

Diss. ETH Nr. 8799

# Wärmetransport, Druckabfall und Leervolumenverteilung im radial durchströmten Festbettreaktor

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Technischen Wissenschaften  
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

Felix Armin Schneider  
Dipl. Chem. Ing. ETH  
geboren am 8. Februar 1957  
von Neuhausen am Rheinflall  
und Rüti (ZH)

Angenommen im Antrag von  
Prof. Dr. D.W.T. Rippin, Referent  
Prof. Dr. W. Richarz, Korreferent



Zürich 1989

Zentralstelle der Studentenschaft

### ZUSAMMENFASSUNG

Wärmetransport, Druckabfall und Leervolumenverteilung des nicht adiabatischen, radial durchströmten Reaktors (RFR) werden in dieser Arbeit näher untersucht.

Dieses relativ neue Reaktorkonzept stellt eine Alternative zum bekannten axial durchströmten Festbettreaktor (AFR) dar, welcher aus einem Bündel von Rohren besteht, die im Inneren mit der Katalysatorpackung gefüllt sind. Im Gegensatz dazu liegt bei der radialen Anordnung das Festbett zwischen den Rohren, deren Inneres vom Kühlmittel durchströmt wird.

Es wurde eine Versuchsanlage aufgebaut, die ein Segment eines RFR's darstellt. Das Bett wird von heisser Luft durchströmt und enthält sechs Reihen von wassergekühlten Rohren. Die Packung besteht aus reinen Glaskugeln, und es finden keine Reaktionen statt.

Die Erfassung der Phänomene erfolgt in einem absatzweisen Ansatz, der jeweils eine Rohrreihe mit dem zugehörigen Festbett als Kühlstufe beschreibt.

Zur Auswertung werden die Messresultate des RFR's mit bekannten Modellen für den AFR verglichen. Um Beziehungen mit einem möglichst grossen Gültigkeitsbereich zu erhalten, werden Analogien zwischen den beiden Konzepten gesucht. Dies geschieht aufgrund eines allgemeinen Ansatzes, welcher auf einer funktionellen Analyse der geometrischen Strukturen basiert. Es zeigt sich dabei, dass beim RFR je nach Vergleichsbasis verschiedene charakteristische Grössen existieren, die alle dem Rohrdurchmesser des AFR's entsprechen. Die untersuchten Phänomene des RFR's lassen sich nun wie folgt in Übereinstimmung mit den Messungen beschreiben:

Für alle untersuchten Reaktorkonfigurationen lässt sich der mittlere Leervolumenanteil der Packung mit Hilfe des Verhältnisses von Partikel- zu hydraulischem Bett Durchmesser beschreiben.

Der Druckabfall stimmt bei der Berücksichtigung geometrischer Faktoren für die Dehnung und Kontraktion des Strömungsweges ebenfalls mit den bekannten Ansätzen für längs durchströmte Rohre überein. Hier setzen die Wandeffekte, die durch Unstetigkeiten der Packung entlang der Randflächen erzeugt werden, der Genauigkeit des Modelles Grenzen. Auch die entsprechende Literatur zum AFR ist hierzu teilweise widersprüchlich.

Unter der Berücksichtigung von Eintrittseffekten und der limitierten Breite der Strömungskanäle zwischen den Rohren ergeben sich Vorhersagen für den Wärmetransfer in der Randzone, die mit analogen Anordnungen gut übereinstimmen.

Sowohl Druckabfall wie auch Wärmetransfer sind für die untersuchten radialen Anordnungen zwischen 20 % und 60 % höher als bei den korrespondierenden axialen mit gleichen Strömungsraten und geometrischen Relationen. Wegen der unterschiedlichen Abhängigkeit dieser Grössen von der Strömungsrates ergibt sich für den RFR bei identischen Wärmetransfereigenschaften bis zu 50 % weniger Druckverlust als beim AFR. Mit zunehmender Reynoldszahl geht dieser Vorteil allmählich wieder verloren.

Die hier beschriebenen Vorteile des RFR's stammen aus einem Vergleich der differentiellen Ausschnitte der beiden Reaktortypen.

Die höhere Flexibilität des gesamten RFR Designs, welche es erlaubt, die Kühlleistung entlang dem Strömungsweg den lokalen Bedingungen optimal anzupassen, führt zu weiteren signifikanten Verbesserungen gegenüber dem AFR.

ABSTRACT

Heat transfer, pressure drop and voidage distribution were studied for a nonadiabatic radial-flow fixed bed reactor (RFR).

The RFR design has been proposed by several authors as an improvement over the conventional multitubular axial-flow reactor (AFR). Whereas the fixed bed in the AFR can be characterized by a single filled tube, the RFR consists of a packing with embedded bundles of tubes, through which the cooling/heating medium circulates.

An experimental apparatus representing an RFR segment was constructed. Heated air was passed through the fixed bed which contained six rows of water-cooled tubes. The packing consisted of three different sizes of glass spheres and no reaction occurred.

Transfer characteristics were determined using an incremental procedure in which each row of tubes in turn was treated as a single cooling stage.

Experimental results for the RFR were compared with existing models for the AFR. Analogies between the two configurations were explored to establish relationships with the largest possible range of validity. These are based on a functional analysis of the different geometrical structures of the flow paths within each reactor. In the RFR, several definitions of a characteristic length could be found, in comparison with the single characteristic tube diameter of the AFR. Using these analogies, transfer properties of the RFR were described.

For any configuration of either reactor, the average void fraction of the packing can be described by use of the relationship between the particle diameter and the hydraulic diameter of the fixed bed.

Pressure drop in the RFR bed was obtained from well known correlations for the AFR by introducing geometrical factors describing stretching and contraction of the flow path. The accuracy of this model is limited due to the effects of bypass zones along the tube walls. This is not surprising, since correlations in the literature for the AFR are also partly contradictory.

If entrance effects and the limited width of the flow channels are taken into consideration, heat transfer predictions at the cooling surface correspond to behaviour found in analogous situations.

Both pressure drop and heat transfer are found to be 20 % to 60 % larger in the RFR than in an AFR with the same flow and surface to volume conditions.

Due to differing dependency of these quantities on the flow rate the pressure drop for an RFR may be up to 50 % less than for an AFR with identical heat transfer characteristics. This advantage is progressively lost as the Reynolds number increases.

The advantages of the RFR described here are derived from the comparison of the performance of differential sections of the two reactor types. Further benefits of considerably greater magnitude can be realized by taking advantage of the much greater freedom in the RFR to adapt the transfer conditions to local requirements along the flow path of the reactants.