



# Die reduktive Wirkung der Hefe nach der Gärung

## I. Einfluss von reduzierenden Aminosäuren und Glutathion

Nach Abschluss der alkoholischen Gärung verliert die Hefe rasch ihre Fähigkeit zur Gärung, zeigt aber noch während langer Zeit zahlreiche oenologisch interessante Eigenschaften. Eine davon ist ihre reduktive Wirkung. Dieser liegen zwei unterschiedliche Mechanismen zugrunde: Die Abgabe von reduzierenden Aminosäuren einschließlich Glutathion an den Wein sowie die direkte Zehrung von im Wein gelöstem Sauerstoff durch die Hefezellen selbst. Diese Effekte kommen sowohl bei Weiß- als auch Rotwein zum Tragen, sind aber in Weißwein besonders wichtig. Volker Schneider, Bingen, behandelt in diesem 1. Teil die sensorischen Konsequenzen von schwefelhaltigen Aminosäuren, Glutathion und inaktiven Hefen in Weißweinen.

Trotz der Verfügbarkeit schlagkräftiger maschineller Klärverfahren werden die positiven Eigenschaften der Hefe nach der Gärung allmählich wieder entdeckt. Gleichzeitig wird der Wert der aus vergangenen Jahrzehnten bekannten frühzeitigen Zwangsklärung zunehmend in Frage gestellt. Ein verlängerter Kontakt mit der Depotheffe durch verzögerten Abstich, als auch ein längeres Belassen der Feinhefe mittels späterer Filtration, sind Gegenstand intensiver oenologischer Debatten. Dieses Vorgehen wird erleichtert durch die im deutschsprachigen Raum geübte Praxis einer sehr scharfen Mostvorklärung. Sie führt dazu, dass der Trub mikrobiologisch gesunder Weißweine vor einem BSA überwiegend aus Hefezellen besteht.

Die Eigenschaften der Hefe in ihrer postfermentativen Phase werden in Abhängigkeit vom angestrebten Weintyp unterschiedlich genutzt. Die Ergebnisse hängen stark vom einzelnen Wein ab. So kann die Sekretion von Polysacchariden und Mannoproteinen aus der Hefezellwand in manchen Weinen zu einer Zunahme der geschmacklichen Fülle sowie einer besseren Einbindung von aggressiven Tanninen und störend hohen Alkohol-

gehalten führen. Überschüssiges Kupfer, wie es eventuell aus einer Böckerbehandlung resultiert, wird zu einem großen Teil durch die in Schwebefindlichen Hefezellen adsorbiert.

Es ist wichtig und technisch sinnvoll, strikt zu unterscheiden zwischen in Suspension befindlichen Hefezellen, in der branchenspezifischen Trivialsprache auch als Feinhefe bezeichnet, und sedimentierter Depotheffe. Die Effekte der in Schwebefindlichen Hefe sind deutlich ausgeprägter als die des abgesetzten Hefegelägers.

### HEFE SCHÜTZT VOR OXIDATION

Schon lange ist auch der reduktive Effekt der Hefe nach der Gärung bekannt (20). Ihm liegen verschiedene Mechanismen zu Grunde. In den ersten Tagen nach Abschluss der Gärung wird zutretender Sauerstoff über den noch aktiven Atmungsstoffwechsel der Hefezellen verbraucht. Während der folgenden Monate verarbeitet die Feinhefe gelösten Sauerstoff, indem sie ihn zur Oxidation von Lipiden ihrer Zellmembran heranzieht. In beiden Fällen wird gelöster Sauerstoff rasch verbraucht und steht zur Oxidation der Weinmatrix nicht mehr zur Verfügung. Mittelfristig reichert die autolysierende Hefe den Wein aber auch mit reduzierenden Aminosäuren und Peptiden an. Dabei handelt es sich überwiegend um Cystein und Glutathion. Bis zu einem gewissen Ausmaß sind sie in der Lage, oxidierte Weinhaltstoffe zu reduzieren und so die Aromatik vor oxidativer Zerstörung zu schützen. Die sedimentierte Depotheffe erfüllt diese Aufgaben nur in einem geringen Ausmaß, weil sie in ihrer kompakten Form nicht mehr in innigem Kontakt mit dem Wein steht oder schlechthin in zu geringer Menge vorliegt. Um ihre Effekte zu verbessern, wird sie punktuell durch Aufrühren (bâtonnage) periodisch resuspendiert. Naturgemäß ergibt dieses Vorgehen nur Sinn in Weinen, in denen tatsächlich genügend sedimentierte Hefe vorliegt, die aufgerührt werden kann. Andernfalls sind die mit dem Rühren verbundenen Kollateralschäden

größer als der Zugewinn an Qualität durch die Hefe. Eine andere Vorgehensweise strebt eine Erhöhung der Hefemenge an, indem gesunde Kernhefe aus einem anderen Gebinde oder kommerziell erhältliche Bâtonnage-Hefe zugesetzt wird. Frische Trockenhefe, die noch keinen Gärzyklus durchlaufen hat, führt jedoch oft zur Adsorption von Aromen. Der Einsatz von Filtrationsenzymen mit  $\beta$ -Glucanase-Aktivität schließlich verfolgt das Ziel, die Autolyse der Hefe durch enzymatischen Abbau ihrer Zellwand zu beschleunigen.

### INAKTIVE HEFEN

In eine ähnliche Richtung wirken inaktive Hefen. Ursprünglich wurden derartige Präparate als Gärhilfsmittel und Hefenährstoff entwickelt. Dabei handelt es sich keineswegs um unlösliche Hefezellrinden, sondern um thermisch und/oder enzymatisch hergestellte, lösliche Hefeaulyse. Durch die in ihnen enthaltenen Mikronährstoffe und Vitamine erfüllen sie eine Nährstofffunktion, die weit über die von mineralischem Stickstoff in Form von Gärnsalz hinausgeht. Darüber hinaus sieht man in ihnen einen Zusatznutzen durch multifunktionelle Eigenschaften, welche die bekannten Effekte der natürlichen Hefeaulyse verstärken. So hat ihr Einsatz zur Verbesserung der Haltbarkeit und Aromastabilität von Weiß- und Roséweinen in jüngerer Zeit erhebliche Beachtung gefunden (1, 2, 11, 17) und wird entsprechend beworben. Zur gezielten Nutzung dieser Effekte werden diese ursprünglich als Gärhilfsmittel konzipierten Präparate zunehmend auch nach der Gärung eingesetzt.

### SCHLÜSSELSUBSTANZ GLUTATHION?

Die genannten Zusatznutzen werden u. a. auf die relativ hohen Gehalte an reduzierenden Aminosäuren in diesen Präparaten zurückgeführt. Sie sollen den Wein vor oxidativer Alterung schützen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um das reduzierte Glutathion (GSH), welches in Mengen von 0,3 bis 0,9% in den inaktiven Hefen vorliegt und sich innerhalb einer halben Stunde im Wein löst (2, 11).

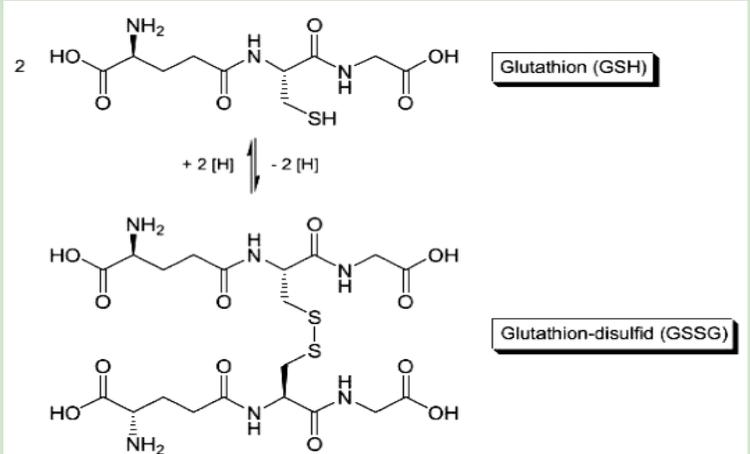
GSH ist ein Peptid, das sich aus den drei Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin zusammensetzt. Das mittelständige Cystein ist eine schwefelhaltige Aminosäure mit einer freien Thiolgruppe (-SH), welche dem GSH seine reduktiven Eigenschaften verleiht. GSH reagiert nicht direkt



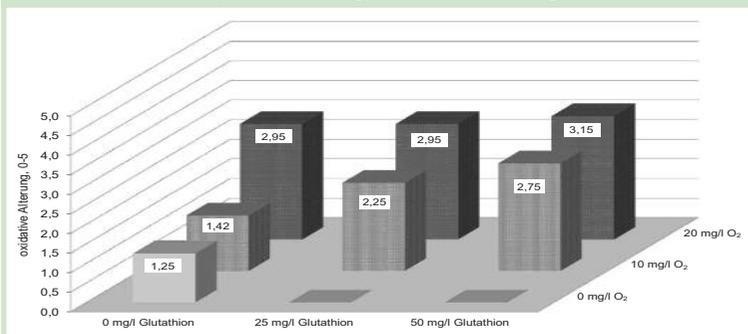
Regelmäßige sensorische Kontrolle beim Weißweinausbau.

Foto: imago/Panoramic

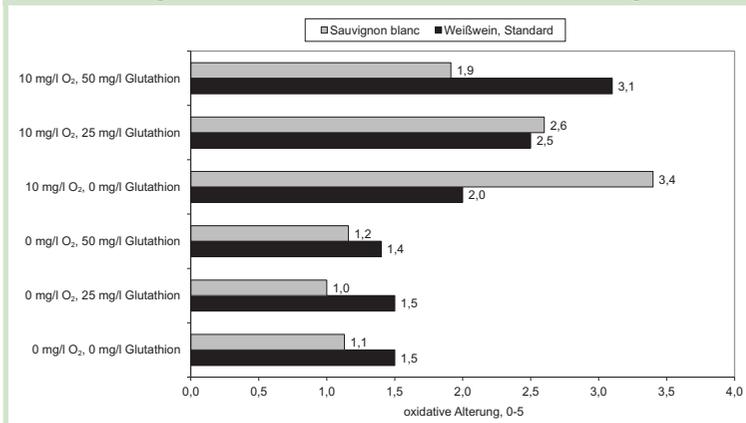
Abbildung 1: Glutathion und seine Oxidation



**Abbildung 2: Einfluss von Glutathion auf die Intensität (0-5) der geruchlich wahrnehmbaren, oxidativen Alterung bei unterschiedlicher Sauerstoffbelastung von Weißwein. Mittelwerte von sechs Weinen (Riesling, Silvaner, Chardonnay, Weißer Burgunder, Grauer Burgunder**



**Abbildung 3: Einfluss von Glutathion auf die oxidative Alterung: Vergleich zwischen Standard-Weißwein und Sauvignon blanc**



mit gelöstem Sauerstoff, es fängt jedoch aus diesem entstandene Sauerstoffradikale ab und reduziert bereits oxidierte Verbindungen. Dabei wird es selbst oxidiert und geht von seiner monomeren Form unter Ausbildung einer Disulfid-Brücke in Glutathion-Disulfid (GS-SG) über, welches nicht mehr aktiv ist (Abbildung 1). Diese reduktiven Eigenschaften verhalten ihm zu weltweitem oenologischen Interesse.

Aktives, reduziertes Glutathion ist in fast allen Zellen der lebenden Natur vorhanden und liegt im Most in Konzentrationen von 1-100 mg/l vor (3, 6, 14). Dort fängt es oxidierte Phenole ab, hemmt die Bräunung und reichert sich dabei ab. Zu Beginn der Gärung wird es als N-Quelle von der Hefe zunächst vollständig aufgenommen; ab der zweiten Gärhälfte gibt die Hefe jedoch wieder GSH an den Wein ab. Der bei Gärnde vorliegende Gehalt an GSH ist abhängig von Hefestamm, Matrixeinflüssen und dem Ausgangsgehalt an GSH im Most. Hohe Mostgehalte führen tendenziell zu höheren Gehalten im Wein (5), ein direkter Zusammenhang zwischen Most- und Weingealten besteht jedoch nicht (12). Der Einsatz inaktiver Hefen kann zu erhöhten Gehalten an Glutathion im Wein führen, wenn deren Zusatz zu Beginn der Gärung (11), in die abklingende Gärung oder nach Gärnde erfolgt.

Während eines verlängerten Hefekontaktes wurde sowohl eine Zunahme (5) als auch eine Abnahme (12) von GSH beobachtet. Der Wert eines längeren Hefelagers in Hinblick auf eine Anreicherung von GSH kann somit als nicht gesichert angesehen werden. Naturgemäß führt eine Sauerstoffaufnahme während Lagerung und Ausbau stets zu einer Minderung der Gehalte durch Oxidation zu GS-SG. Diese vielfältigen Einflussfaktoren erklären, warum GSH-Gehalte in Wein in einem weiten Streubereich von 0 bis 70 mg/l gemessen wurden (2, 6, 7, 8, 10, 13, 14).

## VERSUCHSDESIGN

Wichtiger als die absoluten GSH-Gehalte ist die Frage nach den sensorischen Vorteilen erhöhter Gehalte. Inwiefern eine Erhöhung des GSH-Gehaltes überhaupt eine sensorisch nachvollziehbare Verbesserung der Haltbarkeit und Aromastabilität ergibt, wurde anhand verschiedener Weißweine deutscher Anbaugelände überprüft. Dazu wurden sechs mit Schraubverschluss abgefüllte handelsübliche Weißweine (2-4 mg/l GSH, 35-50 mg/l freie SO<sub>2</sub>, keine Ascorbinsäure) mit jeweils 0, 25 und 50 mg/l Glutathion dotiert. In jede der so erhaltenen Varianten wurden über die Variation des mit Luft befüllten Kopfraumvolumens jeweils 0, 10 und 20 mg/l Sauerstoff eingebracht. Berechnungsgrundlage war die Tatsache, dass 1 ml Luft im Kopfraum einer Sauerstoffmenge von 0,21 ml bzw. 0,30 mg O<sub>2</sub> entspricht. Der so zugeführte

Sauerstoff liegt im Rahmen der realen Sauerstoffaufnahme während Ausbau, Abfüllung und Lagerung (21).

Die wieder verschlossenen Flaschen wurden bei Raumtemperatur gelagert, wöchentlich geschüttelt und dabei die Abnahme des Sauerstoffs im Kopfraum und in der Flüssigkeit mittels nicht-invasiver Fluoreszenz-Technik verfolgt. Nach Ablauf von sechs Wochen war der Sauerstoff in den Flaschen vollständig verschwunden und abreagiert; nach zwei Monaten erfolgte eine sensorische und analytische Auswertung. Bei der sensorischen Bewertung wurde die geruchlich wahrnehmbare Intensität von oxidativer Alterung anhand einer Skala von 0 (nicht wahrnehmbar) bis 5 (maximale Ausprägung) erfasst. In allen Varianten lag zum Zeitpunkt der Auswertung noch freie SO<sub>2</sub> vor, so dass sensorische Artefakte durch freien Acetaldehyd (Luftton) ausgeschlossen waren.

## ZWEIFELHAFTER WERT VON GLUTATHION

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse. Entsprechend der Erwartung (22) und weitgehend unabhängig vom Gehalt an Glutathion nahm der Geruchseindruck von oxidativer Alterung mit steigender Sauerstoffbelastung signifikant ( $p = 0,001$ ) zu. Entgegen der Erwartung wirkten sich zunehmende Gehalte an Glutathion aus. Steigende Zusätze von 25 und 50 mg/l GSH blieben annähernd wirkungslos in den Varianten mit 20 mg/l O<sub>2</sub> und verstärkten sogar signifikant ( $p = 0,05$ ) den Sinneseindruck von oxidativer Alterung in den Varianten mit 10 mg/l O<sub>2</sub>. In keinem der Weine (Riesling, Silvaner, Chardonnay, Grauer Burgunder, Weißer Burgunder) ergab eine Erhöhung des Glutathion-Gehaltes sensorische Vorteile in Hinblick auf den Schutz des Fruchtaromas vor Oxidation, sondern bewirkte eher das Gegenteil. Fruchttige Attribute wurden zunehmend durch solche von trockenen Kräutern, Nüssen und Erde ersetzt, wie sie aus der Beschreibung altersfester Weine bekannt sind. In keiner der Varianten traten UTA oder Böckser auf.

Die sensorischen Effekte in der Aromatik stellten sich ohne farbliche Veränderungen ein. Die Auswirkungen der Glutathion-Zusätze auf Farbintensität (A 420 nm), Acetaldehyd und schweflige Säure waren nicht signifikant. Der durchschnittliche Verlust an SO<sub>2</sub> betrug 1,95 mg/l pro 1 mg/l O<sub>2</sub> unabhängig vom Gehalt an Glutathion und damit nur 49% des stöchiometrischen Werts.

Die Ergebnisse widersprechen denen anderer Autoren, bei denen Zusätze von reinem Glutathion zu offen gelagerten Weinen (15, 16, 18) oder zur Maische (9) zu analytisch höheren Gehalten von aromarelevanten Terpenen, Estern und Acetaten führten. Sie stehen auch in Widerspruch zu analogen Studien sensorischer Art (1, 7, 9) und gängigen

Aussagen der Werbung. Eine Abhängigkeit von der Weinmatrix und Rebsorte ist daher nicht ausgeschlossen. In der Tat konzentrierte sich ein großer Teil der Untersuchungen (5, 6, 24) in Zusammenhang mit Glutathion und inaktiven Hefen auf Sauvignon blanc, dessen Weine für ihre außergewöhnlich hohen und aromatisch relevanten Gehalte an oxidationsempfindlichen Thiolen bekannt sind.

Einem zweiten, analog angelegten Versuch wurde daher das Verhalten eines Sauvignon blanc mit dem eines Standard-Weißweins aus einem Verschnitt der in Abbildung 2 genannten Rebsorten verglichen. Über Glutathion (0, 25 und 50 mg/l) hinaus wurden auch Cystein und ein Präparat inaktiver Hefe (Optiwhite) berücksichtigt. Das Cystein ist der aktive Bestandteil des Glutathions und für dessen Reduktionskraft verantwortlich. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen, wurden beide im äquimolaren Verhältnis eingesetzt, wobei 25 mg Glutathion 9,85 mg Cystein entsprechen. Mittels der inaktiven Hefe schließlich wurden Glutathion, Cystein und eine Fülle anderer Hefeinhaltsstoffe und Aminosäuren eingebracht. Sie wurde in Anlehnung an praxisübliche Zusätze zu 250 und 500 mg/l dosiert, woraus sich eine Erhöhung des momentanen GSH-Gehaltes um 1,5 bzw. 3 mg/l ergab. Alle Varianten wurden mit jeweils 0 und 10 mg/l Sauerstoff dotiert und zwei Monate bis zur Auswertung gelagert.

## SONDERFALL SAUVIGNON BLANC

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für Glutathion. Steigende Gehalte verstärkten die geruchlich wahrnehmbare Intensität von oxidativer Alterung nach Umsetzung von 10 mg/l Sauerstoff in dem Standard-Weißwein. Vorgehende Ergebnisse wurden bestätigt. Umgekehrt verhält sich der Sauvignon blanc: Je höher sein Gehalt an GSH, desto weniger trat die oxidative Alterung nach Umsetzung von 10 mg/l Sauerstoff in Erscheinung bzw. desto besser blieb das ursprüngliche Sortenaroma erhalten. Es deutet sich an, dass der dem GSH zugeschriebene, positive Effekt auf den Erhalt der Fruchtaromatik zwar zutreffend, aber auf Sauvignon blanc und ähnliche Rebsorten (Colombard, Petite Arvine, Scheurebe) beschränkt ist, in denen Thiole eine sensorisch signifikante Rolle im Gesamtroma spielen.

Abbildung 4 zeigt die Effekte von Cystein. Analog zum Verhalten von GSH und im äquimolaren Verhältnis zu diesem eingesetzt, schützten zunehmende Gehalte das Aroma des Sauvignon blanc vor Oxidation. Im Gegensatz zum Verhalten von GSH erstreckte sich dieser Oxidationsschutz jedoch auch auf den Standard-Weißwein. Die Ergebnisse für die inaktive Hefe gehen aus Abbildung 5 hervor. Tendenziell entsprechen sie

Abbildung 4: Einfluss von Cystein auf die oxidative Alterung

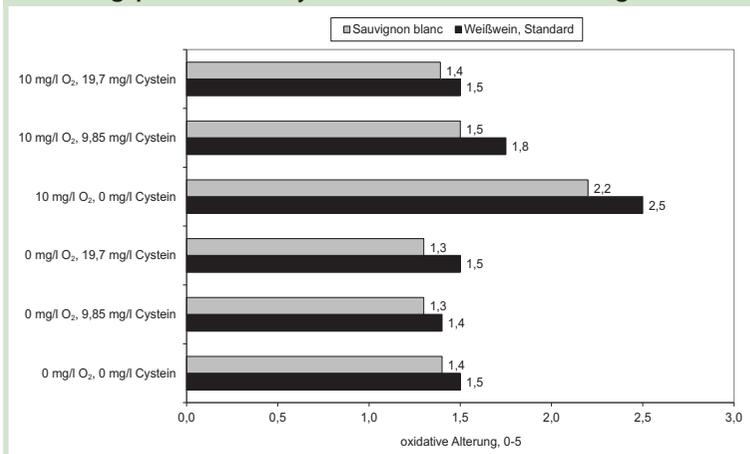
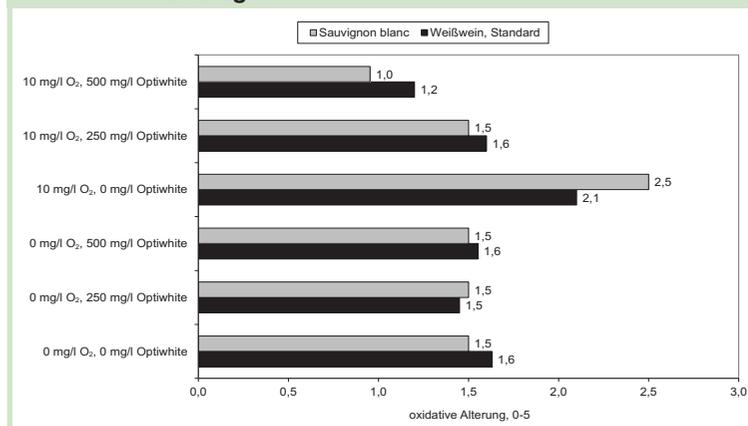


Abbildung 5: Einfluss von inaktiver Hefe (Optiwhite) auf die oxidative Alterung



denen von Cystein; steigende Gehalte schützten die Aromatik in beiden Weinen bei einer Belastung mit 10 mg/l Sauerstoff. Die durch die verschiedenen Zusätze hervorgerufenen Unterschiede in Farbe, SO<sub>2</sub> usw. waren nicht signifikant oder nicht relevant.

Die Resultate bestätigen, dass reduzierende Aminosäuren den Wein tatsächlich vor oxidativer Alterung schützen, wenn es sich dabei um Cystein oder ein Gemisch reduzierender Aminosäuren handelt. Durch den Einsatz von inaktiven Hefen oder einen verlängerten Hefekontakt nach der Gärung können die Gehalte dieser Verbindungen erhöht werden (5). Der sensorische Vorteil einer einseitigen Erhöhung der GSH-Gehalte wurde zwar bei Sauvignon blanc und ähnlich gelagerten Rebsorten mit erhöhten Gehalten aromaaktiver Thiole nachgewiesen (1, 7, 24) und auch hier bestätigt, ist aber offensichtlich nicht auf alle Rebsorten zu übertragen.

### GLUTATHION IST INSTABIL

Bei den in diesem Versuch eingesetzten Standard-Rebsorten (Riesling, Silvaner, Chardonnay, Weißer Burgunder, Grauer Burgunder), deren Aromatik nicht auf sensorisch relevanten Mengen oxidationsempfindlicher Thiole beruht, versagen erhöhte Gehalte an GSH nicht nur zum Schutz der Aromatik. Sie tendieren sogar zu einer Verstärkung des Sinneseindrucks von oxidativer Alterung unter Bedingungen identischer und kontrollierter Sauerstoffbelastung. Glutathion als solches ist jedoch geruchlos. Über diese Widersprüche kann gegenwärtig nur spekuliert werden.

Ein nicht-oxidativer Zerfall von GSH wurde nachgewiesen (4), wobei analog zur Maillard-Reaktion in Anwesenheit von Glucose eine Vielzahl flüchtiger Produkte entsteht, deren geruchliche Eigenschaften an die altersfirmer Weine erinnern (19). Andere Daten wiederum stützen die Hypothese, dass die anfänglich reduktive Wirkung von GSH nach dessen vollständigem Abbau ins Gegenteil umschlagen kann (23). Dabei könnte das bei der Oxidation von GSH entstehende Glutathionylradikal oxidativ wirken. Sofern solche Reaktionen relevant sind, treten sie naturgemäß in allen Weinen auf. Der aus der Sensorik bekannte Effekt der Maskierung könnte das abweichende Verhalten des Sauvignon blanc erklären. Zahlreiche Fragen sind offen.

Unter den genannten Aspekten erscheint es ein fragwürdiges Vorgehen, für einen ausreichenden Schutz der Aromen vor Oxidation einen bestimmten Mindestgehalt von GSH im Wein zu empfehlen oder handelsübliche Präparate inaktiver Hefen in Funktion ihres GSH-Gehaltes zu bewerten. Für die Mehrzahl der Weine sind die reduktiven Verhältnisse, die besonders im hefetrüben Stadium die

Fruchtaromatik schützen, offensichtlich weniger auf reduzierende Aminosäuren als auf die direkte Absorption zutretenden Sauerstoffs durch suspendierte Hefezellen (20) zurückzuführen. Darüber wird im 2. Teil berichtet. Nicht zuletzt besteht der einfachste Schutz vor Oxidation in einer Minimierung der prozessbedingten Sauerstoffaufnahme im Keller und in der Verwendung von Flaschenverschlüssen mit guter Sauerstoffbarriere-Wirkung.

### ZUSAMMENFASSUNG

Von den reduzierenden Aminosäuren aus der Hefe vermochten nur Cystein und das aus einem Präparat inaktiver Hefen extrahierte Aminosäuregemisch die Fruchtaromatik von Weißweinen sicher gegen Oxidation durch 10 und 20 mg/l Sauerstoff zu schützen. Reines Glutathion schützte die Aromatik nur in Sauvignon blanc, verstärkte jedoch die Wahrnehmung von oxidativer Alterung in allen anderen Rebsorten. Daher erscheint der Gehalt an Glutathion als Kriterium für die Haltbarkeit des Weins oder zur Bewertung inaktiver Hefen wenig dienlich. Die Beschränkung der Sauerstoffaufnahme ist der praktikabelste Weg zum Schutz vor oxidationsbedingter Alterung.

### Literatur

- Aguera E., Samson A., Caille S., Julien-Ortiz A. Siczkowski N., Salmon J. M. (2012): Apport de levures inactivées riches en glutathione en cours de la fermentation alcoolique: Un nouvel outil pour la protection des vins blancs et rosés contre l'oxydation. *Revue Fr. d'Enologie* 250, 3-11.
- Andújar-Ortiz L., Pozo-Bayón M. A., Moreno-Arribas M. V., Martín-Álvarez P. J., Rodríguez-Bencomo J. J. (2012): Reversed-phase high-performance liquid chromatography-fluorescence detection for the analysis of glutathione and its precursor  $\gamma$ -glutamyl cysteine in wines and model wines supplemented with enological inactive dry yeast preparations. *Food Anal. Methods* 5, 154-161.
- Cheyrier V., Souquet J. M., Moutounet M. (1989): Glutathione content and glutathione to hydroxycinnamic acid ratio in *Vitis vinifera* grapes and wines. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 320-324.
- Deshmukh M., Kutscher H., Stein S., Sinko P. (2009): Nonenzymatic self-elimination degradation mechanism of glutathione. *Chem. Biodivers.* 6 (4), 527-539.
- Dubourdieu D., Lavigne-Cruège V. (2004): The role of glutathione on the aromatic evolution of dry white wine. *Wine Internet Technical Journal*, 02, 2, www.infowine.com.
- Du Toit W. J., Lišjak K., Stander M., Prevoo D. (2007): Using LC-MS/MS to assess glutathione levels in South African white grapes juices and wines made with different levels of oxygen. *J. Agric. Food Chem.* 55, 2765-2769.
- Du Toit W. J. (2007): Effect of different oxygen levels on glutathione levels in South African white must and wines. <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200712oxygen.php3>
- Fracassetti D. et al. (2011): Quantification of glutathione, catechin and caffeic acid in grape juice and wine

by a novel ultra-performance liquid chromatography method. *Food Chem.* 128, 1136-1142.

- Fragasso M. et al. (2010): Influence of glutathione addition on the volatile profile of Trebbiano and Bombino bianco wines. *Proc. 33<sup>rd</sup> OIV World Congress of Vine and Wine, Tbilisi, Georgia, June 2010.*
- Janes L., Lišjak K., Vanzo A. (2010): Determination of glutathione content in grape juice and wine by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *Anal. Chim. Acta* 674, 239-242.
- Kritzinger E. C., du Toit W. J., Stander M. A. (2013): Assessment of glutathione levels in model solutions and grape ferments supplemented with glutathione-enriched inactive dry yeast preparations using a novel UPLC-MS/MS method. *Food. Addit. Contam. Part A*, 30 (1), 80-92.
- Kritzinger E. C., Bauer F. F., du Toit W. J. (2013): Influence of yeast strain, extended lees contact and nitrogen supplementation on glutathione concentration in wine. *Austr. J. Grape Wine Research* 19 (2), 181-170.
- Lavigne V., Pons A., Dubourdieu D. (2007): Assay of glutathione in must and wines using capillary electrophoresis and laser-induced fluorescence detection – changes in concentration in dry white wines during alcoholic fermentation and aging. *J. Chromatogr. A*, 1139, 130-135.
- Park S. K., Boulton R. B., Noble A. C. (2000): Formation of hydrogen sulfide and glutathione during fermentation of white grape musts. *Am. J. Enol. Vitic.* 51, 91-97.
- Papadopoulou D., Roussis I. G. (2001): Inhibition of the decline of linalool and  $\alpha$ -terpineol in muscat wines by glutathione and N-acetyl-cysteine. *Int. J. Food Sci.* 13, 413-419.
- Papadopoulou D., Roussis I. G. (2008): Inhibition of the decrease of volatile esters and terpenes during storage of a white wine and a model wine medium by glutathione and N-acetyl-cysteine. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43, 1053-1057.
- Pozo-Bayón M. A., Andújar-Ortiz L., Moreno-Arribas M. V. (2009): Scientific evidences beyond the application of inactive dry yeast preparations in winemaking. *Food Res. Int.* 42, 754-761.
- Roussis I. G., Papadopoulou D., Sakarellos-Daitsiotis M. (2009): Protective effect of thiols on wine aroma volatiles. *The Open Food Science Journal* 3, 98-102.
- Shedid S. A. (2010): Chemical composition and antioxidant activity of Maillard reaction products generated from glutathione or cysteine/glucose. *World Applied Sci. J.* 9 (10), 1148-1154.
- Schneider V. (2005): Postfermentative Phase: Die Hefe nach der Gärung. *Der Winzer* 11, 13-18.
- Schneider V. (2006): Alterung von Weißwein, I: Aufnahme von Sauerstoff in Keller und Flasche. *Der Winzer* 12, 6-9.
- Schneider V. (2013): Aufnahme von Sauerstoff und seine Konsequenzen. *Die Winzer-Zeitschrift* 1, 37-41.
- Sonni F., Clark A. C., Prenzler P. D., Riponi C., Scollary G. R. (2011): Antioxidant action of glutathione and the ascorbic acid/glutathione pair in a model white wine. *J. Agric. Food Chem.* 59, 3940-3949.
- Ugliano M. et al. (2011): Evolution of 3-mercaptohexanol, hydrogen sulfide, and methylmercaptan during bottle storage of Sauvignon blanc wines. Effect of glutathione, copper, oxygen exposure, and closure-derived oxygen. *J. Agric. Food Chem.* 59, 2564-2572. ■