



Doctoral Thesis

## Zusammenhang zwischen Hydrodynamik und Stofftransport im Torus-Bioreaktor

**Author(s):**

Kopp, Thomas Jakob

**Publication Date:**

1985

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000363175> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**ZUSAMMENHANG ZWISCHEN HYDRODYNAMIK  
UND STOFFTRANSPORT IM TORUS-BIOREAKTOR**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von  
THOMAS JAKOB KOPP  
dipl.Masch.-Ing. ETH  
geboren am 10.Februar 1955  
von Oberuzwil (Kt. St.Gallen)

Angenommen auf Antrag von  
Prof.Dr.F.Widmer, Referent  
Prof.Dr.A.Fiechter, Korreferent

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

In Anbetracht der heutigen Bedeutung der industriellen Biotechnologie ist die Entwicklung von kostengünstigen Reaktoren von grossem Interesse. Vor allem zur optimalen Anpassung der Reaktoren auf bestimmte Produkte fehlen aber noch immer Grundlagen. In dieser Arbeit werden hydrodynamische Grössen wie Strömungszustand, Leistungseintrag, Umlaufgeschwindigkeit, Mischzeit,  $k_1$  verglichen mit der biologischen Produktivität ( $g$  Biomasse/Volumen und Zeit), wobei verschiedene geometrische Varianten untersucht werden. Die biologischen Leistungen der Torus-Reaktoren werden mit anderen Reaktortypen verglichen.

### Ausrüstung:

Es standen 2 Torus-Reaktoren mit 114 l Inhalt (Rohrdurchmesser 250 mm) und 1000 l Inhalt (Rohrdurchmesser 500 mm) zur Verfügung. Im Torus 114 l (T-114) wurden 4 Propellertypen und 2 Typen von statischen Mixern und im Torus 1000 l (T-1000) 1 Propellertyp und 1 Typ statischer Mixer eingesetzt.

Regelgrössen: Temperatur, pH

### Messgrössen:

Drehzahl, Drehmoment, Füllungsgrad über Gewichtsmessung,  $pO_2$  an verschiedenen Positionen, Umlaufgeschwindigkeit und Mischzeit über den pH-Verlauf nach einer Indikatorzugabe, Gasdurchsatz, bei biologischen Versuchen Biomasse,  $\Delta O_2$ ,  $\Delta CO_2$ .

### Versuchsmedien:

Wasser/Luft, biologisches Medium D8%/Luft, biologisches Medium D8%+0.5%Xanthan/Luft

Die hydrodynamischen Grössen Umlaufgeschwindigkeit  $v_u$  und spezifischer Leistungseintrag  $P/V_1$  sind stark abhängig von Propellertyp, Füllungsgrad und Drehzahl. Bei niedrigen Drehzahlen fördert der Propeller gut, bei hohen Drehzahlen hingegen reisst die Strömung bei allen Propellern um die Propellerblätter ab, und es entsteht ein gros-

sei Schlupf mit beträchtlich reduzierter Förderwirkung. Nur Propeller mit grossen Blattsteigungen und grossem Propellerdurchmesser (hohe Pumpwirkung) vermögen die Umlaufgeschwindigkeit bei einer weiteren Steigerung der Drehzahl zu erhöhen.

Mischzeiten wurden mittels Messung des Konzentrationsverlaufes nach einem DIRAC-Stoss mit Säure ( $H_2SO_4$ ) durchgeführt. Die Wechselwirkung Versuchsmedium im Reaktor - Indikator wird besprochen. Die gemessene Mischzeit ist von den Betriebsgrössen und vom Ansprechverhalten der pH-Sonde abhängig. Mit einem Modell (analytische Lösung, vgl. Wasescha /L49/) können gemessene Mischzeiten in Abhängigkeit der Sondendynamik korrigiert werden. Die Mischzeit ist abhängig von Propellergeometrie und Drehzahl. Hingegen ergeben sich für die Abhängigkeit vom spezifischen Leistungseintrag und von der Umlaufgeschwindigkeit die von Reaktorgrösse und Propellergeometrie unabhängigen Korrelationen

$$T_{mix95} = 23.1 (P/V_1)^{-0.36} ; T_{mix95} = 10.0 v_u^{-1.25}$$

$T_{mix95}$  in (s)  
 $P/V_1$  in (W/l)  
 $v_u$  in (m/s)

Die biologischen Experimente wurden mit der strikt respirativen Hefe Trichosporon cutaneum auf dem vollsynthetischen Medium D8% bei  $T=30^\circ C$  und  $pH=5$  durchgeführt. Dieses, in mehreren Schritten in Chemo-statversuchen entwickelte Medium (vgl. Hug et al./L99/) garantiert eine genügende C-Quelle unter Bedingungen, wie sie bei den Reaktorvergleichsexperimenten auftreten (keine C-Limitation im Medium!). Somit wird ab einer bestimmten Biomassekonzentration die Sauerstofftransferkapazität des Reaktors zum geschwindigkeitslimitierenden Schritt des mikrobiellen Wachstums ( $\rightarrow$  OTR Oxygen Transfer Rate). Mittels Batch-Versuchen wurden diverse Reaktorgeometrien untersucht. Dabei hat das Schaumverhalten einen grossen Einfluss auf die Oxygen Transfer Rate OTR. Bei kontrolliertem Schaumverhalten konnte eine neue Versuchstrategie, der sog. "Stufenbatch" angewendet werden. Damit sind pro Zeiteinheit bedeutend mehr Messungen möglich. Die Einflussgrössen auf die biologische  $O_2$ -Transferleistung OTR werden erarbeitet:

Leistungseintrag  $P/V_1$  und Mediumzusammensetzung zeigen einen bedeutenden Einfluss (Schaumbildung erhöht die Phasengrenzfläche, Viskosität vermindert die Diffusion in den Grenzschichten); die

Geometrie der Propeller mit optimierter Begasungsvorrichtung (gleichmässige Luftverteilung über dem Querschnitt) zeigt einen schwächeren Einfluss.

Der Zusammenhang  $OTR = OTR(P/V_1, \text{Viskosität})$  wird für alle Geometrien und beide Reaktorgrössen

$$OTR = c \cdot (P/V_1)^{0.78 \pm 0.03} \quad OTR \text{ in (g/lh), } P/V_1 \text{ in (W/l)}$$

wobei  $c = 1.01 \pm 0.15$  für das wässrige System Medium D8% (+0.2–0.3 % Antischaummittel PPG) und  $c = 0.29 \pm 0.04$  für das viskose System Medium D8%+0.5%Xanthan. Für den Leitrohrpropeller bei mittleren Drehzahlen von 800 rpm ergibt sich aus dem obigen Zusammenhang die Abhängigkeit

$$OTR \cong 63.5 \left( \frac{P}{V_1} \cdot \frac{1}{\eta_{sr} 800} \right)^{0.78} \quad \begin{array}{l} OTR \text{ in (mmol/lh)} \\ P/V_1 \text{ in (W/l)} \\ \eta_{sr} \text{ in (mPas)} \end{array}$$

Diese Ergebnisse werden durch frühere Experimente von Gschwend /L18/ bestätigt, der im Torus-Bioreaktor neben kontinuierlichen Züchtungen mit industriell eingesetzten Organismenstämmen auch einzelne Batch-Versuche mit dem von ihm als Testsystem vorgeschlagenen Hefestamm T.cutaneum auf Medium D durchführte. Durch die Reproduzierbarkeit der Resultate wird die Eignung der Methode der Reaktorcharakterisierung mittels eines "biological test systems" untermauert.

Im Vergleich der Torus-Reaktoren mit anderen Reaktortypen (Rührkessel, schlanke Schlaufe, kompakte Schlaufe) zeigt sich unter Verwendung einer Zusammenstellung von Adler et al./L21/, dass der Torus-Reaktor bei spezifischem Leistungseintrag unter 3 W/l eine geringere Effizienz  $E = OTR / P/V_1$  aufweist, hingegen bei spezifischen Leistungen über 3 W/l höhere E-Werte erreicht als die anderen Reaktortypen. Neben den mathematisch beschreibbaren Vergleichsmöglichkeiten muss die besondere Eignung des Torus-Reaktors für schäumende Bio-Systeme genannt werden, da im Torus-Reaktor die ständige Erneuerung der Schaumphase und die Vermischung des Schaumes mit dem Medium die biologische Transferleistung deutlich erhöht.

Ein Vergleich mit hydrodynamischen Daten aus früheren Arbeiten am Torus-Reaktor (spezifische Phasengrenzfläche  $a$ , ermittelt von Herzog /L20/;  $k_1 a$ -Werte, von Läderach /L19/ mit der dynamischen Methode ermittelt) ergibt eine gute Uebereinstimmung dieser hydrodynamischen Daten mit den biologischen Transferleistungen dieser Arbeit. Dieses Ergebnis zeigt, dass die biologischen  $O_2$ -Transferleistungen durch die verfahrenstechnischen Prozessgrößen Stoffdurchgangskoeffizient  $k_1$ , spezifische Phasengrenzfläche  $a$  sowie treibendes Konzentrationsgefälle  $\Delta c = c^* - c_1$  berechenbar sind.

## 9. SUMMARY

Today's research in the field of bioreactor engineering is mainly concerned with the task of achieving high biological production at low costs. But still there is a lack of basic-knowledge for the optimization of the most suitable reactor for a specific biological product.

This thesis treats the torus-bioreactor and gives a comparison of hydrodynamic parameters such as flow pattern, power input, fluid velocity, mixing time,  $k_1 a$  with biological productivity (g dry weight per volume and time) under various geometric configurations.

### equipment:

Two geometrically similar reactors with a total volume of 114 l (tube diameter 250 mm) and 1000 l (tube diameter 500 mm) were used. Four different types of propellers and two types of static mixers were investigated in the 114 l-version and one type of propeller and static mixer in the 1000 l-version.

controlled parameters: temperature, pH

### measured parameters:

rotor speed, torque, filling degree,  $pO_2$  at different places, fluid velocity, mixing time, gasflow, biomass,  $\Delta O_2$ ,  $\Delta CO_2$ .

### media:

water/air, biological medium D8%/air, biological medium D8%+0.5%xanthan as thickener/air.

The hydrodynamic parameters fluid velocity and specific power input are strongly influenced by the shape of the propeller, filling degree and rotor speed. The pumping capacity at low rotor speed is good, but gets poorer with increasing rotor speed because of a distinct backlash. Only propellers with a high gradient angle of the blades can increase the fluid velocity further.

The mixing time was investigated by measuring the pH after a  $\delta$ -input of sulfuric acid as the indicator. Some aspects of the interrelation between fluid and indicator are discussed. The mixing time is influenced by process parameters and the hydrodynamic behaviour of the

pH-electrode. A model (mathematical solution see Wasescha /L49/) allows correction of a measured mixing time as a function of the electrode response time. Mixing times are dependent on rotor speed and type of propeller. The correlations  $T_{\text{mix95}} = f(P/V_1)$  and  $T_{\text{mix95}} = f(\text{fluid velocity})$  are independent of the size of reactor or the geometry of the propeller:

$$T_{\text{mix95}} = 23.1(P/V_1)^{-0.36} ; T_{\text{mix95}} = 10.0(v_u)^{-1.25}$$

$T_{\text{mix95}}$  in (s)  
 $P/V_1$  in (W/l)  
 $v_u$  in (m/s)

The biological experiments were carried out with the strictly respirative yeast Trichosporon cutaneum on a fully synthetic medium (D8%). This medium was developed (see Hug et al./L99/) to guarantee no c-limitation under conditions which occurred in the pilot plant experiments in this work. The exponential growth of biomass leads to a biomass concentration where the oxygen transfer capacity of the reactor configuration is reached. The oxygen transfer rate OTR is used to compare the biological productivities of bioreactors. The foam behaviour has a great influence on the OTR. Under controlled foam behaviour (no change of foam behaviour during an experiment) a new strategy, the step-batch, was introduced. It provides for more results per time unit.

Different process parameters were investigated:

Power input and composition of the medium show a great influence on OTR, while the geometry of the propeller with optimized gas inlet configuration demonstrates less importance. The connexion between OTR,  $P/V_1$  and viscosity can be given for both sizes of the torus-reactors:

$$\text{OTR} = c \cdot (P/V_1)^{0.78 \pm 0.03}$$

OTR in (g/lh),  $P/V_1$  in (W/l)

were  $c = 1.01 \pm 0.15$  for the system biological medium D8%/air  
 (+0.2-0.3% antifoam-agents PPG)

$c = 0.29 \pm 0.04$  for the viscous system biological medium  
 D8%+0.5% xanthan as thickener/air



Previous results of Gschwend /L18/ (some batch-experiments under same conditions) are described as well by this correlations. This shows the good reproducibility of the method "characterisation of bioreactors with biological test systems" which was developed by Fiechter et al.(see /L9/).

The comparison of the torus reactor with other types of reactors (stirred tank reactor, compact loop reactor, jet loop reactor; table see Adler et al./L21/) shows that the torus reactor has a higher efficiency  $E$  (OTR/power input) than the other types for a power input greater than 3 W/l. Furthermore there is better foam controlling behaviour in the torus reactor, because the foam is not stable in the top of the reactor but is mixed continuously with the medium by the large propeller.

A comparison with the hydrodynamic results of previous works (specific interfacial area, examined by Herzog /L20/, and  $k_1 a$  values, examined with the dynamic method by Läderach /L19/) leads to close agreement with the biological results of this work. This demonstrates that the biological productivity in the torus-reactor can be calculated by using the hydrodynamic parameters mass transfer coefficient  $k_1$ , specific interfacial area  $a$  and mean concentration difference  $\Delta c = c^* - c_1$ .