



Die reduktive Wirkung der Hefe nach der Gärung

II. Zehrung gelösten Sauerstoffs durch Feinhefe

Die nach der Gärung in Schwebelage befindliche Hefe, auch Feinhefe genannt, kann erhebliche Mengen von Sauerstoff aufnehmen, verarbeiten und so der Reaktion mit Weinhaltstoffen entziehen. Auf diesem Weg kann der Wein vor oxidativer Alterung geschützt werden. Volker Schneider, Bingen, berichtet über verschiedene keller-technische Parameter, die zur praktischen Nutzung dieses Effektes beachtet werden müssen. Sie sind von besonderer Bedeutung bei der Lagerung von Wein im Holzfass und unter den Bedingungen schlecht kontrollierter Sauerstoffaufnahme.

Der erste Teil dieser Arbeit berichtete über den reduktiven Effekt von schwefelhaltigen Aminosäuren und dem damit zusammenhängenden Glutathion. Diese werden von der postfermentativen Hefe an den Wein abgegeben oder durch Zusatz inaktiver Hefepreparate in den Wein eingebracht. Bis zu einem gewissen Grad schützen sie das Aroma vor oxidativer Alterung und unterstützen den Effekt der schwefeligen Säure. Eine positive Wirkung von Glutathion als solchem war jedoch nur in Sauvignon blanc mit sensorisch relevanten Gehalten an sogenannten Aromathienolen zu beobachten. Das Prinzip der Wirkung solcher hefebürtigen Reduktionsmittel besteht darin, dass sie nicht direkt mit Sauerstoff reagieren sondern, ähnlich wie schwefelige Säure, bereits oxidierte Weinhaltstoffe wieder reduzieren. In diesem 2. Teil

wird gezeigt, wie nach der Gärung verbleibende Hefe als Reduktionsmittel wirkt, indem sie zutretenden Sauerstoff direkt aufnimmt, verarbeitet und so der Reaktion mit Weinhaltstoffen entzieht.

Die Zehrung von dem im Wein gelösten Sauerstoff durch Hefe manifestiert sich in der schon lange bekannten Beobachtung, dass ungeschwefelte Weißweine nicht hochfarbig werden, solange sie hefetrüb sind. Werden sie im ungeschwefelten Zustand filtriert und der Luft ausgesetzt, tritt eine Farbintensivierung mehr oder weniger spontan ein. Wohlbemerkt kann diese anti-oxidative Wirkung nur durch Hefe ausgeübt werden, die noch in der Schwebelage bzw. im suspendierten Zustand vorliegt. Diese wird im Branchenjargon gemeinhin als Feinhefe beschrieben. Ihre Konzentration wird dabei selten berücksichtigt. Als Gelägere abgesetzte Hefe ist in dieser Hinsicht weitgehend wirkungslos.

Während der ersten Tage nach der Gärung kann zutretender Sauerstoff über den Atmungsstoffwechsel der noch lebenden Hefezellen verarbeitet werden. Nach Eintritt des Zelltodes wird er während der darauffolgenden Monate und Jahre zur Oxidation von in der Zellmembran lokalisierten Lipiden verbraucht (1, 2, 3, 4). Diese Reaktion, obgleich nicht enzymatischer Natur, kommt durch Pasteurisation zum Stillstand. In der Praxis endet sie mit der Filtration des Weins, während reduzierende Aminosäuren und Peptide die Filtermedien passieren.



Ungeschwefelte Weißweine werden nicht hochfarbig, so lange sie hefetrüb sind.

Foto: imago/Gustavo Alabiso

Über das Ausmaß der Sauerstoffzehrung durch Feinhefe und ihre Abhängigkeit von verschiedenen oenologischen Parametern ist nur wenig bekannt. In den nachfolgenden Ausführungen wird gezeigt, wie sie keller-technisch genutzt werden kann unter Berücksichtigung von Hefemenge, SO₂-Gehalt, Temperatur, Lagerdauer und Weinart.

MATERIAL UND METHODEN

Weißweine und Hefen entstammten regionalen Erzeugerbetrieben der Anbauggebiete Nahe und Rheinhessen. Die Moste wurden unter Standardbedingungen (Enzymierung, 200 g/hl Bentonit) verarbeitet, auf ≤ 20 NTU Resttrub vorgeklärt, mit sechs verschiedenen Reinzuchthefen (Hefen A-F) zu 20 g/hl beimpft und ohne Sauerstoffzufuhr vergoren. Die Lagerung der Jungweine erfolgte randvoll bei 8-15 °C in Edelstahlbehältern.

Suspendierte Hefezellen wurden mittels eines Trübungsmessgerätes nephelometrisch quantifiziert und ihre Konzentration als NTU ausgedrückt, wobei 1 NTU = $6,3 \times 10^4$ Zellen/ml entsprach. Die Geschwindigkeit ihrer Sauerstoffzehrung (OZR) wurde in Modelllösung und realen Weinen gemessen und in mg/l/h O₂ ausgedrückt. Die Modelllösung bestand aus 13% (v/v) Alkohol und wurde nach Zugabe von 8 g/l Weinsäure mittels NaOH 10% auf pH 3,5 eingestellt.

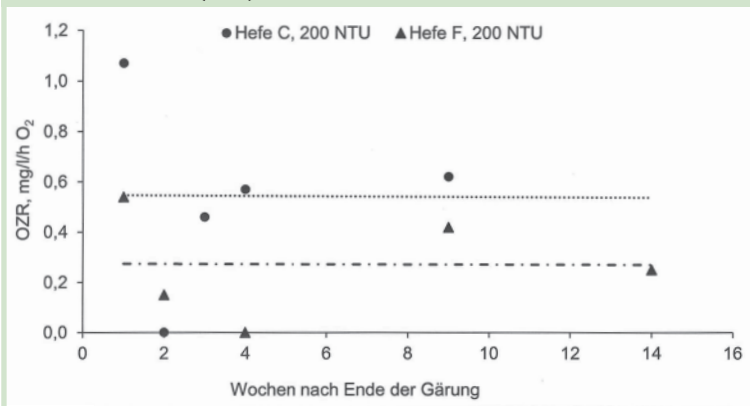
Zur Messung der OZR von Hefe in Modelllösung wurde Hefe aus jungen Weinen ohne BSA ($< 0,2$ g/l Milchsäure) geerntet, nachdem diese vollständig vergoren (< 2 g/l Zucker) waren. Dazu wurden Proben der Weine zentrifugiert, das derart erhaltene Hefekonzentrat mit Modelllösung gewaschen und anschließend mit dieser auf die gewünschte Konzentration verdünnt. Sofort im Anschluss wurde die OZR ermittelt.

Zur Messung der OZR von Hefe in unfiltrierten Weinen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Proben aus den Lagertanks entnommen und in zwei Teilmengen aufgeteilt. Eine Teilmenge wurde ohne weitere Behandlung zur Messung der OZR herangezogen. Die zweite Teilmenge wurde durch Zentrifugation und Membranfiltration ($0,6 \mu$) geklärt. Sie diente als hefefreie Referenz zwecks Korrektur der OZR der Hefe um die chemische Sauerstoffbindung des Weins. Um den Effekt der Weinmatrix auf die OZR der Hefe zu evaluieren, wurden steril filtrierte Weine mit dem Hefekonzentrat auf die gewünschten Hefekonzentrationen eingestellt.

Zur Erfassung des Konzentrationsverlaufs gelösten Sauerstoffs in Weinen und Modelllösung wurden diese mit Sauerstoff annähernd (~ 7 mg/l O₂) gesättigt, in 100-ml-Gewindeflaschen ohne Kopfraum gefüllt und hermetisch verschlossen. In periodischen Abständen wurde der gelöste Sauerstoff mittels nicht-invasiver Lumineszenzmessung in den verschlossenen Flaschen ermittelt, bis er nahezu vollständig ($< 0,2$ mg/l O₂) aufgebraucht war. Die Aufzeichnung des Sauerstoffs über der Zeit ergab die Sauerstoffzehrungsrate (OZR) in mg/l/h O₂. Sie ist die Messgröße. In den Modelllösungen mit Hefe als alleinigem Sauerstoffakzeptor ergab sich die OZR der Hefe direkt aus der Neigung der Kurve. In den Weinen wurde die wirkliche Menge des von der Hefe aufgenommenen Sauerstoffs ermittelt, indem die OZR des



Abbildung 1: Einfluss des Alters der Hefe auf die Sauerstoffzehrungsrate (OZR)



filtrierten Weins von der des hefetrüben Weins subtrahiert wurde. Aus dem Verhältnis beider Werte ergaben sich die prozentualen Anteile des Sauerstoffs, welche durch die Hefe oder durch die Weinmatrix gezehrt wurden.

EINFLUSS DER HEFEKONZENTRATION

In einem ersten Schritt wurde die Abhängigkeit der Sauerstoffzehrungsrate (OZR) von der Konzentration postfermentativer Hefe in Modelllösung bei 20 °C untersucht. Hierbei war eine Störung durch oxidierbare Weininhaltsstoffe ausgeschlossen. Tabelle 1 zeigt die Resultate. Es bestätigten sich Ergebnisse anderer Studien (1), wonach bedeutende Unterschiede zwischen den Hefestämmen auftreten, obwohl die Messungen in einem engen Zeitfenster von zwei bis vier Wochen nach Abschluss der Gärung erfolgten.

Erwartungsgemäß steigt die OZR mit der Hefekonzentration an, aber nicht bei jeder Hefe proportional zu ihrer Konzentration. Dieses Verhalten wird einer sterischen Hemmung der Sauerstoffdiffusion innerhalb der Flüssigkeit durch die Hefezellen selbst zugeschrieben (3). Bei geringer Hefekonzentration ist die OZR pro Hefezelle höher als bei hoher Hefekonzentration. Deshalb entspricht die OZR einer Hefekonzentration von nur 100 NTU immer noch durchschnittlich 48% der von 400 NTU. Praktisch verwertbare Sauerstoffzehrungsraten traten erst ab einer Hefekonzentration von 50 NTU auf. Oberhalb dieser Konzentration schwankte die OZR von 0,27 bis 2,09 mg/l/h O₂. Zum Vergleich: Die maximale Menge an Sauerstoff, die sich in Wein bei Kellertemperatur lösen kann, beträgt ca. 8 mg/l O₂, entsprechend einer Sättigungskonzentration.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine Bewertung des Trübungsgrades: Weißweine weisen gegen Ende der Gärung eine Hefetrübung von 500-1.000 NTU auf und klären sich im Verlaufe mehrmonatiger Lagerung auf 100-500 NTU; mittels Kieselgurfiltration geklärte Weine weisen nur noch 5-10 NTU auf.

EINFLUSS DER LAGERDAUER

Da anzunehmen war, dass die Lagerdauer des unfiltrierten Weins eine Rolle spielt, wurde der Einfluss des Alters der Hefe auf ihre OZR anhand zweier Stämme (C und F) bei einer Konzentration von 200 NTU überprüft. Abbildung 1 zeigt eine allmäh-

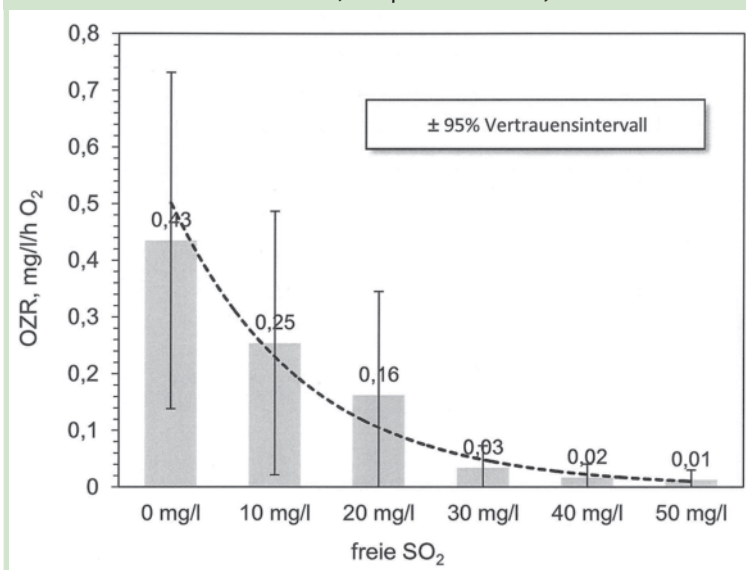
liche und unregelmäßige Minderung der OZR während den ersten drei Monaten nach Abschluss der Gärung.

Nach vier Monaten Lagerdauer wird von einer verbliebenen Aktivität von 11 bis 100% der ursprünglichen OZR direkt nach der Gärung berichtet (1) und selbst nach drei Jahren ist noch eine Sauerstoffzehrung durch Hefe zu beobachten (5).

EINFLUSS DER TEMPERATUR

Der Einfluss der Temperatur auf die OZR postfermentativer Hefe (200 NTU) wurde bei 5, 15 und 20 °C in Modelllösung erfasst und zeigte sich bei allen Hefestämmen als signifikant (p < 0,01 – Tabelle 2). Bei niedriger Lagertemperatur nimmt die OZR deutlich ab und erreicht bei 5 °C nur noch 68,5% des Wertes bei 20 °C. Diese Beobachtung steht in Einklang mit der einer klassischen Studie (6), gemäß der die OZR von Hefe der Arrhenius-Gleichung folgt. Die durch Abkühlung bedingte Minderung der OZR ist jedoch nur von beschränkter praktischer Bedeutung, weil sie in realen

Abbildung 2: Einfluss der freien SO₂ auf die Sauerstoffzehrungsrate (OZR) der Hefe in Modelllösung (pH 3,5; Mittelwert aus sechs Hefestämmen; Hefekonzentration = 200 NTU; Temperatur = 20 °C)



Weinen mit einer Verzögerung der chemischen Sauerstoffbindung einhergeht. Somit wird der prozentuale Beitrag der Hefe zum Verbrauch gelösten Sauerstoffs nicht zwangsläufig gemindert.

EINFLUSS VON FREIER SO₂

Der Einfluss von schwefliger Säure auf die OZR wurde bei allen sechs Hefestämmen (200 NTU) in Modelllösung (pH 3,5) untersucht, die mit steigenden Mengen von SO₂ versetzt worden war. Abbildung 2 zeigt, dass die in realen Weinen gängigen Mengen an freier SO₂ zu einer starken Inhibition der Reaktionen führen, die für die Sauerstoffzehrung der Hefe verantwortlich sind. Während sich bei 0 mg/l freier SO₂ die durchschnittliche OZR auf 0,43 mg/l/h O₂ beläuft, schrumpft sie bei 20 mg/l freier SO₂ auf nur 37% dieses Wertes. Bei über 30 mg/l freier SO₂ wird sie praktisch bedeutungslos.

Tabelle 1: Einfluss der Hefekonzentration (NTU) auf die Sauerstoffzehrungsrate (mg/l/h O₂) postfermentativer Hefe unterschiedlicher Stämme in Modelllösung

Ernte und Vermessung der Hefe 2-4 Wochen nach Gärende; freie SO₂ = 0 mg/l; Temperatur = 20 °C; Mittelwerte aus zwei Einzelmessungen

Hefestamm	Hefekonzentration						
	5 NTU	25 NTU	50 NTU	100 NTU	200 NTU	300 NTU	400 NTU
A	0,00	0,04	0,39	0,58	0,80	1,15	1,75
B	0,00	0,04	0,44	0,64	0,80	1,04	1,21
C	0,00	0,03	0,34	0,77	1,07	1,55	2,09
D	0,00	0,04	0,51	0,57	0,60	0,68	0,74
E	0,00	0,04	0,68	0,72	0,85	0,96	1,13
F	0,00	0,03	0,27	0,38	0,53	0,61	0,67
Mittelwert über alle Hefen	0,00	0,04	0,44	0,61	0,77	1,00	1,27
Standardabweichung zwischen Hefen	0,00	0,01	0,13	0,13	0,18	0,31	0,51
% bezogen auf 400 NTU	0,00	31,50	34,60	48,00	60,60	78,70	100,00



EINFLUSS DER WEINMATRIX

Der Einfluss der Weinart (Rotwein vs. Weißwein) auf die OZR wurde bei drei Hefestämmen evaluiert. Dazu wurden ein Weiß- und drei Rotweine (A, B und C) nach Sterilfiltration ohne freie SO₂ mit definierten Mengen (200 NTU) an Hefen (Stämme B, C und F) versetzt, welche vorher aus Jungweinen gewonnen wurden. Nach einmonatiger Lagerung unter anaeroben Bedingungen wurden alle Varianten mit Sauerstoff gesättigt und dessen Zehrung bei 20 °C aufgezeichnet. Zur Berechnung der OZR der eigentlichen Hefe wurde die OZR der hefetrüben Weine um die OZR der jeweiligen filtrierten Variante (0 NTU) gemindert.

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass in Analogie zu Modelllösungen die OZR der Hefen in Wein nicht proportional zur Hefekonzentration steigt. Weiterhin liegen, unter Berücksichtigung der Hefekonzentration, die OZR-Werte in den Weinen in der gleichen Größenordnung wie die in Modelllösung (Tabelle 1). Unterschiede zwischen den Hefestämmen bestätigen sich.

Im Vergleich zum Weißwein ist eine signifikante Tendenz zu durchschnittlich um 20,6% niedrigeren OZR-Werten in den Rotweinen zu erkennen. Dieser Matrixeffekt wird durch eine Adsorption von Tanninen des Rotweins durch die Hefezellen erklärt. Dadurch werden Zutritt und Reaktivität des Sauerstoffs mit den Lipiden der Zellmembran beeinträchtigt (2, 5).

GESAMTE SAUERSTOFFZEHRUNGSKAPAZITÄT

Die gesamte Sauerstoffzehrungskapazität beschreibt die Menge an Sauerstoff, die eine gegebene Hefe-Biomasse bis zu ihrer Erschöpfung aufnehmen kann, unabhängig von der dazu erforderlichen Zeit. Ihre Ermittlung erfolgte in einer manometrischen Apparatur unter Bedingungen unbeschränkter Sauerstoffangebots. Dazu wurde aus Jungweinen isolierte Hefe in definierter Konzentration in Modelllösung suspendiert. Definierte Mengen dieser Suspensionen wurden in 500-ml-Flaschen überführt, welche mit manometrischen Drucksensoren dicht verschlossen wurden. Die Flaschen wurden bei 20 °C kontinuierlich auf einem Magnetrührer gerührt, um aus ihrem

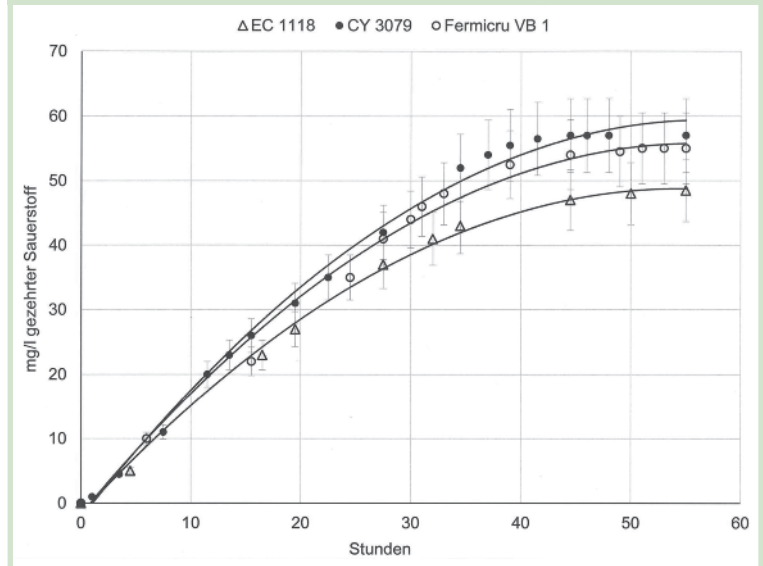
Kopfraum ständig Sauerstoff der Hefesuspension zuzuführen. Der damit verbundene Druckabfall wurde auf die Sauerstoffzehrung umgerechnet und diese über der Zeit aufgezeichnet. Hefen von drei Stämmen (B, C und F) kamen in einer Konzentration von jeweils 300 NTU zum Einsatz.

Abbildung 3 zeigt, wie unter diesen Bedingungen unlimitierter Verfügbarkeit von Sauerstoff dessen Zehrung durch postfermentative Hefen zunächst linear über die Zeit ansteigt. Nach 44-55 Stunden bzw. 40-60 mg/l gezehrten Sauerstoffs zeigt das Abflachen der Kurven, dass die hefeeigenen Ressourcen zur Zehrung von Sauerstoff aufgebraucht sind. Die Ergebnisse belegen, dass selbst geringe Konzentrationen suspendierter Feinhefe entsprechend 50 NTU (3,15 x 10⁶ Zellen/ml) genügend Kapazität zur Zehrung einer Sauerstoffsättigungskonzentration aufweisen.

KOMBINIERTE EFFEKTE IN REALEN WEINEN

In einem Praxisversuch wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Proben aus 24 unfiltrierten und mit verschiedenen Hefen vergorenen Weißweinen entnommen. Jede Probe wurde in eine filtrierte und eine original hefetrübe Teilmenge aufgeteilt. Nach Sättigung mit Sauerstoff wurde die Sauerstoffzehrung beider Varianten bei 20 °C über der Zeit aufgezeichnet. Zur Berechnung der OZR der eigentlichen Hefe wurde die OZR des hefetrüben Weins um die OZR der filtrierten Referenz gemindert. Aus dem Verhältnis beider Werte ergaben sich die prozentualen Anteile des Sauerstoffs, welche durch die Hefe gezehrt wurden oder in chemi-

Abbildung 3: Gesamte Sauerstoffzehrungskapazität suspendierter Hefezellen in Modelllösung zu 200 NTU einen Monat nach Gärung
Temperatur = 20 °C; Fehlerindikatoren entsprechen einer Standardabweichung von ± 10%



sche Reaktionen mit Weinhaltstoffen eingehen. Die Hefekonzentrationen in den Weinen schwankten zwischen 8 und 310 NTU und ihr Alter (Wochen nach Gärung) zwischen 2 und 26 Wochen; die anfängliche freie SO₂ der Weine betrug 0 bis 57 mg/l.

Der durch die Hefe gezehrte Prozentanteil gelösten Sauerstoffs schwankte zwischen 0 und 91%. Der verbliebene Anteil ging zwangsläufig in chemische Reaktionen mit der Weinmatrix ein. Tendenziell bestätigte sich der in Modelllösung gezeigte Einfluss von freier SO₂ (R² = 0,43), Lagerdauer (R² = 0,53) und Hefekonzentration, ohne jedoch statistische Signifikanz zu erreichen.

Die Kombination und Interaktion der verschiedenen Variablen erlaubt keine statistisch zuverlässige Aussage darüber, wie viel Prozent des im Wein gelösten Sauerstoffs von der Hefe gezehrt werden. Diese Aussage wird weiter erschwert durch die von Wein zu Wein schwankende chemische Bindungsrate des gelösten Sauerstoffs. Aus diesem Grund müssen Weine ohne freie SO₂, die ausschließlich durch Hefe reduktiv gehalten werden sollen, sorgfältig auf den Beginn einer Oxidation überwacht werden.

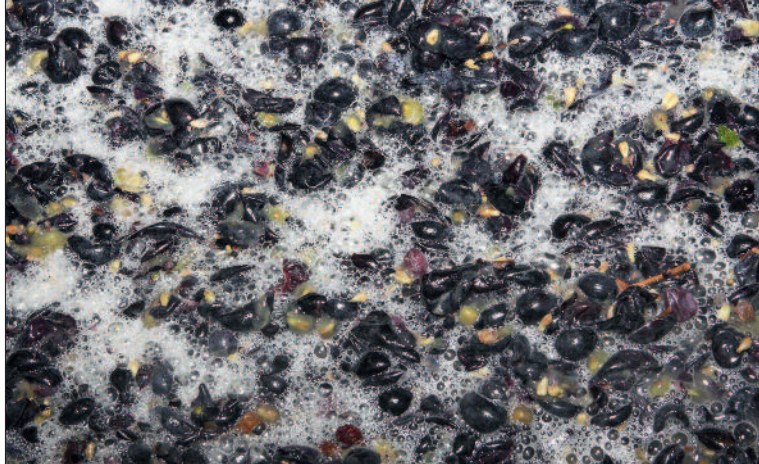
BILDUNG VON ACETALDEHYD

In den 24 vorgenannten Weinpaaren (filtriert vs. unfiltriert) wurde der Acetaldehyd nach vollständiger Zehrung des Sauerstoffs enzymatisch ermittelt. Die Unterschiede zwischen filtrierten und unfiltrierten Varianten waren nicht signifikant und überschritten ± 3 mg/l Acetaldehyd in keinem Fall. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zehrung von bis zu 7,5 mg/l O₂ durch postfermentative Hefe nicht zu Lasten des Acetaldehydgehaltes und des daraus resultierenden SO₂-Bedarfs geht. Sie bestätigen weiterhin, dass der Sauerstoff nicht über den Atmungsstoffwechsel, sondern zur Oxidation membrangebundener Lipide der toten Hefezellen verbraucht wird.

Tabelle 2: Einfluss der Temperatur auf die Sauerstoffzehrungsrate (mg/l/h O₂) postfermentativer Hefe unterschiedlicher Stämme in Modelllösung

Ernte und Vermessung der Hefen innerhalb zwei Wochen nach Gärung; freie SO₂ = 0 mg/l; Hefekonzentration = 200 NTU; Mittelwerte aus zwei Einzelmessungen

Hefestamm	Temperatur		
	5 °C	15 °C	20 °C
A	0,32	0,47	0,51
B	0,03	0,04	0,05
C	0,14	0,19	0,24
D	0,02	0,05	0,10
E	0,57	0,61	0,71
F	0,59	0,78	0,83
Mittelwert über alle Hefen	0,28	0,36	0,41
% bezogen auf 20 °C	68,30	87,80	100,00



Maischegärung bei Rotwein.

Foto: imago/Westend61

OENOLOGISCHE KONSEQUENZEN IN WEISSWEIN

In unfiltrierten Weinen sind praxisübliche Konzentrationen von postfermentativer Hefe in der Lage, mehrere Sättigungskonzentrationen von Sauerstoff zu zehren. Während kellertechnischen Behandlungsmaßnahmen nehmen Weine variable Sauerstoffmengen von jeweils 0,5 bis 4,0 mg/l O₂ pro Behandlung auf (7). Zusätzlich können kumulative Effekte und eine unkontrollierte Sauerstoffaufnahme während der Lagerung über die Weinoberfläche auftreten.

In filtrierten Weißweinen geht die Umsetzung von 10 mg/l O₂ deutlich zu Lasten der Fruchtaromatik (8). Von dem im Wein gelösten Sauerstoff vermag die nach der Gärung verbliebene Feinhefe unter typischen Bedingungen 0,5 bis 1,0 mg/l pro Stunde zu zehren. Sie ist jedoch nicht in der Lage, die Gesamtheit gelösten Sauerstoffs zu verarbeiten, weil gleichzeitig ein Teil davon eine chemische Bindung mit oxidierbaren Weininhaltsstoffen eingeht. Beide Reaktionen verhalten sich kompetitiv (10).

Je höher die Geschwindigkeit, mit der Sauerstoff durch Hefe gezehrt wird, desto weniger Sauerstoff steht zur Oxidation der Weinmatrix zur Verfügung. Diese Geschwindigkeit ist abhängig vom Hefestamm. Sie nimmt mit der Hefemenge zu, mindert sich leicht während der Lagerung und sogar erheblich durch SO₂. Bei Gehalten von über 20 mg/l freier SO₂ wird sie annähernd bedeutungslos. Daher können die reduktiven Effekte von Feinhefe und SO₂ nicht additiv genutzt werden. Bei den im deutschsprachigen Raum üblichen Gehalten an freier SO₂ in Weißwein, meist über 30 mg/l, scheidet die Sauerstoffzehrung durch Feinhefe als Oxidationsschutz aus.

Da die Sauerstoffzehrung durch Feinhefe am stärksten bei niedrigen Gehalten an freier SO₂ oder deren völliger Abwesenheit ausgeprägt ist, wird sie zu einem wertvollen oenologischen Instrument beim Ausbau von Weinen ohne SO₂-Zusatz. Diese SO₂-Abhängigkeit erklärt weiterhin, warum der traditionelle Ausbau von Weißwein unter den semi-oxidativen Bedingungen in Holz mit geringen SO₂-Gehalten und hohen Mengen periodisch aufgerührter Hefe stattfindet. Hohe Gehalte an freier SO₂ von in Holz gelagerten Weißweinen hemmen die oxidative Alterung weniger als die Anwesenheit von in Schwebe befindlicher Hefe.

OENOLOGISCHE KONSEQUENZEN IN ROTWEIN

Unter vergleichbaren Bedingungen beträgt die Sauerstoffzehrung durch Hefe in Rotwein nur ca. 80% von der in Weißwein (Tabelle 3). Dies tut der

Tatsache keinen Abbruch, dass auch in Rotwein die Feinhefe wesentlich am Sauerstoff partizipiert, wenn dieser aktiv oder passiv zugeführt wird. Unter diesen Bedingungen konkurriert sie mit dem Tannin um den verfügbaren

Sauerstoff und hemmt so den Reifeprozess junger Rotweine (5, 9). Dieses Verhalten erklärt, warum trübe, junge Rotweine mehr Sauerstoff benötigen und vertragen als nach ihrer Klärung. Es erklärt weiterhin, warum der aktuelle Hefegehalt während der Micro-Oxygenierung von Rotweinen eine relevante technische Variable ist. Dieses Verfahren erfordert die Zufuhr höchst variabler Mengen an Sauerstoff und ist nicht frei von Empirie auch deshalb, weil in der Praxis die Sauerstoffzehrung durch Hefe unbekannt ist. Es drängen sich weiterführende Untersuchungen auf zur Klärung der Frage, wie stark die kombinierte Biomasse aus Hefen und Bakterien in Rotweinen nach dem BSA an dem zugeführten Sauerstoff partizipiert und welcher Anteil davon effektiv im Sinne der Zielsetzung mit dem Tannin zur chemischen Reaktion kommt.

Die Evaluierung der Hefekonzentration mittels Trübungsmessung in NTU-Einheiten scheidet in Rotweinen aufgrund der starken Störung durch Fremdpartikel und Bakterien nach dem BSA aus. Sie ist jedoch ein wertvolles Instrument zur einfachen Quantifizierung der Feinhefe in Weißweinen ohne BSA, sofern diese aus mit Bentonit geschönnten und scharf vorgeklärten (< 50 NTU Resttrub) Mosten gewonnen wurden (10).

ZUSAMMENFASSUNG

Die nach der Gärung in Suspension befindliche Feinhefe besteht in Weißweinen überwiegend aus toten Hefezellen. Diese sind zur direkten Zehrung eines variablen Anteils des von dem durch den Wein aufgenommenen Sauerstoffs befähigt. Der Sauerstoff wird in den Hefen zur Oxidation von membrangebundenen Lipiden verwertet und so der Reaktion mit Weininhaltsstoffen entzogen. Dieser reduktive Effekt endet mit der Filtration, ist von diversen oenologischen Faktoren abhängig

und wird bei Gehalten von über 20 mg/l freier SO₂ stark eingeschränkt. Er ist von besonderem Interesse beim Ausbau von Weißwein in Holz und bei der Oxygenierung von Rotwein. Die direkte Sauerstoffzehrung durch Hefe und die in Deutschland üblichen, relativ hohen Gehalte freier SO₂ in Weißwein können jedoch nicht komplementär gegen oxidative Alterung genutzt werden. Der Oxidationsschutz durch reduzierende Aminosäuren, welche während der Lagerung auf der Hefe an den Wein abgegeben werden (Teil 1), ergänzt die direkte Sauerstoffzehrung durch Hefe und kommt nicht durch Filtration oder SO₂ zum Abbruch.

Literatur

1. Fornairon C. P., Mazauric J. P., Salmon J.-M., Moutounet M. (1999): Observations sur la consommation de l'oxygène pendant l'élevage des vins sur lies. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 33 (2), 79-86.
2. Salmon J.-M., Fornairon-Bonnefond C., Mazauric J.-P., Moutounet M. (2000): Oxygen consumption by wine lees: Impact on lees integrity during wine ageing. *Food Chem.* 71 (4), 519-528.
3. Rosenfeld E., Beauvoit B., Rigoulet M., Salmon J.-M. (2002): Non-respiratory oxygen consumption pathways in anaerobically-grown *Saccharomyces cerevisiae*: evidence and partial characterization. *Yeast* 19 (15), 1299-1321.
4. Fornairon-Bonnefond C., Salmon J.-M. (2003): The impact of oxygen consumption by yeast lees on the autolysis phenomenon during simulation of wine aging on lees. *J. Agric. Food Chem.* 51 (9), 2584-2590.
5. Salmon J.-M. (2006): Interactions between yeast, oxygen and polyphenols during alcoholic fermentations: Practical implications. *Food Sci. Technol.* 39 (9), 959-965.
6. Stier T. J. B. (1933): The rate of oxygen utilization by yeast as related to temperature. *J. Gen. Physiol.* 16 (5), 815-840.
7. Calderón J. F., del Alamo-Sanza M., Nevares I., Laurie V. F. (2014): The influence of selected winemaking equipment and operations on the concentration of dissolved oxygen in wines. *Cien. Inv. Agr.* 41 (2), 273-280.
8. Schneider V. (2013): Sauerstoffaufnahme und seine Konsequenzen. *Der Winzer* 11, 8-14.
9. Vivas N.: *Théorie et pratique de l'élevage des vins rouges*. Éditions Féret, Bordeaux 2014.
10. Schneider V., Müller J., Schmidt D. (2016): Oxygen consumption by postfermentation yeast lees: Factors affecting its rate and extent under oenological conditions. *Food Technol. Biotechnol.* 54 (4): 395-402. ■

Tabelle 3: Einfluss der Weinmatrix auf die Sauerstoffbindungsrate (mg/l/h O₂) postfermentativer Hefen unterschiedlicher Stämme und Konzentrationen in realen Weinen

Daten korrigiert um die chemische Sauerstoffbindung durch Weinmatrix; freie SO₂ = 0 mg/l; Temperatur = 20 °C; Vermessung der Hefen zwei Monate nach Gärung; Mittelwerte aus zwei Einzelmessungen

Hefestamm	Weinart	Hefekonzentration				
		50 NTU	100 NTU	200 NTU	300 NTU	400 NTU
Hefe C	Weißwein	0,53	0,80	1,21	1,48	1,94
	Rotwein A	0,50	0,73	1,14	1,49	1,62
Hefe B	Weißwein	0,65	1,12	1,14	1,14	1,14
	Rotwein B	0,47	0,64	0,63	0,64	0,66
Hefe F	Weißwein	0,14	0,18	0,28	0,36	0,38
	Rotwein C	0,10	0,14	0,26	0,35	0,38