

SimOpt – Projekt 2020/21

Gruppe A: Prozessmodellierung und -optimierung

Szenario

Eine Engineering-Firma, wo Sie arbeiten, hat einen Auftrag von einer kleinen, lokalen Brauerei bekommen. Sie wollen eine bestehende Batch-Fermentationsanlage zur alkoholischen Gärung optimieren. Die Anlage ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt und verfügt über zwei unabhängige Regelmöglichkeiten. Zu einem lässt sich die Temperatur mittels der geregelten Zuleitung entweder vom Kühl- oder Heizmedien variieren. Zu anderem kann der pH-Wert im Bioreaktor anhand der Zugabe einer Base oder Lauge eingestellt werden. Zurzeit macht die Produktion jedoch nicht so viel Sorge und hält die Reaktionstemperatur auf dem Niveau 20 Grad Celsius und den pH-Wert gleich 5 konstant. Das Ziel des Projekts ist diese zwei Prozessparameter dynamisch zu optimieren. Beide Parameter können als ideal geregelt angenommen werden und im Reaktor beherrscht eine ideale Vermischung.

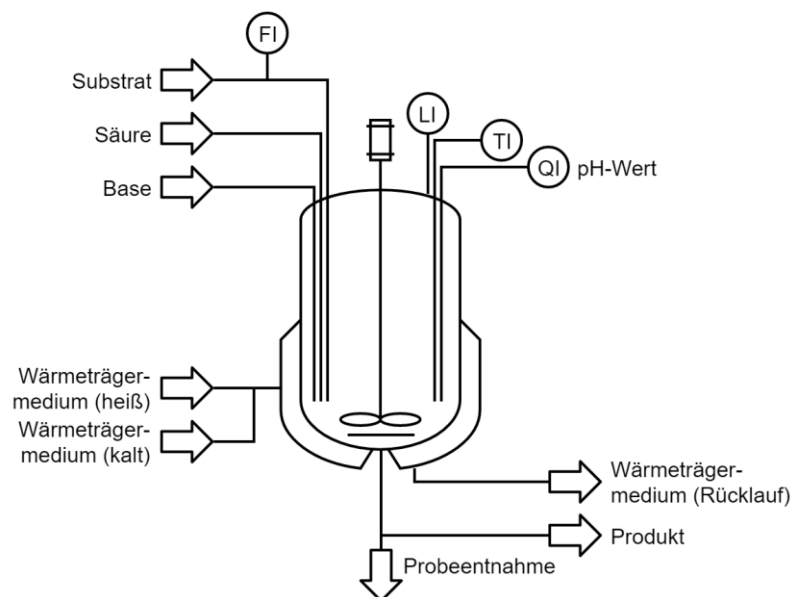


Abb. 1.: Schematische Darstellung der Fermenter-PEA

Nach der Absprache mit allen Experten Ihrer Firma wurde festgestellt, dass dafür zunächst ein theoretisches Simulationsmodell zu entwickeln und anschließend es für die modellbasierte Optimierung zu verwenden. Dank Ihrer Kollegen wurde bereits ein Simulationsmodell gebildet.

Das resultierende Modell lautet wie folgt:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - k_d X$$

$$\frac{dP}{dt} = qX - M_p X$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu X}{Y_x} - \frac{qX}{Y_p} - G_s X - M_s X$$

wo X , P und S sind Konzentration von der Biomasse, dem Substrat und Produkt.

Für die Beschreibung des Wachstums von Mikroorganismen kommt der Monod-Kinetik-Ansatz in Einsatz, der die Produktkonzentration in Abhängigkeit von der Konzentration der Substrate S beschreibt:

$$\mu(S) = \frac{\mu_{max} S}{K_{Sx} + S}$$

$$q_p(S) = \frac{q_{max} S}{K_{Sp} + S} (1 - K_{ip} P)$$

wo μ und q_p sind aktuelle Wachstumskonzentration, μ_{max} und q_{max} – die maximalsten Wachstumsgeschwindigkeiten. K_{Sx} und K_{Sp} sind zusätzliche charakteristische Parameter. Der Term $1 - K_{ip}P$ beschreibt den Effekt der linearen Produktinhibierung.

Die Zellenaktivität hängt von der Temperatur und dem pH-Wert wie folgt ab

$$\mu_{max}(T, pH) = \mu_{max} k_g \exp\left(-\frac{E_g}{RT}\right) \frac{1}{1 + \frac{k_1}{10^{-pH}} + \frac{10^{-pH}}{k_2}}$$

$$k_d(T) = k_d k_g \exp\left(-\frac{E_g}{RT}\right)$$

$$k_1 = 4 * 10^{-3}, k_2 = 2 * 10^{-8}$$

Nicht nur das Modell haben Ihre Kollegen entwickelt, aber auch Werte von den Parametern gefunden. Sie sollen sie wahrscheinlich mit ein paar Bierflaschen aus der Brauerei bedanken. Die Werte sind der Tabelle 1 entnehmen.

Tabelle 1 – Parameter des Modells

μ_{max}	q_{max}	k_d	M_p	K_{ip}	K_{Sx}	K_{Sp}	Y_x	Y_p	M_s	G_s	k_g	E_g	k_1	k_2
2.200	0,436	0,072	0,686	0,335	246,3	3,063	0,086	0,759	0,002	0,003	10^{10}	$58 * 10^3$	$4 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-8}$

Aufgabenstellung

Implementieren Sie das Simulationsmodell zur dynamischen Simulation der Fermentation in Simulink und finden Sie optimale Temperatur- und pH-Wert-Verläufe, die in physikalisch denkbaren Grenzen liegen:

$$18 \leq T \leq 24$$

$$4.5 \leq pH \leq 5.5$$

Das Zeitintervall nehmen Sie als 70 Stunden an. Einheiten von allen Größen können als miteinander kompatibel betrachtet werden. Initiale Konzentration von Stoffen sind:

$$X(t = 0) = 0,15, P(t = 0) = 1 \text{ und } S(t = 0) = 15.$$

Als Optimierungskriterium verwenden Sie die sogenannte Performance-Funktion:

$$J = \int_0^{t_f} \left[P^2 + \exp\left(-\frac{E_g}{RT}\right) + \left(1 + \frac{k_1}{10^{-pH}} + \frac{10^{-pH}}{k_2}\right) \right] dt$$

Folgende Teilaufgaben sind dazu zu bearbeiten:

1. Literaturrecherche zu dynamischen Optimierungsverfahren
2. Vorschlagen und Anwendung einer oder mehrerer geeigneten Optimierungsverfahren
3. Erstellung des Modells und Durchführung der Simulation in Simulink
4. Überzeugen Sie den Anlagenbetreiber, dass die gefundenen optimalen Prozessbedingungen ihm einen Mehrwert bringen

Ergebnisdokumentation

Fassen Sie alle Ergebnisse in einem Bericht zusammen und erstellen Sie einen Foliensatz, mit dem Sie Ihre Ergebnisse präsentieren können. Zu dokumentieren sind:

- Auswahl einer Optimierungsmethode
- Anwendung des Optimierungsverfahren an das Modell und Ableitung von optimalen Temperatur- und pH-Abläufen
- Simulationsmodell in Simulink
- Anwendung von optimalen Betriebsbedingungen in Simulink

Zur zusätzlichen Orientierung bzgl. der geforderten Inhalte und deren Wertigkeit ist das Lastenheft zu nutzen.

Bewertung

Die Bewertung des Projekts erfolgt auf Basis des Gesamtbilds, dass sich aus dem Zwischenstand des Berichts, dem endgültigen Bericht, der Abschlusspräsentation und der Implementierung ergibt.