



## BIOLOGISCHE WACHSTUMSREGELUNG

### Fraunhofer-Allianz SysWasser

Sprecher

Prof. Dr. Walter Trösch

Telefon +49 711 970-4220

walter.troesch@igb.fraunhofer.de

www.syswasser.de

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Geschäftsstelle

Dr. Dieter Bryniok

Telefon +49 711 970-4211

dieter.bryniok@igb.fraunhofer.de

Ansprechpartner

**Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und  
Infrastruktursysteme IVI**

Dr. Matthias Klingner

Telefon +49 351 4640-640

matthias.klingner@ivi.fraunhofer.de

www.ivi.fraunhofer.de

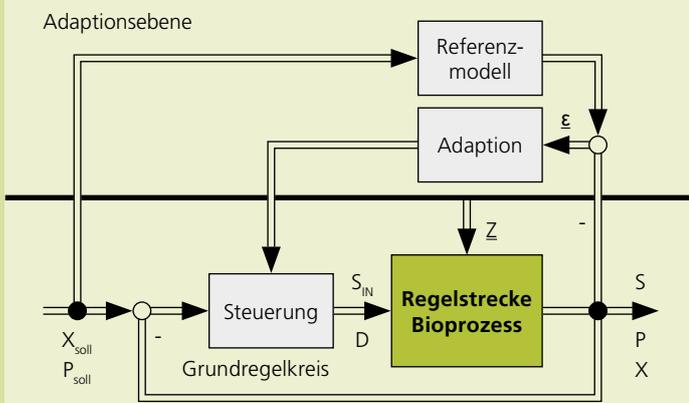
Methoden zur kontinuierlichen Fermentationen gewinnen in Forschung und industrieller Produktion zunehmend an Bedeutung. Das Hauptziel ist dabei die Bereitstellung von Biomasse oder Produkten mit definierten physiologischen Parametern. Im Gegensatz zum Labormaßstab ergeben sich bei der Realisierung großtechnischer Verfahren häufig Probleme durch das oft aufwendige Scale-up. Mit den derzeit gängigen off-line Bestimmungsmethoden prozessspezifischer Parameter ist eine langzeitstabile und störungsfreie Betriebsführung schwer zu realisieren.

Konventionelle Ansätze der Steuerung biologischer Stoffwandlungsvorgänge nutzen im Chemostaten bei vorliegender Substratlimitierung das Phänomen der Selbststabilisierung des Prozesses aus. Ein robuster stationärer physiologischer Zustand ist lediglich an unwirtschaftlichen Arbeitspunkten einstellbar. Optimale Produktivität wird in Gebieten hoher Verstärkungen erreicht, in denen die biologischen Zustandsvariablen jedoch sehr empfindlich gegenüber kleinsten Störungen reagieren und die Gefahr des Auswaschens besteht.

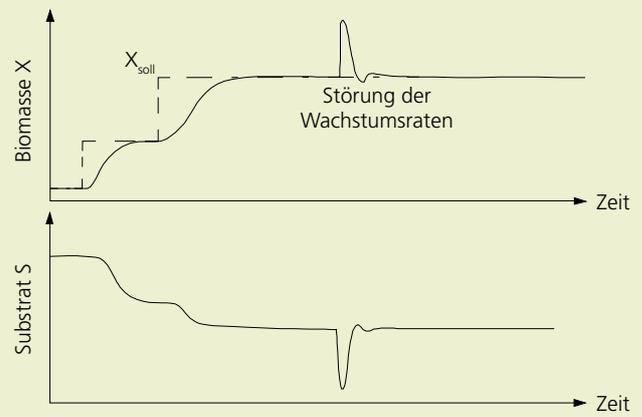
Um die Vorteile der kontinuierlichen Fermentationen zu nutzen, sind deshalb eine gute Prozesskenntnis, ein hoher technischer Standard (Sterilität, Sicherheit, Automatisierung) und ein großer Aufwand in der Prozessvorbereitung erforderlich.

### Regelstrategie

Für biotechnologische Prozesse wurde ein geschlossener Zugang zur on-line Steuerung der Wachstumsprozesse entwickelt. Ein neuartiger Grundgedanke zur Behandlung der für diese Prozesse typischen mathematischen Ansätze ermöglicht die Ableitung eines dem biologischen Wachstumsprozess angepassten Steuergesetzes. Steuerziele können sowohl die Stabilisierung des Wachstums von Biomasse oder Produktbildung in Arbeitspunkten hoher Ausbeute und die Führung des Populationsmilieus sein. Durch die Anpassung des Reglers an die Struktur des Prozesses sind die vorgegebenen Regelziele potentiell erreichbar.



Struktur der modelladaptiven Regelung  
 S: Substratkonzentration; P: Produktkonzentration; X: Biomassenkonzentration;  $S_{IN}$ : Substrateingangskonzentration; D: Durchfluss



Stabilisierung der Biomassenkonzentration im kontinuierlichen Fermentationsbetrieb  
 (Simulation der Wachstumskinetik von Rhodococcus spec. 1)

Eine Änderung von Führungsgrößen oder angreifende Störungen führen nicht zum Ausfall der Reglerfunktion oder zur Instabilität. Damit können

- ein ruhiger Prozessverlauf garantiert,
- die Mikroorganismen schonend kultiviert und
- die Wachstums- bzw. Produktionsleistung optimiert

werden.

Sowohl substratlimitierende als auch produktinhibierende Prozesse werden beherrscht. Die aufwendige Bestimmung biologischer Wachstumsparameter entfällt aufgrund des Einsatzes adaptiver Methoden.

Die beschriebene Methode löst die Probleme der Stabilisierung der Biomasse-, Substrat- oder Produktkonzentrationen sowie von Anfahr- und Umsteuervorgängen mit konstantem und gleitendem Reaktionsvolumen. Der Prozess kann am festen Arbeitspunkt betrieben oder mit Führungstrajektorien beaufschlagt werden. Sondierende Voruntersuchungen für ausgewählte Prozesse mit Produkthemmung bestätigen die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

### Lösungsweg

Grundkomponente der Strategie ist ein nichtlinearer adaptiver Mehrgrößenregler für den einstufigen kontinuierlichen Reaktor mit idealer Durchmischung. Ausgangspunkt des Entwurfs der Steuerung ist die mathematische Beschreibung der Wachstumskinetik und des Milieus (pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffkonzentration) durch ein System nichtlinearer Differentialgleichungen.

Als Lösungsansatz werden spezielle nichtlineare, prozessspezifische Transformationen benutzt, um die Prozessbeschreibung in eine integrierbare Form zu überführen. Diese Vorgehensweise ermöglicht den Entwurf realisierbarer Filter und den Aufbau kausaler Regler. Der eigentliche Steueralgorithmus wird in der transformierten Signalebene (Bildebene) entwickelt. Zweckmäßigerweise werden dazu modelladaptive Methoden angesetzt.

Steuerziele können sowohl die Stabilisierung des Wachstums von Biomasse oder Produktbildung in Arbeitspunkten hoher Ausbeute und die Führung des Populationsmilieus sein.

### Eigenschaften des Verfahrens

Durch die Anpassung des Reglers an die Struktur des Prozesses sind die vorgegebenen Regelziele potentiell erreichbar. Eine Änderung von Führungsgrößen oder angreifende Störungen führen nicht zum Ausfall der Reglerfunktion oder zur Instabilität. Damit können ein ruhiger Prozessverlauf garantiert, die Mikroorganismen schonend kultiviert und die Wachstums- bzw. Produktionsleistung optimiert werden. Sowohl substratlimitierende als auch produktinhibierende Prozesse werden beherrscht. Die aufwendige Bestimmung biologischer Wachstumsparameter entfällt aufgrund des Einsatzes adaptiver Methoden.

Die beschriebene Methode löst die Probleme der Stabilisierung der Biomasse-, Substrat- oder Produktkonzentrationen sowie von Anfahr- und Umsteuervorgängen mit konstantem und gleitendem Reaktionsvolumen. Der Prozess kann am festen Arbeitspunkt betrieben oder mit Führungstrajektorien beaufschlagt werden.

Sondierende Voruntersuchungen für ausgewählte Prozesse mit Produkthemmung bestätigen die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.