

Diss. ETH Nr. 7899

Fluid Dynamics and Oxygen Transfer during the Cultivation
of *Trichosporon cutaneum* in Jet Loop Bioreactors

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

ANTONIO JARAMILLO
Dipl. Sc. Nat. Biozentrum University Basel
born April 25, 1954
in Guatemala

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Fiechter, examiner
Prof. Dr. G. Hamer, co-examiner

Zürich, 1985

5. SUMMARY

When bioreactors are tested with respect to their performance, characterization using chemical systems yields useful indications for design and operation. However, the assessment of criteria applicable for biological processes requires characterization with standardized biological systems.

Within a comparative investigation of different bioreactor types, a 2300 l jet loop reactor was tested with regard to its capability for oxygen transfer and biomass productivity. The specific aeration rate and the power input of the circulation pump were varied systematically and correlated with the reactor's biological performance. The strictly respirative yeast Trichosporon cutaneum was grown in synthetic glucose medium and used as test system. This yeast metabolizes the substrate only to biomass, CO₂ and water. Growth depends upon the availability of oxygen and thereby, upon the operational parameters and power consumption. Thus, oxygen transfer rate depends upon the reactor's efficiency. Therefore, it was chosen as primary evaluation criterion.

In order to determine suitable operational conditions and to investigate the correlation of the biological performance and the hydrodynamic behavior, mixing time, circulation rate and gas hold-up were measured using physical methods and a tap water-air system.

The biological tests showed that a specific jet power input below 0.5 kW m⁻³ does not affect oxygen transfer rate while higher power inputs enhance the reactor's efficiency. The best oxygen transfer rate and biomass productivity of 2.3 and 5.3 g l⁻¹ h⁻¹, respectively, were achieved at a jet power input of 1 kW m⁻³ and an aeration rate of 1.2 vvm (superficial gas velocity 11 cm s⁻¹).

Comparative experiments were carried out in a 350 l geometrically similar reactor model, in co-operation with the University of Stuttgart. These tests showed the reproducibility of results when the reactors were operated under essentially the same conditions. In the smaller model, a maximum oxygen transfer rate of $4.2 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and a maximum biomass productivity of $8.5 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ were achieved at a jet power input of 4 kW m^{-3} . However, a further power increase resulted in uncontrolled flow patterns and a diminished efficiency due to a waste of energy when injector flooding occurred

The correlation of oxygen transfer rate with specific power input and aeration rate was formulated mathematically.

Axial pO_2 -profiles and estimations of local transfer rates indicate that most mass transfer takes place in the downcomer because of an average smaller bubble size and a longer gas retention time in this region.

The relation of the biological performance and the hydrodynamic behavior indicates that the efficiency of jet loop reactors is most decisively determined by the circulation rate.

From comparisons with other reactor types, it is concluded that for oxygen transfer demands up to $4 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$, jet loop bioreactors need 30-50% less energy input than compact and horizontal short loop reactors and approximately the same as stirred tanks. However, the simple, slim construction and operation without an internal agitation device make tower loop reactors economically attractive for low viscosity bulk product process systems.

6... ZUSAMMENFASSUNG

Zur Untersuchung der Eignung und der Leistungsfähigkeit von Bioreaktoren liefert eine physikalische Charakterisierung mit Modellsystemen wie wässrige Salzlösungen Hinweise über zweckmässige Konstruktion und Betriebsbedingungen. Doch für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale biotechnologische Prozesse ist eine Charakterisierung mit definierten biologischen Testsystemen erforderlich.

Im Rahmen der vergleichenden Untersuchung verschiedener Bioreaktortypen wurden in einem Strahlschlaufenreaktor mit einem Gesamtvolumen von 2300 l die spezifische Sauerstofftransfer rate und die Biomasseproduktivität in Abhängigkeit der Betriebsparameter ermittelt. Systematisch wurden der auf das Flüssigvolumen bezogene Leistungseintrag der Umwälzpumpe und die spezifische Belüftungsrate variiert. Als Testsystem wurde die strikt respirative Hefe Trichosporon cutaneum in synthetischem Glucosenährmedium verwendet. Das Substrat wird auch unter Sauerstofflimitation ausschliesslich in Biomasse, CO₂ und Wasser umgesetzt. Das Wachstum ist von der Verfügbarkeit von Sauerstoff und somit von den Betriebsbedingungen und vom Energieverbrauch des Reaktors abhängig. Deswegen ist die Sauerstofftransfer rate ein Mass für die Leistungsfähigkeit des Reaktors.

Um den zweckmässigen Bereich der Betriebsbedingungen und den Zusammenhang des hydrodynamischen Verhaltens mit der biologischen Leistungsfähigkeit zu untersuchen, wurden die Mischzeit, die Umwälzrate und der Gasgehalt ermittelt. Dabei wurden physikalische Methoden und Leitungswasser/Luft als System verwendet.

Die biologischen Tests ergaben, dass der spezifische Leistungseintrag unter 0.5 kW m^{-3} keinen Einfluss auf die Sauerstofftransferate hat. Höhere Leistungseinträge steigern die Transferate. Maximal konnten eine Sauerstofftransferate und eine Biomasseproduktivität von 2.3 bzw. $5.3 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ bei einem spezifischen Leistungseintrag von 1 kW m^{-3} und einer Belüftungsrate von 1.2 vvm (Gasleerrohrgeschwindigkeit 11 cm s^{-1}) erreicht werden.

Eine vergleichende Untersuchung in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart an einem 350 l , geometrisch ähnlichen Plexiglasmodell ergaben eine Übertragbarkeit der Resultate bei gleichen Betriebsbedingungen und eine Steigerung der Sauerstofftransferate und der Biomasseproduktivität auf 4.2 bzw. $8.5 \text{ g l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ bei einem spezifischen Leistungseintrag von 4 kW m^{-3} . Eine weitere Erhöhung des Leistungseintrags führte jedoch zu einer unkontrollierten Strömung und einer geringeren Leistungsfähigkeit.

Die Korrelation zwischen Sauerstofftransferate, Belüftungsrate und gesamtem Leistungseintrag ist mathematisch formuliert worden.

Axiale Sauerstoffpartialdruckprofile und örtliche Messungen der Sauerstoffkonzentration in der Gasphase lieferten Hinweise über einen höheren Sauerstofftransfer im Ringvolumenanteil, wegen der durchschnittlich kleineren Blasengrösse und der längeren Verweilzeit des Gases in diesem Bereich.

Bezogen auf Sauerstofftransferaten von bis zu 4 g l^{-1} ist der gesamte Energiebedarf der untersuchten Strahlschlaufenreaktoren $30-50\%$ geringer als in kompakten und horizontalen Schlaufenreaktoren und etwa gleich hoch wie in Rührkesseln. Die relativ einfache, schlanke Konstruktion und der Betrieb ohne bewegliche Einbauten machen Turm-Schlaufenreaktoren wirtschaftlich attraktiv für Prozesse mit niederviskosen Systemen, die ein grosses Reaktorvolumen benötigen.