

**MIKROVERMISCHUNG IN EINEM  
ROHRSCHLAUFENREAKTOR  
MIT UND OHNE EINBAUTEN**

**ABHANDLUNG**

Zur Erlangung des Titels  
**DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN**  
der  
**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH**

vorgelegt von  
**HORST MAIRE**  
Dipl.-Ing. TU Braunschweig  
geboren am 03. Mai 1957  
von Deutschland (BRD)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. J. R. Bourne, Referent  
Prof. Dr. A. Baiker, Korreferent

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Mit Hilfe einer schnellen Parallel-Folge-Reaktion wurde die Mikrovermischung in der turbulenten Strömung eines Leerrohrs und in verschiedenen, handelsüblichen statischen Mischelementen bei normaler und erhöhter Viskosität untersucht. Die spektrophotometrische Analyse der verwendeten Testreaktion wurde verbessert und erweitert. Und es wird ein externer Standard für die HPLC-Analyse gegeben.

Es wurde gezeigt, daß die Turbulenz im Leerrohr infolge der Störung durch das Feedrohr im Bereich der Reaktionen axial zerfällt und auch radial inhomogen ist. Der Störeinfluß des Feedrohrs konnte durch eine zusätzlich installierte Fixierung deutlich gesenkt werden.

Auf der Grundlage des E-Modells wurde die Ausbreitung der Reaktionszone in einer turbulenten Leerrohrströmung mit zentraler Zusp eisung modelliert. Die zusätzlichen, mit dem Feed eingetragenen Turbulenzen und deren Zerfall, wurden berücksichtigt. Die Anpassung eines Modellparameters an experimentell bestimmte Produktverteilungen führte zu sehr guten Übereinstimmungen.

Die turbulente Energiedissipation in statischen Mischelementen wurde bestimmt und mit der Gesamtenergiedissipation verglichen. Es ergaben sich turbulente Energiedissipationen bis zu  $1000 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  bei einer Leerrohrgeschwindigkeit von  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Der Turbulenzerfall im Nachlauf statischer Mischelemente wurde charakterisiert und der Positionseinfluß eines Mischelements im Bereich der Reaktionen bestimmt.

Die Arbeit zeigt, daß das verwendete Reaktionssystem für hochintensive Mischsysteme nur eingeschränkt eingesetzt werden kann.

Mit den aus Semibatch-Versuchen gewonnenen Erkenntnissen wurde über Simulationsberechnungen die zu erwartende Produktverteilung für Inline-Betrieb im Leerrohr und mit statischen Mischelementen abgeschätzt.

## **ABSTRACT**

A fast, competitive - consecutive azocoupling reaction was used to investigate micromixing in an empty tube and in different commercial static mixers. Experiments were made in the turbulent flow regime at both normal and elevated viscosity. The spectrophotometric analysis of the employed test reaction was improved and its applicability was enlarged. An external standard for the HPLC analysis was determined.

In the reaction zone, additional turbulence was generated by the feed pipe. It was shown that this additional turbulence decayed downstream in the axial direction and was inhomogenous over the tube radius. The generated turbulence was reduced by stabilizing the feed pipe.

On the basis of the E-model, the spreading of the reaction zone was modeled for turbulent flow in an empty tube with a concentric feedpoint. The additional turbulence introduced with the feed and its decay was considered. The agreement between the calculated product distribution and experimental data was excellent after fitting one parameter to the model.

The turbulent energy dissipation in various static mixers was determined and compared with the total energy dissipation. Turbulent energy dissipations on the order of  $1000 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  were found when the superficial velocity was  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . The decay of turbulence downstream from the static mixers was characterized. The effects of positioning one static mixer in the reaction zone were determined.

This study showed that the used reaction system can only be applied on a limited basis for highly intensive mixing devices.

The knowledge from semi-batch experiments was used for estimation of the product distribution in in-line operations to be carried out in an empty tube and also in static mixers.