DER SAUERSTOFFEINTRAG IN DER WEINBEREITUNG UND SEINE WIRKUNG AUF DIE WEINE
1. TEIL

Michel VALADE, Isabelle TRIBAUT-SOHIER, Denis BUNNER, Clément PIERLOT, Dominique MONCOMBLE, Dominique TUSSEAU
Services Techniques du CIVC

Publizierter Artikel in « Le Vigneron Champenois « - N° 8 – September 2006

Pasteur schrieb 1864 « der Wein wird gemacht, stirbt, mit anderen Worten geht er vom jungen Wein zum alten Wein beinahe ausschließlich durch den Einfluss des Sauerstoffs der Luft über. » Dennoch ist die moderne Oenologie an dem grundlegenden Parameter des Sauerstoffs ein wenig vorbeigegangen. Während der gesamten Herstellungsprozesse erfährt ein Wein verschiedene Sauerstoffeinträge, die zum großen Teil zur Entwicklung organoleptischer Eigenschaften beitragen.

Die unterschiedlichen Quellen des Sauerstoffeintrags

Diese Einträge beginnen schon gleich von der Zerstörung der ganzen Beere an, danach jedes Mal, wenn der Most oder Wein absichtlich oder unabsichtlich der Luft ausgesetzt wird.
Dieser eingebrachte Sauerstoff wird vom Most, vom Wein oder aber auch von den Mikroorganismen, besonders den Hefen, die sich darin entwickeln, aufgenommen.

Im Most erfolgt die Sauerstoffaufnahme im Wesentlichen enzymatisch und läuft sehr schnell ab. Messungen davon sind demnach entsprechend delikat bzw. schwer zu realisieren und die Eintragsmenge schwierig zu quantifizieren. Moutounet et al. (1) haben jedoch aufgezeigt, dass die Menge des konsumierten Sauerstoffs während der Mostvorbereitung immer unterhalb ihrer maximalen Aufnahmekapazität, die in vitro bestimmt wurde, bleibt.

Die Hefen besitzen eine große Aufnahmefähigkeit an Sauerstoff und dies sogar noch mehrere Jahre nach Beendigung der alkoholischen Gärung (2). Sie schützen so den Wein vor Oxydation während den Gärphasen. Die Feinhefe tut dies gleichermaßen unter der Voraussetzung, dass sie Zugang zu diesem Sauerstoff hat, das heißt, wenn sie aufgerührt wird wie bei der Bâtonnage.

In klaren Weinen, also in Abwesenheit von Hefen, sind die Aufnahmen weit langsamer. Sie hängen von der Zusammensetzung des Weines ab, besonders von dem Gehalt an phenolischen Substanzen und von der Temperatur. Wenn sie mit Sauerstoff gesättigt sind, werden, nach der Literatur, einige Tage für Rotweine und mehrere Wochen, sogar einige Monate für Weißweine benötigt, bis dieser Sauerstoff gänzlich aufgenommen wird.

Eine kleine Anzahl von Autoren hat sich im Hinblick auf die verschiedenen Eintragsquellen von Sauerstoff während der Weinbereitung interessiert (3, 4, 5, 6). Nur wenige Artikel hingegen behandeln den Einfluss dieser Eintragsquellen auf die analytischen und sensorischen Eigenschaften der Weine.

In den zuvor zitierten Arbeiten wird die Bilanz des Sauerstoffeintrags am häufigsten bei der Abfüllung auf die Flasche beendet und berücksichtigt dabei nicht den Gasaustausch beim Verkorken. Autoren wie Kahn, Glories, Ribereau-Gayon, bestätigen sogar, dass die Entwicklung der stillen Weine auf der Flasche unabhängig von den Phenomenen der Oxidation ist (7, 8), wenn sich auch ihre Position zu diesem Thema vor sehr kurzer Zeit sehr deutlich weiterentwickelt hat (9).

Tatsächlich misst man nur sehr geringe Werte an Sauerstoff in stillem Wein, der seit einigen Wochen abgefüllt wurde, da jener Sauerstoff, der seit der Abfüllung eingebracht wird, sukzessive vom Wein aufgenommen wird. Anschließend wird der Sauerstoff, der beim Verkorken in die Flasche eindringt in dem Maße vom Wein aufgenommen, wie er in ihn eintritt.

Indessen ist die Menge an Sauerstoff, die seit der Abfüllung und dem Verkorken hinein getreten ist, weit davon entfernt als unbedeutend zu gelten.

Seitdem man die gesamte Bilanz des Sauerstoffeintrags, die dem Wein widerfährt, realisiert hat, konstatiert man, dass diese Arbeitsetappen sogar entscheidend hinsichtlich der überführten Sauerstoffmengen sind, im Besonderen für Lagerweine.

Die Einträge des Sauerstoffs bei der Abfüllung und der Gasaustausch beim Verkorken sind gleichermaßen der Ursprung der Heterogenität zwischen Flaschen der gleichen Losnummer. In der Tat betreffen die Einträge im Fass oder ab diesem Prozess die Gesamtheit des Weines, denn dieser wird nach jeder Etappe homogenisiert (Abstich, Filtration, Kältebehandlung, etc.) Im Fall der Abfüllung und des Verkorkens könnte jede Flasche eine unterschiedliche Zukunft haben, gemäß den Bedingungen, die während der Abfüllung und des Verkorkens vorherrschen. Jeder dieser Arbeitsvorgänge kann tatsächlich die Menge des Sauerstoffs beeinflussen, die ab der Füllung in die Flasche und danach im Laufe seiner Lagerung eintritt und leitet somit unterschiedliche Entwicklungen ein, die auf jede Flasche desselben ursprünglichen Gebindes eine andere Wirkung zeigen. Dieser Aspekt wird im zweiten Teil dieses Artikels angesprochen werden.

Die Messung des Sauerstoffs im Weinkeller

Bis heute waren die Methoden um den Sauerstoff zu analysieren den Laboren vorbehalten. Die erste Schwierigkeit war diejenige der Probeentnahme um repräsentatives Probematerial des Gebindes zu erhalten ohne den Wein ab seinem Transfer aus dem Gebinde in die Probeflasche mit Sauerstoff anzureichern. Die Analyse muss danach schnell durchgeführt werden.
Heutzutage verfügen wir über zuverlässige Apparate, die direkt im Weingut eingesetzt werden können. Sie erfüllen vor allem gefragte Qualität wie an Standgeräten, die robust und einfach in der Bedienung und Kalibrierung sind und nur einen geringen Wartungsaufwand haben.
Ihre Präzision ist ausreichend für unsere Einsatzgebiete und liegt bei ungefähr 0,01 mg/L.

Wo geschehen die Sauerstoffeintragungen während der Weinbereitung?

Im Laufe der Gärphase ist der Wein gegen Sauerstoff geschützt da dieser schnell von den Hefen aufgenommen wird und während der alkoholischen Gärung mit dem Gas der Kohlensäure ausgetragen wird.
Während dieser Phasen kann man in Betracht ziehen, dass der Sauerstoffverbrauch des Weines selbst unbedeutend ist.

Die Herstellung von Champagner bietet die Besonderheit den gelösten Sauerstoff im Wein zwei Mal wieder auf Null einzustellen. Das erste Mal ist dies wie bei den stillen Weinen durch die alkoholische Gärung, das zweite Mal nach der Flaschenfüllung mit der zweiten Gärung.

Außerhalb dieser Perioden erfolgt der Sauerstoffeintrag in zwei Etappen:

- in den dynamischen Phasen des Herstellungsprozesses (Abstich, Filtration, Kältebehandlung). Das heißt jedes Mal wenn der Wein durch Falldruck oder Pumpen umgesetzt wird, kann sich über den Umweg dieses Arbeitsschrittes eine Sauerstoffübertragung erfolgen. Dieser Artikel stellt einige Werte, die in der Champagne erhalten wurden, bereit, die die Ergebnisse dieser Autoren perfekt bestätigen.
- In den statischen Phasen, das heißt ab der Lagerung in einem Tank, Fass oder auf der Flasche. In diesem Fall kann der Sauerstoff durch die Öffnung des Behältnisses (Kran am Tank, Spundloch) diffundieren, aber auch und vor allem durch die Materialien hindurch: durch das Holz der Weinfässer und Fuder, durch die Dichtungsstelle eines Kronkrokens, durch Naturkorken oder Kunststoffkorken.

Der Sauerstoffeintrag nach Abschluss der alkoholischen Gärung im Weinkeller

Der Abstich mit der Pumpe

Die Reihen-Messungen, die im Laufe eines Pumpvorgangs von Vidal et al. (2005) realisiert wurden, zeigen unmissverständlich, dass die Pumpen in kontinuierlicher Arbeitsweise und in Abwesenheit von Luft, nur sehr wenig Sauerstoff lösen. Die kritischen Phasen sind das Starten und das Ende des Pumphergangs, welche in den leerstehenden Schläuchen und im Tankhahn enthaltenen Sauerstoff lösen.

In einer vergleichbaren Studie verschiedener Pumpen signalisiert Jean-Michel Desseigne (10), dass eine leichte Belüftung der Moste und der Weine am Anfang der Umlagerung mit Kolbenpumpen und Schlauchpumpen, die mit einer Luftglocke ausgestattet sind, nicht verhindert werden kann.
Unsere Messungen wurden in verschiedenen Champagnerhäusern der Region an Tanks von mehreren hundert Hektolitern vorgenommen, wobei man die gewählten Arbeitsweisen jedes Arbeiters respektiert hat (von oben oder von unten des Tanks beschicken).

Die Ergebnisse der Tabelle 1 bestätigen, dass ein Abstich mit der Pumpe unter Ausschluss von Luft (Befüllen des Tanks von unten) so gut wie keinen Sauerstoff einbringt wohingegen der Eintrag beachtlich ist für einen Abstich in Gegenwart von Luft ist (Befüllen des Tanks von oben).

Art des Abstichs	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Eintrag von gelöstem Sauerstoff (mg/L)			
			min. Wert	max. Wert	Durchschnitts-wert	mittlere Abweichung
Tankbefüllen von unten	18	7	0,05	0,51	0,25	0,12 - 0,38
Tankbefüllen von oben	8	2	2,05	4,40	3,08	2,27 - 3,89

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messungen des gelösten Sauerstoffs in Weinen nach dem Abstich durch Pumpen

In dieser Situation sind die vorgefundenen Variationen auf die unterschiedliche Fallhöhe (Höhe des Tanks und Position des Schlauches im Tank) zurückzuführen.
Eine Messung wurde mit einem Abstich in eine Wanne und anschließendem Befüllen des Tanks von oben vorgenommen. Der dabei ermittelte Wert lag bei 6,5 mg/L. Beim Pumpen des Weines durch einen Schlauch mit einem Reinigungsball erhält man 5,4 mg/L (nur eine Messung).
Extreme Werte (8,8 mg/L) konnten in einem Fall beobachtet werden, bei dem gleichzeitig mehrere Dinge zusammentrafen: der Abstich in eine Wanne, Kavitation der Zentrifugalpumpe und Befüllung des Tanks von oben.

Der Transport der geklärten Weine in Tankwagen

<u>Mit vollen Tanks</u>

Der Transport in Tankwagen von klaren Weinen wurde zwischen zwei Produktionshäusern in der Champagne verfolgt.
Die Messungen wurden an 13 Lieferwagen mit mehreren Tankunterteilungen durchgeführt, also an 52 Tankabteilen. Die Abteile waren in allen Fällen vollständig gefüllt. Die zurückgelegte Distanz lag bei ungefähr 10 km.
Für jede Fahrt wurden die Sauerstoffgehalte in folgenden Abschnitten gemessen:

- im Vorlagetank vor dem Pumpvorgang
- im Tank nach dem Pumpen
- im Tank nach dem Transport

- im Lagertank nach dem Pumpvorgang aus dem vorangegangenen Tank heraus

In dieser Arbeitsweise bringen die Pumpvorgänge vor und nach dem Transport, ohne Vorspannen mit Inertgas, ungefähr 1 mg/L ein, wohingegen der Transport an sich den Wein nur um 0,1 mg/L mit Sauerstoff anreichert.
Der Transport im Tank, wie er hier zwischen den beiden betroffenen Produktionshäusern durchgeführt wurde, ist demnach keine Arbeitsetappe, die von vornherein von Sauerstoffeintrag gezeichnet ist, da die Abteile des Tankwagens komplett gefüllt waren.
Der Sauerstoffeintrag ab dem Transport in einen Tank entspricht allgemein den beiden Pumpvorgängen.

Auf dem Gelände sind die Bedingungen unter denen die Transfers vollzogen werden extrem variabel (Länge des Schlauches, Art des Pumpvorgangs, Art des Tanks, Temperatur des Weins, Distanz des Transports) und verkörpern somit potentiell eine wichtige Stelle des Sauerstoffeintrags in den Wein.

Ein Vorspannen der Schläuche, des Tanks, des Lagertanks, die Reduzierung der Pumpleistung zu Beginn und am Ende des Vorgangs können es erlauben, den späteren Sauerstoffgehalt in umgelagerten Weinen reduzieren, wie es Vidal et col. (2001) richtig konstatiert.

Stadium	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Gehalt von gelöstem Sauerstoff (mg/L)		
			mittlerer Wert	Abweichung	mittlere Abweichung
Vorlagetank	52	2	0,05	0,01	0,04 - 0,06
Tank vor Transport			1,04	0,26	0,78 - 1,30
Tank nach Transport			1,14	0,25	0,89 - 1,39
Lagertank			2,43	0,32	2,11 - 2,75

Tabelle 2: Ergebnis der Messungen von gelöstem Sauerstoff, durchgeführt in Weinen vor und nach dem Transport in Tankwagen

Einfluss des Auffüllens der Tankabteile

Vidal et col. haben gleichermaßen demonstriert, dass das Niveau der Befüllung des Tanks den Sauerstoffeintrag des Transports beeinflusst. Tatsächlich nimmt die Austauschoberfläche von Wein-Luft ab dem Entleeren des Tankabteils zu, ebenso die Möglichkeit des Aufwirbelns, das dem Sauerstofftransfer der Gasphase hin zum Wein folgt.
Unter diesen Umständen ist die eingebrachte Menge an Sauerstoff direkt an die Transportbedingungen gebunden, im Besonderen der Prozentsatz des Füllstands im Tankabteil und die Dauer des Transports.
Die in Tabelle 3 dargestellten Ergebnisse sind vielsagend. Der Prozentsatz des Füllstands eines Tankabteils kann den Gehalt an gelöstem Sauerstoff bei der Ankunft am Lagertank beträchtlich modifizieren. Bestimmte Weine enthalten Gehalte von über 6 mg/L.

Messung	Abweichungen der Werte an gelöstem Sauerstoff (mg/L)	Anzahl der Beobachtungen
volle Abteile	0,35 - 1,09	6
Entleerte Abteile 40 - 93% der Füllung	1,20 - 6,61	7

Tabelle 3: Messung von gelöstem Sauerstoff bei der Ankunft am Lagertank in Funktion der Rate des Auffüllens

Die Techniken der Klärung

Verschiedene Methoden zur Klärung wurden getestet: Filtration über Kieselgur, Zentrifugation, Kerzenfiltration

Anschwemmfilter

Die Anschwemmfiltration wurde zu verschiedenen Stadien während des Bereitungsprozesses studiert: Vorfiltration, Filtration nach der Schönung und Filtration nach der Weinsteinstabilisierung. Die Ergebnisse werden in Tabelle 4 angeführt.
Der Durchschnittswert von 32 Wiederholungen ist 0,70 mg/L. Die Kieselgurfiltration ist also nicht grundsätzlich ein brutaler Eingriff in Bezug auf Sauerstoffeintrag. Dennoch empfiehlt es sich diese Schlussfolgerung zu differenzieren da man bemerken kann, dass die Abweichungen sehr bedeutend sind, was von einer großen Heterogenität zwischen den Tanks bewiesen wird.

Wie es auch Vidal et col demonstriert haben, ist es die Anschwemmphase, die die Hauptursache des Sauerstoffeintrags ist, zum größten Teil aufgrund der in den Filtrationsprodukten eingeschlossenen Luft (Kieselgur und Cellulose). Wenn also mehrere Tanks mit einer Filtereinrichtung filtriert werden, wird der Wein des ersten Tanks viel mehr oxygeniert als der Wein der folgenden Tanks.
In gleicher Weise kann auch der letzte Tank aufgrund des Schubs der Filterglocke, der häufig mit Druckluft durchgeführt wird - daher der Einfluss des Glockenvolumens - ähnlich mehr oxygeniert werden.

Art der Filtration	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Eintrag von gelöstem Sauerstoff (mg/L)			
			min. Wert	max. Wert	Durchschnitts-wert	mittlere Abweichung
Vor Weinsteinstabilisierung (vor Filtration oder nach Schönung)	17	4	0,15	2,02	0,63	0,07 - 1,19
Fuder nach Schönung	3	1	0,82	1,12	0,99	0,84 - 1,14
nach Weinstein-stabilisierung	12	4	0,10	1,79	0,72	0,15 - 1,29
Allg. Bilanz Filtration	32	7	0,10	2,02	0,70	0,16 - 1,24

Tabelle 4: Zusammenfassung der Messungen der Gehalte an gelöstem Sauerstoff in Weinen nach der Anschwennfiltration

Die Feinanalyse der Ergebnisse zeigt die Bedeutung des behandelten Volumens und des Fassungsvermögens des Tanks. Daher wird die Anschwemmphase weit weniger Einfluss auf den Gehalt von gelöstem Sauerstoff im Wein nach der Filtration in einem Tank von 1000 hl nehmen als in einem von 100 hl.
Einige erhaltene Werte ausgehend von Fudern zeigen höhere Resultate als solche von Weinen, die aus Edelstahltanks stammen, wahrscheinlich weil die Fuder keinen Anzapfhahn haben und der Wein zum Ende des Abstichs am Türchen angezogen wird – daher ein an diese Vorgehensweise verknüpfter und bedeutenderer Sauerstoffeintrag.

Kerzenfilter

Einige Messungen wurden an der Feinfiltration mit Kerzenfiltern vorgenommen (Tabelle 5).
Dieser Arbeitsschritt führt mit einem Mittel von 0,51 mg/L zu einem geringen Sauerstoffeintrag in die filtrierten Weine.

	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Eintrag von gelöstem Sauerstoff (mg/L)			
			min. Wert	Durchschnitts-wert	max. Wert	mittlere Abweichung
Kerzenfilter	6	2	0,14	0,51	0,75	0,33 - 0,69

Tabelle 5: Zusammenfassung der Messungen von gelöstem Sauerstoff, durchgeführt nach der Kerzenfiltration

Die Zentrifugation

Die Zentrifugation ist eine Technik, die häufig in der Champagne für bedeutende Produktionseinheiten eingesetzt wird. Eine Serie von Experimenten wurde in sechs Champagnerhäusern durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Tabelle 6 vorgestellt.
Wie bei der Filtration liegt das allgemeine Mittel der Sauerstoffanreicherung auf die Zentrifugation folgend nicht sehr hoch: 0,95 mg/L, jedoch mit einer großen Abweichung. Die Variationen hängen zum Teil vom Trubaustragsystem ab. Zu diesem Punkt haben ebenso Vidal et al. beobachtet, dass das Trubaustragsystem die Quelle eines regelmäßigen Sauerstoffeintrags sein könnte.
Man kann in gleicher Weise beobachten, dass verschiedene Produktionshäuser den Zentrifugationseffekt mit der Tankbefüllung von oben vereinen (oftmals mehr aus Bequemlichkeit als aus Notwendigkeit), was zur Folge hat, dass mehr Sauerstoff zugeführt wird.

Art der Befüllung nach Zentri-fugation	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Eintrag von gelöstem Sauerstoff (mg/L)			
			min. Wert	max. Wert	Durchschnitts-wert	mittlere Abweichung
Befüllung von unten oder mit herabgelassenem Schlauch	19	6	0,08	2,85	0,95	0,26 - 1,62
Befüllung von oben	4	1	2,55	2,81	2,67	2,55 - 2,79

Tabelle 6: Zusammenfassung der Messungen von gelöstem Sauerstoff in Weinen nach Zentrifugation

Die Weinsteinstabilisierung

Kontinuierliche Weinsteinstabilisierung

Die Betonung liegt hier auf der Technik der kontinuierlichen Kältebehandlung da die anderen Vorgehensweisen nicht mehr und nicht weniger als eine Folge von Arbeitsetappen sind, wie oben bereits erwähnt. Zum Beispiel besteht die Stabilisierung aus einer Gesamtheit von Pumpvorgang, Lagerung und Filtration. Dabei ist zu beachten, dass bei niedrigen Temperaturen vermehrt Sauerstoff in Lösung geht und verlangt bei diesem Arbeitsschritt eine erhöhte Wachsamkeit.
Die Messungen während der Kältebehandlung werden im Vorlagetank und im dahinter geschalteten Lagertank vorgenommen (Tabelle 7).
Der festgestellte Durchschnittswert in den Weinen, die dieser Behandlung unterworfen waren, liegt bei 1,22 mg/L. Dieser Wert liegt leicht über dem, der bei der Anschwemmfiltration ermittelt wurde.

Das Reaktionslager, also der Tank der eigentlichen Kältebehandlung, scheint demnach keine konsequente Oxygenierungsquelle zu sein.
Man findet auch bei diesem Arbeitvorgang eine ziemlich hohe Abweichung, zweifelsohne von der Filtration.

	Anzahl der Beob-achtungen	Anzahl der Produktions häuser	Eintrag von gelöstem Sauerstoff (mg/L)			
			min. Wert	max. Wert	Durchschnitts-wert	mittlere Abweichung
kontinuierl. Kälte-behandlung	17	3	0,09	2,58	1,22	0,58 - 1,86

Tabelle 7: Zusammenfassung der Messungen von gelöstem Sauerstoff, durchgeführt nach der kontinuierlichen Kältebehandlung

Diskussion

Zu Beginn schien es uns interessant unsere Resultate mit denen aus der Literatur zu vergleichen.
Die erste Feststellung ist, dass sehr wenige präzise Werte in der Literatur existieren. Zudem sind die bereitgestellten Daten in ihrer Qualität ungleich, sowohl in Hinsicht auf das verwendete Material (wenn überhaupt erwähnt) als auch hinsichtlich der Messungswiederholungen. In Tabelle 8 werden die Zahlen zusammengefasst, die wir sammeln konnten.
Die umfassendste Studie mit dem solidesten und besten experimentellen Apparat, ist unbestritten das von J.-C. Vidal im Team von M. Moutounet, welches wir häufig zitierten. Ihre kontinuierliche Folge der verschiedenen Messpunkte haben erlaubt die Quelle des Sauerstoffeintrags perfekt verstehen zu können. Diese Daten erlauben einfache Lösungswege in Betracht zu ziehen, die industriell anwendbar sind, da ihr Objektiv ist die Einträge zu reduzieren.

In der Champagne, an unsere Studie vorangehend, war nur die von D. Mariotti bei Moët & Chandon durchgeführte Arbeit verfügbar. Die erhaltenen Werte vom CIVC sind mit Ausnahme der Weinsteinstabilisierung, mit denen von Vidal, Mariotti und sogar mit denen des italienischen Teams um Ferrarini ziemlich übereinstimmend.

Die erwähnten Werte von Vivas et Glories liegen im Gegensatz dazu, und zu allen Arbeitsschritten, sehr über denen der Beobachtungen aller anderen Autoren. Man muss hierbei allerdings anmerken, dass diese Resultate in anderen Zusammenhängen mit anderen Hilfsmitteln ermittelt wurden.

Arbeitsschritt	VIVAS U. GLORIES (1996)		FERRARINI ET AL. (2001)		VIDAL ET COL. (2001)		MARIOTTI (1999)		VALADE ET COL. (2005)	
	mittlerer Wert (mg/L)	Kommentar	mittlerer Wert (mg/L)	Kommentar	mittlerer Wert (mg/L)	Kommentar	mittlerer Wert (mg/L)	Kommentar	mittlerer Wert (mg/L)	Kommentar
Abstich von unten am Tank	3,0	Kein Hinweis auf die Methode und die Anzahl der Wieder-holungen	0,7	26 Wieder-holungen	0,1 - 0,2	12 Wieder-holungen	0,1	12 Tanks in 1	0,3	18 Wieder-holungen
Abstich von oben am Tank	6,5		1,0	20 Wieder-holungen	-	-	-	-	3,1	8 Wieder-holungen
Geogene Filtration	6,5		0,7	26 Wieder-holungen	0,7	6 Wieder-holungen	2,4	keine Wieder-holung	0,7	32 Wieder-holungen
Zentri-fugation	7,5		2,3	14 Wieder-holungen	0,9	keine Wieder-holung	0,2 - 0,7	3 Wieder-holungen	0,9	19 Wieder-holungen
Weinsteinst abilisierung	-	-	5,6	7 Wieder-holungen	2,4	3 Wieder-holungen	1,5	keine Wieder-holung	1,2	17 Wieder-holungen
Transport im Tankwagen	-	-	-	-	0,4 - 3,3	4 Werte Funktion des Füllniveaus	-	-	0,1 - 6,6	4 Werte Funktion des Füllniveaus

Tabelle 8: Zusammenfassung einiger Werte aus der Literatur über den Sauerstoffeintrag bei verschiedenen oenologischen Praktiken

Ausgehend von diesen Werten ist es möglich die Menge an Sauerstoff, an die der Wein im Laufe seiner Herstellung ausgesetzt wird, zu schätzen. In den ersten Etappen, wenn der Wein noch sehr hefebeladen ist, kann man in Erwägung ziehen, dass die geringen Anreicherungen an Sauerstoff während den Abstichen ohne Effekt auf den Wein bleiben, einerseits unter Berücksichtigung der geringen Eintragungsmengen während dieser Arbeitsvorgänge, andererseits, dass die noch enthaltenen Hefen den Sauerstoff schnell aufnehmen. Die deutlichsten Aufnahmen spielen sich demzufolge vor der Klärung nach dem biologischen Säureabbau bis hin zur Abfüllung ab. Während dieser Schritte scheinen die Einträge dennoch bescheiden, wenn man berücksichtigt, dass in allen Studien keinerlei Vorsorge hinsichtlich des Vorspannens mit Inertgas getroffen wurde.
Um diese Daten zu bestärken, wurden diese Messungen kontinuierlich in drei Produktionshäusern, die die unterschiedlichen Arbeitsschritte von der Assemblage bis zur Abfüllung durchführen, verfolgt.

Die Gesamteintragungen in drei Messungsfolgen sind jeweils 3,9 – 4,4 und 4,5 mg/L. Im Laufe dieser drei Folgen haben die Weine eine Zentrifugation mit Befüllen des Tanks von oben unterlaufen, was den Eintrag um 1,5 mg/L anhebt.
Der Sauerstoffeintrag bei der Assemblage bis zur Abfüllung auf die Flasche kann, wenn man besondere, bereits erwähnte Praktiken ausschließt, ungefähr um 3 – 5 mg/L geschätzt werden.
Es ist sicher, dass die Sauerstoffanreicherungen mit abnehmender zu behandelnder Menge zunehmen. Es ist also durchaus einleuchtend, dass diese Werte für kleine Partien über den genannten liegen.

Letztlich sind große Sauerstoffeintragungen auf eine schlechte fachliche Praxis zurückzuführen, und nicht auf vorbereitende Maßnahmen wenn sie gut durchgeführt werden.
Wie Vidal et col. sehr schön gezeigt haben, rühren zu hohe Einträge von großen Schlauchlängen, vom Luftansaugen, vom Tankbefüllen von oben, vom Entleeren von Gebinden lange vor dem Transport, vom Auslassen des Vorspannens mit Inertgas der Apparate und Kreisläufe bei Klärungsoperationen (Zentrifugation, geogene Filtration) her.

Eine spezielle Aufstellung jedes Produktionshauses ist notwendig um die Arbeitsvorgänge und Praktiken, die eine Quelle des Sauerstoffs während der Weinbereitung und seiner Lagerung in geklärtem Zustand darstellen, zu bestimmen.

Einfache Korrekturen in der Arbeitsweise, wie z.B. Vorspannung von Schläuchen und Lagertanks, jeglicher Gerätschaften mit Inertgas bzw. der Transport der Weine in vollen Tankwagen können schon ausreichen die Belüftung einzuschränken. In den Situationen, in denen trotz der Vorsichtsmaßnahmen die Lösung von Sauerstoff von bedeutender Menge war (über 1 mg/L z.B. für Weißweine), ist es noch möglich den Sauerstoff zu vernichten, in dem man Stickstoff als Zwischenmittel währen der Pumpvorgänge von Wein benutzt.

In dieser Studie haben wir die Weinbereitung in Holz nicht angesprochen da sie in unserer Region nur wenig eingesetzt wird, obgleich von erneutem Interesse.
Diese Art der Weinbereitung ist deutlich oxidativer, sei es aufgrund des Fakts, dass dort kleinere Volumina ausgebaut werden oder aufgrund des Fakts der Permeabilität des eingesetzten Materials: Holz. Der Versuchsaufbau ist sehr komplex umzusetzen um den Sauerstoffeintrag durch ein Holzfass zu schätzen. Dieses Thema verdient eine eigene genaue Experimentation da viele einzelne Parameter bei einem Holzfass dem Einfluss des Sauerstoffeintrags unterlegen sind: seine Größe, sein Alter, dem Beifüllen, die Herkunft des Holzes, etc. Die zitierten Werte in der Literatur sind in der zweistellige Größenordnung in mg/L pro Jahr: 10 – 45 mg/L nach Vivas und Glories Y.

Der Effekt der Batônnage wurde hingegen gemessen. Wie man erwarten konnte, wenn das Aufrühren der Hefen ein Faktor ist, der zum Sauerstoffverbrauch beiträgt, bringt die auf klassische Weise durchgeführte Batônnage an sich keinen Sauerstoff ein.

Schlussfolgerung

Die Quellen des Sauerstoffeintrags in Weinkellern sind von der Größenordung um die 3 – 5 mg/L, wenn sie nach guter fachlicher Praxis durchgeführt werden.

Aufgrund von gewollten oder ungewollten Praktiken können diese Sauerstoffeintragungen mühelos um das zwei- oder dreifache gesteigert werden, offensichtlich vermehrt in extremen Fällen.
Die wahrhaftige, tiefer gehende Fragestellung hinter all diesen Messungen lautet in der Tat: Was ist der wirkliche Bedarf eines Weines an Sauerstoff um sein Optimum an Reife zu erlangen, ohne sie zu überschreiten? Die Antwort ist nicht leicht und fern davon allgemein zu sein.
Sie wird immer schwierig zu kennen sein da sie von jedem Wein abhängig ist, von seiner Herkunft, den Bedingungen seiner Herstellung, seiner Lagerfähigkeit vor dem Trinken, vom Stil, den der Winzer ihm verleihen möchte, etc.

Wenn man anerkennt, dass die dem Sauerstoff zuzuschreibenden Effekte kumulativer Natur sind, ist durchaus denkbar, dass jede Aussetzung sein Potential angreift späteren neuen Einträgen Stand zu halten, mit wahrscheinlich enormen Diskrepanzen zwischen den Weinarten, sei es zwischen Weißweinen oder Rotweinen oder Rosés.

Die Problematik der Sauerstoffeinwirkung auf die sensorischen Eigenschaften eines Weines ist ebenso wenig klar wie die zuvor angesprochenen Arbeitsschritte nicht die einzig verantwortlichen der Sauerstoffanreicherung während des Lebenszyklus eines Weines sind.

Für stille lagerfähige Weine und für Schaumweine wie dem Champagner sind diese Einträge ebenso wichtig.
Ein weiterer Aspekt grenzt den Sauerstoffeintrag im Weinkeller von dem ab, der auf der Flasche erfolgt, das ist die Homogenität oder Heterogenität ihrer Effekte auf den Wein. Im Weinkeller kann der finale Wein, der aus einer Assemblage hervorgeht bevor er abgefüllt wird, als ausreichend homogen betrachtet werden, trotz der Abweichungen, die auf die unterschiedlichen Tanks zuvor wirken. Im Stadium auf der Flasche hingegen sind die Sauerstoffeintragungen nach dem Abziehen, die durch das Verkorken oder nach dem Degorgieren für die Schaumweine, von gleicher Größenordnung wie die, die während der Arbeitsetappen im Keller registriert werden. Diese können jedoch beachtlich von einer zur anderen Flasche abweichen. Sie sind so die hauptsächliche Quelle der Heterogenität zwischen den Flaschen des gleichen Tanks. Diese Aspekte werden im zweiten Teil dieses Artikels betrachtet werden.

Literatur

1 - Cheynier V., Masson G., Rigaud J. et Moutounet M., 1993. Estimation of must oxidation during pressing in Champagne. Am. J. Enol. Vitic, décembre 1993, 44, p. 393-399.
2 - Salmon J.-M., Mazauric J.-P., Fornairon C. et Moutounet M. L'enjeu œnologique de l'élevage sur lies des vins rouges. Les lies de levures et la consommation d'oxygène. V^{e} Colloque des Sciences et Techniques de la Tonnellerie
3 - Vivas N., Glories Y., 1996. Modélisation et estimation du bilan des apports d'oxygène au cours de l'élevage des vins. Progrès Agricole et Viticole, 1996, vol. 113, n° 10, p. 222-227
4 -Vidal J.-C., Dufourcq T., Boulet J.-C., Moutounet M. Les apports d'oxygène au cours des traitements des vins. Bilan des observations sur site. 1ère partie,2001, Revue Française d'Œnologie, n° 190, p. 24-31. 2e partie, 2003, Revue Française d'Œnologie, n° 201, p. 32-38. 3e partie, 2004, Revue Française d'Œnologie, n° 205, p. 25-34.
5 - Ferrarini R., Zironi R., Celotti E., D'Andrea E., 2001. Ruolo dell'ossigeno nei processi di vinificazione ed affinamento dei vini. L'Enologo, 11, p. 65-72.
6 - Mariotti D., 1999. Le dioxyde de soufre et l'oxygène. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme National d'Œnologie UFR Sciences exactes et naturelles - Reims.
7 - Kahn N., 2000 Rôle du bouchon de liège sur le vieillissement des vins en bouteilles. Etude de l'apport du liège et des phénomènes oxydatifs. Thèse de Doctorat. Université Bordeaux II.
8 - Ribereau-Gayon P. et al. Traité d'œnologie 5e édition. Dunod Paris
9 - Lopes P., Saucier C., Glories Y. Non destructive colorimetric method to determine the oxygen diffusion rate through closures used in Winemaking. J. Agric., Food Chem., 2005, 53, p. 6967-6973
10 - Desseigne J.-M., 2004 Choix de pompes à vin : 17 machines au banc d'essais. Journal Matériel Agricole. Hors-série Equipement vigne. Octobre-Novembre 2004