

Die Alterung des Weins: Eine Frage des Verschlusses?

Basiert auf dem wissenschaftlichen Artikel "Wine aging: a bottleneck story" (Nature Science of Food, 2019)¹.

>>> Eine Fallstudie zu in Kellern gereiften Flaschenweißweinen verdeutlichte die Bedeutung der Grenzfläche zwischen dem Glas des Flaschenhalses und dem Verschluss¹. Dieser multidisziplinäre Ansatz integrierte sowohl sensorische, önologische und Metabolomanalysen von Weinen, als auch Untersuchungen zum Sauerstofftransfer. Letzterer kann an der Glas-Korken-Grenzfläche erheblich an der Oxidation von Flaschenweinen während der Alterungsphase beteiligt sein. <<<

■ Kontext

Die Alterungsmechanismen von Flaschenweinen stehen insbesondere mit der chemischen Autoxidation in Zusammenhang, die durch die Zufuhr von Sauerstoff begünstigt wird. Der Stopfen ist dann sozusagen das letzte Bollwerk, das den Kontakt mit Sauerstoff verhindert. Eine Reihe von Studien haben sich mit den Gas-Barriereeigenschaften verschiedener Verschlüsse befasst². Dabei wurden meist natürliche Korkstopfen unterschiedlicher Qualitätsstufen mit agglomerierten und synthetischen Stopfen, sowie mit Schraubverschlüssen verglichen. Es gibt natürlich eindeutige Unterschiede in der Sauerstoffdurchlässigkeit zwischen den Haupttypen von Verschlüssen; diese erklären jedoch nicht, warum in seltenen Fällen eine unkontrollierte Oxidation auftreten kann. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Frage des Sauerstoffverbrauchs von Weißweinen während der Flaschenalterung, und insbesondere mit der Bedeutung der Grenzfläche zwischen dem Korken und dem Flaschenhals. Weißweine eines Jahrganges und derselben Produktionscharge wurden auf sporadische Oxidation hin untersucht. Dazu wurde ein multidisziplinärer Ansatz gewählt, der sensorische Eigenschaften, gezielte und ungezielte chemische Analysen, sowie eine Untersuchung des Sauerstofftransfers auf Verschluss/ Flaschenhalsniveau integrierte.

■ Die Studie und die wichtigsten Ergebnisse

Vier Flaschen Weißwein aus der Region Burgund (Chardonnay, Appellation Marsannay) wurden untersucht (Abb. 1): zwei des Jahrganges 2005 und zwei des Jahrganges 2006. Der Wein eines Jahrganges stammte aus demselben 5 hL Tank. Aufgrund von sichtbaren Farbunterschieden der zwei Wein-befüllten Flaschen eines Jahrganges wurde davon ausgegangen, dass einer der beiden Weine oxidiert war. Die Probenahme erfolgte unter sauerstofffreien Bedingungen (Argon-Atmosphäre), wobei der Verschluss durchstochen wurde, um den Flaschenhals nicht zu beschädigen. Ein Teil des Weins wurde für die sensorische Analyse durch ein geschultes Gremium (15 Personen) verwendet, während ein anderer Teil für chemische Analysen, die Bestimmung klassischer önologischer

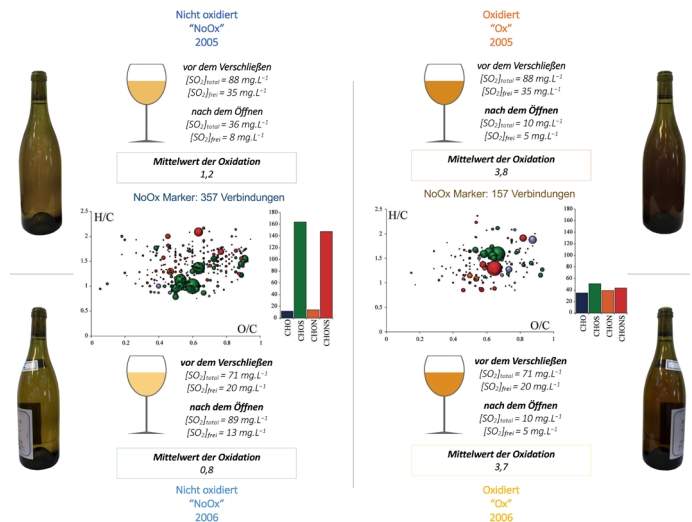


Abbildung 1. Die Farben der Weine (unter Verwendung von CIELab in Gläsern bestimmt), die Oxidationswerte (-5 = starke Reduktion, +5 = starke Oxidation), der SO₂-Gehalt* und die Metabolomanalysen (Van-Krevelen-Diagramme und Anzahl der unterschiedlichen Elementarformeln von oxidierten „Ox“ und nicht oxidierten „NoOx“-Weinen). (*Hinweis: Der anfängliche SO₂-Gehalt wurde während der Qualitätskontrolle der Weine zum Zeitpunkt der Abfüllung von einem anderen Labor bestimmt).

Parameter, sowie für die Metabolomanalyse mittels hochauflösender Massenspektrometrie benutzt wurde³. Die Weine beider Jahrgänge bei denen der Verdacht auf Oxidation (Ox) bestand, wiesen sowohl ortho- als auch retronasal signifikant höhere oxidative Noten auf (Abb. 1, ANOVA getestet) im Vergleich zu den Weinen, die keine Hinweise auf Oxidierung zeigten (NoOx). Eine moderate Sauerstoffzufuhr führt zu mehreren chemischen Reaktionen mit SO₂. Es handelt sich dabei vorwiegend um eine nukleophile Addition an Chinone, wobei bevorzugt freies SO₂ verbraucht wird. Im Gegensatz dazu kann eine hohe Sauerstoffzufuhr sowohl freies als auch gebundenes SO₂ einschließen. Die Verringerung der Gesamt-SO₂ Konzentration (frei und gebunden) in den oxidierten Weinen beider Jahrgänge verdeutlicht somit im Einklang mit den sensorischen Daten eine erhöhte Sauerstoffaufnahme während der Flaschenreifung (Abb. 1). Der Farbunterschied zwischen Ox- und NoOx-Weinen kann leicht vom menschlichen Auge wahrgenommen werden ($\Delta E > 25$), da Oxidation zur Bildung brauner Farbpigmente führt. Eine ungezielte Metabolomanalyse mittels hochauflösender Massenspektrometrie ergab, dass mehrere tausend Markerverbindungen nicht-oxidierter Weine hauptsächlich Stickstoff-Schwefel-Verbindungen vom Typ CHOS und CHONS⁴ (sulfonierte Polyphenole, Aminosäuren/ Peptide usw.) sind. Diese Verbindungen wurden durch die hohe Sauerstoffzufuhr in den oxidierten Weinen in aufeinanderfolgenden chemischen Reaktionen abgebaut (Abb. 1). Die Sauerstoffdiffusionskoeffizienten wurden experimentell mit einer im Labor entwickelten manometrischen Methode bestimmt⁵.

Zuerst wurde die Sauerstofftransfer rate (oxygen transfer rate, OTR) durch den im Flaschenhals befindlichen Korken bestimmt, und danach die OTR des „freien“ Korkens, nachdem er aus der Weinflasche entfernt wurde (Abb. 2).

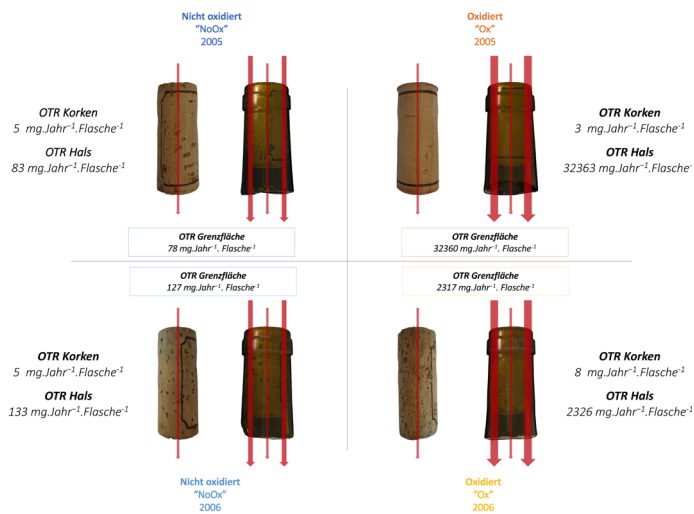


Abbildung 2. Die gemessenen Sauerstofftransfer rates (OTR) durch den freien Korken (Korken), durch den sich im Flaschenhals befindlichen Korken (Hals), und an der Glas-Korken-Grenzfläche.

Die OTR-Werte für das Korken + Hals-System sind bei oxidierten Weinen deutlich höher als bei nicht oxidierten Weinen. Der Sauerstofftransfer durch den freien Korken war jedoch in allen vier Fällen ähnlich, was mit Daten früherer Studien übereinstimmt⁶. Diese Ergebnisse heben somit die Bedeutung der Glas-Korken-Grenzfläche hervor⁷. Es sollte jedoch bedacht werden, dass die Messungen unter Bedingungen durchgeführt wurden, die nicht den normalen Lagerungsbedingungen von Weinen entsprechen (trockene Proben, kein Partialdruck von Wasserdampf und Ethanol), was die augenscheinlich sehr hohen Werte erklärt. Weiterhin ist zu beachten, dass die Barriereigenschaften des Korkens dem Endzustand nach vielen Jahren Lagerung entsprechen und dass sich diese Merkmale im Laufe der Zeit verändert haben können. Die Daten zeigen jedoch deutlich, dass die OTR an der Glas-Korken-Grenzfläche stets höher ist als der Sauerstofftransfer durch den Korken selbst. Dies bedeutet, dass die Oxidation eines Weins nicht lediglich auf eine schlechte Barriereigenschaft des Korkens zurückzuführen ist, sondern auf eine unkontrollierte Sauerstoffübertragung an der Grenzfläche zwischen dem Korken und dem Flaschenhals. Diese Schlussfolgerung wurde bereits in einer vorhergehenden Studie in Erwägung gezogen, in der natürliche Korken unabhängig davon untersucht wurden, ob sie sich im Flaschenhals befanden oder nicht⁶.

■ Fazit und Perspektiven

Unsere Ergebnisse zeigten, dass die Oxidationsbeständigkeit eines Weins während der Flaschenalterung wesentlich durch die Sauerstoffzufuhr an der Grenzfläche zwischen dem Korken und dem Flaschenhals bestimmt wird. Wie diese Fallstudie zeigte, ist dies unabhängig von den spezifischen Barriereigenschaften des Verschlusses, da alle vier

untersuchten Korken dahingehend ähnliche Werte aufwiesen. Zukünftige Studien sollten sich daher mit der Bedeutung der Oberflächenbehandlung von Verschlüssen, dem Einfluss von deren Dichte und mechanischen Eigenschaften, sowie mit der Qualität der Flaschenabfüllung (Verschlussmethode) beschäftigen. Ein weiterer Aspekt ist die Rolle des Flaschenhalses und insbesondere dessen Größe und Oberflächeneigenschaften, die untersucht werden sollten. Abgesehen davon gibt es weitere Faktoren, die die Oxidationsstabilität eines Weins beeinflussen können. Dazu gehören Matrixeffekte, die mit dem Stoffwechsel der Rebe und den Umweltbedingungen im Weinberg im Zusammenhang stehen, sowie mit bestimmten Weinherstellungspraktiken, wie zum Beispiel der Reduzierung der SO₂-Konzentration. Daher sollte der hier vorgestellte multidisziplinäre Ansatz auf eine größere Anzahl von Proben ausgedehnt werden, um die Relevanz aller involvierter Faktoren beurteilen zu können. ■

Thomas Karbowiak¹, Julie Chanut^{1,2}, Kevin Crouvisier-Urien^{1,2}, Aurélie Lagorce^{1,2}, Jordi Ballester³, André Geoffroy, Chloé Roullier-Gall^{1,3}, Régis D. Gougeon^{1,3}, Philippe Schmitt-Kopplin⁴, Jean-Pierre Bellat²

1 Université Bourgogne Franche-Comté, AgroSup Dijon, UMR PAM, 1 Esplanade Erasme, 21000 Dijon, France

2 Université Bourgogne Franche-Comté, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS, 9 Avenue Alain Savary, 21000 Dijon, France

3 Université Bourgogne Franche-Comté, Institut Universitaire de la Vigne et du Vin, 1 rue Claude Ladrey, 21000 Dijon, France

4 Research Unit Analytical BioGeoChemistry, Department of Environmental Sciences, Helmholtz Zentrum München, Ingolstaedter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Germany

1 Karbowiak T., Crouvisier Urien K., Lagorce A., Ballester J., Geoffroy A., Roullier-Gall C., Chanut J., Gougeon R., Schmitt-Kopplin P. & Bellat J.-P. (2019) Wine aging: a bottleneck story, *Nature - Science of Food* 3. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0045-9>

2 Crouvisier-Urien K., Bellat J.-P., Gougeon R.D. & Karbowiak T. (2018) Gas transfer through wine closures: a critical review. *Trends in Food Science and Technology* 78, 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.021>

3 Jeandet P., Heinzmann S., Roullier Gall C., Cilindre C., Aron A., Deville M.-A., Moritz F., Karbowiak T., Demarville D., Brun C., Moreau F., Michalke B., Liger-Belair G., Witting M., Lucio M., Steyer D., Gougeon R. & Schmitt-Kopplin P. (2015) Chemical messages in 170-year-old champagne bottles from the Baltic Sea: Revealing tastes from the past. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 112, 5893-5898. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500783112>

4 Romanet, R., Bahut, F., Nikolantonaki, M., & Gougeon, R. D. (2020). Molecular characterization of white wines antioxidant metabolome by Ultra High Performance Liquid Chromatography High-Resolution Mass Spectrometry. *Antioxidants* 9, 115. <https://doi.org/10.3390/antiox9020115>

5 Chanut J., Lagorce A., Lequin S., Gougeon R., Simon J.-M., Bellat J.-P. & Karbowiak T. (2021). Fast manometric method for determining the oxygen diffusion coefficient through wine stopper. *Polymer Testing* 93, 106924. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106924>

6 Lagorce-Tachon A., Karbowiak T., Paulin C., Simon J.-M., Gougeon R. & Bellat J.-P. (2016) About the role of the bottleneck/cork interface on oxygen transfer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64, 6672-6675. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02465>

7 Chanut J., Bellat J.-P., Gougeon R. & Karbowiak T. (2021) Controlled diffusion by thin layer coating: the intricate case of the glass-stopper interface. *Food Control* 120, 107446.