

Stofftransport in nicht-newtonschen Biosystemen

EIN VERGLEICH DES SCHLAUFENREAKTORS MIT DEM KLASSISCHEN

RUEHRKESSEL

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

KARL WERNER GSCHWEND

dipl. Natw. ETHZ

geboren am 29. Januar 1953

von Altstätten SG

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. A. Fiechter, Referent

Prof. Dr. F. Widmer, Korreferent

1982

5. ZUSAMMENFASSUNG

Der Gas - flüssig und flüssig - fest Stofftransport sowohl in nieder wie in hochviskosen Biosuspensionen ist eng verknüpft mit dem Leistungseintrag, dem Luftdurchsatz, der Reaktor- und Rührergeometrie sowie den rheologischen Eigenschaften des Mediums. Diese Mehrfachabhängigkeit und mathematisch nicht exakt beschreibbaren Interaktionen erlauben keine punktuelle Betrachtungsweise, sondern zwingen zu einer bilanzmässigen Erfassung des Stoffstromes und dessen lokale Zuordnung. Daraus ergibt sich ein fraktioniertes Stofftransportmodell, bestehend aus der Rührerzone als aktives Reaktionsvolumen ϕV_R (konvektiver Transportstrom) und dem Bulk als nicht-aktives Reaktionsvolumen $(1 - \phi)V_R$ (diffusiver Transportstrom).

Mittels Sauerstofftransportstudien in chemostatischen Experimenten wird das Volumenverhältnis Rührerzone / Bulk (ϕ - Wert) in fluiddynamisch verschiedenen Reaktortypen (Rührkessel, Schlaufenreaktoren) ermittelt. Dazu werden Trichosporon cutaneum, eine streng aerobe Hefe, und Xanthan als Mediumsverdicker verwendet.

Die aktive Volumenfraktion umfasst in den untersuchten Reaktoren 5 - 22 % des totalen Reaktionsvolumens und wird wesentlich durch den Leistungseintrag des Rührwerks und die Stoffeigenschaften des Mediums (Viskosität, Koaleszenzverhalten) bestimmt. In viskosen / dickflüssigen Medien reduziert sich ϕV_R auf das Rührerschöpfvolumen.

Im klassischen Rührkessel konnten bei 1 % Substrat- und 0.5 % Verdickerkonzentration mittels Leistungssteigerung des Rührwerks dieselben maximalen Biomasseproduktivitäten ($2.1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) erreicht werden wie im wässrigen System ohne Verdicker. Eine Verdoppelung der Verdickerkonzentration führte zu einer Reduktion der maximalen Biomasseproduktivität um 25 %. Eine Erhöhung der Substratkonzentration auf 2.5 % bei 0.5 % Verdickerkonzentration bewirkte sauerstofflimitiertes Wachstum. Nach Leistungssteigerung

des Rührwerks um $+ 5 \text{ W l}^{-1}$ (+ 250 rpm) resultieren um 30 - 40 % höhere maximale Sauerstofftransferraten.

Sämtliche im Torusreaktor, einem horizontalen Schlaufenreaktor, durchgeführten Züchtungen zeigen im Vergleich zum Rührkessel bei 75 % geringerem Leistungseintrag eine Produktivitätssteigerung um 30 %.

Basierend auf der Theorie der inhomogenen Verteilung der Energiedissipationsdichten und den eigenen Messdaten wurde zur Korrelation des Sauerstofftransportes mit dem Leistungseintrag ein mathematisches Modell entwickelt. Die Gültigkeit des Modells wurde mit realen, grosstechnisch angewandten Produktionssystemen (P.chrysogenum, Fusarium sp., X.campestris) überprüft.

6. SUMMARY

Mass transfer occurring in gas - liquid and liquid - solid interphases in biological submerged systems is influenced by power input, air flow rate, the geometry of reactor and stirrer as well as by the rheological properties of the broth and / or their interactions. These effects are studied and compared using a classical stirred tank and a horizontal loop reactor (Torus reactor). In the view of the locally inhomogeneous energy dissipation the total volume of reactor was divided into two parts: A stirrer region as an active part of convective mass flux ϕV_R and the bulk as a non-active part of diffusive mass flux $(1-\phi)V_R$. The proportion of the volume of mass transfer active to that of non-active part was determined in several chemostat experiments under different fluid dynamics. Oxygen transfer studies were performed using cultures of Trichosporon cutaneum, a strictly aerobic yeast. Xanthan gum was applied for thickening the culture medium.

In the different reactor types employed, the active volume part is significantly affected by the power input, viscosity and bubble coalescence and can vary in the range of 5 - 22 %. The minimum values were obtained in the viscous or rigid cultures.

In the classical stirred tank, no difference was observed between the biomass production rate in aqueous and viscous media. This was the case for thickener and substrate concentrations below 0.5 % and 1 % respectively. A doubling of the thickener concentration causes a reduction of 25 % in the maximum biomass production rate. 2.5 % increase in substrate concentration leads to oxygen limitations and reduces the maximum productivity by 30 %. In the oxygen limited culture an increase of 5 W l^{-1} in power input (+ 250 rpm) could enhance the oxygen transfer rates

to about 30 - 40 %.

The Torus reactor in comparison gives 30 % higher productivities in the concentrated medium (2.5 % substrate, 0.5 % thickener), requiring 75 % less power input.

On the base of an inhomogeneous energy dissipation theory and data obtained, a mathematical model was developed to correlate oxygen transfer rates and power input. The validity of the model was tested using two fungi (P.chrysogenum, Fusarium sp.) and one bacteria culture (X.campestris).