



Maßnahmen gegen die reduktive Alterung

Oxidative oder reduktive Alterung II

Von dem Moment, an dem ein Wein mit verschiedenen Flaschenverschlüssen abgefüllt wird, beginnt die Erzeugung unterschiedlicher Weine aus dem gleichen Ausgangswein. Dabei treten verschiedene Ausdrucksformen von Alterung auf. Verschlüsse mit hoher Sauerstoff-Barrierewirkung unterbinden die oxidative Alterung, fördern jedoch die reduktive Alterung in Form von Lagerböcksern. Volker Schneider, Bingen, stellt Maßnahmen gegen die reduktive Alterung vor, wobei ein innovativer Schraubverschluss eine besondere Rolle spielt. Ziel ist es, oxidative und reduktive Alterung gleichzeitig zu unterbinden.

Im ersten Teil dieses Beitrags wurde der Unterschied zwischen oxidativer und reduktiver Alterung von Weißweinen erläutert. Die oxidative Alterung führt zu einem als Altersfirme wahrgenommenen Aromabild, welches an trockene Kräuter, Nüsse, gekochtes Gemüse und Honig erinnert. Verantwortlich dafür ist die Bildung höherer Aldehyde durch Oxidation höherer Alkohole. Die reduktive Alterung ergibt ein durch böckserige Komponenten überlagertes Aromaprofil, das Assoziationen mit verbranntem Gummi, altem Fleisch, Käse und gekochtem Rosenkohl hervorruft. Sie ist überwiegend auf eine Bildung stinkender Thiole (Mercaptane) aus weniger geruchsintensiven Vorläuferstufen zurückzuführen. Beide Formen der Alterung führen zu einer Minderung des fruchtigen Sortenaromas und werden durch ein zu warmes Flaschenlager erheblich beschleunigt.

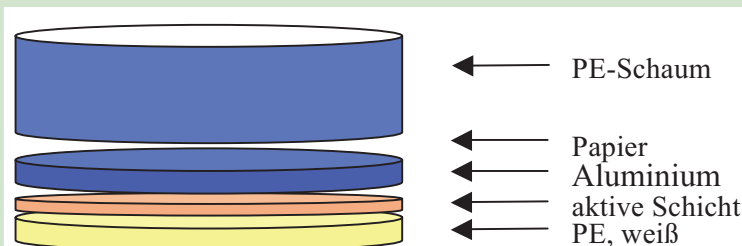


Wie die Alterung von Weißwein verläuft, hängt auch vom Flaschenverschluss ab.

Foto: imago/Martin Bäuml

Ob die Alterung des Weins langfristig mehr in die oxidative oder reduktive Richtung verläuft, hängt von der Dichtigkeit des Flaschenverschlusses gegenüber atmosphärischem Sauerstoff ab. Diese wird als Sauerstoff-Barrierewirkung bezeichnet und als OTR (oxygen transmission rate) in mg O₂/Jahr oder µg O₂/Tag quantifiziert. Flaschenverschlüsse mit guter Sauerstoff-Barrierewirkung hemmen die oxidative Alterung, begünstigen aber die reduktive Alterung. Dazu zählen insbesondere die weit verbreiteten Schraubverschlüsse mit Zinn-Saran-Dichtscheibe, welche mit einer OTR von 0 mg

Abbildung 1: Aufbau einer böckserabfangenden Dichtscheibe für Schraubverschlüsse



0,2 mg/Jahr jegliche durch den Verschluss bedingte Sauerstoffzufuhr unterbinden. Die damit einhergehende verstärkte Neigung zur Bildung von Thiolen, H₂S und böckserigen Reduktionsaromen nach der Abfüllung, auch als Flaschenböckser bezeichnet, wurde zuerst in Australien und Neuseeland erkannt und erforscht (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). Im deutschsprachigen Raum werden Flaschenböckser traditionell ignoriert oder als Mineralität schöngeredet. Trotzdem sind sie eine Realität.

NATÜRLICHE KUPFERKARENZ MODERNER WEINE

Eine weitere Ursache für das verstärkte Auftreten von Flaschenböcksern ist der überwiegende Ausbau der Weine in Edelstahl. Er versagt den Weinen die Aufnahme von Spuren dienenden Kupfers, wie es noch im Zeitalter der alten Messingarmaturen in den Weinen vorzufinden war. Damals enthielten die meisten Weine 0,2 bis 0,5 mg/l Kupfer (als Cu⁺⁺) und manchmal auch mehr mit der Folge von Kupfertrübungen. Weine aus mit Edelstahl ausgestatteten Kellern enthalten nur noch 0,0 bis 0,1 mg/l Cu⁺⁺.

Die Abfüller haben ein verständliches Interesse daran, einerseits die oxidative Alterung durch Einsatz hermetisch dichtender Schraubverschlüsse zu unterbinden und die frischen Jungweinaromen bestmöglich zu erhalten, gleichzeitig aber auch die Bildung störender Reduktionsnoten auf der Flasche zu verhindern. Eine Möglichkeit dazu besteht in der Behebung der natürlichen Kupferkarenz moderner Weine durch Dosage von zum Beispiel 0,25 mg/l Cu⁺⁺ (0,1 g/hl Kupfersulfat) vor dem Abfüllen. Die derart eingebrachten Kupferionen sind in der

Lage, nach der Abfüllung entstehende Thiole zumindest vorübergehend zu komplexieren und geruchlich zu inaktivieren. Deshalb hat dieses präventive Vorgehen weite Verbreitung gefunden (9). Gleichzeitig stößt es aber auch auf erhebliche Vorbehalte.

EMOTIONALE GRÜNDE GEGEN PRÄVENTIVE KUPFERDOSAGE

In weiten Bereichen der Weinbranche werden oenologische Entscheidungen auf emotionaler Basis getroffen. Dies gilt besonders für den präventiven Einsatz von Kupfersalzen (10). Um der Diskussion darüber ihre Emotionalität zu nehmen, sollen die wesentlichsten Gegenargumente auf ihre Stichhaltigkeit untersucht werden.

Toxikologie: Zweifellos wohnen dem Kupfer als Schwermetall toxikologische Eigenschaften inne. Es ist aber auch ein lebenswichtiges Spurenelement für den menschlichen Organismus und funktioneller Bestandteil zahlreicher Enzyme. Der

menschliche Körper enthält ungefähr 100 mg Cu⁺⁺. Der Kupfergehalt im Blut beträgt ca. 1 mg/l. Für Erwachsene wird ein täglicher Bedarf von 0,03 mg Cu⁺⁺/kg Körpergewicht angegeben, entsprechend 2,4 mg für eine Person von 80 kg. Eine ausreichende Zufuhrmenge von 2 bis 3 mg täglich ist durch eine ausgewogene menschliche Ernährung sichergestellt. Tabelle 1 gibt die mittleren Kupfergehalte gängiger Lebens- und Genussmittel wieder. Diese liegen deutlich höher als in einem

Wein, dessen Kupfergehalt von 0,0 auf 0,25 mg/l Cu⁺⁺ angereichert wurde. Damit ist das toxikologische Argument entkräftet.

Löslichkeit: Kupfer ist lösungsstabil bis zu einer Konzentration von 0,5 mg/l Cu⁺⁺ in Weinen ohne Ascorbinsäure und 0,3 mg/l Cu⁺⁺ in Weinen mit Ascorbinsäure. Die zur Vermeidung von Flaschenböcksern erforderlichen Mengen liegen unterhalb dieser kritischen Konzentrationen.

Tabelle 1: Mittlere Kupfergehalte in Lebensmitteln in mg Cu⁺⁺/kg (nach W. Frede, Handbuch für Lebensmittelchemiker, 2010)

Weichtiere	2,1
Fleisch	1,1
Leber	49,9
Niere	5,1
Geflügel	1,2
Milch	0,3
Süßwasserfische	0,5
Salzwasserfische	0,4
Reis	2,1
Kartoffeln	0,9
Hülsenfrüchte	8,3
Blattgemüse	0,5
Wurzelgemüse	0,7
Wein	0,2



Eigengeschmack: Kupfer schmeckt metallisch bitter ab einer Konzentration von 1 mg/l Cu⁺⁺. Die zur Vermeidung von Flaschenböcksern erforderliche Kupfermenge liegt um ein Vielfaches darunter.

Oxidation: Dem Kupfer haftet der Ruf an, die Oxidation katalytisch zu beschleunigen. In der Tat führt es zu einer schnelleren chemischen Umsetzung von im Wein gelösten Sauerstoff. Dabei ist die Menge des Sauerstoffs der begrenzende Faktor. Sie bestimmt das Ausmaß der Oxidation. Wenn kein Sauerstoff durch den Flaschenverschluss zu tritt, kann auch keiner umgesetzt werden.

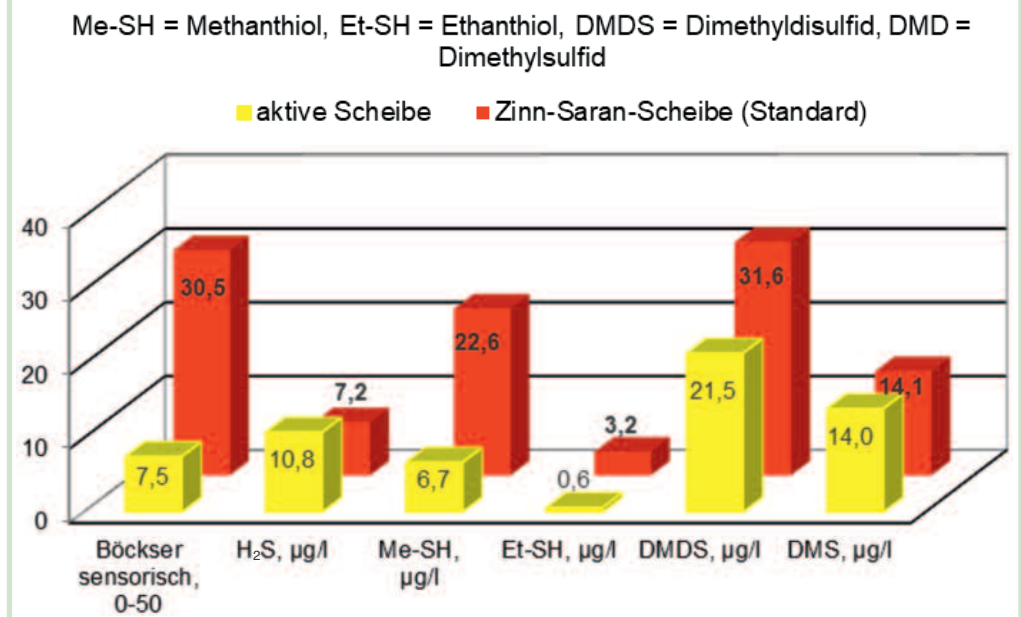
Aromaschäden: Kupfer gilt als chemische Keule, durch die nicht wenige Winzer Einbußen an Aroma befürchten. Diese Furcht hat einen realen Hintergrund, entbehrt in ihrer pauschalisierten Form aber der Grundlage. Nur Weine mit sensorisch signifikanten Konzentrationen an Aromen auf Thiol-Basis sind davon betroffen. Solche Thiol-Aromen wie das 3-Mercaptohexanol reagieren mit Kupfer ähnlich wie die für Böckser verantwortlichen Thiole und H₂S. In sensorisch relevanten Konzentration sind sie besonders in Weinen von Sauvignon blanc und, mit einigem Abstand, einigen anderen Rebsorten enthalten. Auch einige Klone von Riesling und Grünem Veltliner zählen dazu. Erhöhung des Kupfergehaltes von 0,1 auf 0,4 mg/l Cu⁺⁺ in Sauvignon blanc führte zu starken Verlusten von 3-Mercaptohexanol und der damit verbundenen Aromakomponente von Passionsfrüchten (5). Die Aromatik der allermeisten Weine anderer, gängiger Rebsorten verhalten sich gegenüber lösungsstabilen Kupfergehalten jedoch erstaunlich neutral.

Ethik: Wenn Wein als ein Naturprodukt im eigentlichen Sinn angesehen wird, stößt die Zugabe von Schwermetallionen wie Kupfer an ethische Grenzen.

RATIONALE GRÜNDE GEGEN PRÄVENTIVE KUPFERDOSAGE

Ein großer Teil der Thiole und des H₂S liegt als lösliche Komplexe mit anderen, teilweise unbekanntem Weininhaltsstoffen vor. In Form dieser Komplexe sind sie geruchlich nicht aktiv. Auch die Wirkung von Kupferionen beruht darauf, dass sie mit Thiolen und H₂S-Komplexe bilden, die zum größten Teil in Lösung verbleiben. Diese Komplexe sind nicht unter allen Umständen stabil, sondern können während der Lagerung unter Sauerstoffabschluss wieder erhebliche Mengen an Thiolen und H₂S freisetzen (5, 11). Dieser Effekt tritt besonders bei hohen Kupferkonzentrationen (> 0,5 mg/l Cu⁺⁺) und einem hohen Kupfer-Eisen-Verhältnis auf (12). Die zweifellos hohe Effektivität einer Kupferdosage gegen Flaschenböckser während des ersten Jahres nach der Abfüllung kann sich so ins Gegenteil

Abbildung 2: Entwicklung der Gehalte flüchtiger S-Verbindungen und von sensorisch wahrnehmbarem Böckser eines böcksernden Weins (Chardonnay, Pfalz) nach 8 Monaten Flaschenlager (stehend, dunkel, 20 °C) unter Schraubverschlüssen mit verschiedenen Dichtscheiben



umkehren. Ihre Langzeitwirkung ist in Frage gestellt.

Konzept einer funktionalisierten Dichtscheibe gegen Flaschenböckser

Emotionale, ethische und rationale Gründe lassen viele Abfüller auf eine präventive Kupferdosage verzichten. Deshalb fehlte es nicht an Versuchen, Kupfer in immobilisierter Form dem Wein zur Verfügung zu stellen derart, dass es sich nicht darin anreichert oder mit ihm in Kontakt kommt. Eine technische Lösung besteht darin, das Kupfer auf einem Trägermaterial zu immobilisieren und in eine permeable Polymermembran einzuschließen. Die für Böckser verantwortlichen Thiole und H₂S diffundieren aus dem Wein durch die Membran zum Kupferpräparat und werden irreversibel an das immobilisierte Kupfer gebunden.

Dieses Konzept wurde auf eine Dichtscheibe für Schraubverschlüsse übertragen. Ihr Aufbau lehnt sich an den der traditionellen Zinn-Saran-Dichtscheibe (Teil 1) an, wobei die Zinnfolie durch eine Aluminiumfolie ersetzt wurde. Das immobilisierte Kupferpräparat befindet sich hinter der letzten, weinseitig aufgetragenen Schicht aus PE. Die Permeabilität dieser Schicht erlaubt die Migration der Böckser verursachenden, flüchtigen S-Verbindungen aus dem Wein zum Kupfer, jedoch keine Migration des Kupfers in den Wein. Gleichzeitig ist die absolute Sauerstoff-Barrierewirkung der klassischen Zinn-Saran-Dichtscheibe weiterhin gewährleistet. Ziel ist der Erhalt der Fruchtaromen durch völligen Sauerstoffabschluss unter gleichzeitiger Minimierung flüchtiger S-Verbindungen. Abbildung 1 zeigt den Aufbau dieser funktionalisierten Dichtscheibe.

WIRKUNG AUF THIOLE

In einem ersten Versuch wurde die Wirkung dieser Dichtscheibe auf einen Wein (freie SO₂ = 40 mg/l, Cu⁺⁺ < 0,1 mg/l) überprüft, der mit deutlich erkennbarem Böckser abgefüllt, nach Inertisierung des Flaschenkopfraums verschraubt und stehend gelagert wurde. Die klassische Zinn-Saran-Dichtscheibe diente als Vergleich. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass der sensorisch wahrnehmbare Böckser nach acht Monaten Lagerdauer in der Variante mit der funktionalisierten Dichtscheibe verschwunden war. Die Sensorik steht im Einklang mit dem Verhalten der für Flaschenböckser relevanten Thiole (Methanthiol und Ethanthiol), deren Gehalte unter der aktiven Scheibe auf einen Bruchteil reduziert wurden. Die gleichzeitige Differenzierung des Gehaltes von Dimethyldisulfid zeigt, dass sich die Minderung dieser aktiven Dichtscheibe während des genannten Zeitraums indirekt auch auf Disulfide erstreckt.

WIRKUNG AUF BÖCKSER-VORLÄUFERSTUFEN

Thiole entstehend während der Lagerung aus zwei Arten von weniger geruchsaktiven Vorläuferstufen – Disulfide und Thioacetate (Teil 1). Damit das innovative Konzept tatsächlich funktioniert, muss eine derart funktionalisierte Dichtscheibe auch in der Lage sein, Thiole in dem Maße abzufangen, wie sie auf der Flasche aus ihren Vorläuferstufen entstehen. Deshalb wurden in weiteren Versuchen Weine mit diesen Vorläuferstufen angereichert, unter inerten Bedingungen abgefüllt, mittels mit entsprechenden Dichtscheiben ausgestatteten Schraubverschlüssen verschlossen und gelagert. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für Thioacetate. Nach acht Monaten Flaschenlager betrug ihre Gehalte unter der aktiven Dichtscheibe nur noch 47% von denen unter der Zinn-Saran-Scheibe. Thioacetate können jedoch nicht direkt mit Kupfer reagieren. Ihre Abreicherung erklärt sich aus einer Verschiebung des dynamischen Gleichgewichtes zwischen ihnen und den entsprechenden Thiolen durch Hydrolyse während der Lagerung (Teil 1). Die dabei entstehenden Thiole werden durch die Aktive Scheibe adsorbiert. Diese Adsorption der Thiole beschleunigt die Hydrolyse der Thioacetate und führt schließlich zu ihrer effektiven Minderung.

Tabelle 2: Wirkung der aktiven Dichtscheibe auf die Gehalte (µg/l) einiger Aromathiole in Sauvignon blanc nach 12 Monaten Flaschenlager

	aktive Dichtscheibe	Zinn-Saran-Scheibe	Veränderung gegenüber Zinn-Saran
4-Mercapt-4-Methylpentan-2-on	1,53	1,52	+ 0,7%
3-Mercaptohexan-1-ol	1,018	1,042	- 2,3%
3-Mercaptohexylacetat	3,37	5,4	- 17,9%
Benzylmercaptan	2,27	3,18	- 28,6%

Abbildung 3: Entwicklung der Gehalte flüchtiger S-Verbindungen und von sensorisch wahrnehmbarem Böckser nach 8 Monaten Flaschenlager (stehend, dunkel, 20 °C) unter Schraubverschlüssen mit verschiedenen Dichtscheiben. Wein vor der Abfüllung dotiert mit 50 µg/l Methylthioacetat und 50 µg/l Ethylthioacetat.

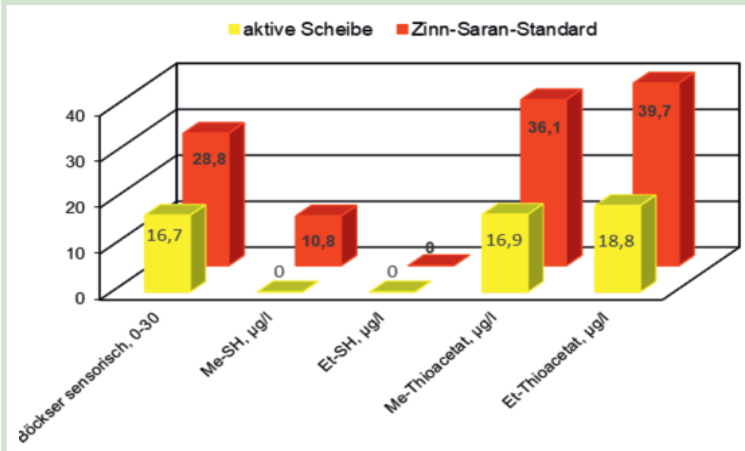
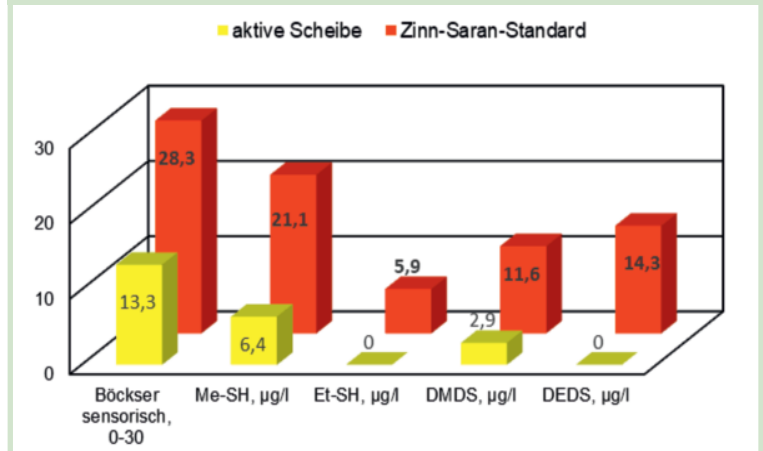


Abbildung 4: Entwicklung der Gehalte flüchtiger S-Verbindungen und von sensorisch wahrnehmbarem Böckser nach 8 Monaten Flaschenlager (stehend, dunkel, 20 °C) unter Schraubverschlüssen mit verschiedenen Dichtscheiben. Wein vor der Abfüllung dotiert mit 33 µg/l Dimethyldisulfid (DMDS) und 33 µg/l Diethyldisulfid (DEDS).



Unter der Zinn-Saran-Scheibe hingegen kommt es zu einer Akkumulation der aus der Hydrolyse entstandenen Thiole (Me-SH) und höheren Gehalten an Thioacetaten, woraus eine doppelte Intensität des sensorisch wahrnehmbaren Böckers resultiert.

Ein analoger Versuch wurde nach Anreicherung eines Weins mit Disulfiden durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse nach acht Monaten Lagerdauer unter Sauerstoffabschluss. Im Vergleich mit der Zinn-Saran-Dichtscheibe führte die aktive Dichtscheibe zu einer Minderung von Dimethyldisulfid um 75% und von Diethyldisulfid um 100%. Gleichzeitig trat unter der Zinn-Saran-Scheibe eine Akkumulation von Methanthiol auf, die unter der aktiven Dichtscheibe ausblieb mit der Folge, dass diese die Intensität des sensorisch wahrnehmbaren Böckers annähernd halbierte. Es ist nicht ersichtlich, ob Disulfide durch die aktive Scheibe direkt fixiert werden. Da sie nicht Cu-reaktiv sind, ist anzunehmen, dass sie zu Thiolen reduziert und als solche an die aktive Scheibe gebunden wurden.

WIRKUNG AUF AROMATHIOLE

Von besonderem Interesse war ein Einfluss der funktionalisierten Scheibe auf Aromathiole, wie sie besonders in Sauvignon blanc vorliegen. Tabelle 2 zeigt die Resultate nach 12 Monaten Flaschenlager im Vergleich mit der Zinn-Saran-Dichtscheibe. Die prozentualen Verluste der Aromathiole bewegten sich knapp an der sensorischen Signifikanz. Sie waren ungleich geringer als die der für Böckser verantwortlichen S-Verbindungen. Offensichtlich wirkt die PE-Schicht, welche die aktive Schicht vom Wein trennt, als eine Art Molekülfilter. Er lässt die niedermolekularen Böckserthiole (Methan- und Ethansulfid) leichter passieren als die höhermolekularen Aromathiole.

SAUERSTOFF, SO₂ UND KUPFER NACH DER ABFÜLLUNG

Die OTR der funktionalisierten Dichtscheibe zeigte im Vergleich mit der traditionellen Zinn-Saran-Dichtscheibe eine identische und vernachlässigbar geringe OTR von annähernd 0 mg O₂/Jahr. Dementsprechend sind auch die SO₂-Verluste während der Lagerung vergleichbar niedrig.

Über einen Zeitraum von 12 Monaten war keine Zunahme des Kupfergehaltes in den mit der funktionalisierten Dichtscheibe verschlossenen Flaschen

zu beobachten. Die erhaltenen Daten für OTR und Kupfer belegen, dass die sensorisch als Böckser wahrgenommenen, flüchtigen S-Verbindungen ausschließlich durch irreversible Bindung an das in der neuen Dichtscheibe immobilisierte Kupfer gemindert werden. Weder Sauerstoff noch weineigenes Kupfer sind an diesem Effekt beteiligt (13). Die Summe der erhaltenen Resultate deutet darauf hin, dass trotz Lagerbedingungen unter einem hermetisch dichtenden Schraubverschluss die reduktive Alterung durch Bildung geruchlich störender Thiole verhindert oder deutlich gemindert werden kann, ohne den Wein mit Kupferionen anzureichern. Gleichzeitig vermag der Sauerstoffabschluss die oxidative Alterung zu unterbinden. Oxidative Alterung und reduktive Alterung als entgegengesetzte Problemfelder verlieren unter diesen Bedingungen ihre Bedeutung.

Eine funktionalisierte Dichtscheibe entsprechender Art wurde unter dem Handelsnamen „ALKOVIN™ active“ entwickelt. Erste Praxisversuche damit laufen in Betrieben Australiens und Neuseelands und werden durch das AWRI (Australian Wine Research Institute) begleitet. Resultate aus den ersten eineinhalb Jahren Flaschenlager liegen vor. Sie zeigen eine signifikante Minderung von als böckserig oder vegetativ beschriebenen Aromatributen. Sie versprechen substanzielle Fortschritte in der Lösung des Problems der Lagerböckser von mit Schraubverschlüssen abgefüllten Weinen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die reduktive Alterung unter hermetisch dichten Flaschenverschlüssen ist auf die Bildung von Thiolen zurückzuführen, deren Geruch an Böckser erinnert. Dieser Entwicklung kann zumindest im ersten Jahr durch eine Einstellung des Kupfergehaltes des Weins auf 0,3 bis maximal 0,5 mg/l Cu⁺⁺ vorgebeugt werden. Gegen eine solche Dotierung mit Kupfer sprechen die unsicheren Effekte bei längerer Lagerung sowie ethische Bedenken. Als Alternative wurde eine funktionalisierte Dichtscheibe für Schraubverschlüsse entwickelt, welche die für Lagerböckser verantwortlichen Thiole abfängt und gleichzeitig durch ihre perfekte Sauerstoff-Barrierewirkung die Fruchtaromen vor oxidativer Alterung schützt. Die Wirkungsweise dieser Dichtscheibe wird beschrieben.

Herrn Dr. Martin Schmitt sei für Idee und Konzeptualisierung der neuen Dichtscheibe gedankt, der Firma Meyer-Seals GmbH für ihre technische Umsetzung.

Literatur

- Skouromounis 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.
- Limmer A., 2005. The chemistry and possible ways of mitigation of post-bottling sulfides. *New Zealand Wine* 01: 34-37.
- Limmer A., 2005. Suggestions for dealing with post-bottling sulfides. *Austr. & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 12: 67-70.
- 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-mercaptobenzothiazole, 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. *Austr. & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 60: 62-67.
- Cowey G., 2008. Excessive copper fining of wines sealed under screwcaps – identifying and treating reductive winemaking characters. *Austr. & New Zealand Grapegrower & Winemaker* 53: 49-56.
- Schneider V., 2013. Zwischen Mythen und Fakten: Kupfer gegen Böckser. *Die Winzer-Zeitschrift* 07: 36-38.
- Franco-Luesma E., Ferreira V., 2016. Reductive off-odors in wines: Formation and release of H₂S and methanethiol during the accelerated anoxic storage of wines. *Food Chemistry* 199: 42-50.
- Viviers M.Z., Smith M.E., Wilkes E., Smith P., 2013. Effects of five metals on the evolution of hydrogen sulfide, methanethiol and dimethyl sulfide during anaerobic storage of Chardonnay and Shiraz wines. *J. Agric. Food Chem.* 61: 12385-12396.
- Schneider V., Schmitt M., Kröger R., 2017. Wine screw cap closures: The next generation. *Grapegrower & Winemaker* 63: 50-52.