

Bestimmung von gelöstem Sauerstoff und Redoxpotenzial in Weinen und Fruchtsäften unter Laborbedingungen

GERHARD GRIMM und REINHARD EDER

Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau
A-3400 Klosterneuburg, Wiener Straße 74

Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff und das Redoxpotenzial sind von großer Bedeutung für die weitere Qualitätsentwicklung von Wein und Fruchtprodukten. Im optimalen Fall sollte eine Messung dieser Parameter direkt vor Ort, beispielsweise im Behälter, erfolgen. Daneben gibt es aber auch immer wieder Bedarf, diese beiden Parameter im Labor zu bestimmen. Um richtige Messwerte zu erhalten, muss hierbei aber sowohl bei der Probennahme als auch bei der Messung jeglicher Luftkontakt vermieden werden. Deshalb erfolgte Probenahme und Messungen unter Stickstoffatmosphäre. In Weinproben, welche in Tanks bzw. Fässern gelagert wurden, lagen die Gehalte an gelöstem Sauerstoff zwischen 0,1 und 0,7 mg/l und das Redoxpotenzial im Bereich von 30 bis 110 mV. In Fruchtsäften wurde direkt nach der Pasteurisation ein höherer Sauerstoffgehalt (1,5 bis 1,8 mg/l) gemessen, nach drei Monaten Lagerung war aber der Wert ähnlich dem der Weine.

Determination of dissolved oxygen and redox potential of wine and fruit juices in the laboratory. The content of dissolved oxygen and the redox potential are very important for the further development and quality of wines and fruit products. In an optimum case measurements of these parameters should be done directly on-site, e.g. in the container. But besides this on and on there is a necessity to determine these parameters in the laboratory. To obtain correct values, any air contact must be avoided both at sampling and measuring. The procedure described in this paper was carried out under nitrogen atmosphere. In wine samples stored in tanks and casks, resp., the contents of dissolved oxygen were between 0.1 and 0.7 mg/l and the redox potential was at a range from 30 to 110 mV. In fruit juices directly after pasteurisation a higher oxygen content (1.5 to 1.8 mg/l) was measured, but after three months their values resembled those of the wines.

Wie nur wenige andere Substanzen kann Sauerstoff auf vielfache Weise die chemisch-sensorischen Merkmale und die Stabilität von Wein, Säften und ähnlichen Produkten beeinflussen. So führt Sauerstoff durch Oxidation von Alkoholen und Aromastoffen zu negativer Qualitätsbeeinflussung (z.B. Luftton, Rahnwerden), Aromaverlust und zur Bildung von Essigsäure. Ein großes Problem für die Klarheit und Farbe von Weinen und Obstprodukten stellt die enzymatisch durch Phenoxidasen katalysierte Oxidation von nativen Mono- und Diphenolen zu gelb-braun gefärbten Chinonen, Phlobaphenen und anderen hochmolekularen, teilweise unlöslichen Substanzen dar. Teilweise entstehen durch die Oxidation von Substanzen wie L-Ascorbinsäure, Metallen oder Fettsäuren mit Sauerstoff sehr reaktive

Moleküle, wie Wasserstoffperoxid oder Sauerstoffradikale, welche noch reaktiver sind und zu einer noch stärkeren Produktschädigung führen. Zur Vermeidung dieser unerwünschten oxidativen Schädigungen wird schon seit der Römerzeit Schwefeldioxid eingesetzt, welches freien Sauerstoff bindet, indem es zu Sulfat oxidiert wird.

Neben diesen qualitätsmindernden Effekten des Sauerstoffs wird auch immer wieder auf dessen günstige Eigenschaften während der Weinbereitung hingewiesen. Unbestritten ist seine essenzielle und fördernde Wirkung für die Hefevermehrung und Biomassebildung sowie zur Vermeidung von Gärstockungen (SABLAYROLLES et BARRE, 1986). Weiters beeinflusst Sauerstoff die mikrobiologische Aktivität vor allem von aeroben Bakte-

rien und Pilzen (*Oenococcus* sp., *Pediococcus* sp., *Candida* sp., usw.). Auch führt der Einsatz von Sauerstoff im Zuge einer Mostoxidation zu einer frühzeitigen Phenolstabilisierung und zu Weinen mit befriedigender sensorischer Qualität (MÜLLER-SPÄTH, 1990). Da der bittere und adstringierende Geschmack von Phenolen vom Polymerisationsgrad abhängig ist, stellt die gezielte Polymerisation eine der großen Herausforderungen bei der Wein- und Saffherstellung dar. Grundsätzlich kann zwischen direkter Kondensation einzelner Flavonoide (z.B. Anthocyane, Catechin) oder der indirekten Kondensation via Ethanal (Acetaldehyd) als Verbindungsmolekül unterschieden werden. Besonders bei der indirekten Kondensation spielt Sauerstoff eine bedeutende Rolle, da er für die chemische Oxidation von Ethanol zu Ethanal notwendig ist (RIVAS-GONZALO et al., 1995). Das Ziel einer qualitätsorientierten Verarbeitungstechnologie ist es, durch geregelte Sauerstoffzufuhr die Kondensation von Phenolen zu fördern. Dadurch sollen polymere Phenole mit einer Molekülgröße entstehen, welche möglichst weich-samtig schmecken und eine stabile, ansprechende Farbe aufweisen. Es ist bekannt, dass im Zuge der Polymerisation von Anthocyanen zunächst eine Oxidation stattfindet und eine chinoidale Form gebildet wird. In weiterer Folge wird aber der chinoidale (oxidierte) Zustand wieder aufgehoben, und es kommt zu einer Stabilisierung der ursprünglich reduzierten und rot gefärbten Form im Polymer (BROUILLARD and DANGLES, 1994). Bei dieser so genannten regenerativen Polymerisation wird Sauerstoff in die Tannine eingebaut, dementsprechend wird umso mehr Sauerstoff benötigt, je höher der Tanningehalt in einem Rotwein ist. D.h., dass phenolreiche, adstringierende Weine mehr Sauerstoff zur geschmacklichen Harmonisierung und Farbstabilisierung benötigen als phenolarme. Empirisch ist bekannt, dass technologische Maßnahmen, wie beispielsweise Remontage (Belüftung), Umpumpen und Lagerung im Holzfass, diese Polymerisation und Farbstabilisierung begünstigen. Es gibt jedoch nur wenige konkrete Untersuchungen betreffend die Höhe des Sauerstoffbedarfs bzw. der Sauerstoffzehrung bei der Weinbereitung (VIVAS et al., 1993). Dies liegt unter anderem daran, dass viele der angebotenen technischen Hilfsmittel nicht für die Messung des Sauerstoffgehaltes im Wein geeignet sind. Nach sorgfältiger Auswahl einer geeigneten Elektrode ist die Sauerstoffmessung im Großbehälter (Tank, Fass) möglich, es muss jedoch unbedingt auf eine ausreichende Stabilisierung des Messwertes (mehrere Stunden) geachtet werden. Sehr problematisch ist aber die Bestimmung bei

flaschengefüllten Produkten, da der Kontakt mit Luft-sauerstoff während des Messvorganges kategorisch auszuschließen ist. Für die praktische Durchführung einer solchen Messung stellt dies eine große Herausforderung dar. Ein diesbezüglicher Methodenentwurf des Internationalen Weinamts (O.I.V., 1996) konnte aber auf Grund von bisher ungelösten Detailfragen nicht beschlossen werden. Die Schwierigkeiten bei der korrekten Messung des gelösten Sauerstoffes im Wein oder in anderen Produkten spiegeln sich auch in den publizierten Werten wider. Während DIKANOVIC-LUCAN und PALIC (1992) sehr hohe Sauerstoffgehalte im Wein von 1,1 bis 7,6 mg/l angeben, bestimmten französische Autoren Sauerstoffgehalte von lediglich 0,001 bis 0,1 mg/l (DUCOURNAU et al., 2002).

Für den Ablauf von Oxidationsvorgängen ist aber nicht nur der Gehalt an gelöstem Sauerstoff verantwortlich, sondern das komplexe System aller reduzierbaren bzw. oxidierbaren Substanzen. Gleichzeitig ablaufende Reduktions- und Oxidationsreaktionen werden im Allgemeinen als Redoxreaktionen bezeichnet, die zu Grunde liegenden Vorgänge sind die Aufnahme oder Abgabe von Elektronen. Die Konzentrationsabhängigkeit des Redoxpotenzials bei einer bestimmten Temperatur wird durch die Nernst'sche Gleichung bestimmt (BERGMANN und TRIEGLAFF, 1984). Auch das Redoxpotenzial hat auf den Wein große Auswirkungen und ist eine Maßzahl für die bereits abgelaufenen Oxidations- bzw. Reduktionsvorgänge. Es wurde beschrieben, dass eine Korrelation zwischen Redoxpotenzial und Sauerstoffgehalt, aber auch zwischen Redoxpotenzial und sensorischer Qualität besteht (DIKANOVIC-LUCAN and PALIC, 1992). Das Redoxpotenzial wird mittels spezieller Redoxelektroden gemessen und kann direkt als Spannung in Millivolt oder als rH-Wert angegeben werden. Die physikalischen Grundlagen, die korrekte Durchführung der Messung und die Kalibrierung bzw. Überprüfung der Redoxmessung wurden von VIVAS et al (1996) ausführlich beschrieben. Übliche Werte für das Redoxpotenzial in Weinen liegen zwischen 260 und 400 mV bzw. 16 und 22 rH-Einheiten (DIKANOVIC-LUCAN and PALIC, 1992). Zu beachten ist, dass das Redoxpotenzial kein konstanter Weinparameter ist, sondern dass es im Zuge der Verarbeitung ständigen Veränderungen unterliegt. Der Einfluss verschiedener Verarbeitungsschritte, insbesondere bei der Rotweinbereitung, auf das Redoxpotenzial wurde von VIVAS und GLORIES (1995) gut dokumentiert. Nach DIKANOVIC-LUCAN und PALIC (1992) wurden vor etwa 50 Jahren die optimalen rH-Bereiche für Weißwein mit 20 bis 21,15 und für Rotweine mit

18 bis 19 beschrieben; ob diese Werte heute noch Gültigkeit haben, ist untersuchungswürdig. In Apfelpresssäften wurden rH-Werte im Bereich von 20 gemessen (KEPPEL, 1997).

Ausgehend von der derzeit noch nicht befriedigend gelösten Problematik der Sauerstoff- bzw. Redoxpotenzialmessung im Labor war es erforderlich, eine Prozedur für die Probennahme und die Messungen in Wein und Säften zu entwickeln, bei der das Redoxpotenzial der zu untersuchenden Lösung nicht durch Lufteintrag verändert wird.

Material und Methoden

Zur Messung des gelösten Sauerstoffes wurde ein Microprocessor Oximeter Oxi 300 (Fa. WTW) eingesetzt. Die Messelektrode war ein TriOximatic 300 Präzisions-sauerstoffsensoren (Fa. WTW) mit einem Kalibriergefäß OxiCal-SL und einem Durchflusszusatz 201.

Die Redoxpotenzialmessung erfolgte mit einem stationären pH-mV-Temperatur-Messgerät, bestehend aus einer Platinredoxelektrode (Fa. Orion; Platinum Redox Electrode Nr. 96-78-00) und einer Doppelmantel-Referenzelektrode (Fa. Orion, Modell 520A, 90-02 Double Junction Reference Electrode). Weiters wurde ein pH-mV-Meter (Fa. WTW, Weilheim, Deutschland) mit einem TFK-Temperaturfühler verwendet.

Die pH-Messung erfolgte mit einer pH-Elektrode (LIQ-PLAST) der Firma Hamilton, Bonaduz, Schweiz

Für den Transport der Weine und Fruchtsäfte (Produkte der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg) wurde als Probengefäß ein Standard-Erlenmeyerkolben mit einem Gummistopfen und zwei Glasröhren verwendet. Als Ausgleichsbehälter während der Messung diente ein handelsüblicher Luftballon.

Probennahme aus Lagerbehälter bzw. Flasche

Eine Skizze des Gefäßes für die Probennahme bietet Abbildung 1.

Durchführung der Probennahme:

1. Spülung des Probengefäßes mit Stickstoff und danach gasdicht verschließen
2. Reinigung von Kunststoffschlauch und -eimer mit Wasser
3. Ein Ende des Schlauchs wird in den Behälter mit der zu entnehmenden Flüssigkeit gesteckt, und am anderen Ende wird Unterdruck angelegt, bis die Flüssigkeit durch ihr Eigengewicht zu rinnen beginnt.
4. Circa drei Liter Flüssigkeit in den Eimer laufen lassen, um den Schlauch von Gasen zu entleeren.
5. Schlauch abklemmen und durch das Kopplungsstück mit dem Probengefäß verbinden.
6. Alle Klemmen entfernen.
7. Sind 300 ml in das Probengefäß gelaufen, werden die Klemmen wieder angesetzt, um Luftzutritt zu vermeiden.

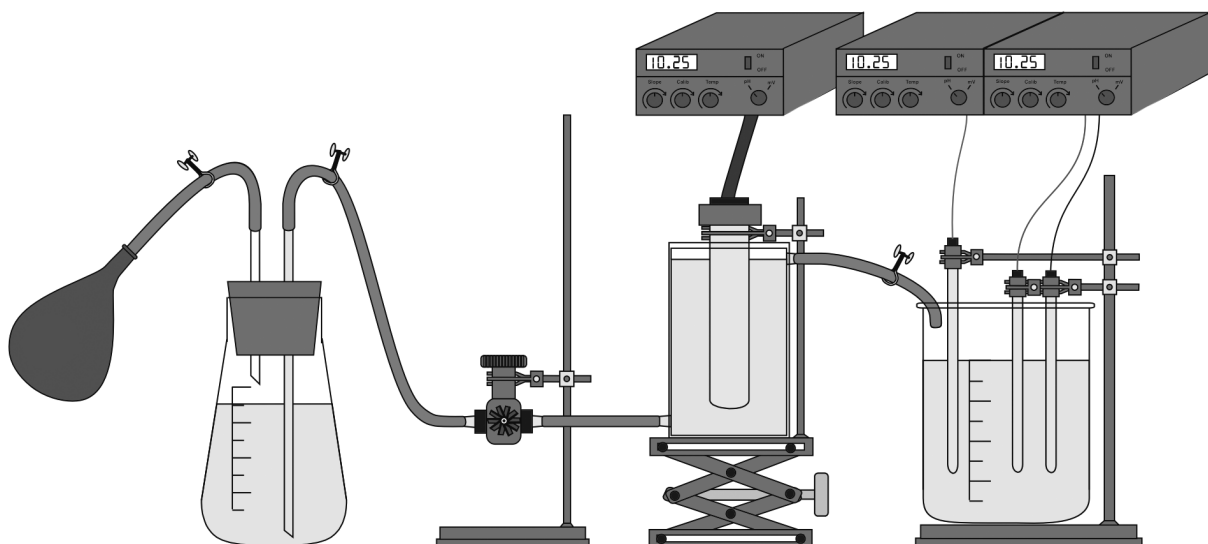


Abb. 1: Messaufbau für den Transfer der Probenflüssigkeit (links Gefäß für Probennahme)

Tabelle 1:
Gehalt an gelöstem Sauerstoff und Redoxpotenzial in
Apfel-Holundersäften

Probe	pH-Wert	O ₂ (mg/l)
vor der Pasteurisation	3,58	1,79
nach der Pasteurisation	3,57	1,46
nach 3 Monaten Lagerung	3,62	1,80
	3,61	1,51
	3,55	0,75
	3,53	0,21

Tabelle 2:
Gehalt an gelöstem Sauerstoff und Redoxpotenzial von
in Stahltanks gelagerten Weinen

Wein- Nr.	pH- Wert	O ₂ (mg/l)		Redoxpot. (mV)	
		Mes- sung im Labor	Mes- sung vor Ort	Mes- sung im Labor	Mes- sung vor Ort
1	3,14	0,70	0,12	87	58
2	3,16	0,20	0,20	70	65
3	3,12	0,50	0,52	110	118
4	3,22	0,45	0,41	101	98
5	3,09	0,60	0,59	97	91
6	3,22	0,47	0,45	84	84
7	3,13	0,58	0,56	90	88

Messung des Sauerstoffgehaltes und des Redoxpotenzials

Im Labor wurde nun an Ausgang Nr. 2 ein mit Stickstoff gefüllter Luftballon angeschlossen. Danach wurde das Probengefäß mit dem Anschluss Nr. 1 an die Pumpe angeschlossen und der Verschluss geöffnet. Wenn der Durchflussbehälter mit der Probeflüssigkeit voll war, wurde die Pumpe in Betrieb gesetzt. Die Messung erfolgte über zehn Minuten, nach dieser Zeit sta-

Tabelle 3:
Gehalt an gelöstem Sauerstoff und Redoxpotenzial von
in Barriques gelagerten Weinen

Wein- Nr.	pH- Wert	O ₂ (mg/l)		Redoxpot. (mV)	
		Mes- sung im Labor	Mes- sung vor Ort	Mes- sung im Labor	Mes- sung vor Ort
1	3,62	0,45	0,12	38	30
2	3,60	0,21	0,10	45	40
3	3,26	0,19	0,11	80	72
4	3,42	0,27	0,25	77	69
5	3,53	0,32	0,27	48	40
6	3,36	0,30	0,32	54	50
7	3,30	0,36	0,27	47	43

bilisierte sich die Ablesung, und der Wert wurde als Ergebnis herangezogen.

Für Vergleichszwecke wurden die Elektroden vor Ort in die Behälter gehängt, durch gleichmäßiges Bewegen mit der Probelösung in Kontakt gebracht bzw. anhaftende Luftblasen abgeschwemmt und nach ca. zwei Stunden die Messwerte abgelesen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messung des Gehaltes an gelöstem Sauerstoff und des Redoxpotenzials von Apfel-Holundersaft zu drei verschiedenen Zeitpunkten (vor der Pasteurisation, nach der Pasteurisation und nach dreimonatiger Lagerung) sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Gehalte an gelöstem Sauerstoff und das Redoxpotenzial von Weinen, welche in Stahltanks gelagert wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die Werte des Gehaltes an gelöstem Sauerstoff und des Redoxpotenzials bei Weinen, welche sich in kleinen Eichenholzfässern befanden, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Diskussion

Der Vergleich von vor Ort bzw. im Labor gemessenen Werten des gelösten Sauerstoffgehaltes und Redoxpotenzials bestätigt, dass es notwendig ist, ein Probennah-

meverfahren zu entwickeln, bei dem kein Luftzutritt zur Probe möglich ist. Auf Grund der festgestellten guten Übereinstimmung der Messwerte kann angenommen werden, dass dies mit Hilfe beschriebener Methodik gut gelungen ist. Hierbei wird der Zutritt von Luft-sauerstoff vor allem dadurch verhindert, dass das Probengefäß vor der Probennahme mit Wasser gefüllt und mit Stickstoff leergedrückt wird. Die Entnahme der Probe geschah mit großer Sorgfalt, vor allem eine Spülung und luftblasenfreie Füllung des Entnahmeschlau-ches mit Wein ist entscheidend. Bei der Messung im La-bor muss eine ausreichende Stabilisierung der Elektroden in der Probenflüssigkeit erfolgen, wobei eine Dauer von 15 Minuten unserer Erfahrung nach ausreichend ist. Weiters müssen vor jeder Messung die verwendeten Gerätschaften mit Stickstoff gespült werden. Da die Elektroden verschiedener Hersteller unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, ist, insbesondere für die An-gabe von Absolutwerten, die Wahl der Elektrode ent-scheidend. Um Sauerstoffzutritt während der Messung zu vermeiden, müssen unbedingt gasundurchlässige Schläuche (z.B. Iso-Versinic) verwendet werden.

Hinsichtlich der praktischen Messergebnisse war die Beobachtung überraschend, dass Weine, die in Stahl-tanks gelagert wurden, einen höheren Sauerstoffgehalt aufwiesen als Weine, die in kleinen Holzfässern lager-ten. Die im Stahltank gelagerten Weine sind jedoch kurz vor der Probennahme und der Messung füllfertig gemacht und filtriert worden. VIVAS und GLORIES (1995) beschreiben, dass es hierbei zu einem Anstieg des Sauerstoffgehaltes kommt. Es ist daher anzuneh-men, dass der erhöhte Gehalt an Sauerstoff und das er-höhte Redoxpotenzial auf diese Maßnahmen zurückzu-führen sind. Dies bestätigt die weit reichenden Auswir-kungen der verschiedenen technologischen Verfahren auf den Sauerstoffgehalt und dass dieser immer nur eine Momentaufnahme darstellt.

Für den Winzer und Technologen ist es wichtig, gute Kenntnis über die aktuellen Redoxverhältnisse und den Sauerstoffgehalt im Produkt zu haben, da diese den Charakter des künftigen Weines nachhaltig beein-flussen. Beispielsweise ist beim Ausbau von tanninrei-chen Rotweinen ein gewisser Sauerstoffgehalt notwen-dig, damit die kratzigen Phenole (Tannine) polymeri-siert werden und der Wein seine Trinkreife erreicht. Es gibt auch Überlegungen hinsichtlich einer gezielten Sauerstoffbehandlung zur Abrundung von leichten jun-gen Weinen (Tafelwein, Landwein und ähnliche), die ei-nen zu hohen Gerbstoffgehalt aufweisen (SCHNEIDER, 1990). Diese Maßnahme ist jedoch auf Grund der nega-

tiven Auswirkungen des erhöhten Sauerstoffgehaltes auf die Weinfarbe (Bräunungsreaktionen) nicht unpro-blematisch und kann daher bei farbschwachen Rotwei-nen und bei Weißweinen grundsätzlich nicht empfohlen werden.

Der Einfluss des Materials von Lagerbehältern auf den Charakter des Weines wurde bereits in verschiedenen Publikationen behandelt, wobei die resultierenden Pro-duktunterschiede zu einem großen Teil auf das unter-schiedliche Produktmenge/Oberfläche-Verhältnis zu-rückzuführen sind. Da die größere Oberfläche von klei-nen Holzfässern (Barriques) eine stärkere Diffusion von Luftsauerstoff als andere Behälter (z.B. Stahltank, Zisterne) erlaubt, ist eine erhöhte Geschwindigkeit der Polymerisationsreaktionen zu beobachten, wodurch der Wein weicher und früher genussreif wird. Es ist fraglich, ob schwere, tanninreiche Weine, welche nicht in Barriques gelagert wurden, überhaupt in einer ange-messenen Zeit die Genussreife erlangen (HÖCHLI, 2002). Vergleicht man die in dieser Arbeit ermittelten Redox-werte und Sauerstoffgehalte von Weinen mit bereits pu-blizierten Werten, so zeigen sie eine gute Übereinstim-mung mit den von französischen Forschern angegebene-n Werten. Die von DIKANOVIC-LUCAN und PALIC (1992) gefundenen hohen Sauerstoffgehalte, die einer Sauerstoffsättigung der Lösung bereits nahe kommen, konnten nicht bestätigt werden. Möglicherweise war es ihnen nicht möglich, einen Luftsauerstoffzutritt wäh-rend Probennahme und Messung absolut auszuschlie-ßen. Eine andere Erklärung für diese hohen Sauerstoff-gehalte der Weine sind Probleme bei der Flaschenfü-lung (KETTERN, 1998). Publikationen betreffend Sauer-stoffgehalt und Redoxpotenzial in Fruchtprodukten sind zwar selten, es wird aber darauf hingewiesen, dass sie als qualitätsbestimmende Faktoren zur Definition der inneren und äußeren Qualität herangezogen werden können (KEPPEL, 1997). Um den effektiven Einfluss die-ser Parameter auf die Produktqualität konkret beurtei-len zu können, sind weiterführende Untersuchungen und Studien wünschenswert.

Danksagung

Herrn Dipl.-Ing. MANFRED GOSSINGER sei für die Unterstüt-zung bei der Durchführung der Arbeiten herzlich gedankt.

Literatur

- BERGMANN, H. und TRIEGLAFF, K. (1984): Wissensspeicher Physikalische Chemie. 3. Aufl. -Leipzig: Verl. Grundstoffindustrie, 1984
- BROUILLARD, R. and DANGLES, O. 1994: Anthocyanin molecular interactions : The first step in the formation of new pigments during wine aging? *Food Chemistry* 51: 365-371
- DIKANOVIC-LUCAN, Z. and PALIC, A. 1992: Redox-potential of wines from a Croatian market. *Z. Lebensm.-Unters. Forsch.* 195: 133-136
- DUCOURNAU, P., YERLE, S., GILIS, J.F. et FORT, J.-P. (2002): La micro-oxygénation à un stade précoce de la vinification, p. 577-592. 13eme Symp. Int. Œnologie, 9 - 12 juin 2002, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie. - Montpellier, 2002
- HÖCHLI, U. und BERNATH, K. 2002: Dynamik des Gastransfers durch den Wein. *Mitt. Klosterneuburg* 52: 138-149
- KETTERN, W. 1998: Füllung: Die Bedeutung von SO₂, CO₂ und O₂. *Dt. Weinmagazin* (9): 92 - 101
- KEPPEL, H. 1997: Ermittlung elektrochemischer Parameter in Apfelpresssaft. *Mitt. Klosterneuburg* 47: 56-58
- MÜLLER-SPATH, H. 1990: Sauerstoff und Weinbereitung. *Weinwirtschaft-Technik* (4): 9-11
- O.I.V. (1996): Resolutionsentwurf OENO/SCMA/96/39/Et. 5 - Prinzip und Methode der Redoxpotenzialmessung in Weinen. - Paris, 1996
- RIVAS-GONZALO, J.C., BRAVO-HARO, S. and SANTOS-BUELGA, C. 1995: Detection of compounds formed through the reaction of malvidin-3-monoglucoside and catechin in the presence of acetaldehyde. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1444-1449
- SABLAYROLLES, J.M. et BARRE, P. 1986: Evaluation des besoins en oxygène de fermentations alcooliques en conditions œnologiques simulées. *Sci. Alim.* 6: 373-383
- SCHNEIDER, V. 1990: Weinalterung. *Weinwirtschaft-Technik* (2): 10-13
- VIVAS, N. et GLORIES, Y. 1995: Vinification et élevage des vins. Potentiel d'oxydoréduction en œnologie. *Revue Oenol.* 21(76): 10-14
- VIVAS, N., ZAMORA, F. et GLORIES, Y. 1993: Incidence de certains facteurs sur la consommation de l'oxygène et sur le potentiel d'oxydoréduction dans les vins. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 27(1): 23-34
- VIVAS, N., ZAMORA, F. et GLORIES, Y. 1996. Principe et méthode de mesure du potentiel d'oxydoréduction dans les vins. *Bull. O.I.V.* (785/786): 617-633

Manuskript eingelangt am 3. Dezember 2002