

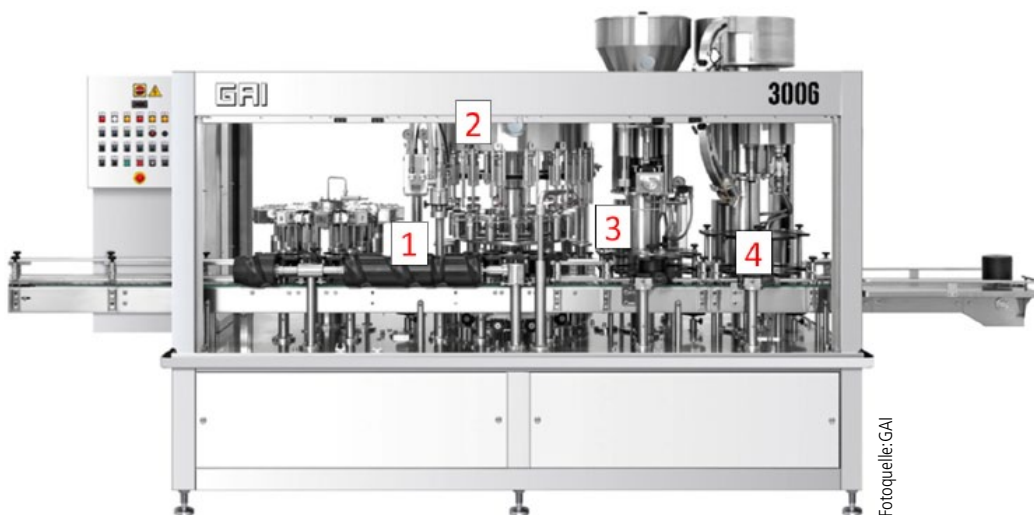


Abb. 1: Abfüllanlage GAI 3006 mit Rinser, Vorevakuierung (1), Füller (2), Niveaueinstellung (3) und Schraubverschluss-Spülung (4)

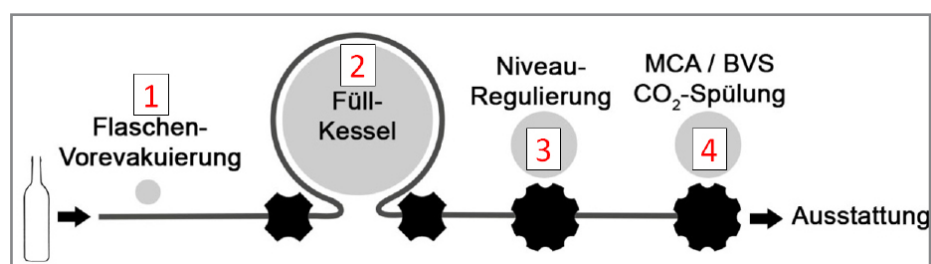


Abb. 2: Schematischer Ablauf der Flaschenfüllung mit den getesteten Einstellmöglichkeiten (Lassak, 2013)

Abfüllung zweipunktnull

Stellmichein der Möglichkeiten Mit der Abfüllung findet die Weinbereitung ihren Abschluss. Nach diesem Vorgang verliert der Kellerwirt die Möglichkeit, direkt Einfluss auf die Entwicklung des Weines zuzunehmen. An modernen Abfüllanlagen kann heute eine Vielzahl von Parametern eingestellt werden. In dieser Publikation möchten Fabian Lassak, Dr. Ksenia Morozova und Dr. Oliver Schmidt, LVWO-Weinsberg, die Ergebnisse zur Optimierung der gelösten Gase bei der Abfüllung vorstellen.

Ganz allgemein sind die Bedingungen während der Abfüllung für die Qualität und Lagerfähigkeit des Weines entscheidend. Der Sauerstoff spielt für die Beurteilung der Abfüllung eine Hauptrolle, da er für Reifungs- und Oxidationsvorgänge im Wein verantwortlich ist. Generell führen erhöhte Gehalte an

Sauerstoff zum Abbau der freien SO_2 . Weißweine, die ohne den Schutz der Polyphenole wie Rotwein auskommen müssen, sind empfindlicher gegen Oxidation. Hier kann ein starker Sauerstoffzutritt zum Verlust der sortencharakteristischen Aromatik führen. Zudem kann bei der Abfüllung ein Teil des ge-

lösten CO_2 verloren gehen. Besonders Weißweine leiden deshalb unter einer suboptimalen Abfüllung mit starkem Sauerstoffeintrag und Verlust an CO_2 . Sie können im Lauf der Lagerung schnell an Frische, Spritzigkeit und Frucht verlieren.

Quo vadis Flaschenfüllung

Hersteller von Abfüllanlagen bieten viele technische Lösungen mit dem Ziel an, die Abfüllung zu optimieren. Neben der Abfülltechnik nimmt auch die Wahl des Verschlusses einen entscheidenden Einfluss auf die Sauerstoffaufnahme eines Weines. Dabei geht es allerdings weniger um die Gasdurchlässigkeit des Verschlusses. Vielmehr ist die Summe an Sauerstoff von Bedeutung, die

- a) im Wein nach dem Füllvorgang gelöst ist
 - b) und sich im Leerraum über dem Wein im Flaschenhals (Kopfraum) befindet.
- Der Kopfraum ist bei Flaschen mit Schraubverschlüssen im Vergleich zu Korken zirka drei- bis fünfmal so groß. Insgesamt errechnet sich demnach die Sauerstoffaufnahme als Summe dieser beiden Faktoren.

Zielsetzung

Im vorliegenden Versuch haben die Autoren die Dynamik von Sauerstoff (O_2) und Kohlendioxid (CO_2) bei der Abfüllung mit unterschiedlichen Einstellungen der Abfüllanlage erfasst. Die dabei gewonnenen Daten sollen dem Kellerwirt eine Hilfestellung bieten, wie der Abfüllprozess mithilfe der Abfülltechnik auf die Bedürfnisse der Weine optimiert werden kann.

Abfülltechnik

Die Untersuchung der Abfülltechnik wurde an einer Abfüllanlage vom Typ GAI 3006 (Abb. 1) im Staatsweingut Weinsberg durchgeführt. Die Anlage kann serienmäßig arbeiten

- a) im **Unterdruck**bereich („Vakuum“) beziehungsweise
 - b) im **Normaldruck**bereich („Falldruck“).
- Durch die Bereitstellung einer zusätzlichen speziellen Gegendruck-Ausrüstung der Firma Clemens ist es nun möglich, den Füller
- c) im leichten **Überdruck**bereich bis +0,15 bar zu betreiben.

Folgende technische Optionen zur Einstellung des Gehaltes an gelösten Gasen in den abgefüllten Flaschen stehen zur Verfügung (Abb. 1 und 2):

- **1. Vorevakuierung der zu füllenden Flasche:** Nach Anlegen eines Vakuums wird die Flasche mit CO_2 „gespült“.
- **2. Füllmodus:** Unterdruck, Normaldruck oder Gegendruck.
- **3. Die Korrektur des Füllniveaus beziehungsweise Kopfraumspülung mit CO_2 :** Durch Einleiten von CO_2 in den Flaschenhals wird der Kopfraum der Flasche mit CO_2 überlagert und die Füllhöhe korrigiert.
- **4. Kapselspülung:** MCA- beziehungsweise BVS-Kapseln werden mit CO_2 gespült.



Abb. 3: Armatur für die Vorevakuierung der Flasche zur Minderung des O₂ Eintrags

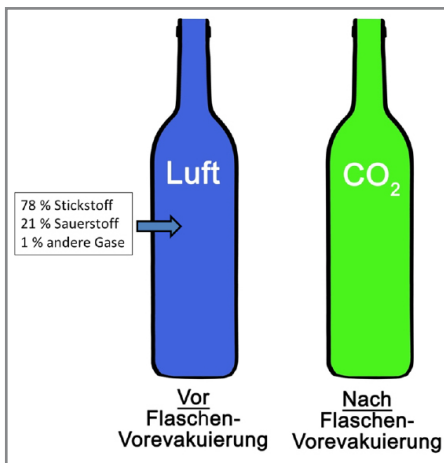


Abb. 4: Schema der Vorevakuierung; linke Flasche mit Luft gefüllt, rechts nach der Vorevakuierung weitgehend mit CO₂ gefüllt (Lassak, 2013)

Technische Lösungen der Abfüllanlage im Detail

1. Vorevakuierung der Flasche

Die Flaschenvorevakuierung erfolgt in zwei Schritten: Zunächst wird über das Anlegen eines Vakuums die Flasche evakuiert und so die Luft/der Sauerstoff darin auf ein Minimum reduziert. In das Vakuum wird anschließend CO₂ appliziert. Dadurch wird der Sauerstoffgehalt in der Flasche deutlich herabgesetzt (Abb. 3). Sobald jetzt Wein in die Flasche fließt nimmt dieser weniger/keinen Sauerstoff auf. Die CO₂ in der Flasche spült gleichzeitig den Kopfraum des Füllkessels und vermindert/verhindert so die Sauerstoffaufnahme im Füllkessel.

2. Füllmodus

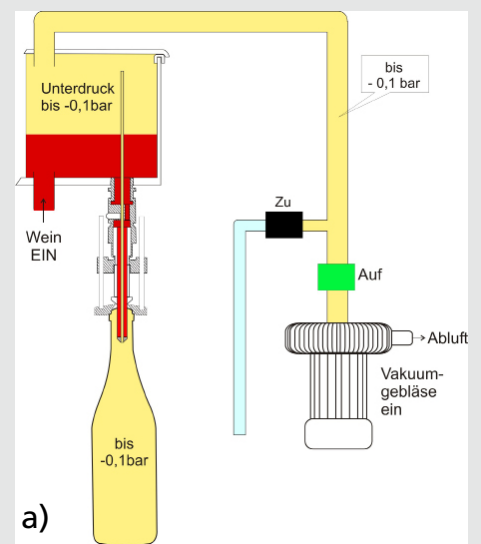
Die verwendete Abfüllanlage kann in drei verschiedenen Druckbereichen arbeiten. Die Druckverhältnisse der einzelnen Modi werden im Folgenden beschrieben und sind in Abbildung 6 dargestellt.

Fotoquelle: GAI

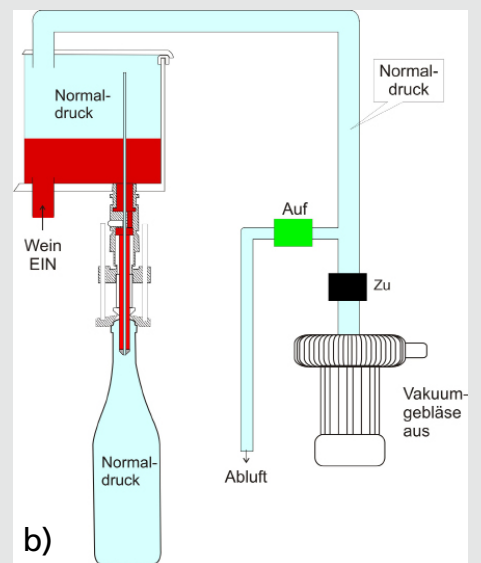
Bei der **Abfüllung im Unterdruckbereich („Vakuumfüller“)** (Abb. 5a) stehen der Füllkessel und die Flaschen unter leichtem Unterdruck. Der benötigte Unterdruck des Füllkessels wird mit einem Vakuumgebläse (Exhaustor) erzeugt und kann gezielt eingestellt werden. Meist sind die Vakuumgebläse in der Lage einen Unterdruck von bis zu -0,1 bar zu bilden – sinnvoll ist jedoch nur ein Unterdruck von -0,03 bis -0,05 bar. Über das Rückluftrohr im Füllventil wird die Flasche mit dem unter leichtem Unterdruck stehenden Füllkessel verbunden und so der Druckausgleich hergestellt. Sobald sich die Flasche im Gleichdruck zum Füller befindet, fließt der Wein durch die Schwerkraft vom Füllkessel in die Flasche. Über das Rückluftrohr entweicht die Luft/das Gas aus der Flasche in den Füllkessel. Der Füllprozess kommt zum Stillstand, sobald das Füllniveau die Höhe des Rückluftrohres erreicht. Über das Rückluftrohr wird durch das Vakuum überschüssiger Wein in den Füllkessel zurück gesaugt und so die Füllhöhe präzise eingestellt. Durch Absenken der Flasche vom Füllventil wird dieses geschlossen und der Füllvorgang kommt zum Erliegen.

Die **Abfüllung im Normaldruckbereich („Falldruckfüller“)** (Abb. 5b) erfolgt bei normalem Umgebungsluftdruck. Durch das mechanische Öffnen des Füllventils fließt der Wein mithilfe der Schwerkraft aus dem Füllkessel drucklos in die Flasche. Es muss kein Druckausgleich zwischen Flasche und Füllkessel erfolgen, da in beiden der Umgebungsluftdruck vorliegt. Gas (Luft oder Inertgas), das sich in der Flasche befindet, wird mittels Rückluftrohr in den Füllkessel geleitet. Erreicht der Flüssigkeitsstand in der Flasche das Rückluftrohr des Füllventils, kommt der Füllvorgang zum Erliegen. Durch Absenken der Flasche, wird das Füllventil mechanisch geschlossen und der Füllvorgang ist beendet. Die Füllhöhereinstellung ist wegen des fehlenden Vakuums und ohne die Absaugung des ggf. überschüssigen Weins bei den meisten Normaldruckfüllern nicht sehr exakt.

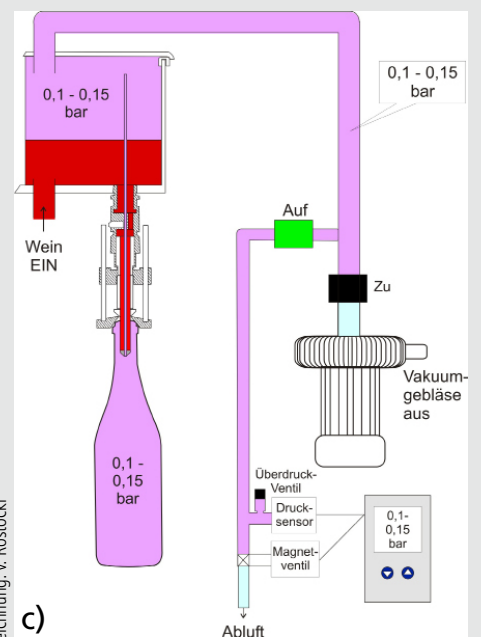
Bei der **Abfüllung im Überdruckbereich** (Abb. 5c) steht der Füllkessel durch eine spezielle Armatur unter einem leichten Überdruck von bis zu 0,15 bar. Diese Zusatzarmatur wird von der Firma Clemens aus Wittlich für GAI-Füller angeboten. Diese besteht aus einem Steuergerät, einem Drucksensor, sowie Gasleitungen und zwei Magnetventilen (Abb. 6). Hierzu wird an die Rückluftleitung des Füllkessels, welche normalerweise zur Erzeugung des Unterdruckes verwendet wird, die „Regeleinheit“ angeschlossen. Die Armatur kann den Druck im Füllkessel bis auf +0,15 bar regeln. Der Druckaufbau kann ohne externe Druckquelle im Verlauf der Abfüllung erfolgen. Der Wein, der in den Füllkessel fließt, verdichtet quasi den zur Verfügung stehenden Raum. Das Magnetventil, welches den Gasaustritt aus dem System steuert, bleibt dabei so lange geschlossen, bis der vorher eingestellte Überdruck von zum Beispiel



a)



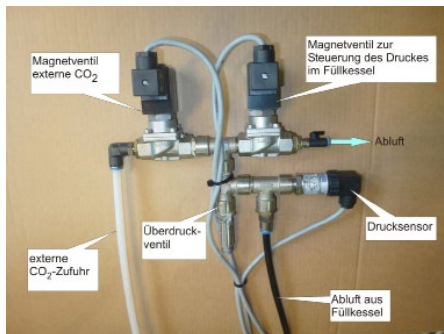
b)



c)

Abb. 5: Darstellung der Abfüllung im Unterdruckbereich (a), im Normaldruckbereich (b) und im Überdruckbereich mit der speziellen Armatur von Clemens (c)

Zeichnung: V. Rostocki



Fotos: Schmidt

Abb. 6: Steuerung und Funktionsweise der Gegendruck-Ausrüstung von Clemens: Steuergerät (linkes Bild) und Druckarmaturen (rechtes Bild).

+0,15 bar erreicht ist. Danach hält die Elektronik den gewollten Überdruck durch getaktetes Öffnen des Ventils. Zur Sicherheit ist ein Überdruck-Ventil integriert, welches den Füllkessel vor Schäden schützt. Als weiteres Extra kann über eine Zuleitung zu Beginn der Füllung sowie bei Abfallen des Druckes im Füllkessel, der Druck mittels externer CO₂ aufgebaut beziehungsweise konstant gehalten werden.

Der Füllvorgang läuft wie bei den anderen Füllmodi ab: Sobald die Flasche am Füllventil dicht anliegt erfolgt der Druckausgleich zwischen Füllkessel und Flasche – hier im leichten Überdruckbereich. Nach Druckausgleich fließt der Wein mittels Schwerkraft im Gleichdruck in die Flasche. Auch hierbei kommt die Füllung zum Erliegen, sobald der Füllstand in der Flasche das Rückluftrohr erreicht. Durch das Absenken der Flasche schließt sich das Füllventil. Der leichte Überdruck wirkt einer CO₂-Freisetzung bei kohlensäurehaltigen Weinen entgegen. Es verbleibt mehr CO₂ im Wein und die Neigung zum Schäumen ist sowohl im Füllkessel als auch in der Flasche geringer. Neben den Effekten auf Menge und Zusammensetzung der gelösten Gase im Wein kann der Abfüllvorgang mit weniger Schäumen bei größerer Füllgeschwindigkeit erfolgen.

3. Niveau-Regulierung und Kopfraumüberlagerung

Die Einhaltung des korrekten Füllniveaus ist gesetzlich vorgeschrieben. Je nach Hersteller und technischer Ausstattung erfolgt die Füllhöhenkorrektur am Füllventil selbst oder nachfolgend über spezielle Einrichtungen. Bei den Abfüllanlagen der Firma GAI kann die Kontrolle des Füllniveaus nach dem Füllvorgang durch das Einleiten von CO₂ über einen Gasinjektor realisiert werden (Abb. 7). Durch das Einleiten von CO₂-Gas entsteht ein Überdruck im Kopfraum. Dieser Überdruck drückt überschüssigen Wein durch ein Steigrohr aus der Flasche. Der untere Rand des Steigrohres bestimmt dann die Füllhöhe. Diese Technik hat den Vorteil, dass a) alle Flaschen die gleiche Füllhöhe von +/- 0,5 mm haben und b) der Kopfraum in der Flasche mit CO₂ gefüllt ist.

4. Verschließen

Die Abfüllanlage GAI 3006 bietet die Möglichkeit Flaschen sowohl mit Kork oder Schraubverschluss zu verschließen. Das dort verbaut Vakuum-Korkschloss hat den Vorteil, dass beim Einführen des Korkens in den Flaschenhals kein Überdruck entsteht. Damit soll das Herausdrücken des Korkens durch den entstehenden Überdruck in der Flasche verhindert werden. Gleichzeitig wird der Sauerstoffeintrag durch das Vakuum verringert.

An der zweiten Säule des GAI-Füllers ist ein Schraubverschleißer angebracht, der je nach Anbau mit MCA oder BVS Verschlüssen arbeiten kann. Vor dem Aufsetzen der Flasche kann Inertgas über eine Ringkanaldüse in die BVS-/MCA-Kapsel eingeleitet werden (Abbildung 8). Dadurch kann der Sauerstoffeintrag theoretisch noch weiter gesenkt werden. Die Inertgas-Spülung der Schraubverschlüsse funktioniert zwar – bringt aber im Vergleich zu den Parametern 1, 2 und 3 nur einen sehr geringen Beitrag um 3 mg/l. Daher wird auf die Darstellung Ergebnisse im weiteren Verlauf verzichtet.

Versuchsaufbau

Zur Überprüfung der Effekte der einzelnen Abfüllparameter wurden umfangreiche Abfüllversuche mit karbonisiertem Wasser durchgeführt. Mittels Membrankontaktor wurde der Sauerstoffgehalt von rund 4 000 Liter Leitungswasser auf 1,7 mg/l reduziert und gleichzeitig der CO₂-Gehalt auf zirka 1,2 g/l im Tank vor der Abfüllung eingestellt. Anschließend wurde Wasser mit zwölf verschiedenen Modi bei 18 °C in Literflaschen mit MCA 28 Verschlüssen abgefüllt (Abb. 9).

Analytik-Sauerstoff

Die Messungen vom gelösten Sauerstoff (DO = dissolved oxygen) und gasförmigen Sauerstoff im Kopfraum (HS = headspace) nach der Abfüllung erfolgten mit dem nichtinvasiven PreSens-Verfahren und speziell präparierten Flaschen. Dafür wurden Weißglasflaschen mit jeweils zwei Sensorspots beklebt. Um bei der Abfüllung eine etwaige Veränderung des Ausgangs-Sauerstoffgehaltes im Tank feststellen zu können, wurde dieser zusätzlich mithilfe des Orbisphere 3650 gemessen.

Zur Erfassung des gesamten Sauerstoffeintrages in die abgefüllten Flaschen wurde der Gesamtsauerstoffgehalt der Verpackungseinheit (=Flasche) analysiert. Dieser Wert wird im Englischen als „Total Package Oxygen“ bezeichnet und mit „TPO“ abgekürzt. Der Gesamtsauerstoffgehalt einer Flasche, also der TPO, errechnet sich als Summe

- 1) des im Wein gelösten Sauerstoffs (DO = dissolved oxygen) plus
- 2) den Sauerstoff im Kopfraum (HS = headspace) der Flasche.

Gasmessung-CO₂

Die CO₂-Gehalte im Tank und in den Flaschen wurden mit dem Durchfluss-Messgerät Orbisphere 3658 kontrolliert.

Ergebnisse

Effekt der Vorevakuierung

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Vorevakuierung, wurden leere Flaschen vor und nach der Vorevakuierung auf deren Sauerstoff-Partialdruck gemessen. Prozentual ausgedrückt bringt der Einsatz der Vorevakuierung eine Verringerung des O₂-Gehaltes um 68 %. Somit wird der Sauerstoffanteil der Luft von 20,9 % auf 6,7 % abgesenkt.

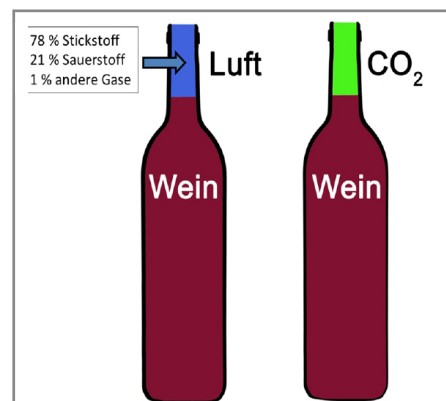


Abb. 7: Schematische Darstellung der FüllhöhenEinstellung vor und nach Niveau-Regulierung mit CO₂-Überlagerung (Lassak, 2013)

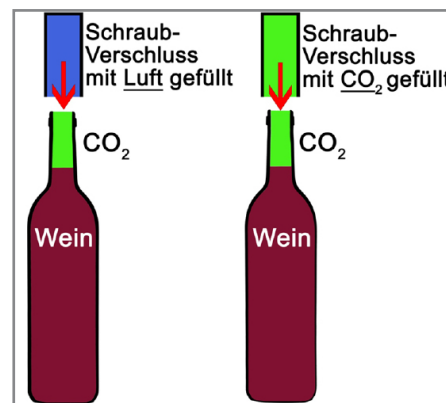


Abb. 8: Schematische Darstellung von Kapselspülung (Lassak, 2013)

Gelöster Sauerstoff (DO) im Wein nach der Flaschenfüllung

Vorevakuierung

Die Abfüllversuche ergaben, dass die **Vorevakuierung** der Flasche den größten Einfluss auf die Aufnahme vom gelösten Sauerstoff (DO) hatte. Durch den Einsatz der Vorevakuierung konnte die Sauerstoff-Aufnahme um zirka 50 % reduziert werden (Abb. 11). **Bei vorevakuerten Flaschen hatte der Füller-Modus keinerlei Einfluss** auf Gehalt an gelösten Sauerstoff im Wein nach der Abfüllung.

Füllmodus

Der Füllmodus hat nicht in jedem Fall einen Einfluss auf den gelösten Sauerstoff. Nur bei kombinierter Betrachtung vom Füllmodus zusammen mit Vorevakuierung zeigt sich ein Einfluss. Bei eingeschalteter Vorevakuierung hatte der Füllmodus keinen Einfluss auf den im Wein gelösten Sauerstoff (DO) (Abb. 11, linke Seite).

Ohne Vorevakuierung der Flasche ergab sich eine signifikant höhere Sauerstoff-Aufnahme beim Füllmodus im Überdruckbereich im Vergleich zur Unter- und Normaldruckfüllung (Abb. 11, rechte Seite). Dies erklärt sich über die Physik, da die Löslichkeit von Gasen bei größerem Druck steigt. Bei höherem Druck kann sich mehr Sauerstoff im Wein lösen, wenn sowohl Flasche als auch Füllkessel voll mit Luft sind. Aus diesem Grund sollte der Füllmodus im Überdruckbereich nur dann benutzt werden, wenn die Vorevakuierung der Flaschen und das Vorspannen mit CO₂ erfolgt.

Niveau-Regulierung/Kopfraum Spülung

Die Niveau-Regulierung hatte keinen Einfluss auf den im Wein gelösten Sauerstoff (DO). Bei eingeschalteter Vorevakuierung und Niveau-Regulierung zeigten sich nur kleine Unterschiede zwischen den Füller-Modi von 0,3 mg/l. Dies ist insofern logisch, als sich der im Kopfraum befindliche Sauerstoff nicht so schnell im Wein lösen und somit bei der Messung auch nicht als gelöster Sauerstoff (DO) gemessen werden kann.

Sauerstoff im Kopfraum (HS) nach der Flaschenfüllung

In der Vergangenheit wurde zur Beurteilung der Sauerstoffaufnahme während der Abfüllung nur der im Wein gelöste Sauerstoff (DO) gemessen und diskutiert. Zeitgemäße Untersuchungen zeigen jedoch, dass sich im Kopfraum ein großes Sauerstoffpotenzial verbirgt. Der im Kopfraum enthaltene Sauerstoff löst sich im Verlauf der Lagerung im Wein und reagiert dort mit den Weinhaltstoffen.

Vorevakuierung und Füllmodus

Die Vorevakuierung der Flasche hatte keinen Effekt auf den Sauerstoffgehalt im Kopfraum (HS). Auch die Abhängigkeit vom Füller-Modus war nur minimal (Abb. 12).

Abb. 9: Aufbau der Abfüllversuche mit sauerstoffreduziertem und karbonisiertem Wasser

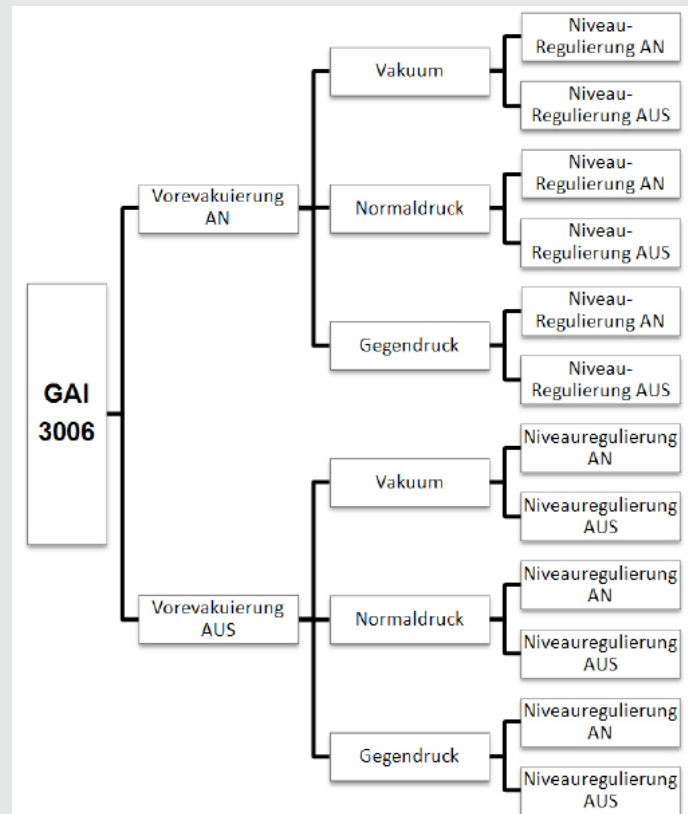


Abb. 10: Effekt der Flaschenvorevakuierung mit CO₂ auf den Sauerstoffgehalt in der Flasche

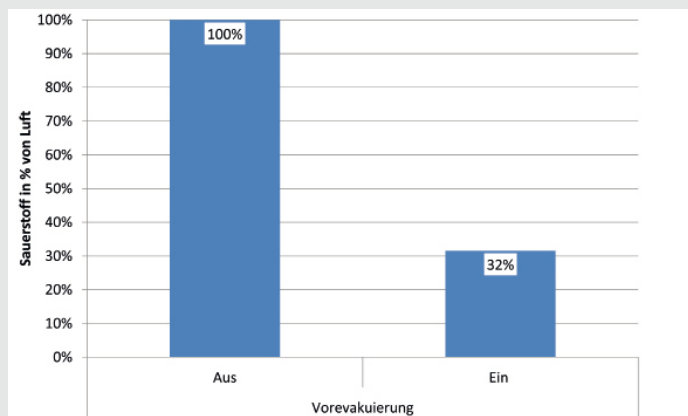
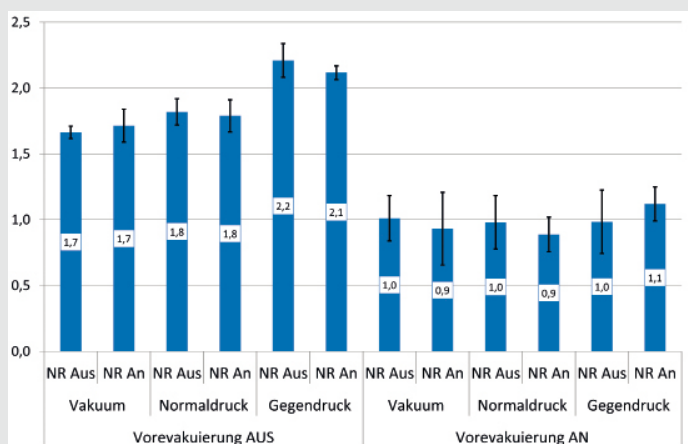


Abb. 11: Netto-Zunahme des gelösten Sauerstoffs von Tank zur Flasche in mg/l (Δ DO) in Abhängigkeit der Abfüllparameter (NR=Niveau-Regulierung).



Niveau-Regulierung/Kopfraum Spülung
Erwartungsgemäß wird der Sauerstoffgehalt im Kopfraum (HS) hauptsächlich von der Niveau-Regulierung mit der CO₂-Überlage-

rung des Kopfraumes beeinflusst. Der Sauerstoffgehalt im Kopfraum der Flasche (HS) konnte durch den Einsatz der Niveau-Regulierung im Durchschnitt aller Varianten um

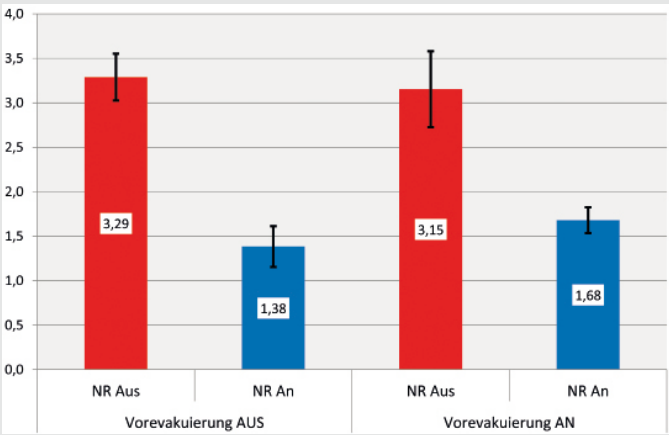


Abb. 12: Einfluss der Vorevakuierung und der Niveauregulierung auf die Sauerstoffkonzentration im Kopfraum (HS) umgerechnet in mg/l; (NR=Niveauregulierung)

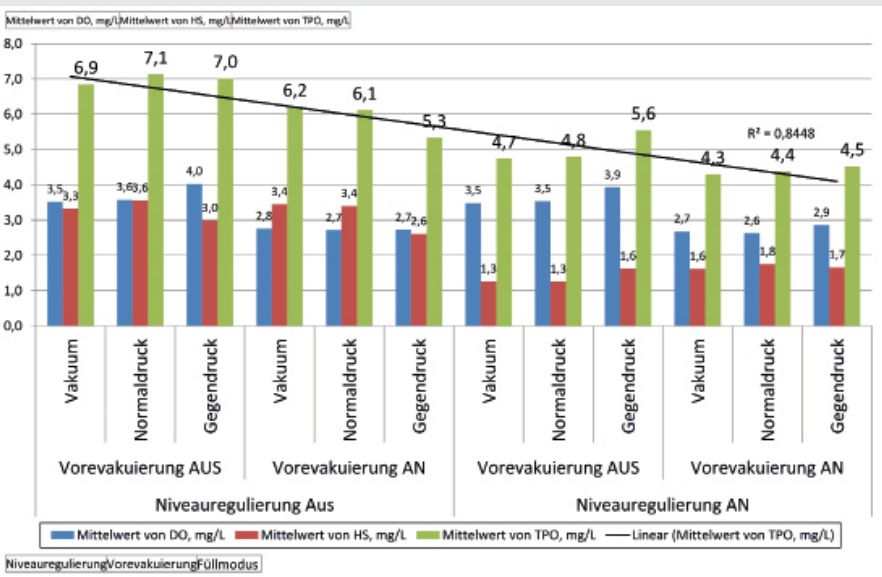


Abb. 13: Einfluss der Abfüllparameter auf den Gesamtsauerstoffgehalt der Flaschen (TPO=DO+HS)

Tab. 1: Mittelwerte der Sauerstoffgehalte in Abhängigkeit der Niveauregulierung und Vorevakuierung				
Niveauregulierung	Vorevakuierung	Mittelwert von DO, mg/l	Mittelwert von HS, mg/l	Mittelwert von TPO, mg/l
Aus	AUS	3,7	3,3	7,0
	AN	2,7	3,2	5,9
AN	AUS	3,7	1,4	5,1
	AN	2,7	1,7	4,4

DO: Dissolved Oxygen = Gelöster Sauerstoff; HS: Headspace = Sauerstoff im Kopfraum; TPO: Total Package Oxygen = DO+HS; CO₂-Verlust: Differenz zwischen Tank und Flasche; (A) = ANOVA; (MA) = MANOVA

über 50 % reduziert werden (Abb. 12). Die Menge an Sauerstoff im Kopfraum der Flasche konnte so von rund 3 mg/l auf 1,5 mg/l reduziert werden. Unterstellt man, dass die 3 mg an Kopfraum-Sauerstoff nicht in einer Literflasche sondern zum Beispiel in 0,75 l – 0,5 l – 0,375 l Flaschen vorhanden wäre, so ergibt sich rechnerisch ein Sauerstoffeintrag des Kopfraumes ohne Niveau-Regulierung von 4 mg/l – 6 mg/l – 8 mg/l. Deshalb kann man ableiten, dass mit abnehmendem Flaschen-volumen der Kopfraum relativ an Bedeutung zunimmt.

Gesamtsauerstoff = Total Package Oxygen (TPO)

Sachlogisch zu den Einzelbetrachtungen bezüglich dem Sauerstoff a) gelöst im Wein und b) im Kopfraum der Flasche (TPO=DO+HS) ergibt sich die Gesamtsauerstoff-Belastung einer Flasche. Die Daten in Abbildung 13 sind so gruppiert, dass links die Weine mit dem höchsten TPO, rechts die mit dem geringsten erscheinen. Diese Aussage wird durch den linearen Trend der TPO-Gehalte in Abbildung 13 mit R²=0,8448 bestätigt. So kann man optisch schon erkennen, dass die nachfolgenden

Parameter gemäß der Rangfolge einen abnehmenden Effekt auf die Sauerstoffaufnahme ausüben:

- 1) Niveauregulierung
- 2) Vorevakuierung
- 3) Füllmodus

Diese Ableitung wird auch durch die statistische Verrechnung bestätigt (Tab. 2).

Weiterhin auffällig ist, dass die Variante „Niveauregulierung AN & Vorevakuierung AUS & mit Gegendruck“ etwas vom Schema abweicht und mit 5,6 mg/l TPO relativ erhöht ist. Der Grund ist, dass sich bei dieser Einstellung der Sauerstoff in Flasche und Füllkessel beim leicht erhöhten Druck löst.

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, sind in Tabelle 1 die Mittelwerte der Daten aus Abbildung 13 jedoch ohne Darstellung des Füllmodus dargestellt.

- Eine hohe Gesamtsauerstoffbelastung (TPO) erhält man somit wenn **Niveauregulierung und Vorevakuierung AUS** geschaltet sind.
- Werden **Niveauregulierung und Vorevakuierung EIN** geschaltet, resultiert folglich eine geringe Gesamtsauerstoffbelastung.
- Der Effekt des Füllmodus ist insgesamt untergeordnet.

Ergebnisse Kohlendioxid

Neben dem Sauerstoffeintrag galt die Aufmerksamkeit dieser Untersuchung auch der Dynamik von CO₂ bei der Abfüllung. Besonders bei Weißweinen ist der Gehalt an CO₂ entscheidend. Je nach Weinstil und Weintyp kann Kohlenstoffdioxid belebend (frischer Weißwein) oder aber auch als störend und spitz empfunden werden (Tannin betonte Rotweinen). Bei manchen Weinen versucht man deshalb, das gesamte Kohlenstoffdioxid zu erhalten, während bei anderen Weinen ein Verlust des CO₂ durchaus erwünscht ist. Im vorliegenden Fall war der CO₂-Gehalt im Wasser auf 1,2 g/l eingestellt, was dem typischen CO₂-Gehalt eines frischen Weißweins entspricht.

Der Ausgangsgehalt an CO₂ im Tank und die CO₂-Konzentration in den abgefüllten Flaschen wurden mithilfe Orbisphere 3658 von der Firma Hach Lange kontinuierlich überprüft.

Der CO₂-Verlust lässt sich bei allen getesteten Füllparametern erkennen und zeigt folgende, abnehmende Reihenfolge:

- 1) Vorevakuierung
- 2) Füllmodus
- 3) Niveau-Regulierung

Sobald die Flaschenvorevakuierung eingeschaltet ist, sinkt der CO₂-Verlust (Abb.14). Durch das Vorevakuieren und die CO₂-Injektion in die Flasche wird die CO₂-Konzentration in den Flaschen stark erhöht. Aufgrund der Vorevakuierung nimmt das CO₂-Konzentrationsgefälle vom zu füllenden Wein gegenüber der Atmosphäre in der Flasche ab. Dadurch verliert der Wein beim Einfließen in die

Flasche weniger CO₂. Ohne Vorevakuierung stellte sich ein Verlust von bis zu 0,16 g/l CO₂ ein.

Bei allen Varianten kann der Füllmodus Gegendruck als die Variante mit dem geringsten CO₂-Verlust gesehen werden. Die beiden Varianten Falldruck und Vakuum zeigen fast identische CO₂-Verluste, die zum Teil wesentlich über denen der Gegendruckfüllung liegen. Die Bedeutung der Niveau-Regulierung auf den CO₂-Verlust ist insgesamt als äußerst gering einzustufen.

Statistische Auswertung: Varianzanalyse

Zur Untersuchung des Einflusses der einzelnen Abfüllbedingungen wurden die Daten statistisch mittels Varianzanalyse (ANOVA) ausgewertet. Des Weiteren kann man statistisch überprüfen, ob es auch bei der Kombination der Füllparameter wie zum Beispiel „Vorevakuierung * Füllmodus“ signifikante Unterschiede gibt. Hierzu wurde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst (n=72).

Die dimensionslosen F-Werte zeigen, wie groß der Einfluss der jeweiligen Parameter beziehungsweise von den Kombinationen der Parameter auf Sauerstoff- oder CO₂-Gehalt war.

Beispiel: Die dimensionslosen F-Werte vom gelösten Sauerstoff (DO) errechnen sich für

- Vorevakuierung F= 580,44
- Füllmodus F = 21,69 und
- Niveau-Regulierung F = 0,23

Analog zu den F-Werten lässt sich so der relative Einfluss des jeweiligen Parameters ablesen. Der Effekt auf den gelösten Sauerstoff ist demzufolge sehr stark von der Vorevakuierung, etwas vom Füllmodus und nicht von der Niveau-Regulierung abhängig. Aufgrund der F-Werte kann man auch Signifikanz (p-Werte) ausweisen. Die p-Werte, welche sich < 0,05 errechneten, sind rot dargestellt. Ein p-Wert < 0,05 bedeutet, dass der jeweilige Parameter mit einer Wahrscheinlichkeit von > 95 % einen signifikanten Unterschied bewirkt.

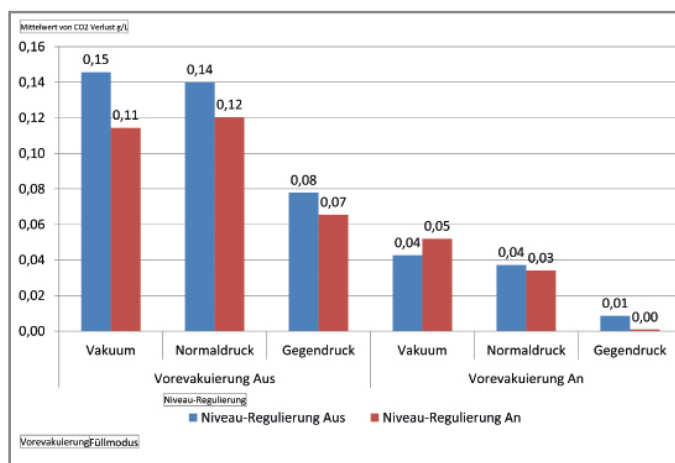
Kosten

Neben den Fixkosten der Abfüllanlage, die auf eine entsprechende Nutzungsdauer verteilt, abgeschrieben werden, entstehen auch variable Kosten. Die Verwendung von CO₂-Gas für die Reduzierung der Sauerstoffaufnahme sowie den CO₂ Erhalt kann zu hohem Gasverbrauch führen. Anhand aktueller Preise für CO₂-Gas entstehen für das Vorevakuieren einer Literflasche reine CO₂-Kosten in Höhe von zirka 1,8 Cent pro Flasche. Bei der Niveau-Regulierung ergeben sich zusätzliche Kosten von 0,18 Cent pro Flasche für CO₂-Gas (Lassak, 2013).

Fazit

Die moderne Abfülltechnik ist in der Lage, den Sauerstoffeintrag bei der Abfüllung von Wein deutlich zu reduzieren. In umfangreichen

Abb. 14: Einfluss der Abfüllparameter auf den CO₂-Verlust in g/l



Tab. 2: Ergebnisse der Varianzanalysen in Bezug auf gelöster Sauerstoff (DO), Kopfraum-Sauerstoff (HS), Gesamtsauerstoff (TPO) und CO₂-Verlust

Zusammenfassung		Gelöster Sauerstoff (DO) mg/l	Kopfraum-Sauerstoff (HS) mg/l	Gesamtsauerstoff (TPO) mg/l	CO ₂ -Verlust g/l
R ²		0,92	0,98	0,97	0,80
F		58,91	236,50	199,12	21,88
p		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Vorevakuierung (A)	F	580,44	5,26	404,76	170,90
	p	< 0,0001	0,03	< 0,0001	< 0,0001
Füllmodus (A)	F	21,69	21,49	1,61	26,54
	p	< 0,0001	< 0,0001	0,21	< 0,0001
Niveau-Regulierung (A)	F	0,23	2 362,80	1 588,40	4,70
	p	0,63	< 0,0001	< 0,0001	0,03
Vorevakuierung*Füllmodus (MA)	F	9,40	13,07	32,40	2,78
	p	0,001	< 0,0001	< 0,0001	0,07
Vorevakuierung*Niveau-Regulierung (MA)	F	0,03	39,03	31,11	4,34
	p	0,87	< 0,0001	< 0,0001	0,04
Füllmodus*Niveau-Regulierung (MA)	F	0,40	59,65	46,30	0,29
	p	0,67	< 0,0001	< 0,0001	0,75
Vorevakuierung*Füllmodus*Niveau-Regulierung (MA)	F	2,16	3,00	2,74	0,76
	p	0,12	0,06	0,07	0,47

DO: Dissolved Oxygen = Gelöster Sauerstoff; HS: headspace = Sauerstoff im Kopfraum; TPO: Total Package Oxygen = DO+HS; CO₂-Verlust: Differenz zwischen Tank und Flasche; (A) = ANOVA; (MA) = MANOVA

Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sowohl der im Wein gelöste Sauerstoff als auch der Kopfraum signifikant durch die Nutzung der CO₂-Spülung beeinflusst werden kann. Gleichzeitig kann der Wein mit geringen CO₂-Verlusten abgefüllt werden. Es ist aber schwierig die Abfüllanlage ohne präzise O₂- und CO₂-Messtechnik genau zu steuern.

Allerdings gibt es kein „Rezept“ für die optimale Weinabfüllung. Vielmehr muss jede Füllung aufs Neue darauf ausgerichtet werden, den unterschiedlichen Anforderungen der Weine bei der Abfüllung gerecht zu werden. Eine Sauerstoffaufnahme bei jungen, frischen und spritzigen Weinen zum Beispiel kann eine Qualitätsminderung bedeuten, während sie sich bei einem reduktiv geprägten

Wein als qualitätssteigernd auswirken kann. Präsentiert sich der Wein dagegen bereits im Tank mit den sensorisch gewünschten Eigenschaften, gilt es diesen so neutral wie möglich in die Flasche zu füllen, um diesen Zustand zu erhalten.

Vor der Flaschenfüllung sollte der Entwicklungsstand des Weines beurteilt werden. Dies ist für die spätere Einstellung der Abfüllanlage von Bedeutung, da je nach Verfahrensweise mehr oder weniger O₂ in den Wein eingetragen beziehungsweise CO₂ verloren wird.

Literatur

Die entsprechenden Quellen können bei den Autoren erfragt werden.