IVES Technical Reviews
rebe & wein

https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2026.10500

Was messen wir eigentlich, wenn wir den gelösten Sauerstoff im Wein messen?

Ignacio Nevares[1]✉, **Maria del Alamo-Sanza**[1]✉

[1] UVaMOX Group, Universidad de Valladolid, Palencia, Spain

Sauerstoffmessgeräte messen Sauerstoff nicht in mg/L, die Sensoren reagieren vielmehr auf den Sauerstoffpartialdruck (pO_2) bzw. -fluss. Das Signal wird danach vom Gerät mithilfe eines Löslichkeitsmodells umgewandelt. In Wein kann die Matrix sowohl die Löslichkeit als auch das Sensorverhalten beeinflussen. Werte in mg/L sind unter kontrollierten Bedingungen praktisch, lassen sich jedoch nicht immer zwischen verschiedenen Weinen oder Messgeräten vergleichen. Die Aufzeichnung des ursprünglichen Signals, der Temperatur, des Drucks und des Kontexts ermöglicht eine zuverlässigere Interpretation von Messwerten und der Verbrauchskinetik[1].

Eine Zahl, hinter der sich eine komplexe Umrechnung verbirgt

Der Prozess selbst ist relativ einfach: Die Sonde wird in eine Flüssigkeit getaucht und wenn sich der Messwert auf der Anzeige stabilisiert hat, wird das Ergebnis abgelesen, wie z. B. 0,42 mg/L. Dies scheint einfach, doch um vom Sauerstoffgehalt im Wein einen Wert auf dem Display zu erhalten, verlangt es ein wenig Mathematik.

Ein Sauerstoffsensor wiegt den Sauerstoff in einem Liter Wein nicht ab. Bei einer Clark-Elektrode wird Strom gemessen, welcher vom Fluss durch eine sauerstoffdurchlässige Membran abhängt; bei einem optischen Sensor vermindert Sauerstoff konzentrationsabhängig die Lumineszenz eines Indikators. In beiden Fällen wird die Sauerstoffverfügbarkeit an einer Sensoroberfläche gemessen – d. h. der pO_2 oder O_2-Fluss. Für die Umrechnung in mg/L verwenden die Geräte Löslichkeitsbeziehungen.

Das Endergebnis ist nicht falsch, es ist jedoch abgeleitet, d. h. die Genauigkeit hängt vom Sensor und vom verwendeten Modell ab. Ein Gerät kann präzise und wiederholbare Messungen liefern und dennoch nur eine ungefähre Konzentration anzeigen, wenn das Modell Wein als Matrix nicht angemessen inkorporiert.

Wein verhält sich nicht wie Wasser

Viele Sauerstoffmessgeräte werden in mit Luft gesättigtem Wasser kalibriert oder verwenden Löslichkeitsbeziehungen auf Wasserbasis. Diese eignen sich als Referenz zur Überprüfung des Sensors, jedoch nicht als Grundlage für die Annahme, dass pO_2 und mg/L im Wein in gleicher Weise miteinander in Beziehung stehen.

Wein ist eine komplexe, reaktive hydroalkoholische Matrix. Ethanol, Zucker und andere Bestandteile beeinflussen die Sauerstofflöslichkeit; Temperatur und Druck beeinflussen sowohl die Löslichkeit von Sauerstoff als auch den dessen Transport. Unter Einbeziehung von Leerraum und CO_2 entfernen wir uns noch weiter von einem Glas Wasser im Gleichgewichtszustand.

Es ist daher unmöglich einen einzigen Koeffizienten für jeden Wein zu verwenden. Bei gleichem pO_2 können verschiedene Weine unterschiedliche Mengen an physikalisch gelöstem Sauerstoff enthalten. Die Verwendung einer allgemeingültigen Umrechnung kann daher Unterschiede verschleiern, anstatt sie zu erkenntlich zu machen.

Die beiden wichtigsten Matrixeffekte sind dabei: Die Löslichkeit, ein physikochemischer Effekt, welche die Beziehung von pO_2 und mg/L betrifft; und das Sensorverhalten, ein gerätespezifischer Effekt, welche je nach Gerätetyp, vom Luminophor und dessen Trägermaterial, oder von der Sauerstoffdurchlässigkeit der Membran abhängt. del Alamo-Sanza *et al.* (2014)[2] zeigten, dass Abweichungen bereits im hPa-Bereich erkennbar waren und sich je nach Gerät unterschieden. Bei acht untersuchten Weinen sank die Fehlerquote nach gerätespezifischer Kompensation für Ethanol und Zucker von 11–19 % auf 0–5 %, bei einem der optischen Systeme sogar auf unter 0,5 %. Dies korrigierte für das Sensorverhalten; die tatsächliche Löslichkeit im Wein konnte jedoch nicht bestimmt werden.

Wissen, was schon mehr als ein halbes Jahrhundert alt ist

Zwischen 1970 und 1979 untersuchten mehrere sowjetische Forschungsgruppen die Sauerstofflöslichkeit und deren Messung in echten Weinen. Sprachbarrieren und eingeschränkter Zugang zu Fachzeitschriften sorgten dafür, dass diese Arbeiten kaum bekannt wurden, doch ihre Ergebnisse sind nach wie vor bemerkenswert aktuell.

Manuilova stellten fest, dass mit steigender Temperatur die Sauerstofflöslichkeit sank, während die polarografische Reaktion bei Clark-Elektroden zunehmen konnte. Fal'kovich kamen zu dem Schluss, dass Membransensoren auf pO_2 reagierten und nicht direkt auf die Sauerstoffmasse. Moditis hoben die Rolle extrahierter Bestandteile hervor, und Datunashvili regten an zusammensetzungsspezifische Berechnungen für Wein zu verwenden.

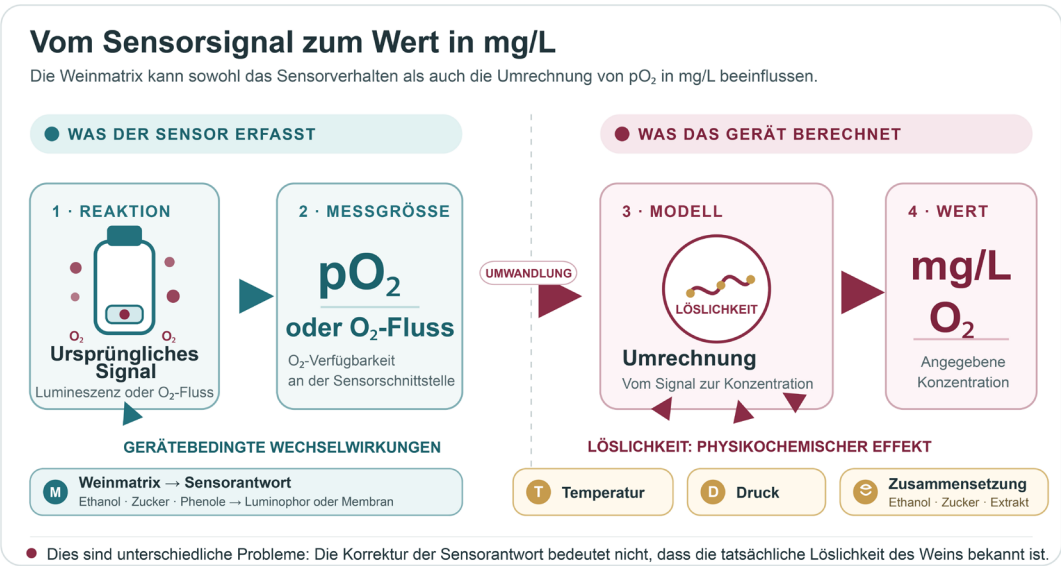


ABBILDUNG 1. Die Matrix kann sowohl das Sensorverhalten als auch die Umrechnung von pO_2 in mg/L beeinflussen.



ABBILDUNG 2. Werte in mg/L sind unter kontrollierten Bedingungen praktisch; darüber hinaus erfordern sie zusätzliche Informationen.

Die grundlegende Botschaft war klar: Die Umrechnung eines Signals in mg/L erfordert die Kenntnis der Sauerstofflöslichkeit in der jeweiligen Flüssigkeit. Ein halbes Jahrhundert später sind unsere Sensoren zwar besser, doch die Umrechnung erfolgt weiterhin oft nur pauschal[3,4,5,6].

Bessere Sensoren lösen das Modellproblem nicht

Optische Sensoren stellen einen großen Fortschritt dar: Sie sind stabil, erfordern weniger Wartung, verbrauchen während der Messung keinen Sauerstoff und ermöglichen Messungen mit minimaler Störung.

Der Leuchtstoff reagiert jedoch immer noch auf Sauerstoff in seiner unmittelbaren Umgebung, und die Software benötigt ein Modell, um diese Reaktion als Massenkonzentration auszudrücken. Eine höhere Präzision und Wiederholbarkeit korrigieren aber nicht die unbekannte Löslichkeit im Wein.

Können wir einen stabileren Wert erhalten, ohne ihn universeller zu machen? Präzision und interpretative Validität sind zwei verschiedene Fragestellungen.

Sollten wir also aufhören, mg/L zu verwenden?

Die kurze Antwort ist: Nein. Für die Bewertung von einem Wein, sowohl unter festen Bedingungen als auch relativen Veränderungen, sind mg/L-Werte praktisch.

Vorsicht ist jedoch geboten beim Vergleich von Probenmatrizen, Messgeräten oder Laboren, bei stöchiometrischen Berechnungen oder Schätzungen des SO_2-Bedarfs, sowie bei der Interpretation eines einzelnen Messwerts, der voraussetzt, dass sich der Wein im Gleichgewicht befindet.

Einfache Maßnahmen für präzisere Messungen auf Weingütern

Um den Ursprung und die Gültigkeit eines Messwertes zu verstehen, sollten, wenn möglich, zusätzlich zu den mg/L-Werten, die folgenden Parameter notiert werden:

- **Der eigentliche Messwert.** pO_2 in hPa oder als prozentuale Sättigung.
- **Die Temperatur zum Zeitpunkt der Messung und der absolute Druck.**
- **Kalibrierung und Modell.** Die Werte zur Umrechnung von pO_2 in mg/L welche getrennt von der geräteseitigen Kompensation für Matrixeffekte gehalten werden sollten.
- **Die Matrix.** Dazu zählen der Alkoholgehalt, der Zuckergehalt, der Extrakt und andere relevante Faktoren eines Weines.
- **Messkontext.** D. h., wann wurde die Messung durchgeführt, die Stabilisierungszeit, eventuelles Schütteln, der Leerraum sowie mögliche Sauerstoffaufnahme oder -verbrauch durch den Wein.

Für Messgeräte, die nur mg/L anzeigen, bleiben Messungen für interne Kontrollen aussagekräftig, sofern stets daselbe Messgerät und Protokoll verwendet werden. Den Messergebnissen sollte jedoch keine Allgemeingültigkeit zugeschrieben werden.

Ein einzelner Messwert spiegelt das momentane Gleichgewicht zwischen Sauerstoffzufuhr und -verbrauch wider. Aussagekräftiger sind Verlaufsstudien, welche die Entwicklung des pO_2 – z. B. Anstieg, Abbauzeit oder die Fläche unter der Kurve – verfolgen. Werte in mg/L bleiben als operativer Ausdruck innerhalb eines bekannten Modells und bekannter Bedingungen verwendbar[7].

Fazit

Bei modernen Sauerstoffmessgeräten ist die Frage nicht wie gut sie messen, sondern was genau die Zahl auf dem Display bedeutet.

Bei Wein, beispielsweise, resultieren die mg/L-Werte aus einer Umrechnung, die von der Zusammensetzung, der Temperatur, dem Druck und dem Löslichkeitsmodell abhängt. Mögliche Wechselwirkungen der Matrix mit dem Sensor fügen einen weiteren Effekt hinzu. Beide müssen unabhängig voneinander bewertet werden.

Die Erfassung des ursprünglichen Signals und des Messkontexts sowie die Berücksichtigung kinetischer Aspekte machen die Sauerstoffkontrolle transparenter, vergleichbarer und praktischer für Entscheidungen im Weingut.■

Danksagung: Die Autoren danken Alex Schulkin vom Australian Wine Research Institute für seine unschätzbare Hilfe bei der Übersetzung der russischsprachigen Publikationen, die einen wichtigen Teil dieses Übersichtartikels darstellen.

Literaturhinweise: Basiert auf dem wissenschaftlichen Artikel "Reassessing dissolved oxygen measurement in wines: Physicochemical and metrological limitations of mass-based reporting" (Food Chemistry, 2026).

1 Nevares, I., & del Alamo-Sanza, M. (2026). Reassessing dissolved oxygen measurement in wines: Physicochemical and metrological limitations of mass-based reporting. *Food Chemistry, 527*, 150953. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.150953

2 del Alamo-Sanza, M., Pando, V., & Nevares, I. (2014). Investigation and correction of the interference of ethanol, sugar and phenols on dissolved oxygen measurement in wine. *Analytica Chimica Acta, 809*, 162–173. https://doi.org/10.1016/j.aca.2013.11.053

3 Manuilova, T. A., Lipits, B. V., & Sokolova, A. F. (1970). Determination of oxygen solubility in wine at various temperatures. *Sbornik Nauchno-Issledovatel'skikh Rabot, Moldavskii Nll Pishchevoi Promyshlennosti, 10*, 64–71. (In Russian).

4 Fal'kovich, Y. E., Moditis, I. Z., & Gun'ko, G. P. (1976). Limit solubility of oxygen in wines. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Pishchevaya Tekhnologiya, 2*, 32–34. (In Russian).

5 Moditis, I. Z., Strukova, V. E., & Fal'kovich, Y. E. (1977). Maximum solubility of atmospheric oxygen in wine. *Vinodelie i Vinogradarstvo SSSR, 4*, 15–18. (In Russian).

6 Datunashvili, E. N., Ezhov, V. N., Ledenkova, T. P., Kozlovskii, Y. V., & Ananchenkova, G. M. (1979). Effect of basic constituents of wine on the solubility of atmospheric oxygen. *Vinodelie i Vinogradarstvo SSSR, 4*, 56–59. (In Russian).

7 del Alamo-Sanza, M., Sánchez-Gómez, R., Martínez-Martínez, V., Martínez-Gil, A., & Nevares, I. (2021). Air saturation methodology proposal for the analysis of wine oxygen consumption kinetics. *Food Research International, 147*, 110535. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110535

Dieses Werk steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International.