

GELÖSTER SAUERSTOFF IN DER BRAUEREI: WIE WIRD GEMESSEN

In der Stammwürze

Inzwischen stehen Verfahren zur Verfügung, welche die vollständige Gaslösung ermöglichen. Eingesetzt wird hierbei reiner Sauerstoff. Um nur genau so viel Sauerstoff einzusetzen wie notwendig, überwachen moderne Brauereien den Gehalt an gelöstem Sauerstoff äußerst exakt ($\pm 0,5$ ppm). Zusätzlich ist damit sichergestellt, dass eine gleichmäßige Fermentation stattfindet und der Bierverlust über die Überschusshefe minimal ist.

Aufgrund der vorhandenen Schwebstoffteilchen und der Notwendigkeit einer Rückkopplungsregelung empfiehlt sich bei Messungen in der Stammwürze die Verwendung eines Inline-Sauerstoffanalysators.



Helles Bier

Die Durchschnittswerte für gelösten Sauerstoff variieren von Brauerei zu Brauerei, sollten aber unter 0,05 ppm liegen. Egal ob in der Stammwürze oder im hellen Bier gemessen wird, es ist von entscheidender Bedeutung, dass alle Gase gelöst sind, bevor der Sauerstoffgehalt mit dem Analysator bestimmt wird.

Mobile Messungen

Beim Entnehmen von Bierproben sollte das Probeentnahmeventil immer vollständig geöffnet sein. Regulieren Sie den Bierfluss mithilfe des Durchflussreglers am Druckstutzen des Geräts. Auf diese Weise wird der Sensor immer dem tatsächlichen Bierdruck ausgesetzt, damit das Bier auf dem Weg zum Sensor klar und blasenfrei bleibt.

Die Durchflussrate im Gerät ist nicht entscheidend, sollte aber niedrig genug sein, um eine Entgasung am Sauerstoffsensor zu verhindern. Denken Sie daran, dass das Gerät bei der ersten Messung des Tages langsamer anspricht, da sich der Sensor zunächst von angesammelter Luft befreien und sich der Biertemperatur anpassen muss.

Um die Quelle einer Sauerstoffverunreinigung ausfindig zu machen, kann der tragbare Analysator für gelösten

Sauerstoff ORBISPHERE 3100 entweder zur Entnahme von Stichproben oder aber über mehrere Stunden als Datenlogger am Probeentnahmepunkt eingesetzt werden.



Tragbarer Analysator für gelösten Sauerstoff ORBISPHERE 3100

Branchenübliche Sauerstoffgehalte an verschiedenen Stellen der Brauerei

In der Stammwürze	8-17+ ppb
Fermentation	<10 ppb
Filtration	5-50 ppb
Helles Bier nach der Filtration	10-50 ppb
Bier am Füllstutzen	10-30 ppb
Menge des gelösten O ₂ (Flasche)	20-50 ppb
Menge des gelösten O ₂ (Dose)	30-60 ppb
Menge des gelösten O ₂ im Endprodukt	40-150 ppb

Inline-Analyse



Die Herstellung von Bier ist sehr kostspielig, und einmal durch Oxidation entstandene Schäden lassen sich nicht wieder beheben. Deshalb empfiehlt es sich, den Herstellungsprozess kontinuierlich zu überwachen, um beim Ansteigen des Sauerstoffgehalts umgehend reagieren zu können.

Sauerstoffsensoren können an fast allen Stellen der Bierproduktionslinie installiert werden, jedoch sollten hierbei größtmögliche Abstände von Pumpen, CO₂-Einspritzungs- oder Würzebelüftungsanlagen gewährleistet werden.

Sensoren sollten immer in horizontaler Ausrichtung installiert werden. Insbesondere sollten Sauerstoff- oder andere Sensoren niemals vertikal im oberen Bereich einer Rohrleitung installiert werden, da sich hier Luftblasen bilden können, die ein effektives CIP unmöglich machen.

Geräte von HACH LANGE verfügen über eine einstellbare temperaturgeregelte Abschaltung. Indem Sie den zugehörigen Wert auf eine niedrige Temperatur einstellen, die nur geringfügig über der des Biers liegt, schaltet sich der Sensor automatisch ab, wenn die Leitung leer ist oder gereinigt wird.

Analyse des Endprodukts

Die gewünschte Konzentration gelösten Sauerstoffs variiert, sollte aber idealerweise unter 0,5 ppm liegen.

Die Proben werden aus Fässern entnommen. Hierzu wird von oben ein Gasdruck angelegt (CO₂ oder N₂), der das Bier aus dem Fass treibt.

Proben aus Flaschen oder Dosen werden über einen Lochdorn entnommen, nachdem der Flaschenkopf unter Druck gesetzt wurde, um das Bier am Sauerstoffsensor vorbeizupressen. (Es gibt auch Systeme, mit denen der O₂-, CO₂- und N₂-Gesamtgehalt in Flüssigkeit und Flaschenkopf mithilfe nur eines Geräts gemessen werden kann.)

Wichtige Hinweise:

- Der angelegte CO₂- oder N₂-Druck muss höher sein als der Druck der gelösten Gase im Bier, um Blasenbildung zu vermeiden.
- Nehmen Sie die Messungen der Einheit immer direkt nach der Abfüllung und noch vor der Pasteurisierung vor, da der gelöste Sauerstoff beim Erhitzen sehr rasch mit dem Bier reagiert.
- Die einzelnen Einheiten sollten vor dem Anstechen stets gut geschüttelt werden, um für einen Ausgleich zwischen dem Flaschenkopf und den gelösten Gasen zu sorgen.



Haltbarkeit

Der in einer Einheit eingeschlossene Sauerstoff trägt zum Aromaabbau im Bier bei: je höher der Sauerstoffgehalt, desto größer der Aromaabbau. Über die Messung des Sauerstoffgehalts der Einheit lässt sich feststellen, ob der Sauerstoff hauptsächlich aus dem Flaschenkopf stammt oder beim Abfüllen zugeführt wurde.

Bei den meisten Biersorten wird der Großteil des enthaltenen Sauerstoffs innerhalb einer Woche verbraucht, das Aroma ändert sich aber erst nach zwei oder drei Monaten.



Sauerstoff im Endprodukt

Sauerstoff kann an zwei Stellen in das Endprodukt gelangen: während des Abfüllens oder im Flaschenkopf durch unvollständiges Aufschäumen. Der durch Abfüllen im Endprodukt enthaltene Sauerstoff kann zwei Ursachen haben: Luft, die bereits im Bier vorhanden ist, oder Luft, die sich während des Abfüllens in der Flasche bzw. den Leitungen ansammelt. Sauerstoff im Flaschenkopf wird nach Anbringen des Verschlusses im Flaschenkopf eingeschlossen. Da die Gasdrucke im Flaschenkopf und in der Flüssigkeit unmittelbar nach Abfüllen und Versiegeln nicht im Gleichgewicht sind, sollten die Endprodukte vor dem Messen des gelösten O₂ (bzw. N₂ und CO₂) geschüttelt werden.

Mit dem folgenden Verfahren können Sie überprüfen, ob die Abfüllmaschine oder die Fülldüse die Hauptquelle der Sauerstoffzufuhr ist. Sämtliche Messungen sollten mit nicht pasteurisiertem Bier vorgenommen werden.

1. Entnehmen Sie sechs Behälter aus der automatisch laufenden Abfüllmaschine.
2. Schütteln Sie drei der Behälter fünf Minuten lang, und nehmen Sie dann eine Messung vor.
3. Messen Sie die übrigen Behälter, ohne sie vorher zu schütteln.
4. Bilden Sie für jede Gruppe den Mittelwert aus den gemessenen O₂-Konzentrationen, und vergleichen Sie sie miteinander.

Liegt der Wert nach dem Schütteln der Behälter höher, ist die Luft im Flaschenkopf der Hauptgrund. Ist der Wert geringer, stammt der Sauerstoff hauptsächlich aus der Flüssigkeit. Hieraus lässt sich ableiten, ob die Fülldüse oder die Abfüllmaschine die Hauptquelle des Sauerstoffs ist.

Sauerstoffzufuhr nach dem Abfüllen

Bei Flaschenbier besteht auch nach dem Abfüllen aufgrund der zum Verschließen verwendeten Kronkorken immer noch das Risiko einer erhöhten Sättigung mit Sauerstoff. Ein Kronkorken ist ein semipermeabler Verschluss, der das Bier in der Flasche von der Umgebungsluft trennt. Der normale Sauerstoffgehalt innerhalb der Flasche ist dabei bedeutend geringer als in der Umgebungsluft. Durch passive Diffusion gelangen Sauerstoff und Stickstoff in den Behälter. Mit Ausnahme neuerer sauerstoffzehrender Verschlüsse und hermetischer Kronkorken gibt es wenige Möglichkeiten, das Eindringen von Sauerstoff zu verhindern.

Nach dem Eindringen reagiert der Sauerstoff mit dem Bier in der Flasche und beeinträchtigt so seinen Geschmack. Dieser Lufteintritt entsteht durch die natürliche Tendenz, die unterschiedlichen Drucke der Gase innerhalb und außerhalb der Flasche auszugleichen. Da der Sauerstoff in der Flasche ständig mit dem Bier reagiert, bleibt der Sauerstoffgehalt dort äußerst gering.

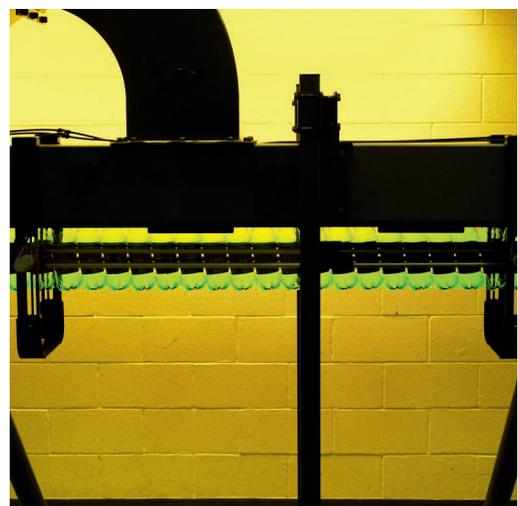
Bei herkömmlichen Kronkorken gelangen 1 bis 2 ppb Sauerstoff pro Tag in die Flasche. Über einen Zeitraum von drei Monaten kann dies zu einem Sauerstoffeintritt von bis zu 180 ppb führen. Oft ist dieser nachträgliche Sauerstoffeintritt größer als die gesamte Sauerstoffsättigung des Biers vor dem Abfüllen. Aufgrund der enormen Fortschritte, die in den letzten Jahren bei der Reduzierung des Gesamtsauerstoffgehalts von Bier während der Abfüllung erzielt wurden, wurde in vielen Brauereien ein Sauerstoffgehalt von weniger als 40 ppb pro Behälter erreicht.

Gasphasenanalyse

Mit dem Hach System können Sie die Konzentration des gelösten Sauerstoffs sowohl im Bier als auch in dem für die Spülung des Tanks eingesetzten Kohlendioxid messen. Unsere Analysatoren verfügen über eine Zweiphasenfunktion, mit welcher der Benutzer zwischen Messungen in der Flüssigkeits- und Gasphase hin- und herschalten kann.

Um den O₂-Volumenprozentwert zu messen, müssen Sie sicherstellen, dass das Gas Atmosphärendruck hat. Verwenden Sie hierzu folgende Methode:

- Regeln Sie den Luftstrom an der Quelle der Probe, noch bevor sie in den Analysator eintritt.
- Öffnen Sie den Zustrom am Analysator, um den Staudruck innerhalb des Geräts zu minimieren.
- Der Gasprobendurchfluss sollte 100 mL/min nicht überschreiten.



Am Karbonisierer

Bei der Einspritzung von CO₂ in Bier darf das CO₂ so gut wie keinen Sauerstoff enthalten, da hohe CO₂-Konzentrationen unter hohem Druck hinzugefügt werden und dies zu einem raschen Anstieg des gelösten Sauerstoffs führen kann.

Hinzufügen von Kohlendioxid bei hohem Druck

Menge des beigefügten CO ₂	Konzentration der O ₂ -Verunreinigung in CO ₂		
	0,001 %	0,005 %	0,02 %
0,5 V/V	7 ppb	35 ppb	142 ppb
1,0 V/V	14 ppb	71 ppb	284 ppb
2,0 V/V	28 ppb	142 ppb	567 ppb
Dem Bier beigefügter gelöster Sauerstoff			

Nützliche Maßeinheiten und Umrechnungsfaktoren

Sauerstoff

Bei 20 °C enthält Trockenluft 20,94 % O₂ = 209.400 Volumen-ppm.
Bei 100 %iger Feuchtigkeit enthält Luft 20,45 % O₂ = 204.500 Volumen-ppm.
In Lösungen wird 1 mg/kg O₂ oft als 1 Gewichts-ppm bezeichnet.

Für alle folgenden Aussagen zur Löslichkeit wird ein Druck von einer Atmosphäre angenommen.

Bei der Sättigung von Wasser mit Luft ergeben sich die folgenden Konzentrationen:

9,10 ppm O₂ bei 20 °C (68 °F); 14,64 ppm O₂ bei 0 °C (32 °F).

Für die Sauerstoffmessung bei 20 °C ergibt sich somit Folgendes:
204.500 Volumen-ppm entsprechen 9,10 Gewichts-ppm.

Bei der Sättigung von Wasser mit reinem Sauerstoff ergeben sich die folgenden Konzentrationen:

43,45 ppm O₂ bei 20 °C (68 °F); 69,90 ppm O₂ bei 0 °C (32 °F).

Kohlendioxid

Trockenluft enthält ca. 0,03 % CO₂.

1 Volumeneinheit CO₂ pro Volumeneinheit Bier = 1,98 g/kg bei 20 °C.

Kohlendioxid ist weitaus besser in Wasser löslich als Sauerstoff.

Bei der Sättigung von Wasser mit CO₂ bei einem Druck von einer Atmosphäre ergeben sich folgende Konzentrationen:

1,72 g/kg CO₂ bei 20 °C (68 °F); 3,37 g/kg CO₂ bei 0 °C (32 °F).

Stickstoff

Trockenluft enthält ca. 78 % N₂.

In Lösung wird 1 mg/kg O₂ oft als 1 ppm bezeichnet.

Stickstoff ist nicht so gut in Wasser löslich wie Sauerstoff.

Bei der Sättigung von Wasser mit Luft ergeben sich die folgenden Konzentrationen:

15,3 ppm N₂ bei 20 °C (68 °F); 23,2 ppm N₂ bei 0 °C (32 °F).

Bei der Sättigung von Wasser mit Stickstoff ergeben sich die folgenden Konzentrationen:

19,7 ppm N₂ bei 20 °C (68 °F); 29,8 ppm N₂ bei 0 °C (32 °F).

Druck

1 physikalische Atmosphäre (atm) = 1013,25 mbar = 1,013 bar = 760 Torr = 0 Atmosphärenüberdruck.

Bei allen Drucken für die oben genannten Löslichkeitsangaben handelt es sich um absolute Maßeinheiten.

Einheit

Bei einer durchschnittlichen kleinen Einheit enthalten 15 mL Flaschenkopf dasselbe Sauerstoffgewicht wie 440 mL Bier. Deshalb sollte die Einheit vor der Analyse unbedingt geschüttelt werden.