

Technischer Bericht: Optimierung der Schwefelanalyse in Wein - Offizielle Methoden im Vergleich mit dem CDR WineLab® System

Dr. Francesca Bruni, Forscherin im CDR Chemielabor "Francesco Bonicolini"

P2603

1. Die strategische Rolle des Schwefeldioxids in der modernen Önologie

Schwefeldioxid (SO_2) ist der Eckpfeiler der önologischen Stabilität. Es sollte nicht als bloßer Zusatzstoff betrachtet werden, sondern vielmehr als ein multifunktionales Mittel, das für den antioxidativen Schutz und die mikrobiologische Konservierung unerlässlich ist. In einem zunehmend strengerem rechtlichen und gesundheitlichen Kontext - wenn man bedenkt, dass etwa 75 % der gesamten Sulfiteexposition bei Erwachsenen auf den Konsum von Wein zurückzuführen ist - ist analytische Präzision nicht nur eine gesetzliche Anforderung, sondern auch eine Garantie für organoleptische Qualität.

Aus chemischer Sicht liegt Schwefeldioxid (SO_2) in wässriger Lösung in einem komplexen Gleichgewicht zwischen verschiedenen Spezies vor. Im Wein besteht bei einem typischen pH-Wert (in der Regel zwischen 3,0 und 3,8) der freie SO_2 -Anteil zu 92–99 % aus Hydrogensulfitionen (HSO_3^-), während molekulares SO_2 – die tatsächlich gegen Mikroorganismen und Oxidation wirksame Form – nur einen geringen Anteil ausmacht. Weine mit der Kennzeichnung „ohne zugesetzte Sulfite“ weisen in der Regel Konzentrationen zwischen 10 und 50 mg/L auf, die auf natürliche Weise durch die Hefetätigkeit während der Gärung entstehen. Die Notwendigkeit, solche Konzentrationen zu überwachen, erfordert einen detaillierten Vergleich der verschiedenen verfügbaren analytischen Methoden.

2. Überblick über offizielle Methoden: Komplexität und praktische Einschränkungen

Die von der Internationalen Organisation für Rebe und Wein (OIV) definierten Methoden gelten als Goldstandard für die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben. Ihre Anwendung im routinemäßigen Betrieb eines Weinguts erfordert jedoch fortgeschrittenes technisches Know-how sowie eine komplexe Laborausstattung.

Die wichtigsten offiziellen Verfahren umfassen:

- **Aerations-/Oxidationsverfahren (Rankine-/Pocock-Methode – OIV-MA-AS323-04A):** Bei diesem Verfahren wird SO_2 aus der angesäuerten Probe durch einen konstanten Luftstrom, exakt eingestellt auf **1 L/min**, in eine Wasserstoffperoxidlösung überführt, wo es zu Schwefelsäure oxidiert und anschließend mit NaOH titriert wird. Obwohl die Methode robust und frei von Matrixinterferenzen ist, erfordert sie Rundkolben, Kühler sowie eine kontinuierliche Überwachung, um Verluste durch Flüchtigkeit zu vermeiden.
- **Iodometrische Titration (Ripper-Methode – OIV-MA-AS323-04B):** Diese Methode basiert auf der Reaktion zwischen Hydrogensulfit und Iod in

Gegenwart einer Stärkelösung. Trotz ihrer Schnelligkeit weist sie erhebliche Einschränkungen hinsichtlich der Präzision auf: Die Farbe von Rotweinen überdeckt den Farbumschlagspunkt, und das Vorhandensein von Ascorbinsäure reagiert **stöchiometrisch** mit Iod, was zu einer systematischen Überschätzung des Ergebnisses führt und separate Analysen zur Korrektur erforderlich macht.

- **Molekularmethode (OIV-MA-AS323-04C):** Wird für spezifische Bestimmungen der gasförmigen Fraktion eingesetzt.

Kritische Aspekte traditioneller Methoden:

Aufbau und Platzbedarf: Erfordern umfangreiche Glasgeräte (Extraktoren, Büretten) sowie Versorgungsanschlüsse (Erdgas für Brenner oder Heizsysteme).

Instabilität der Reagenzien: Lösungen wie Iod oder NaOH erfordern eine häufige Standardisierung, da sie sich schnell zersetzen.

Arbeitszeiten: Die AO-Methode benötigt für eine einzelne Probe etwa 20 Minuten, wodurch die sequentielle Analyse zahlreicher Tanks zu einem logistischen Engpass wird.

3. Vereinfachung des Analyseprozesses mit CDR WineLab®

Das System **CDR WineLab®** wurde entwickelt, um die Einschränkungen des traditionellen Labors zu überwinden und fotometrische Präzision mit betrieblicher Flexibilität in eigenen Betrieb zu verbinden.

Das analytische Prinzip zur Bestimmung von **freiem** und **gesamtem Schwefeldioxid** basiert auf der Reaktion von Schwefeldioxid mit einem **organischen Disulfid**. Die daraus resultierende Farbentwicklung, gemessen bei **420 nm**, ist direkt proportional zur SO_2 -Konzentration.

Die Durchführung ist für den Kellertechniker durch spezifische Verfahren je nach Matrix optimiert:

Wein: Direkte Analyse ohne Vorbehandlung.

Moste: Zentrifugation oder Filtration zur Beseitigung von Trübungen.

Schaumweine oder gärende Weine: Obligatorische Entgasung mittels geeignetem Ultraschallbad zur Eliminierung von CO_2 -Interferenzen.

Das System verwendet vorgefüllte Reagenziensets in gebrauchsfertigen Küvetten. Dadurch werden systematische Fehler vermieden, die durch den Einsatz degradierter Titrationslösungen entstehen können, sowie eine bessere Reproduzierbarkeit im Vergleich zu manuellen Methoden gewährleistet, bei denen die Reagenzienvorbereitung eine kritische Variable darstellt.

4. Vergleichende Analyse: Zeiteffizienz und Benutzerfreundlichkeit

Die analytische Effizienz ist eine wirtschaftliche Variable: SO₂ erfüllt seine Funktion in „**opfernder**“ Weise und nimmt im Laufe der Zeit ab, abhängig von der Art des Verschlusses, dem Sauerstoff im Kopfraum und den Lagerbedingungen. Eine schnelle Überwachung trägt dazu bei, ein Absinken unter die mikrobiologischen Sicherheitsschwellenwerte zu verhindern.

Parameter	Aeration/Oxidation (AO) Method	CDR WineLab®
Testzeit	~20 min / Probe	1 min (Gesamt SO ₂) / 2 min (Freies SO ₂)
Gleichzeitige Bestimmungen	einzelnen (sequentiell)	Bis zu 16 Proben
Technische Fertigkeiten	Erfahrener Labortechniker	Kellermeister (Methode mit Anleitung)
Interferenzen	minimal, aber kritischer Fluss (1 L/min)	Abwesend (Farbe, Ascorbinsäure)
Behandlung der Proben	komplex (Ansäuerung/Erhitzung)	Zentrifuge/Ultraschall (falls erforderlich)

Die Fähigkeit von CDR WineLab®, bis zu 16 Proben gleichzeitig zu analysieren, ermöglicht die Optimierung eines internen Qualitätskontrollprotokolls und macht dieses für jeden Betrieb wirtschaftlich tragfähig. Während offizielle Methoden ein detailliertes Monitoring nach der Abfüllung zu einer erheblichen Belastung machen, erlaubt CDR WineLab® ein Eingreifen in Echtzeit. Dadurch wird verhindert, dass der Wein in die „Gefahrenzone“ oxidativer Veränderungen gerät, und es können sofortige Korrekturmaßnahmen ergriffen werden, bevor sensorische Schäden irreversibel werden.

5. Validierung und Verlässlichkeit der analytischen Daten

Das System CDR WineLab® ermöglicht somit einen vollständig optimierten Workflow, bei dem Schnelligkeit und Einfachheit nicht zulasten der Präzision gehen. **Korrelationsstudien der Universität Florenz** haben die ausgezeichnete Linearität des Systems im Vergleich zu den OIV-Referenzmethoden bestätigt.

Analysen	Messbereich	Auflösung	Wiederholbarkeit
SO ₂ Frei	1 - 60 mg/L	1 mg/L	2 mg/L
SO ₂ Gesamt (Weiss)	15 - 250 mg/L	1 mg/L	4 mg/L
SO ₂ Gesamt (Rot)	20 - 250 mg/L	1 mg/L	6 mg/L

Das System zeigt eine besondere Robustheit bei Rotweinen, da es den für die Ripper-Methode typischen Fehler bei der Farberkennung eliminiert, sowie bei Mosten dank der Standardisierung der Vorbehandlungsprotokolle (Zentrifugation/Filtration). Die Vielseitigkeit und analytische Robustheit der Methode ermöglichen die Überwachung des gesamten Weinbereitungsprozesses – vom Most bis zur Abfüllung.

6. Schlussfolgerungen: Die Auswirkungen in der Kellerverwaltung

Die Integration eines Systems wie **CDR WineLab®** ermöglicht es dem Labor, sich von einem reaktiven Kostenfaktor zu einem echten strategischen Entscheidungszentrum zu entwickeln. Die Modernisierung der Weinanalyse basiert auf drei operativen Säulen:

- 1. Schnelligkeit und Autonomie:** Sofortige Ergebnisse ohne Abhängigkeit von externen Laboren, entscheidend insbesondere in der Phase vor der Abfüllung.
- 2. Einfachheit des Verfahrens:** Reduziertes Risiko von Bedienfehlern dank gebrauchsfertiger Reagenzien und standardisierter Probenvorbereitungssysteme (Ultraschall/Zentrifuge).
- 3. Nachhaltigkeit und Präzision:** Im Einklang mit der OIV-OENO-Resolution **631-2020** ermöglicht eine häufige Überwachung die Reduzierung der Gesamt-Sulfitdosierung und entspricht damit der Nachfrage nach natürlicheren und gesundheitsbewussteren Weinen.

Zusammenfassend erlaubt die Einführung fortschrittlicher fotometrischer Technologien zur Bestimmung von **freiem** und **gesamtem Schwefeldioxid** eine dynamische Dosierungssteuerung, gewährleistet die Stabilität des Endprodukts sowie die vollständige Einhaltung internationaler gesetzlicher Grenzwerte und hebt die Kontrollstandards in modernen Weinkellereien auf ein höheres Niveau.