

# Optische Sauerstoff-Sensoren für eine bessere Steuerung der Fermentation

## Problem

Bedingt durch den Anstieg der jährlichen Bierproduktion wurde es in einer großen Brauerei zunehmend schwierig, Zeitfenster für Wartungsmaßnahmen zu finden. Dies betraf vor allem die Neukalibrierung der elektrochemischen (EC-) Sensoren für gelösten Sauerstoff (DO) in den Würzeleitungen.

## Lösung

In einer Würzeleitung wurde ein Hach® Inline LDO-Sensor für den hohen Bereich installiert. Daraufhin wurde parallel gemessen, um die Ergebnisse mit denen des EC-Sensors zu vergleichen. Über einen Zeitraum von 12 Monaten hinweg zeigte der LDO-Sensor für den hohen Bereich eine außerordentlich gute Leistung.

## Vorteile

Die Inline DO-Sensoren für den hohen Messbereich reduzierten den Service- und Wartungsbedarf drastisch. Der LDO-Spot wird nur einmal pro Jahr ausgetauscht, und die Kalibrierung muss nicht 12 Mal, sondern nur 2 Mal pro Jahr durchgeführt werden.

## Hintergrund

Eine große Brauerei wollte die Produktion um rund 2 Millionen Hektoliter pro Jahr erhöhen (etwa 1,7 Millionen Fässer von 3,5 bis 5,5 Mio. Hektoliter). Die Brauerei arbeitet im 24-Stunden-Betrieb und ist ein wichtiger Produktionsstandort. Die Investition hat es ihr ermöglicht, die starke Kundennachfrage nach ihren Erzeugnissen zufriedenzustellen.

## Steuerung der Würze

Zur Unterstützung der Gärung wird reiner Sauerstoff oder Luft in die Würzeleitungen eingebracht. Damit soll nicht die Atmung der Hefe gefördert werden; nach dem Anstellen nimmt die Hefe schnell Sauerstoff auf und verwendet ihn für die Membranbiosynthese. Durch den Sauerstoff wachsen die Hefezellen sehr viel schneller, und es wird eine höhere Zelldichte erreicht. Indem man die DO-Konzentration steuert und beispielsweise bei Lagerbier auf 20 ppm hält, erreicht man die richtige Geschwindigkeit für die Gärung: Bei zu langer Gärung verzögert sich die Produktion, und eine zu kurze Gärung beeinträchtigt den Geschmack.



Abb 1. Würze Fermentation

## Würzemessung

Die Zugabe von Sauerstoff oder Luft zur Würze muss gesteuert werden. Ein Zuviel an Sauerstoff führt zu einer unerwünscht schnellen und starken Gärung. Diese beeinträchtigt den Geschmack und geht mit einem übermäßigen Hefewachstum einher. Eine übermäßige Hefevermehrung ist für die Brauerei kostspielig, da das fertige Produkt dadurch unbrauchbar werden kann.

Umgekehrt könnte ein Mangel an Sauerstoff in den Anfangsstadien zu einer fehlerhaften Fermentation und zu einem erhöhten Gehalt des Acetyl-Coenzym A in den Hefezellen führen. Dies kann wiederum in einem erhöhten Gehalt an Estern und anderen unerwünschten Geschmacks Komponenten im Bier resultieren.

### Auswirkungen von zu wenig Sauerstoff in der Würze

- Verzögerte Gärung
- Unzureichende Gärung
- Anreicherung von Acetyl-Coenzym A
- Die Synthese der Hefezellwand beginnt mit Acetyl-Coenzym A
- O<sub>2</sub> wird für die Lipidbildung benötigt
- Zu wenig O<sub>2</sub> führt zu vermehrter Bildung von Estern
- Vermehrt H<sub>2</sub>S

### Auswirkungen von zu viel Sauerstoff in der Würze

- Heiße Gärung
- Übermäßiges Hefewachstum
- Absterben der Hefe wegen Nährstoffmangels
- Entwicklung von unerwünschten Geschmacksnoten

### Ziele bei der Sauerstoffzufuhr

Ein Fehlgeschmack des Biers kann seinen Ursprung in der Gärung haben.

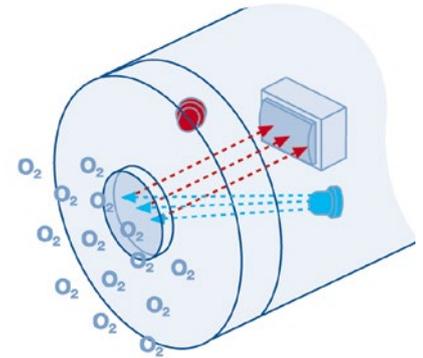
- Die für die Hefe günstigste Sauerstoffkonzentration erreichen
- Möglichst wenig Gas (O<sub>2</sub> oder Luft) verwenden
- Das Gas in Lösung halten
- Die Schaumbildung minimieren
- Messpunkte validieren

## Lösung und Verbesserungen

Mit dem Wechsel von elektrochemischen zu optischen Sensoren für gelösten Sauerstoff wollte man vor allem die Häufigkeit von Neukalibrierungen und den dafür benötigten Zeitaufwand reduzieren. Um Arbeiten an den Sensoren durchführen zu können, musste die Produktion angehalten werden. Für die notwendige Berechtigung war eine Reihe von Maßnahmen erforderlich, da die meisten Leitungen unter Druck stehen. Wegen der hohen Kosten einer Produktionsverzögerung versuchte man diese Arbeiten auf Produktionspausen zu legen.

### Die optische DO-Technologie von Hach

Der „Spot“ des Sensors ist mit einem lumineszierenden Material beschichtet. Dieses wird als Luminophor bezeichnet und durch blaues Licht aus einer internen LED angeregt. Beim Verlassen des angeregten Zustands emittiert das lumineszierende



Material rotes Licht, und diese Lumineszenz ist zum vorhandenen Sauerstoff proportional. Die Lumineszenz wird sowohl hinsichtlich der maximalen Intensität als auch der Abklingzeit gemessen. Eine interne rote LED liefert vor jeder Messung eine Referenzmessung, um eine gleichbleibende Genauigkeit des Sensors zu gewährleisten.

Die Anregung wird so moduliert, dass die Abklingzeit in eine Phasenverschiebung des modulierten Fluoreszenzsignals umgewandelt wird. Hierbei besteht keine Abhängigkeit von der Fluoreszenzintensität. Das ist entscheidend, weil die Genauigkeit des Sensors deshalb, anders als bei EC-Sensoren, nicht durch Alterungsprozesse beeinflusst wird.

Daher benötigt der LDO-Sensor lediglich alle 6 Monate eine Kalibrierung, die nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, und einmal pro Jahr einen Austausch des Spots. Dagegen müssen EC-Sensoren häufig – normalerweise alle 1 bis 3 Monate – gewartet und neu kalibriert werden. Zudem ist die Ansprechzeit bei LDO-Sensoren kürzer als bei EC-Sensoren. Das kann ein äußerst wichtiger Faktor sein, wenn es um die Minimierung möglicher Produktionsverzögerungen geht.



Abb. 2. Hach 410 Controller – typische Installation

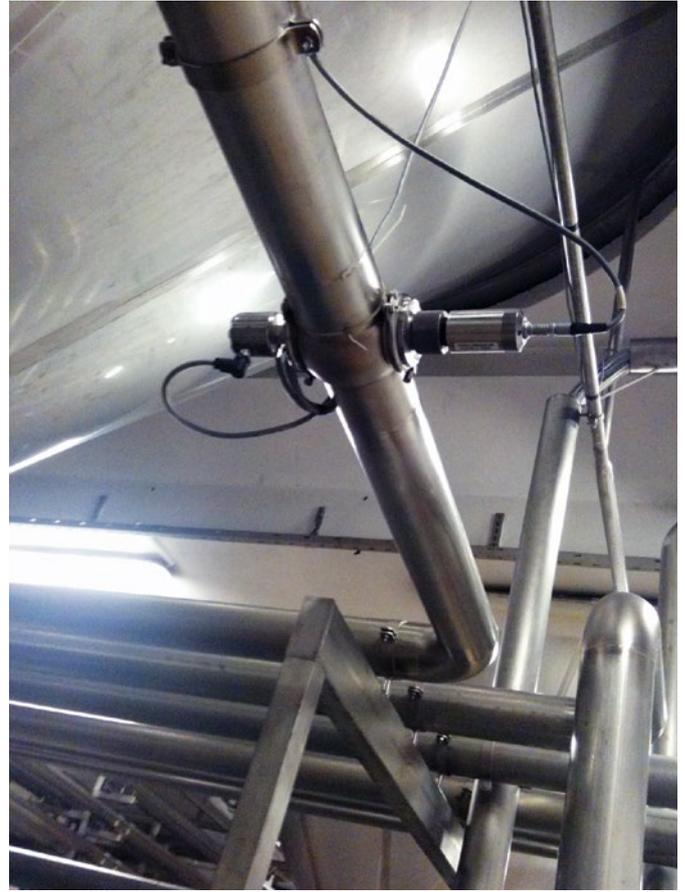


Abb. 3. Hach M1100-H LDO-Sensor – typische Installation

### DO-Messungen im hohen und niedrigen Bereich

In hellem Jungbier wird der gelöste Sauerstoff in „parts per billion“ (Teile pro Milliarde) gemessen. Hierbei handelt es sich typischerweise um einen Messbereich bis 100 ppb, den der Hach LDO-Sensor für den niedrigen Bereich, der M1100-L, sehr gut abdeckt. Für Online-Messungen werden außerdem tragbare Geräte mit LDO-Technologie (Orbisphere 3100) eingesetzt. Auch ein LDO-Sensor für den hohen Bereich ist verfügbar: der M1100-H Sensor. Dieser hat einen Messbereich von 0 bis 40 ppm und eignet sich daher ideal für die Anwendung in der Würze.

In der Brauerei werden seit mehreren Jahren Inline LDO-Sensoren für den niedrigen Bereich verwendet, sodass man in der Qualitätssicherung und -kontrolle bereits Vertrauen in die optische Technologie hatte. 2014 wurde ein neuer LDO-Sensor für den hohen Messbereich installiert. Es traten keinerlei Probleme auf, und der Sensor zeigte eine außerordentlich gute Leistung. Die Leitung wurde auch durch einen EC-Sensor überwacht, sodass wir die Langzeitleistung des Sensors feststellen konnten.

### Ergebnisse

Während eines Zeitraums von 12 Monaten wurden etwa 1.344 Brauzyklen mit einem wöchentlichen Reinigungsprogramm abgeschlossen. Seitdem hat sich die jährliche Produktion für diese Leitung allerdings auf 2.200 Brauzyklen erhöht. Der LDO-Sensor für den hohen Bereich erbrachte die gewünschte Leistung, woraufhin vor Kurzem zwei weitere LDO-Sensoren für den hohen Messbereich erworben wurden.

### Schlussfolgerung

In der Brauerei ist man sich der erhöhten Effizienz und Stabilität durch die LDO-Sensoren sehr bewusst. Die EC-Sensoren müssen für jede Leitung 12 Mal pro Jahr neu kalibriert werden und stellen dadurch in administrativer und operativer Hinsicht eine größere Belastung dar. Außerdem ist es aufgrund der Produktionssteigerung schwieriger geworden, passende Zeitfenster für Eingriffe zu finden.

Dagegen wird bei den LDO-Sensoren für den niedrigen Bereich einmal pro Jahr der Spot des Sensors ausgetauscht und kalibriert. Bei den LDO-Sensoren für den hohen Messbereich soll dies in Intervallen von 6 Monaten geschehen. Das jährliche Herunterfahren der Anlage für Wartungsarbeiten geschieht normalerweise zur Zeit der geringsten Nachfrage im Januar; dies ist der ideale Zeitpunkt für Austausch und Neukalibrierung bei den LDO-Sensoren.



Abb. 4. Der tragbare Orbisphere 3100 bei der Online-Überprüfung



Abb. 5. LDO-Sensor für den hohen Messbereich – ideal für die Steuerung der Gärung