

Die Wirkung von Sauerstoff auf die Gärung

Volker Schneider, Schneider-Oenologie, D-55411 Bingen

Gärung und Sauerstoff erscheinen vordergründig als zwei entgegengesetzte Extreme. Zu lange ist bekannt, dass die alkoholische Gärung als anaerober Vorgang ohne Luft ablaufen kann. Zeitweilig wurde dem Sauerstoff sogar ein negativer Einfluss auf die Gärung nachgesagt. Die Pasteur'sche Definition der Gärung als "Leben ohne Luft", im Gegensatz zur Atmung, und eine mangelhafte Interpretation dieses Postulats haben dazu geführt, dass man den gärenden Most vor Luft schützte. Äußeres Kennzeichen dieser Bemühungen sind die Gärverschlüsse mit ihrer Sperrflüssigkeit.

Nachdem Louis Pasteur fast eineinhalb Jahrhunderte zitiert wurde, um simplifizierte Gemeinplätze zu rechtfertigen, liest sich eine seiner wesentlichen Aussagen in wörtlicher Übersetzung so: "Es erscheint offensichtlich, dass Sauerstoff nötig ist, um die Gärung einzuleiten, aber keineswegs um sie fortzuführen. Die Hefe benötigt Sauerstoff, um vom Zustand eines Keimes zur Form der erwachsenen Zelle überzugehen, die anschließend zur Vermehrung durch Knospung außerhalb jeglichen Einflusses dieses Gases befähigt ist" (4).

Diese Erkenntnisse wurden in der Getränkeindustrie zuerst bei der Herstellung von Bier umgesetzt. Im Brauwesen ist seit langem bekannt, dass bei vollständiger Abwesenheit von Sauerstoff die Hefe nur zu einem einzigen Gärzyklus in der Lage ist. Deshalb wird die Würze nach dem Beimpfen mit Hefe belüftet. Dank dieses Belüftens kann die gleiche Hefe für mehrere Gärzyklen benutzt werden, bevor sie durch einen frischen Ansatz ersetzt werden muss.

Allein die Anwesenheit von Sauerstoff genügt jedoch keineswegs, um den Stoffwechsel der Hefe von Gärung auf Atmung umschlagen zu lassen. In Wirklichkeit bestimmt die Wechselwirkung von Zuckerkonzentration und Sauerstoff, ob der Stoffwechsel nach Atmung oder Gärung tendiert, wie aus Tabelle 1 hervorgeht. Unter den Bedingungen eines zuckerreichen Mediums wie Traubenmost ermöglicht der Sauerstoff bestenfalls einen unterschweligen Atmungsstoffwechsel. Er führt zu einem besseren Hefewachstum und einer höheren Gäraktivität der Hefepopulation.

Tab. 1: Regulierung des Stoffwechsel von *Saccharomyces cerevisiae* durch Sauerstoff und Zuckerkonzentration; nach Strehaiano (12).

Glucose, g/L	1-5	150	> 150
+ Sauerstoff	Atmung, Pasteur-Effekt	aktivierte Gärung	beginnende Hemmung von Atmungs- und Gärungsstoffwechsel durch Substrat
- Sauerstoff	Gärung	gehemmte Gärung	

Wachstumszyklus der Hefe

Während der alkoholischen Gärung kann man drei Phasen im Lebenszyklus der Hefe beobachten:

- Eine Phase der Vermehrung unter Bildung von fünf bis sechs Tochtergenerationen, die bei 10^7 bis 10^8 Zellen zum Stillstand kommt.
- Eine stationäre Phase während der sogenannten Hauptgärung, während der die Anzahl lebender Zellen konstant bleibt.
- Eine ausklingende Phase, in der Lebendzellzahl und Zuckerumsatz abnehmen.

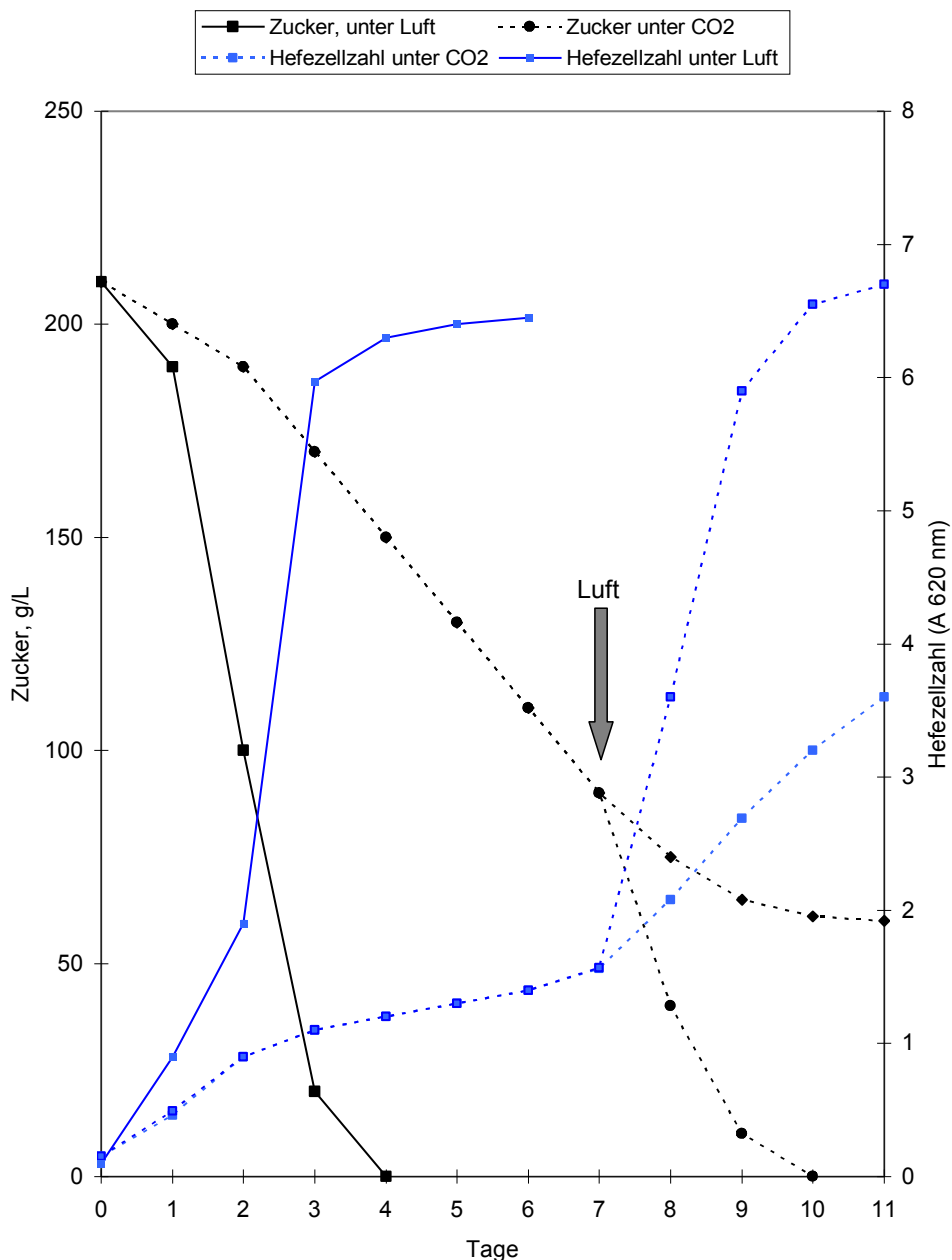
Einer großer Teil des Zuckers wird in der ausklingenden Phase vergoren, nachdem die Lebendzellzahl bereits ihr Maximum überschritten hat. Von den verbliebenen lebenden Zellen wird nun eine höhere

Leistung verlangt, obwohl ihre Gäraktivität bereits im Abnehmen begriffen ist. Daher kommt ihrem physiologischen Zustand eine erhebliche Bedeutung in der abklingenden Gärung zu. Eine hohe Le-
 bendzellzahl genügt allein nicht, um die Gärung zu Abschluss zu bringen. Zur Erzielung trockener
 Weine ist es vielmehr wichtig, während der Vermehrungsphase die Wachstumsbedingungen so zu ge-
 gestalten, dass die Menge und die Vitalität der Biomasse ausreichen, um den Zucker vollständig zu ver-
 gären. Dabei kommt dem Sauerstoff eine entscheidende Rolle zu. Im Folgenden wird gezeigt, wie sei-
 ne Verfügbarkeit über das Gärverhalten der Hefe und den Endvergärungsgrad entscheidet.

Sauerstoffaufnahme über die Oberfläche

In einem ersten Versuch wurde untersucht, ob gärende Moste über ihre Oberfläche atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen können, der für die Hefe verwertbar ist. Abb. 1 zeigt die Gärkinetik eines Trau-
 bensaftes im Labormaßstab, der a) unter Luft und b) unter permanenter Spülung des Kopfraums mit
 exogener Kohlensäure vergoren wurde.

Abb. 1: Zuckerbau und Entwicklung der Hefezellzahl bei der Gärung unter Luft bzw. Inertgasatmosphäre (500 mL, 20° C, 20 g/hL Reinzuchthefer).



Die Vergärung unter Luft führte zu einer raschen Vermehrung der Hefe und entsprechend zügiger Endvergärung, während die Vergärung unter Luftabschluss (CO₂-Spülung) sowohl das Hefewachstum als auch die Gärgeschwindigkeit um ein Vielfaches verringerte. Nach einer Woche schleppender Gärung unter Inertgas-Atmosphäre führte eine Spülung des Kopfraums mit Luft zu einem rapiden Anwachsen der Biomasse auf das Niveau der reinen Luft-Variante. Dabei wurde die Gärung nachträglich beschleunigt und in drei Tagen zum Abschluss gebracht.

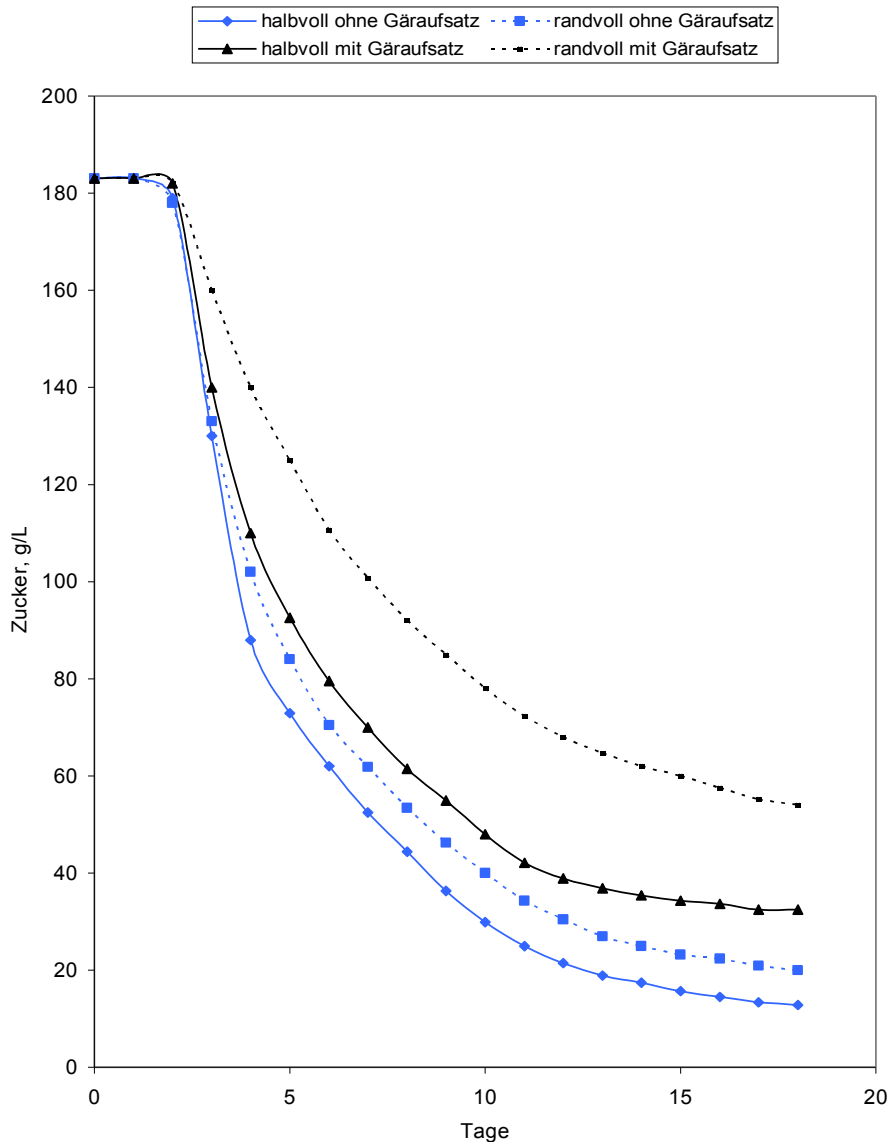
In Gärung befindliche Moste können über ihre Oberfläche atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen, der im Gärgebilde verteilt wird. Die entbindende Gärungskohlensäure genügt nicht, um den Sauerstoff vollständig aus dem Kopfraum auszuspülen und absolut inerte Bedingungen herzustellen.

Einfluss von Gärspund und Füllhöhe in der Praxis

Die Sauerstoffaufnahme pro Liter Most, wie sie aus dem Kopfraum erfolgen kann, hängt zwangsläufig von dem Verhältnis der Oberfläche zum Flüssigkeitsvolumen ab. Daher wurde der Begriff der spezifischen Oberfläche eingeführt, ausgedrückt in cm²/L. Mit zunehmendem Mostvolumen nimmt die spezifische Oberfläche ab. Im Folgenden wurde untersucht, wie Mostoberfläche und Gärverschlüsse den Gärverlauf im praktischen Kellerbetrieb beeinflussen.

Ein auf 50 NTU Resttrub vorgeklärter Riesling-Most mit 183 g/L Zucker wurde bei vergleichbarer Temperatur ($14 \pm 0,5^\circ \text{C}$) in vier Tanks zu à 300 L vergoren. Die vier Varianten waren halbvoll und randvoll jeweils mit und ohne Gäraufsatz. Abb. 2 erläutert die Ergebnisse.

Abb. 2: Einfluss der Luftzufuhr, differenziert durch Füllgrad und Gäraufsatz, auf Gärkinetik und Endvergärungsgrad.



Es bestätigen sich die im Labormaßstab gemachten Erfahrungen. Die randvolle Variante mit Gäraufsatz vergärte am langsamsten und mit dem schlechtesten Endvergärungsgrad, da keine Möglichkeit des Sauerstoffzutritts über die Oberfläche gegeben war. Mehr als doppelt so schnell und als einzige fast vollständig verlief die Gärung bei einer Teilbefüllung ohne Gärabschluss. Hier war die Möglichkeit der Sauerstoffaufnahme über die Oberfläche am größten. Die beiden anderen Varianten nahmen eine mittlere Position ein.

Es wird offensichtlich, dass während der Gärung auch im technischen Maßstab noch geringe Mengen an Sauerstoff im Kopfraum vorliegen, die nicht durch die Kohlensäure ausgewaschen werden und für die Hefe verwertbar sind. Dieser Effekt verstärkt sich bei Verzicht auf Gärverschluss. Grundsätzlich vergoren die Varianten ohne Gäraufsatz, sei es randvoll oder halbvoll, schneller und weiter als die mit Gäraufsatz.

Tabelle 2 zeigt ergänzende analytische Daten. Die im gärenden Most vorliegende Kohlensäure war in allen Varianten nahezu identisch und trug somit nicht zur Differenzierung der Gärkinetik bei.

Die Akkumulation von Acetaldehyd in der unter Luftabschluss vergorenen Variante ist ein typisches Problem aller gehemmten Gärungen, welches schließlich zu Lasten des SO₂-Bedarfs geht.

Der durch die Hefe assimilierbare Stickstoff (FAN), welcher nach der Gärung ungenutzt verbleibt, ist um so höher, je weitgehender der Luftabschluss ist. Unter den Bedingungen einer optimalen Sauerstoffversorgung kann die Hefe den vorhandenen Stickstoff besser verwerten, was seinerseits die Zellvermehrung fördert (8). Die erhöhte FAN-Aufnahme der Hefe kann durch die zusätzliche Verstoffwechslung von Prolin erklärt werden, wenn Sauerstoff verfügbar ist. Prolin ist mengenmäßig die wichtigste Aminosäure im Traubenmost. Unter klassischen, mehr oder weniger anaeroben Bedingungen kann sie von der Hefe nicht verwertet werden. Ein erhebliches FAN-Potenzial wird so vergeben. Erst die Anwesenheit von Sauerstoff induziert die Synthese jener Enzyme, die die Hefe zum Abbau des Prolins befähigen. Damit kann der für die Hefe zugängliche FAN-Pool erweitert werden.

Tab. 2: Einfluss von Gäraufsatz und Befüllungsgrad auf Acetaldehyd, Kohlensäure und FAN-Verbrauch.				
Variante	spezifische Oberfläche (cm ² /L)	CO ₂ , g/L nach 5 Tagen	FAN nach Gärung (% vom Ausgangsgehalt)	Acetaldehyd (mg/L) nach Gärunde
halbvoll mit Gäraufsatz	2,4	3,5	32	18
halbvoll ohne Gäraufsatz	8,2	3,3	21	16
randvoll ohne Gäraufsatz	1,7	3,3	32	13
randvoll mit Gäraufsatz	2,0	3,2	37	72

Sauerstoffbedarf der Hefe

Die Sauerstoffmenge, die eine im Most heranwachsende Hefe zu einer reibungslosen Endvergärung benötigt, wird auf 5-10 mg/L O₂ beziffert (7, 8), wobei eine gewisse Abhängigkeit vom Hefestamm zu beobachten ist (3). Darüber hinaus kann die Hefe ungleich größere Mengen verarbeiten (5, 11), die gärungsphysiologisch irrelevant bleiben. Die starke Sauerstoffzehrung durch die Hefe ist eine der Gründe, warum während der aktiven Zufuhr von Sauerstoff zu einem gärenden Most keine Akkumulation von gelösten Sauerstoff in der Flüssigkeit nachzuweisen ist. Oxidationsschäden werden so vermieden.

Die passive Sauerstoffzufuhr über die Oberfläche ist durchaus geeignet, den biologischen Sauerstoffbedarf der Hefe in kleinen Gärbehältern zu befriedigen. Die Konvektion des gärenden Mostes genügt, um den eindiffundierenden Sauerstoff im gesamten Gebindeinhalt zu verteilen. Größere Gärgebilde erfordern jedoch eine aktive Sauerstoffzufuhr.

Aktive Sauerstoffzufuhr

Bei der aktiven Versorgung gärender Moste mit Luft oder reinem Sauerstoff, wie sie technisch durch Umpumpen über Luft, mittels einer Fritte oder über eine Begasungseinheit im Durchfluss vorgenommen werden kann, muss unterschieden werden zwischen der Menge des zugeführten Sauerstoffs und dem in der Flüssigkeit verbleibenden Anteil. Die zwangsläufig eintretende CO₂-Entbindung führt zu einer unkontrollierten Auswaschung eines großen Teils des Sauerstoffs, bevor ihn die Hefe aufnehmen kann. Im Rahmen der klassischen, handwerklichen Möglichkeiten muss deshalb mit einem vielfachen Überschuss gearbeitet werden, wobei dieser Überschuss wirkungslos entweicht.

Bei Einsatz einer feinporigen Fritte hat sich für die im Winzerbetrieb üblichen Gebindegrößen eine Begasung mit reinem Sauerstoff während 10 bis 15 Minuten bewährt. Eine exakte Bemessung der Gasmenge ist aufgrund der unkalkulierbaren Verluste überflüssig. Der maximale Gasfluss, an der Druckarmatur zu regulieren, muss sich an der im Most erzeugten Turbulenz orientieren. Es empfiehlt sich, den Gasstrom vorgängig mittels Sichtkontakt anhand eines Eimers mit Wasser zu optimieren. In der Tat ist der Vorgang sorgfältig zu überwachen, um bei drohendem Übersäumen die Gaszufuhr rechtzeitig drosseln zu können. Daher erfordert dieses Verfahren einige Sorgfalt.

Für den verwendeten Sauerstoff genügt technische Qualität, wie sie auch beim autogenen Schweißen Anwendung findet. Druckluft ist ungeeignet, da der darin enthaltene Stickstoffanteil ein Übersäumen geradezu provoziert.

Unter praktischen Gesichtspunkten sind alle diese Techniken nicht völlig befriedigend und erfordern einen hohen Kontrollaufwand. Erst seit der Einführung von Anlagen zur Mikrooxygenierung ist es möglich, die geringen Mengen Sauerstoff problemlos und verlustfrei zu dosieren.

Die Sauerstoffzufuhr durch Umpumpen ist bei weißen Mosten wenig beliebt, weil sie im Nebeneffekt zur Abreicherung leicht flüchtiger Aromastoffe durch Verdunstung führt. Anders sieht die Situation bei der Maischegärung von Rotwein aus. Dort wird traditionell die Remontage eingesetzt, um die Maische zu homogenisieren und dadurch eine bessere Extraktion von Tanninen und Anthocyanen zu erzielen. Zusätzlich wird bei diesem Vorgehen atmosphärischer Sauerstoff zugeführt. Ein Teil davon reagiert mit dem Tannin und fördert so die Bildung polymerer Farbpigmente, während ein anderer Teil zur Versorgung der Hefe bereitsteht.

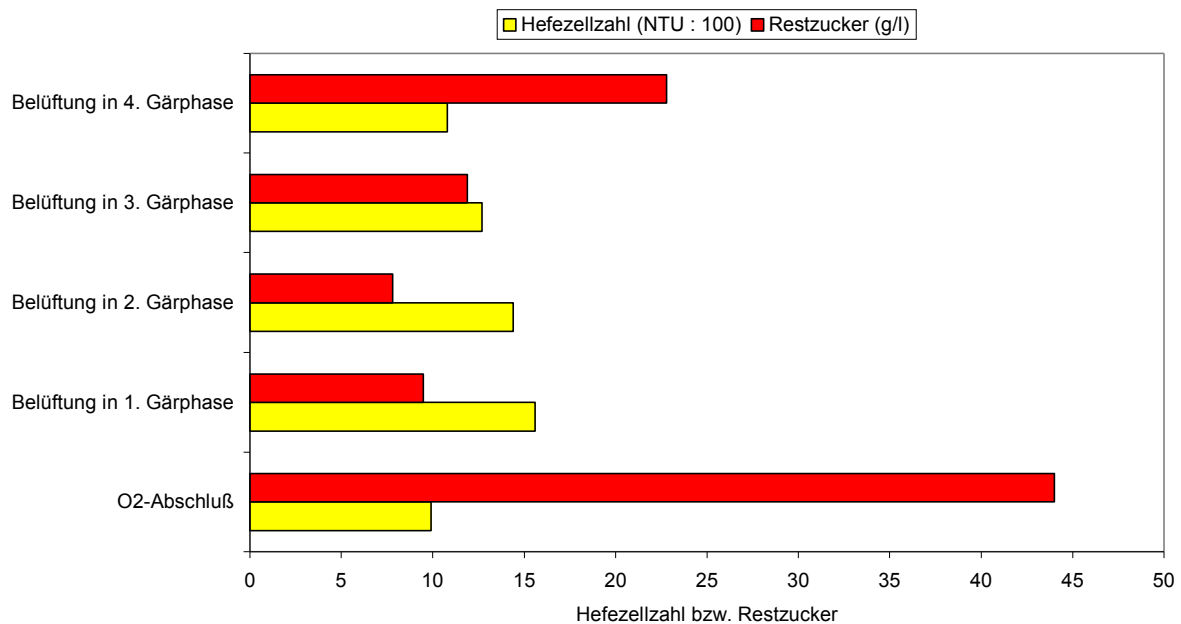
Zeitpunkt der Sauerstoffdosage

Die aktive Sauerstoffversorgung des gärenden Mostes wirft unabhängig von der eingesetzten Technik die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt auf. Dazu wurden vier Gäransätze – zwei Hefen zu 20 g/hL in je zwei Mosten – in verschiedenen Gärphasen während 15 Minuten mit Luft (40 L/h pro Liter Most) begast.

Abbildung 3 zeigt, dass der Endvergärungsgrad nahezu proportional mit der erreichten Hefezellzahl zunimmt. Den höchsten Restzuckergehalt behielt die unter Sauerstoffabschluss vergorene Variante. Die Belüftung erweist sich am wirkungsvollsten in der zweiten Gärphase, wenn knapp 50 % des Zuckers vergoren sind. Dies ist die Phase, in der die Hefe bereits weitgehend ausgewachsen ist. Der Sauerstoff wirkt nun auf die maximal vorliegende Zellzahl. Er regt sie zu weiterer Vermehrung an und verbessert ihre Leistungsfähigkeit. In den späteren Gärphase ist die Hefe in ihrem biochemischen Status bereits weitgehend festgelegt, sodass sie den Sauerstoff weniger effektiv umsetzt. Zur Reaktivierung steckengebliebener Gärungen ist eine Belüftung sogar weitgehend wirkungslos.

Ähnliches gilt für den Gärstart. Während der Angärphase liegt noch nicht genügend Hefe vor, auf die der Sauerstoff wirken könnte. Während der Mostverarbeitung aufgenommener Sauerstoff ist gärungsphysiologisch gar wirkungslos, weil er vor Eintritt der Gärung enzymatisch an Phenole gebunden wird. Er ist vollständig verschwunden, wenn das Hefewachstum einsetzt. Bei der Mostoxidation und der Sauerstoffzufuhr während der Gärung handelt es sich um zwei völlig unterschiedliche Anwendungsgebiete von Sauerstoff mit ebenso unterschiedlichen Zielen.

Abb 3: Einfluß der Belüftung gärender Moste auf Hefezellzahl und Endvergärungsgrad in Abhängigkeit von der Gärphase. Mittelwerte aus zwei Hefen in zwei Mosten.

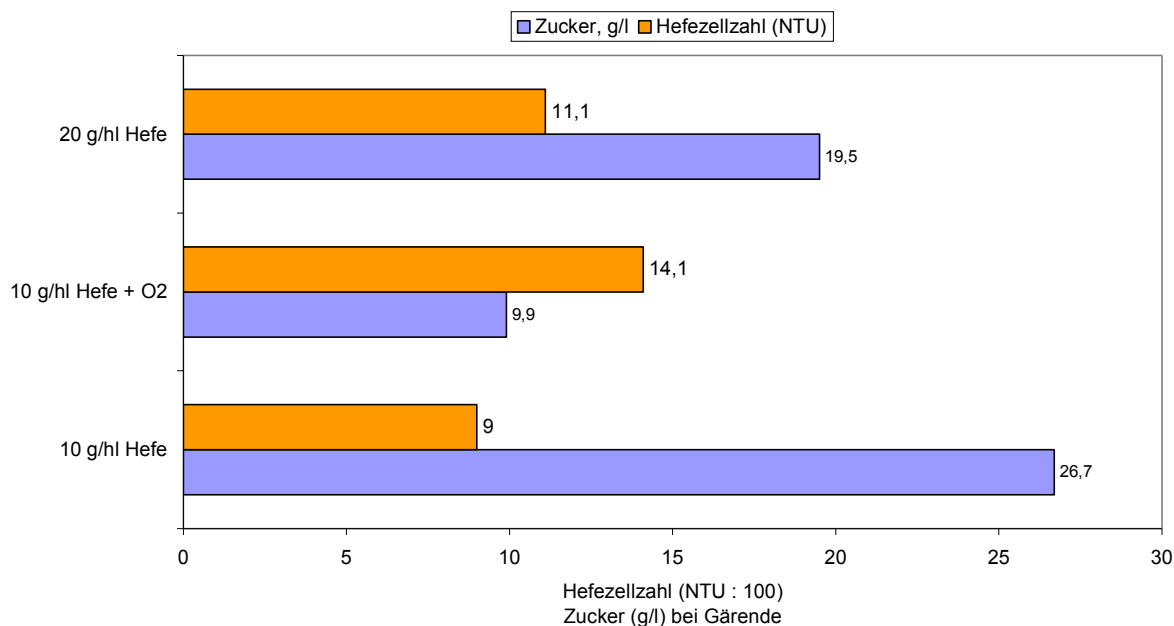


Hefedosage versus Belüftung

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen stellt sich die Frage, ob eine Verbesserung des Endvergärungsgrades, wie sie durch Sauerstoffzufuhr erreicht wird, nicht auch einfacher durch die Beimpfung mit einer höheren Hefe-Einsaatmenge erzielt werden kann. Vor diesem Hintergrund wurde ein Most mit je 10 und 20 g/hL Reinzuchthefer beimpft, wobei die 10 g/hL-Variante mit als auch ohne Belüftung vergoren wurde.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass die Verdoppelung der Einsaatmenge von 10 auf 20 g/hL nur eine um 57 % erhöhte Zellzahl bei Gärende ergab. Mit zunehmender Einsaat sinkt die Vermehrungsrate. Die höchste Hefezellzahl und der beste Endvergärungsgrad wurden hingegen in der mit 10 g/hL beimpften Variante erzielt, die zusätzlich belüftet wurde. Daraus ergibt sich für die Praxis, dass zur Erzielung trockener Weine die optimale Sauerstoffversorgung wichtiger ist als die Hefedosage ist.

Abb. 4: Endvergärungsgrad in Abhängigkeit von Hefe-Einsatzmenge und Sauerstoffdosage bei Gärstart.



Additive Effekte mit Gärnsalz

Das durch den Sauerstoff stimulierte Hefewachstum wird nicht automatisch von einer entsprechenden Erhöhung des Angebotes an FAN begleitet. Allein die zusätzliche Verwertung von Prolin vermag das entstehende FAN-Defizit nicht immer auszugleichen. In der Folge gerät die einzelne Hefezelle unter stärkeren Stickstoffstress. Dieser induziert die Bildung flüchtiger Schwefelverbindungen. So ist zu erklären, dass die Sauerstoffbehandlung gärender Moste die Bildung von Bockern fördert, sofern es sich um Moste mit geringer FAN-Versorgung handelt (10). Deshalb hat sich die Sauerstoffgabe in Verbindung mit einer gleichzeitigen Dosage von Ammoniumstickstoff in Form von einfachem Gärnsalz (DAP) als optimales Vorgehen erwiesen (8). In Hinblick auf die Gärdauer bis zur vollständigen Endvergärung verhalten sich die Effekte von Sauerstoff und Stickstoff weitgehend additiv. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, sprechen dabei einige Moste stärker auf Gärnsalz und andere stärker auf Sauerstoff an.

Tab. 3: Verkürzung der Gärdauer (%) in Abhängigkeit von der Behandlung mit Sauerstoff (O₂) und Stickstoff (30 g/hL DAP) allein und in Kombination.

Most	+ DAP	+ O ₂	+ DAP + O ₂
1	27	8	36
2	18	9	32
3	22	23	46
4	13	34	50
5	14	23	46
6	21	50	61

Der Begriff der Überlebensfaktoren

Sauerstoff fördert die Vergärung nicht nur, weil er das Hefewachstum anregt. Er verbessert darüber hinaus die Leistungsfähigkeit jeder einzelnen Hefezelle. Dies kommt besonders in der kritischen Endphase der Gärung zum Tragen. Der Begriff der Überlebensfaktoren erklärt die Hintergründe.

Wird einer Hefekultur molekularer Sauerstoff zur Verfügung gestellt, führt er zur Biosynthese von ungesättigten Fettsäuren und Sterolen. Diese Verbindungen finden sich hauptsächlich in der Zellmembran und sind verantwortlich für die Aktivität membrangebundener Enzyme, die Durchlässigkeit der Membran und die Alkoholtoleranz. Sie steuern die Aufnahme des Zuckers durch die Zellmembran ins Zellinnere. Dort wird der Zucker zu Alkohol umgesetzt. Der Alkohol wird in die umgebende Flüssigkeit ausgeschieden. Ist gegen Ende der Gärung der Sterolgehalt der Zellen verbraucht, kommt es zum Zusammenbruch des Zuckertransports durch die Zellmembran. Im Zellinnern ist dann kein Zucker mehr zu finden, und die Gärung kommt zum Stillstand (9).

Vermehrt sich eine Hefe ohne Sauerstoff, werden die in der Zellmembran der Mutterzelle verfügbaren Sterole auf die Tochterzellen verteilt, sodass ihre Konzentration pro Zelle zwangsläufig abnimmt. Ab einer gewissen Mindestkonzentration ist keine weitere Zellteilung mehr möglich. Annähernd sechs Generationen sind das Maximum, das eine Hefe erreichen kann, wenn sie zu Beginn der Vermehrung ausreichend mit Sterolen versorgt ist. In industriell vermehrten Reinzuchtheften wird die Ausstattung mit Sterolen durch Belüftung herbeigeführt. Deshalb ist unter den Bedingungen der Reingärung ein geringerer Bedarf für ein Belüften der Moste gegeben als im Falle der Spontangärung (6).

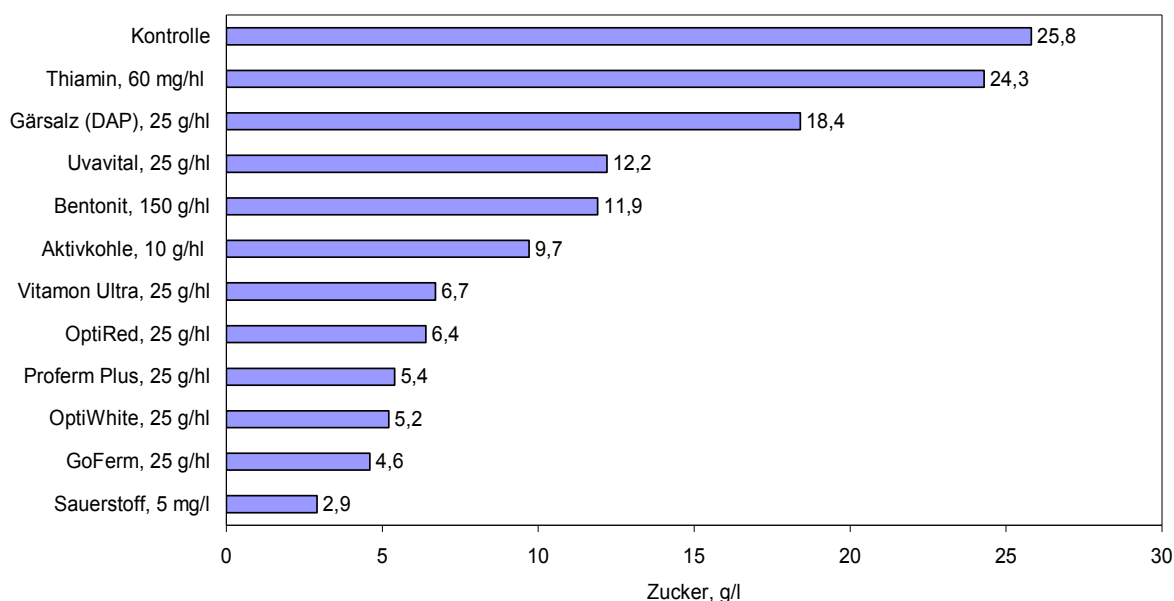
Obwohl die Sterol-Ausstattung der Hefe in spontan gärenden Mosten defizitär ist, wird der daraus resultierende höhere Sauerstoffbedarf von Spontangärungen meist vernachlässigt. Dies rächt sich besonders, wenn spontan herangezogene Hefeansätze zum Beimpfen weiterer Moste benutzt werden. Die mangelnde Sauerstoffversorgung erklärt, warum sich die Erzielung trockener Weine mittels Spontangärung in der Praxis so schwierig gestaltet.

Unter absolut anaeroben Bedingungen kann keine Hefe Sterole synthetisieren. Wenn darüber hinaus das Medium Most zu wenig Sterole enthält, bricht die Gärung zusammen. Ausreichend Sterole in der Hefe sind Voraussetzung für ein anaerobes Wachstum, wie es in den meisten Betrieben erwartet wird. Werden einem Most experimentell Sterole zugesetzt, kommt es nicht unbedingt zu einem stärkeren Hefewachstum, doch wird die Lebendzellzahl in der Endphase der Gärung auf einem vielfach höheren Niveau stabilisiert; der Endvergärungsgrad nimmt zu (2). Daraus geht hervor, dass Sterole keine Wachstumsfaktoren sind, sondern als Überlebensfaktoren die Vitalität der Biomasse verlängern.

Der Begriff der Überlebensfaktoren ist deshalb in der Weinbereitung so wichtig, weil sie die Vergärung der letzten Gramm Zucker kontrollieren. Das Verständnis ihrer Wirkung ist entscheidend zur Erzielung trockener Weine unter schwierigen Gärbedingungen.

Die komplexen Hefenährstoffe auf Basis von Hefezellrinden und Hefeautolysat, aber nicht einfaches Gär Salz, führen dem Most Sterole zu. Abbildung 4 zeigt, dass damit annähernd die gleiche Wirkung auf den Endvergärungsgrad erzielt werden kann wie mit Sauerstoff. In letzter Konsequenz handelt es sich bei diesen Präparaten um einen Ersatz für eine ungenügende Sauerstoffversorgung der Hefe.

Abb. 4: Einfluß von Hefenährstoffen auf den Endvergärungsgrad bei Hefestamm Uvaferm CM.
 Zugabe nach 35 % Vergärung.
 Gärbedingungen: 213 g/l Zucker, 126 mg/l FAN, 15°C, 50 NTU, Inokulationsrate 10 g/hl.



Ein großer Teil der mosteigenen Sterole ist an den Trub gebunden und wird bei der Mostvorklärung mit diesem entfernt. Sterolmangel durch unkontrolliert scharfe Vorklärung, irrational niedrige Temperaturen und eine defizitäre Versorgung der Moste mit Hefe-verwertbarem Stickstoff sind die gängigen Bedingungen, die eine reibungslose Endvergärung erschweren. Meist wirken mehrere Faktoren zusammen. Anhand einer Studie (1) konnte für französische Verhältnisse gezeigt werden, dass die mangelnde Sauerstoffversorgung die häufigste Ursache steckengebliebener Gärungen ist. Unter den gegebenen Bedingungen konnten sie durch eine kombinierte Dosage von Sauerstoff und Stickstoff sicher verhindert werden.

Zusammenfassung

Die Aufnahme geringer Mengen von Sauerstoff durch aktiv gärende Moste führt zu einer deutlichen Verbesserung von Hefewachstum, enzymatischer Ausstattung der Hefe und Gäraktivität in der Endphase der Gärung. Das Durchgären zur Erzielung trockener Weine wird erleichtert und unter schwierigen Gärbedingungen erst ermöglicht. Die nötigen Sauerstoffmengen von 5-10 mg/L können bei der Vergärung kleiner Gebinde aus dem Kopfraum aufgenommen werden, wenn während der Angärphase eine genügend große Oberfläche belassen wird. Gleiche Effekte werden in größeren Gebinden durch eine aktive Zufuhr von Sauerstoff erzielt, zum Beispiel durch Remontage, Fritten oder Anlagen zur Mikrooxygenierung. Der optimale Zeitpunkt liegt nach der Vergärung von 30 bis 50 % des Zuckers vor, wobei sich die gleichzeitige Dosage von Gärsalz empfiehlt. Der im Rahmen der Mostbehandlung zugeführte Sauerstoff ist für die Hefe nicht mehr verfügbar, da er vor Gärstart zur enzymatischen Oxidation von Phenolen verbraucht wird.

Literatur

1. Blateyron, L., Julien, A., Sablayrolles, J.M.: Stuck fermentations: O₂ and nitrogen requirements. Importance of optimizing their addition. In: Inoculation rate and nutritional aspects. Les entretiens scientifiques Lallemand, No. 8, Lallemand S.A., Toulouse 2001, 7-14.
2. Ingledew, W.M., Kunkee, R.E. (1985): Factors influencing sluggish fermentations of grape juice. Am. J. Enol. Vitic., 36, 65-76.

3. Julien, A. et al. : Variabilité des besoins en oxygène et en azote assimilable suivant les souches de levures œnologiques. In : Œnologie 99, 6^e Symposium international d'œnologie, A. Lonvaud-Funel (Coord.). Éditions Tec & Doc, Paris, 2000, 255-258.
4. Pasteur, L.: Études sur le vin, 2^e édition. Librairie F. Savy, Paris 1875. Laffitte Reprints, Marseille 1982.
5. Pfeifer, W. (2000) : Sauerstoffaufnahme bei der Weinbereitung und deren Einfluss auf die Weinqualität. Das Deutsche Weinmagazin, No. 26, 24-27.
6. Ribéreau-Gayon, P. (1985) : New developments in wine microbiology. Am. J. Enol. Vitic., 36, 1-10.
7. Sablayrolles, J.M. (1990): Besoins en oxygène lors des fermentations œnologiques. Revue Fr. d'Œnologie, No. 124, 77-79.
8. Sablayrolles, P., Salmon, J.M., Barre, P. (1996): Carences nutritionnelles des moûts. Efficacité des ajouts combinés d'oxygène et d'azote ammoniacal. Revue Fr. d'Œnologie, No. 159, 25-32.
9. Salmon, J.L. et al. (1993) : Sugar transport inhibition and apparent loss of activity in *S. cerevisiae* as a major limiting factor of enological fermentations. Am. J. Enol. Vitic., 44, 56-64.
10. Schneider, V. (2008) : Strategien gegen den Bockser. I. Einfluss von Hefe, Most und Gärführung. Der Winzer, No. 7, 6-10.
11. Schneider, V. (2005) : Postfermentative Phase : Die Hefe nach der Gärung. Der Winzer, No. 11, 13-18.
12. Strehaiano, P. (1960) : Oxygène et activité des levures. Revue Fr. d'Œnologie, No. 124, 68-71.