



Application Note AN-PAN-1057

Inline-Überwachung von Fermentationsprozessen

Bestimmung mehrerer Parameter in einer Fermentationsbrühe zur Bioethanolproduktion

Das Interesse an der Entwicklung alternativer Kraftstoffe aus neuen Energieressourcen hat in den letzten Jahren zugenommen. Bioethanol ist ein guter Ersatz für fossile Brennstoffe. Es kann aus Rohstoffen wie Zucker, Stärke oder lignozellulosehaltiger Biomasse (z. B. aus Maiskörnern) hergestellt werden. Die weltweite Ethanolproduktion überstieg im Jahr 2022 28 Milliarden Gallonen [1]. Ethanol wird hauptsächlich durch den Prozess der Fermentation hergestellt. Während der Gärung wird der in der

Biomasse enthaltene Zucker mit Hilfe von Hefe in Ethanol umgewandelt.

Es ist bekannt, dass die Qualität des Ausgangsmaterials von Saison zu Saison schwanken kann, so dass sich die Ethanolhersteller auf jede Charge neu einstellen müssen. Mit Hilfe der Inline-Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) können mehrere Qualitätsparameter der Gärung gleichzeitig direkt im Fermenter überwacht werden, wie in dieser Process Application Note gezeigt wird.

EINFÜHRUNG

Um eine hohe Ausbeute und eine erstklassige Qualität des Ethanols zu gewährleisten, sollten während der Ethanolproduktion zahlreiche Parameter überwacht werden. Traditionell wird die Menge der Reaktanten, Produkte und Nebenprodukte im Labor gemessen, nachdem eine Probe aus dem Prozess entnommen wurde. Manuelle Labormethoden können jedoch bei Prozessänderungen (z. B. Temperatur, Reaktionsgemisch, Feuchtigkeitsgehalt) zu langen Reaktionszeiten führen, da Laborergebnisse häufig erst nach Stunden vorliegen. Außerdem können notwendige Probenvorbereitungen (Verdünnung, Filtration, Pipettieren) zu Fehlern führen, die die Genauigkeit der Analyse beeinträchtigen.

Labormethoden sind darüber hinaus recht umständlich, da mehrere Analysetechniken und/oder Arbeitsmethoden erforderlich sind, um die folgenden Parameter zu analysieren: Ethanol, Dextrin (DP4),

Maltotriose (DP3), Maltose, Glukose, Milchsäure, Glycerin und Essigsäure (**Tabelle 1**) sowie Feuchtigkeit und Feststoffe (Biomasse).

In jedem chemischen Prozess ermöglicht die "Echtzeit"-Überwachung mittels NIRS eine optimale Prozesssteuerung und genaue Kenntnisse über den Prozess, was eine Verbesserung der Ausbeute, der Reproduzierbarkeit und der Produktivität bedeutet.

So ist beispielsweise eine genaue Überwachung und Kontrolle der verschiedenen Zucker (Glukose, Maltose, DP3 und DP4) während des gesamten Fermentationsprozesses erforderlich, um den Abbauweg der in der Maische vorhandenen Stärke (Glukosebildung) zu verstehen und die Ethanolproduktion zu optimieren [2]. Die Kenntnis des Glukoseverlaufs ermöglicht die richtige Dosierung von Nährlösungen und weitere Komponenten zur Maische im Fermenter, um den Abbau zu beschleunigen [3].

Daher ist die Optimierung der Enzym- und Hefemischung für diesen Prozess entscheidend. Hier fallen die höchsten Verbrauchskosten bei der Ethanolproduktion an. Die Komponenten haben einen erheblichen Einfluss auf die Produktionsrate und die endgültige Ausbeute an Ethanol. Die Inline-Analyse mittels NIRS liefert Prozessdaten in "Echtzeit". Diese Daten helfen den Herstellern, die optimale und kürzeste Fermentationszeit zu erhalten und gleichzeitig die Ausbeute zu maximieren (**Abbildung 1**). Außerdem können sie damit die Drehzahl des Rührwerks und die Tanktemperaturen anpassen. Die Optimierung dieser Prozessbedingungen können Ethanolausbeute ebenfalls erhöhen. Eine kürzere Prozesszeit bedeutet, dass mehr Chargen pro Tag durchgeführt werden können, was wiederum den Profit erhöht.

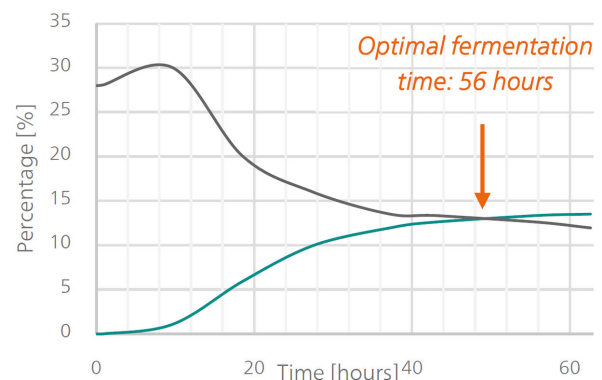


Abbildung 1. Trenddiagramm eines Ethanol-Fermentationsprozesses (grün: Ethanol, grau: Feststoffe [Enzyme]).

EINFÜHRUNG

Für eine optimale Fermentation müssen mehrere Parameter auf sicherere, effizientere und schnellere Weise überwacht werden, was durch eine Inline-Analyse mit reagenzienfreier Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) möglich ist (Abbildung 2). Metrohm Process Analytics bietet den **2060 The NIR Analyzer** (Abbildung 3) an, der einen direkten

Vergleich von "Echtzeit"-Spektraldaten aus dem Prozess mit einer Referenzmethode (z. B. HPLC) ermöglicht, um ein einfaches, aber unverzichtbares Kalibrierungsmodell zu erstellen, das für quantitative Vorhersage der Ergebnisse während des Fermentationsprozesses verwendet wird, ohne dass ein weiterer Bedienereingriff notwendig ist.

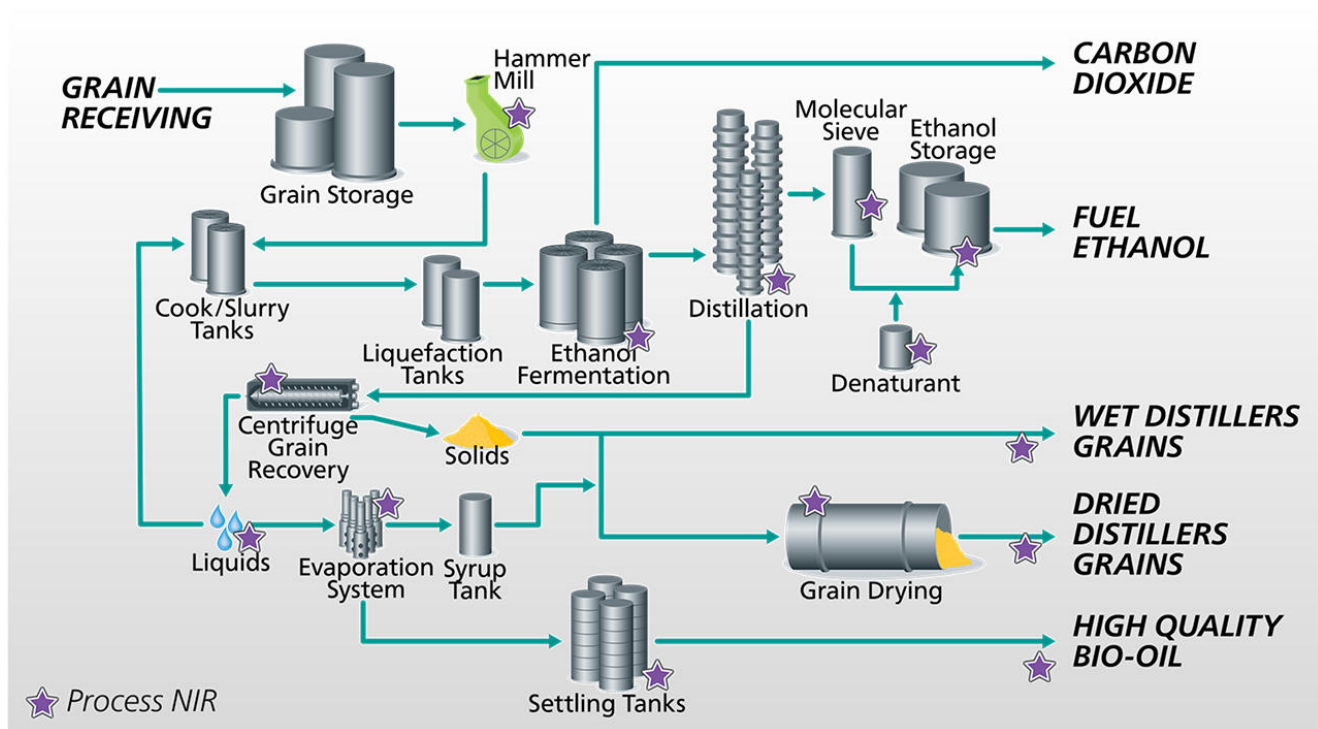


Abbildung 2. Darstellung eines typischen Herstellprozesses für Ethanol aus Getreide. Violette Sterne visualisieren die vorgeschlagenen NIR-Messstellen im Prozess.



Abbildung 3. 2060 The NIR Analyzer von Metrohm Process Analytics.

ANWENDUNG

Die Messungen können dank einer speziellen Tauchsonde, die mit MicroBundle-Lichtleitern gekoppelt ist, direkt inline durchgeführt werden. Eine solche Kombination ermöglicht die NIR-Messung von Proben, die aus stark streuenden Suspensionen bestehen. Durch die einzigartige Kombination aus leistungsstarken MicroBundle-Lichtleitern und der Tauchsonde, erhält man ein gutes Signal und

reproduzierbare Ergebnisse im Prozess, ohne dass eine Probenvorbereitung (z. B. Filterung) notwendig ist. Um besonders geringe Konzentrationen messen zu können, bietet Metrohm Process Analytics die Möglichkeit Durchflusszellen in einen Bypass zu integrieren und entsprechende Möglichkeiten der Probenvorbereitung zur Verfügung zu stellen.

Tabelle 1. Wichtige Qualitätsparameter zur Überwachung mit NIRS während der Ethanolproduktion im Fermenter.

Parameter	Reichweite (%)
Ethanol	0–15
Glukose	0–8
Maltose	0–7
DP3 und DP4	0–15
Essigsäure	0–0.5
Glycerin	0–1
Milchsäure	0–0.25

ANMERKUNGEN

Für die Erstellung eines Kalibrierungsmodells wird eine angemessene Anzahl von Proben benötigt, die den Fermentationsprozess über den Messbereich und die Prozessvariabilität abdecken. Diese Proben werden sowohl mit NIRS als auch mit einer primären Referenzmethode analysiert. Die Präzision der NIRS-Daten steht in **direktem Zusammenhang** mit der

Präzision der Referenzmethode. Metrohm Process Analytics unterstützt die chemometrische Methodenerstellung von der Machbarkeitsstudie bis hin zur Prozessimplementierung und stellt benutzerfreundliche Software (OMNIS) zur Verfügung.

FAZIT

Herkömmliche Analysemethoden liefern nicht genügend "Echtzeit"-Informationen über den momentanen Zustand des Fermentationsprozesses bei der Bioethanolproduktion. Die Inline-Analyse mit NIRS kann schnellere Informationen über den Fermentationsprozess liefern. Dies gewährleistet ein schnelles Feedback, eine zeitnahe Prozessregelung und Ausbeuteerhöhung bzw. Minimierung der Prozesszeit (Erhöhung der Chargenkapazität pro Tag). Die NIRS-Analyse im Prozess ermöglicht den Vergleich von Echtzeit-Spektraldaten mit einer primären

Methode (z. B. Titration, Karl-Fischer-Titration, HPLC, IC), um ein einfaches und robustes Modell für die Anforderungen des Fermentationsprozesses zu entwickeln. Erweitern und verbessern Sie Ihre Produktion **2060 The NIR Analyzer** von Metrohm Process Analytics, der durch die Überwachung von bis zu fünf Prozesspunkten pro NIR-Kabinett mit der Multiplexer-Option und Erweiterungsmöglichkeit auf bis zu zehn Messstellen eine noch bessere Fermentationskontrolle ermöglicht.

REFERENZEN

1. *Global ethanol production for fuel use 2022*. Statista.
<https://www.statista.com/statistics/274142/global-ethanol-produktion-seit-2000/> (accessed 2023-10-04).
2. Chang, Y.-H.; Chang, K.-S.; Chen, C.-Y.; et al. Enhancement of the Efficiency of Bioethanol Production by *Saccharomyces Cerevisiae* via Gradually Batch-Wise and Fed-Batch Increasing the Glucose Concentration. *Fermentation* **2018**, 4 (2), 45.
<https://doi.org/10.3390/fermentation4020045>.
3. Devantier, R.; Pedersen, S.; Olsson, L. Characterization of Very High Gravity Ethanol Fermentation of Corn Mash. Effect of Glucoamylase Dosage, Pre-Saccharification and Yeast Strain. *Appl Microbiol Biotechnol* **2005**, 68 (5), 622–629.
<https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9>.

VORTEILE FÜR NIRS IN BEARBEITUNG

- **Sichere Produktion** durch "Echtzeit"-Überwachung und keine Exposition des Bedieners gegenüber chemischen Reagenzien.
- **Mehr Einsparungen pro Messung**, wodurch jede Messstelle mehr Einsparung und Gewinn mit sich bringt.
- **Höherer Produktdurchsatz**, Reproduzierbarkeit, Produktionsraten und Rentabilität (Optimierung der Fermentationszeit).

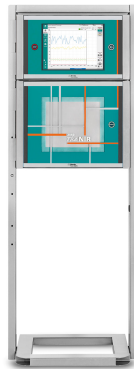


CONTACT

Metrohm Schweiz AG
Industriestrasse 13
4800 Zofingen

info@metrohm.ch

GERÄTEKONFIGURATION



2060 The NIR Analyzer

Der **2060 The NIR Analyzer** gehört zur nächsten Generation der Prozess-Spektroskopiegeräte von Metrohm Process Analytics. Mit seinem einzigartigen und bewährten Design liefert er alle *10 Sekunden* genaue Resultate. Er ermöglicht die zerstörungsfreie Analyse von Flüssigkeiten und Feststoffen direkt in der Prozesslinie oder in einem Reaktionsgefäss unter Verwendung von Lichtleitern und Kontaktsonden. Er ist auf den Anschluss von bis zu fünf (5) Sonden und/oder Durchflusszellen ausgelegt. Mithilfe unserer vielseitigen embedded Software können alle fünf Kanäle unabhängig voneinander konfiguriert werden.

Als Teil der **2060-Plattform** bietet der **2060 The NIR Analyzer** ein modulares Konzept und ist in drei weiteren Gerätevarianten erhältlich: **2060 The NIR-R Analyzer**, **2060 The NIR-Ex Analyzer** und **2060 The NIR-REx Analyzer** als Remote- bzw. ATEX-geschützte Version.