurebe und Colombard in sensorisch signifikantem Ausmaß verantwortlich sind.

BEDEUTUNG DER LAGERTEMPERATUR

Grundsätzlich kann ein der oxidativen Alterung sehr ähnliches Aromaprofil auch unter Ausschluss von Sauerstoff entstehen, wenn die Wärmebelastung im Flaschenlager zu hoch ist. Verantwortlich dafür ist ein breites Spektrum flüchtiger Verbindungen, die durch nicht-oxidative Reaktionen zwischen Aminosäuren, Zuckern und Dicarbonylverbindungen entstehen (5, 6). Deshalb kann frühzeitige Altersfirne oft auch in Weißweinen bereits nach dem ersten Sommer in einem unkontrolliert warmen Flaschenlager beobachtet werden, obwohl die Weine unter geringstmöglicher Sauerstoffaufnahme abgefüllt und mit absolut gasdich-

Abbildung 1: Der Sauerstoff in der Flasche und der Begriff des „total pack oxygen“

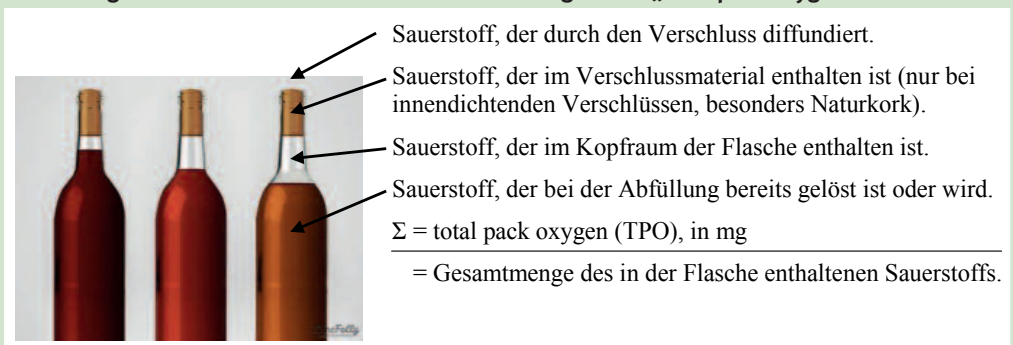
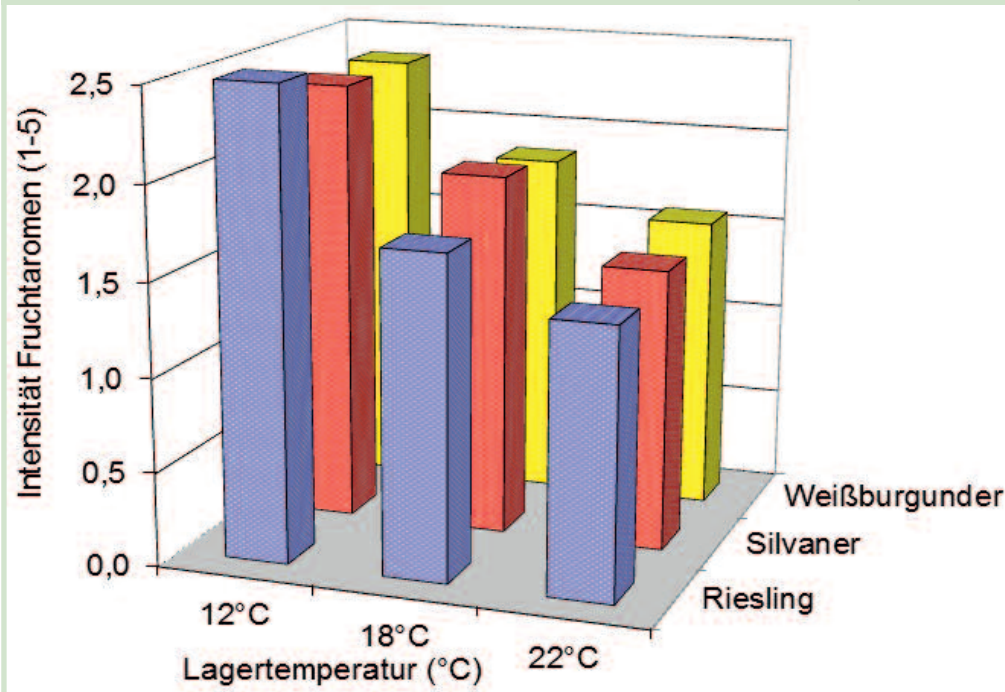


Abbildung 2: Abhängigkeit der Intensität sensorisch wahrnehmbaren Fruchtaromen dreier abgefüllter Weißweine nach 10 Monaten Lagerung bei verschiedenen Temperaturen



ten Flaschenverschlüssen versehen wurden. Es handelt sich dabei schlechthin um Wärmeschäden oder „Kochtöne“.

Der Hintergrund dieser Problematik ist einfach zu verstehen: Im deutschsprachigen Raum steht die Temperaturkontrolle zur Erzeugung von Fruchtroma während der Gärung einseitig im Vordergrund, während der Erhalt der so gewonnenen Aromen durch Temperaturkontrolle während der Lagerung oft sträflich vernachlässigt wird. Internationaler Standard ist eine ganzjährige Lagertemperatur von ca. 10 °C für abgefüllte Weißweine. Davon sind viele oberirdische Flaschenlager neuerer Bauweise weit entfernt.

In einem Lagerversuch mit Grünem Veltliner stellten sich nach einjähriger Lagerung bei 2 und 10 °C fast keine aromatischen Veränderungen ein. Dagegen führte eine viermonatige Lagerung bei 20 °C zu Verlusten des sortentypischen Aromas, die für den Konsumenten nachvollziehbar waren (7). Abbildung 2 zeigt die Effekte von drei verschiedenen Temperaturstufen auf die Intensität der Fruchtaromatik dreier deutscher Weißweine nach 10 Monaten Lagerzeit.

Es ist sensorisch sehr schwierig zu differenzieren, ob die Altersfirne durch eine zu hohe Sauerstoffbelastung oder eine zu hohe Wärmebelastung entstanden ist. Deshalb sind Sauerstoffbelastung und Temperatur immer im Zusammenhang zu sehen. Sie wirken additiv in Hinblick auf den Verlust der Fruchtaromen.

SCHRAUBVERSCHLÜSSE ALS ANTWORT AUF OXIDATIVE ALTERUNG

In Weißweinen sind Unterschiede in der Sauerstoffbelastung von weniger als 10 mg/l O₂ sensorisch eindeutig nachzuvollziehen (8, 9). Dies führt zu der vordergründigen Annahme, dass der ideale Verschluss für solche Weine hermetisch abdichtet und jegliche Aufnahme atmosphärischen Sauer-

stoffs unterbindet, um die fruchtigen Jungweinaromen möglichst lange zu erhalten. Eine der Gründe der weit verbreiteten Einführung von Schraubverschlüssen bestand darin, dass sie diese Voraussetzung besser als die meisten anderen Verschlussysteme erfüllen.

Bei der Bewertung der Sauerstoff-Barriere-wirkung von Flaschenverschlüssen wird oft übersehen, dass die Sauerstoffaufnahme direkt vor und beim Abfüllen sowie aus dem Kopfraum der Flaschen ebenfalls eine wichtige Rolle für die oxidative Alterung spielt. Ist diese vom Verschluss unabhängige Sauerstoffaufnahme unkontrolliert hoch, führt sie trotz Verwendung eines gut dichtenden Verschlusses zur oxidativen Alterung.

Erst nachdem der beim Abfüllen in der Flasche eingeschlossene Sauerstoff nach einigen Monaten mit dem Wein abreagiert und aufgebraucht ist, übernimmt der Verschluss die Kontrolle über die oxidative Alterung. Dies kann den Vorteil gut dichtender Verschlüsse im ersten Jahr nach der Abfüllung relativieren. Innerhalb dieses Zeitraums können die vom Verschluss unabhängige Sauerstoffaufnahme und die Lagertemperatur von größerer Bedeutung für die sensorisch wahrgenommene Alterung werden als die Sauerstoff-Barriere-wirkung des Verschlusses als solches.

Der Schraubverschluss löst nicht alle Probleme mit Alterung.

BEDEUTUNG DER DICHTSCHEIBE BEIM SCHRAUBVERSCHLUSS

Schraubverschlüsse sind kein einheitlicher Verschlussstyp, sondern unterscheiden sich durch unterschiedliche Dichtsysteme mit unterschiedlicher Sauerstoff-Barriere-wirkung.

Jeder Schraubverschluss besteht aus einem äußeren Aluminiumzylinder und einer ein- oder mehrschichtigen Dichteinlage. Der äußere Zylinder fixiert die Einlage in korrekter Position und presst sie mit dem erforderlichen Druck auf der Flaschenmündung an. Die Dichteinlage stellt den Abschluss zwischen Füllgut und Verschluss dar, versiegelt die Flasche und dichtet gegen die Diffusion von Gasen und Flüssigkeit ab. Damit entscheidet sie über die Dichtigkeit und funktionelle Qualität des Verschlusses. Die Dichtigkeit gegenüber der Diffusion atmosphärischen Sauerstoffs wird als „oxygen transmission rate“ (OTR) in mg O₂/Jahr oder µg O₂/Tag angegeben.

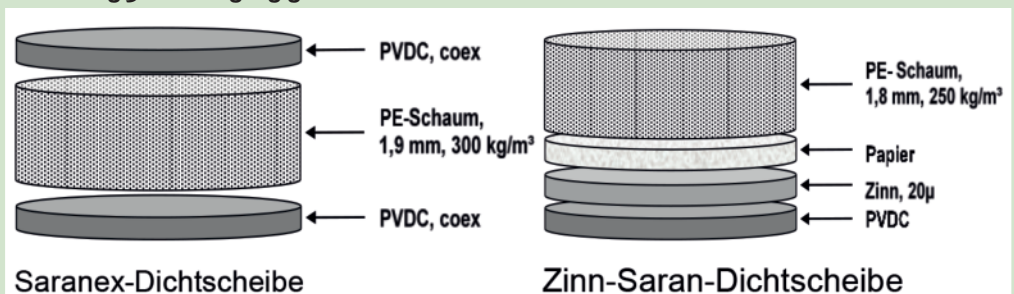
Ursprünglich bestand die Einlage nur aus PVC, welches in den Verschlussrohling eingespritzt wurde. Im Weinbereich finden sich PVC-Einlagen überwiegend in den kurzen MCA-Verschlüssen, welche bevorzugt im Segment einfacher Konsumweine eingesetzt werden. Ihre OTR liegt bei 1,5 mg O₂/Jahr (10).

Als internationaler Standard für Schraubverschlüsse gelten inzwischen die langen Varianten der Abmessung 30 x 60 mm wie „Stellvin“ oder „Longcap“, die eine BVS-Mündung erfordern. In ihnen werden mehrlagige Dichtscheiben eingesetzt. Von solchen Dichtscheiben sind im Wesentlichen zwei Varianten bekannt (Abbildung 3).

Die Saranex-Dichtscheibe besteht im Kern aus einer 2 mm starken Scheibe aus Polyethylen (PE)-Schaum, die beidseitig mit einer Schicht aus Polyvinylidenchlorid (PVDC) überzogen ist. Das PVDC, im Handel unter dem Markennamen Saran erhältlich, ist für die Barriere-wirkung gegenüber Sauerstoff verantwortlich. Der symmetrische Aufbau dieser Scheibe lässt sich vereinfacht als „Saran – PE – Saran“ beschreiben. Ihre OTR beträgt mit einer gewissen Abhängigkeit von der Temperatur 1,0 bis 1,5 mg O₂/Jahr (11).

Die Zinn-Saran-Dichtscheibe ist asymmetrisch konstruiert, wobei die PE-Schicht an einer Seite direkt am Deckel des Aluminiumzylinders anliegt. In der klassischen Version folgt eine auf Papier aufgebraute, dünne Zinnfolie mit 0,02 mm Stärke sowie eine PVDC-Schicht, welche den Kontakt zum Wein herstellt. Somit folgt ihr Aufbau dem Schema

Abbildung 3: Aufbau gängiger Dichtscheiben von Schraubverschlüssen





„PE – Papier – Zinn – PVDC“. Die Zinnfolie stellt eine zusätzliche Gassperre dar. Deshalb liegt die OTR dieser Dichtscheiben bei 0,0 mg O₂/Jahr (11), was einem absoluten Sauerstoffabschluss entspricht. Im Zuge der Diversifizierung des Angebots wurden inzwischen von diesem Standard abweichende Bauformen entwickelt, bei denen das Papier entfällt oder das Zinn durch Aluminium ersetzt wird.

Es kann festgehalten werden, dass sich die klassischen Schraubverschlüsse durch eine niedrige OTR von nur 0,0 bis 1,5 mg O₂/Jahr und somit durch eine hohe bis absolute Sauerstoff-Barrierewirkung auszeichnen. Die genauen Werte ergeben sich aus dem eingesetzten Dichtsystem. Um sie einordnen zu können, ist ein Vergleich mit den OTR-Daten anderer Verschlüsse sinnvoll:

Technische Korken weisen eine den klassischen Schraubverschlüssen annähernd vergleichbare OTR von unter 1,0 mg O₂/Jahr auf. Synthetische Stopfen hingegen sind durch ihre teilweise sehr hohe OTR von bis zu 20 mg O₂/Jahr bekannt geworden, wobei ständige Verbesserungen und Unterschiede in Abhängigkeit von Hersteller und Herstellungsverfahren zu beobachten sind. Auch bei Naturkorken schwankt die OTR in einem weiten Bereich zwischen 0,5 und 23 mg O₂/Jahr, wobei niedrige Werte eher die Ausnahme darstellen. Aufgrund der biologischen Variabilität des Korkgewebes ist der Wert eines Einzelkorks nicht vorhersehbar (12, 13, 14, 15).

REDUKTIVE ALTERUNG

Bei der Einführung des hermetisch dichtenden Schraubverschlusses mit Zinn-Saran-Dichtscheibe nahm die Weinindustrie Australiens und Neuseelands um die Jahrtausendwende eine Vorreiterrolle ein. Einer der Gründe war das Streben nach besserer Erhaltung des Fruchtaromas unter absolutem Sauerstoffabschluss. Mit kurzer zeitlicher Verzögerung machte sich die Weinbranche des deutschsprachigen Raums diese Logik zu eigen.

Die anfängliche Euphorie in Down Under wich bald einer nüchterneren Betrachtung, als eine stärkere Neigung zur Ausbildung von als reduktiv oder böckserig beschriebenen Aromen (verbrannter

Gummi, Feuerstein) unter absolutem Luftabschluss wie unter dem Zinn-Saran-Schrauber oder in verschweißten Glasampullen nachgewiesen wurde. Die Vergleichsvarianten unter Verschlüssen mit höherer OTR zeigten mehr oxidierte Aromen, geringere SO₂-Gehalte und eine höhere Farbintensität (16).

Die sensorischen Daten wurden mit analytischen Daten untermauert. Die mit Zinn-Saran luftdicht verschlossenen Varianten zeigten höhere Gehalte an Schwefelwasserstoff (H₂S), Methanthiol, SO₂ und Aromathiolen von Sauvignon blanc als die Varianten unter weniger gasdichten Verschlüssen (17, 18, 19, 20, 21, 22). Die erhöhten Gehalte von Methanthiol und H₂S, beide für Böckser relevant, wurden bereits 2005 mit einem Mangel an Sauerstoff in derart verschlossenen Flaschen in Verbindung gebracht (23). Naturkorken und Schraubverschlüsse mit Saranex-Dichtscheibe führten nur zu geringen Aromaschäden durch Reduktion oder Oxidation (24).

Die Bildung übel riechender Schwefel (S)-Verbindungen und daraus resultierender Böckseraromen wird als reduktive Alterung bezeichnet. Sie ist das Gegenteil der oxidativen Alterung, die auf höhere Aldehyde und damit zusammenhängende Aromenoten nach trockenen Kräutern, Honig, gekochtem Gemüse usw. zurückzuführen ist. Die Sauerstoffzufuhr entscheidet darüber, ob die Entwicklung des Weins mehr in die eine oder in die andere Richtung getrieben wird. Dies gilt sowohl vor als auch nach der Abfüllung.

Böckser, die erst einige Monate nach der Abfüllung entstehen, werden als Lager- oder Flaschenböckser bezeichnet. Auch in Deutschland haben sie nach der Einführung des Schraubverschlusses eine deutliche Zunahme erfahren. Im Gegensatz zu den Ländern der Neuen Welt, wo die Problematik angesprochen und aufgearbeitet wird, werden Flaschenböckser hierzulande jedoch meist totgeschwiegen, als Mineralik schöngeredet oder überhaupt nicht erkannt.

REDUKTIONSNOTEN AUF DER FLASCHE

Während der Gärung produziert die Hefe eine Vielzahl flüchtiger S-Verbindungen. Jede Gärung hinterlässt einen Fingerabdruck solcher Substanzen,

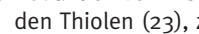
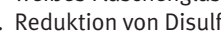
ohne dass diese zwangsläufig als Böckser wahrgenommen werden (25). Wenn ein Wein kurz nach der Gärung einen Böckser aufweist, sind die wichtigsten der daran beteiligten S-Verbindungen H₂S, Thiole (Methanthiol und Ethanthiol, oft auch Mercaptane genannt) sowie Dimethylsulfid in Konzentrationen oberhalb des Geruchsschwellenwertes. In einer solchen Situation wird ihre Konzentration üblicherweise durch Zufuhr von Kupferionen (Kupfersulfat oder Kupfercitrat), Silberchlorid oder Sauerstoff gemindert, bis der Böckser nicht mehr wahrgenommen wird.

Die Hefe produziert jedoch auch flüchtige S-Verbindungen mit einer geringen Geruchsintensität, die um ein Vielfaches unter der von H₂S und Thiolen liegt. Diese können nicht durch eine Belüftung oder Behandlung mit Kupfersalzen entfernt werden. Sie umfassen:

- Disulfide (Dimethyldisulfid und Diethyldisulfid),
- Thioacetate (Methylthioacetat und Ethylthioacetat),
- Methionin, eine S-haltige Aminosäure.

Diese S-Verbindungen sind in jedem Wein in variablen Konzentrationen enthalten, werden aber aufgrund ihrer geringen Geruchsintensität in den meisten Fällen nicht wahrgenommen. Sie fungieren jedoch als Vorläuferstufen in der Bildung geruchsintensiverer S-Verbindungen, die für die Entstehung von Flaschenböcksern verantwortlich sind. Dafür sind drei chemische Reaktionswege verantwortlich:

1. Hydrolyse von Thioacetaten zu Methanthiol und Ethanthiol (26) mit einer ungefähren 50-fach höheren Geruchsintensität als die der Elternmoleküle. Diese Reaktion ist unabhängig von der An- oder Abwesenheit von Sauerstoff und wird durch Temperatur und pH-Wert kontrolliert.
2. Abbau von Methionin mit der Bildung von Methanthiol und Dimethyldisulfid als Folge. Diese Reaktion wird durch einen photochemisch induzierten Abfall des Redoxpotenzials ausgelöst (27). Sie erfordert die Lagerung des Weins unter Lichteinfluss und wird durch weißes Flaschenglas begünstigt.
3. Reduktion von Disulfiden zu den entsprechenden Thiolen (23), zum Beispiel die Reduktion von Dimethyldisulfid zu Methanthiol entsprechend dem Reaktionsschema



In dunkel gelagerten Weinen sind nur die Reaktionswege 1 und 3 relevant. Sie sind in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

THIOL-DISULFID-GLEICHGEWICHT

Die Reduktion der Disulfide zu Thiolen ist umkehrbar. Diese Reversibilität macht man sich zunutze, wenn man einen Böckser durch Belüftung zu beseitigen versucht. Wenn dies gelingt, werden Thiole zu den entsprechenden Disulfiden mit einer ungefähr 10-fach geringeren Geruchsintensität oxidiert. Werden die Disulfide im reduktiven Milieu wieder zu den ursprünglichen Thiolen reduziert, kehrt der Böckser zurück. Abbildung 5 verdeutlicht am Beispiel von Methanthiol, wie das Gleichgewicht zwischen Thiolen und Disulfiden beeinflusst wird.

Abbildung 4: Entstehung von Thiolen (Mercaptanen) aus Vorläuferstufen

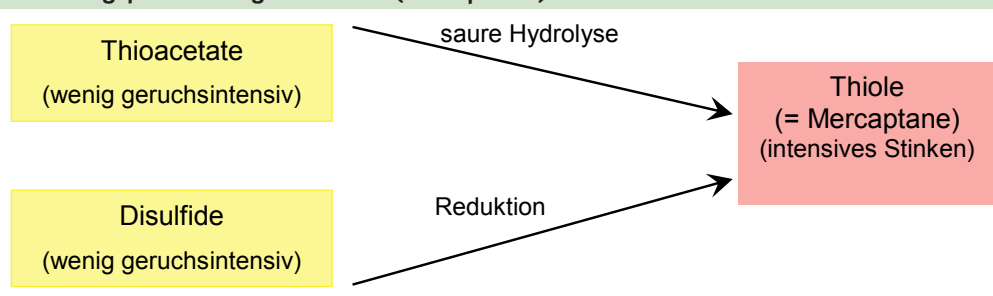
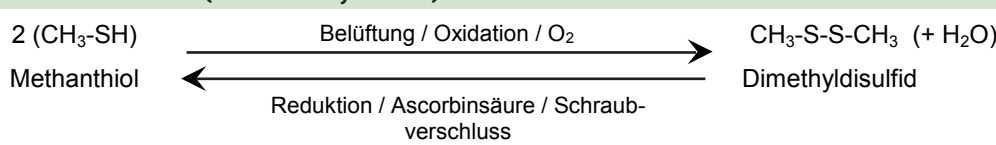


Abbildung 5: Beeinflussung des Gleichgewichts zwischen Thiolen (hier: Methanthiol) und Disulfiden (hier: Dimethyldisulfid)





Die Reduktion von Disulfiden zu Thiolen setzt ein, wenn unter Abschluss von Sauerstoff ein stark reduktives Milieu entsteht. Solche Bedingungen stellen sich ein, wenn der Wein randvoll im Edelstahltank lagert oder mit einem Verschluss sehr niedriger OTR abgefüllt wird. Gehalte an freier SO_2 von über 40 mg/l sowie Ascorbinsäure verstärken diesen Effekt. In der Folge gehen die wenig geruchsintensiven Disulfide allmählich in stärker stinkende Thiole über. Überschreiten diese eine kritische Konzentration, wird ein Bockser wahrgenommen.

FLASCHENVERSCHLUSS ENTSCHEIDET ÜBER OXIDATIVE ODER REDUKTIVE ALTERUNG

Die Freisetzung von Thiolen aus ihren weniger geruchsintensiven Vorläuferstufen läuft grundsätzlich in allen Weinen ab, völlig unabhängig vom Verschlusssystem. Unterschiede in der Sauerstoffzufuhr durch den Flaschenverschluss führen jedoch zu unterschiedlichen sensorischen Ergebnissen: Unter Sauerstoffabschluss wie unter Zinnsaran können die Thiole zu Gehalten oberhalb ihres Geruchsschwellenwertes akkumulieren, sofern der Wein die Vorläuferstufen in ausreichender Konzentration enthält. Dies ist der eigentliche Grund, warum als sauber abgefüllte Weine einen Bockser auf der Flasche entwickeln können. Dazu ist oft nur ein Zeitraum von drei bis sechs Monaten erforderlich, innerhalb dem der beim Abfüllen in der Flasche eingeschlossene Sauerstoff sich bindet und verschwindet.

Das sensorische Ergebnis ist ein anderes, wenn der Flaschenverschluss eine gewisse Zufuhr von Sauerstoff ermöglicht: In diesem Fall werden die Thiole wieder oxidiert in dem Maße, wie sie generiert werden. Ihre Akkumulation wird so unterbunden (23). Der Seiteneffekt eines solchen Vorgehens ist die Umlenkung der Alterung in eine mehr oxidative Richtung hin zur Altersfirne. Abbildung 6 illustriert, wie man durch die Wahl der OTR des Verschlusses die Entwicklung des Weins mehr in die eine oder andere Richtung lenken kann. Diese Wahl entscheidet über mehr oxidative Alterung durch höhere Aldehyde oder mehr reduktive Alterung durch Thiole.

Im 2. Teil dieses Artikels werden Möglichkeiten aufgezeigt, die gute Sauerstoff-Barrierewirkung von Schraubverschlüssen zum Erhalt der frischen Fruchtaromen zu nutzen und gleichzeitig die Problematik der Bildung von Reduktionsaromen auf der Flasche zu entschärfen.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Aromaprofil oxidativer Alterung wird durch höhere Aldehyde hervorgerufen, die sich unter Einwirkung von Sauerstoff bilden. Für die reduktive Alterung sind Thiole (Mercaptane) verantwortlich, die aus weniger geruchsintensiven S-haltigen Vorläuferstufen entstehen. Unter Sauerstoffabschluss können sie zu als Lagerböckser wahrnehmbaren Konzentrationen akkumulieren. Die Sauerstoff-Barrierewirkung des Flaschenverschlusses entscheidet darüber, ob die Alterung mehr oxidativer oder mehr reduktiver Natur ist.

Literatur

- Escudero A., Hernández-Orte P., Cacho J., Ferreira V., 2000. Clues about the role of methional as character impact compound on some oxidized wines. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4268-4272.
- Escudero A., Asensio E., Cacho J., Ferreira V., 2002. Sensory and chemical changes of young white wines stored under oxygen. An assessment of the role played by aldehydes and some other important odorants. *Food Chem.* 77: 325-331.
- Ferreira V., Escudero A., Fernández P., Cacho J. F., 1997. Changes in the profile of volatile compounds in wines stored under oxygen and their relationship with the browning process. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A* 205: 392-396.
- Ferreira da Silva A. C., Hogg T., de Pinho P. G., 2003. Identification of key odorants related to the typical aroma of oxidation-spoiled white wines. *J. Agric. Food Chem.* 51: 1377-1381.
- Marchand S., de Revel G., Bertrand A., 2000. Approaches to wine aroma: release of aroma compounds from reactions between cysteine and carbonyl compounds in wine. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4890-4895.
- Pripis-Nicolau L., de Revel G., Bertrand A., Maujean A., 2000. Formation of flavor components by the reaction of amino acid and carbonyl compounds in mild conditions. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3761-3766.
- Stöckl A., 2013. Einfluss von Lagerzeit und Lagerdauer: Trinkreife abschätzen? *Der Winzer* 5: 33-35.
- Morozova K., Schmidt O., 2011. Bedeutung von Sauerstoff in der Weinbereitung. *Das Deutsche Weinmagazin* 04: 18-24.

- Godden P. et al., 2005. Towards offering wine to the consumer in optimal conditions – the wine, the closures and other packaging variables. *Wine Industry Journal* 20: 20-30.
- Lopes P., Saucier C., Teissedre P.-L., Glories Y., 2006. Impact of storage position on oxygen ingress through different closures into wine bottles. *J. Agric. Food Chem.* 54: 6741-6746.
- Karbowiak T., Gougeon R. D., Alinc J.-B., Brachais L., Debeaufort F., Voilley A., Chassagne D., 2010. Wine oxidation and the role of cork. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50 (1): 20-52.
- Skouroumounis G. K., Kwiatkowski M. J., Francis I. L., Oakey H., Capone D. L., Duncan B., Sefton M. A., Waters E. J., 2005. The impact of closure type and storage conditions on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine during five years' storage. *Austral. J. Grape Wine Res.* 11 (3): 369-377.
- Dimkou E., Ugliano M., Diéval J.-B., Vidal S., Aagaard O., Rauhut D., Jung R., 2011. Impact of headspace oxygen and closure on sulfur dioxide, color, and hydrogen sulfide levels in a Riesling wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 62: 261-269.
- Ugliano M., Kwiatkowski M. J., Travis B., Francis I. L., Waters E. J., Herderich M. J., Pretorius I. S., 2009. Post-bottling management of oxygen to reduce off-flavour formation and optimise wine style. *The Wine Industry Journal* 24: 24-28.
- Ugliano M., Kwiatkowski M., Vidal S., Capone D., Siebert T., Dieval J.-B., Aagaard O., Waters E. J., 2011. Evolution of 3-mercaptohexanol, hydrogen sulfide, and methyl mercaptan during bottle storage of Sauvignon blanc wines. Effect of glutathione, copper, oxygen exposure, and closure-derived oxygen. *J. Agric. Food Chem.* 59: 2564-2572.
- Ugliano M., Dieval J.-B., Siebert T.E., Kwiatkowski M., Aagaard O., Vidal S., Waters E. J., 2012. Oxygen consumption and development of volatile sulfur compounds during bottle aging of two Shiraz wines. Influence of pre- and postbottling controlled oxygen exposure. *J. Agric. Food Chem.* 60 (35): 8561-8570.
- Ugliano M., 2013. Oxygen contribution to wine aroma evolution during bottle aging. *J. Agric. Food Chem.* 61: 6125-6136.
- Scrimgeour N., Wilkes E., 2014. Closure trials show volatile sulfur compounds formation can still cause a stink. *Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 602: 62-67.
- Limmer A., 2005. The chemistry and possible ways of mitigation of post-bottling sulfides. *New Zealand Wine* 01: 34-37.
- Lopes P., Silva M. A., Pons A., Tominaga T., Lavigne V., Saucier C., Darriet P., Teissedre P.-L., Dubourdieu D., 2009. Impact of oxygen dissolved at bottling and transmitted through closures on the composition and sensory properties of a Sauvignon blanc wine during bottle storage. *J. Agric. Food Chem.* 57: 10261-10270.
- Rauhut D., Kürbel H., Dittrich H., Grossmann M., 1996. Properties and differences of commercial yeast strains with respect to their formation of sulfur compounds. *Vitic. Enol. Sci.* 51: 187-192.
- Rauhut D., Kürbel H., Dittrich H.H., Prior B., Grossmann M., 1994. Einfluss von Hefestämmen und deren Ernährung auf die Bockserbildung. In: 100 Jahre Hefe-reinzucht Geisenheim, Forschungsanstalt Geisenheim: 38-55.
- Maujean A., Hays M., Feuillat M., 1978. Contribution à l'étude des «goûts de lumière» dans le vin de Champagne. II. Influence de la lumière sur le potentiel d'oxydoréduction. Correlation avec la teneur en thiols du vin. *Conn. Vigne Vin* 12 (4): 277-290.

Abbildung 6: Einfluss der Sauerstoffdurchlässigkeit (OTR) des Flaschenverschlusses auf die Entwicklung des Weins nach der Abfüllung (nach Ugliano et al. 2009)

