

# Simulation der Wärmeübertragung und Zweiphasenströmung in Apparaten der Mikroverfahrenstechnik

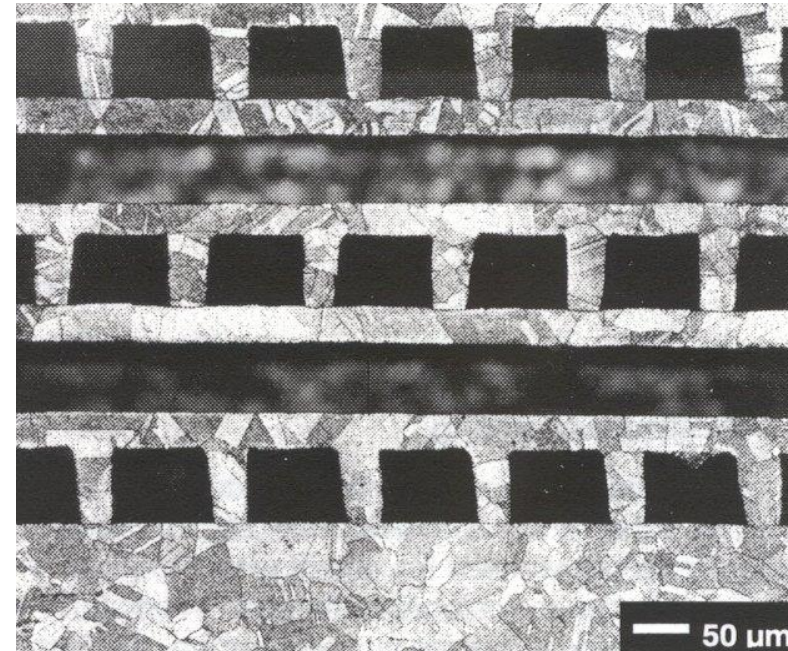
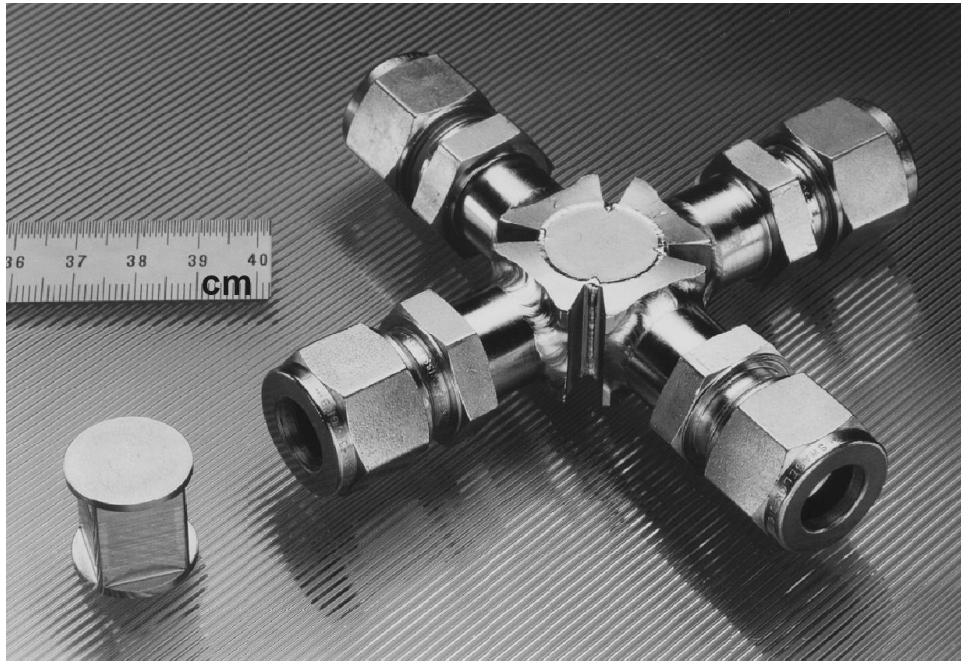
M. Wörner<sup>1)</sup>, A. Wenka<sup>2)</sup>, A. Halbritter<sup>2)</sup>, U. Imke<sup>1)</sup>, B. Ghidersa<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Reaktorsicherheit

<sup>2)</sup> Institut für Mikroverfahrenstechnik

5. Statuskolloquium des Programms Mikrosystemtechnik  
10.-11. Februar 2004

- Kreuzstrom-Wärmeübertrager des IMVT



- Den Anwender interessiert

- Wärmeübertragungsleistung und Druckverlust in Abhängigkeit der Durchsätze
- Die entsprechenden „Kennlinien“ können experimentell ermittelt werden
- Wünschenswert: Berechnung mit Hilfe der numerischen Strömungsmechanik

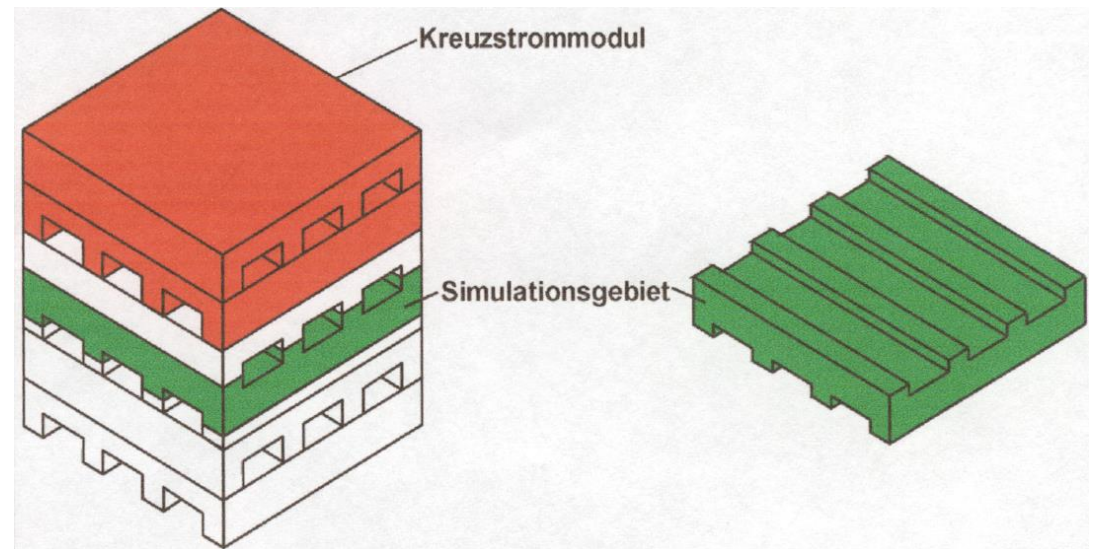
## Detaillierte Simulation des Kreuzstrom-Wärmeübertragers\*

- Problematik der detaillierten Simulation
  - Reibungs-Druckverlust ergibt sich als Integral der lokalen Wandschubspannungen
  - Die Wärmeübertragungsleistung zwischen der „kalten“ und „warmen“ Passage ergibt sich als Integral der lokalen Wandwärmeströme
  - Die Geschwindigkeits- und Temperaturgradienten an den Wänden der Mikrokanäle müssen ausreichend fein aufgelöst werden
  - Zusätzlich muss die Wärmeleitung im Strukturmaterial berechnet werden
  - Aufgrund des gemeinsamen Ein- und Austrittsplenums haben alle Kanäle einer Passage den gleichen Druckverlust
  - Da die Viskosität temperaturabhängig ist, können sich unterschiedliche Massenströme in den einzelnen Kanälen ergeben

\* A. Wenka, A. Halbritter, IMVT

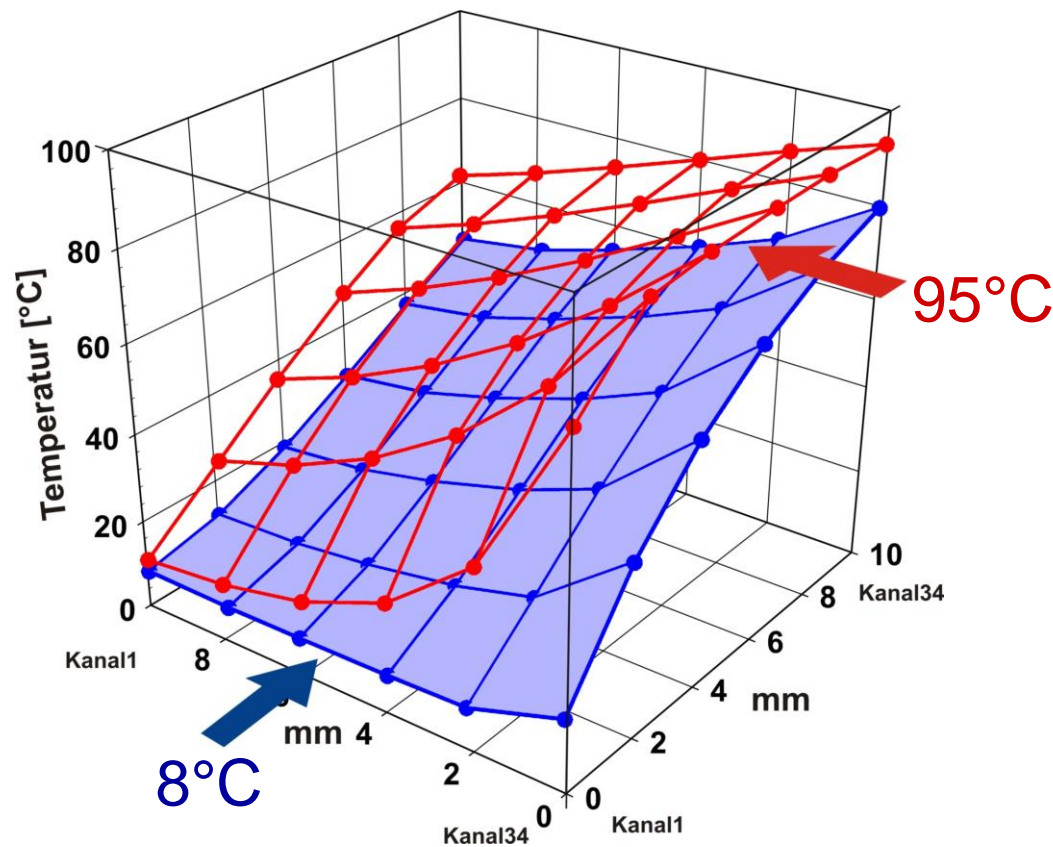
- **Simulationsmodell**

- Zur Beschränkung des Rechenaufwands werden nicht alle 50 Folien sondern nur zwei Folien mit je 34 Kanälen berechnet
- Auflösung des Querschnittes jedes Kanals mit  $4 \times 4$  Maschen
- Gesamt-Maschenanzahl: 500.000
- Druckverlust für jede Passage wird vorgegeben; die Durchsätze in den einzelnen Kanälen stellen sich ein
- Rechnungen erfolgen mit dem kommerziellen Programmsystem FLUENT
- Berechnung der stationären Lösung für eine Durchsatz-Kombination erfordert auf einem PC (Pentium Xeon 2 Ghz) ca. 10 Stunden Rechenzeit

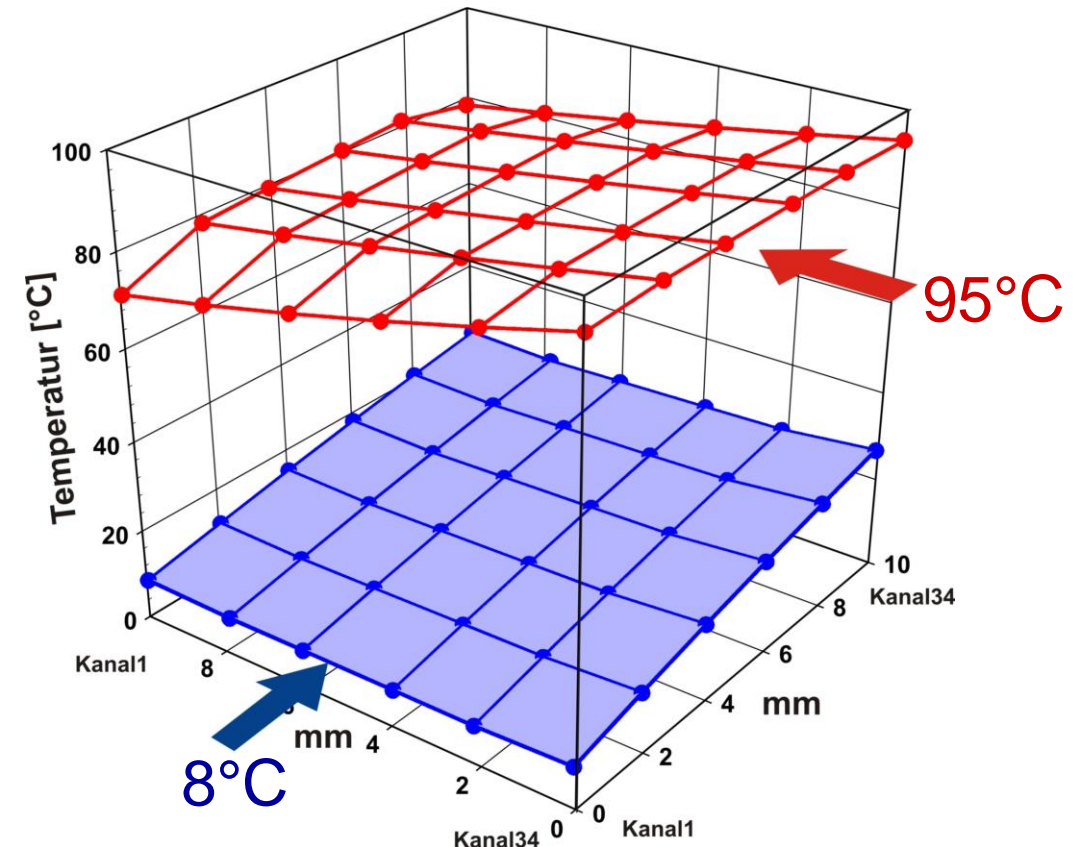


- Ergebnisse

- Temperaturverlauf in den Mikrokanälen der warmen und kalten Passage

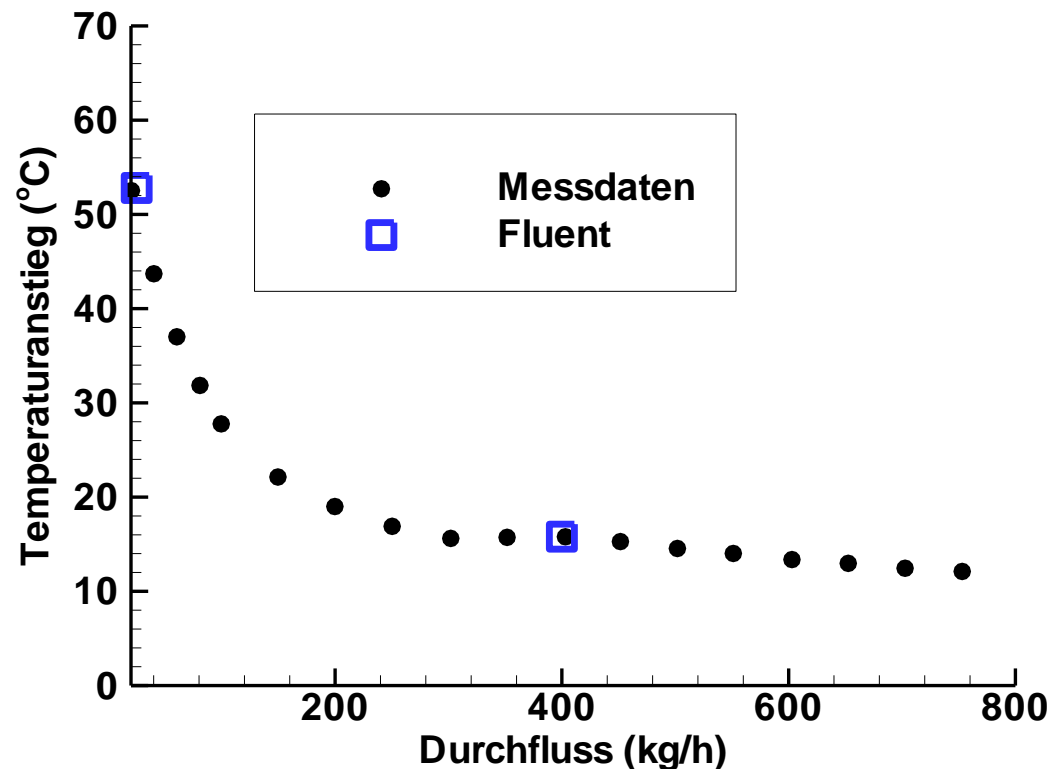


Wasserdurchsatz je Passage: 25 kg/h



Wasserdurchsatz je Passage: 400 kg/h

- Vergleich mit experimentellen Ergebnissen des IMVT
  - Mittlere Aufheizung des Wassers in der kalten Passage über der Durchflussrate
  - Gute Übereinstimmung, aber die Berechnung der gesamten Kennlinie erfordert einen unverhältnismäßig hohen Rechenaufwand

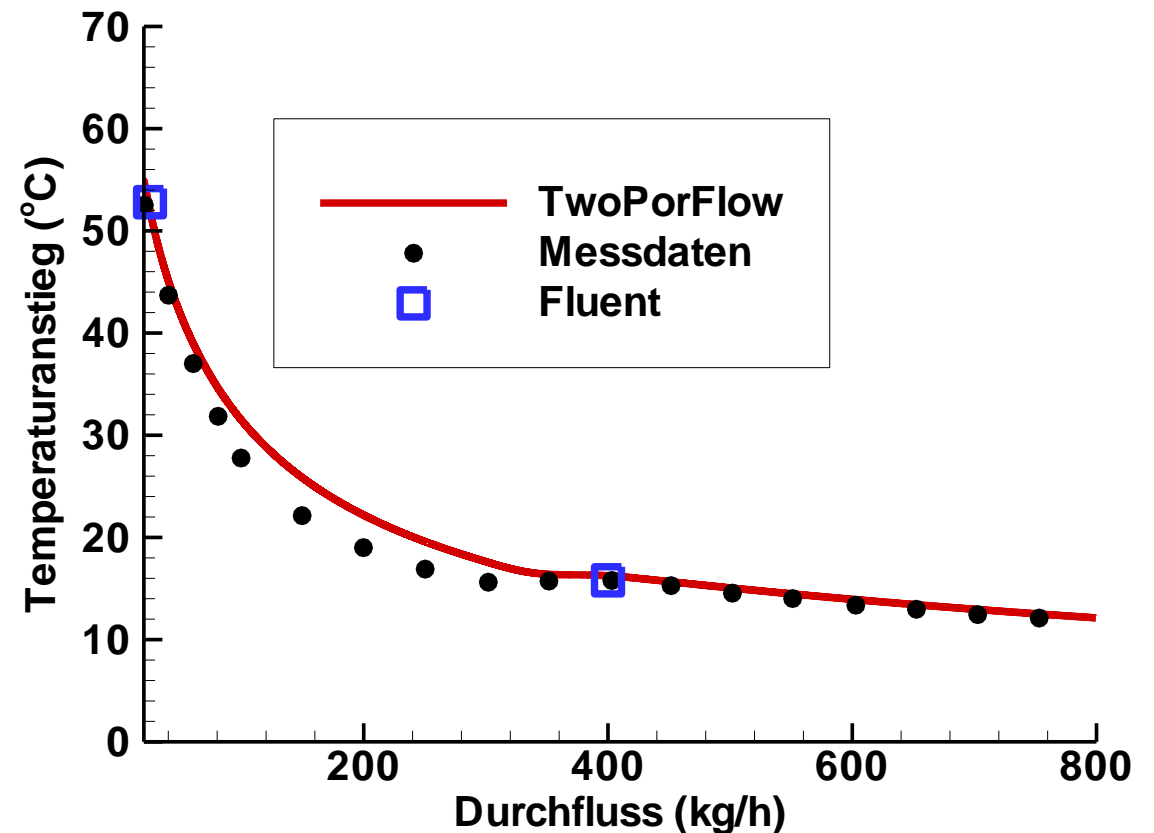
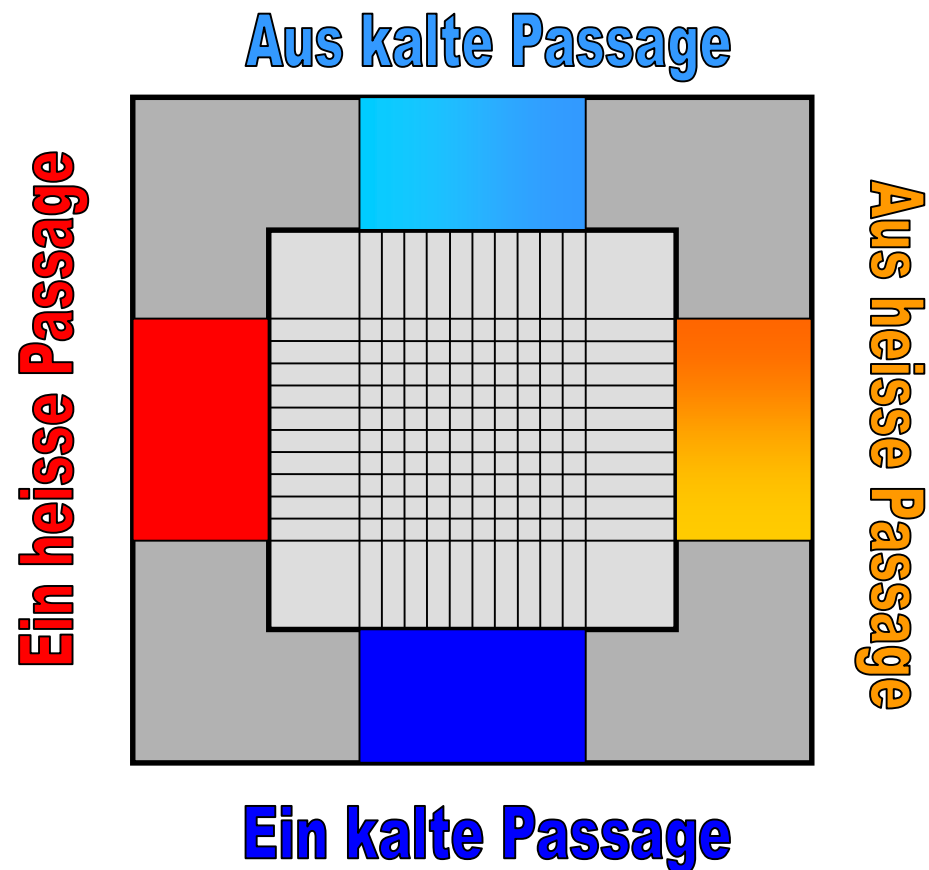


## Vereinfachte Simulation des Kreuzstrom-Wärmeübertragers\*

- Ziel
  - Entwicklung des Rechenprogramms TwoPorFlow für die effiziente Berechnung der kompletten Kennlinie
- Grundidee
  - Der Mikro-Wärmeübertrager wird als poröser Körper betrachtet, d.h. Kanäle und Strukturmaterial werden „verschmiert“
  - Wandreibung und -Wärmeströme in den Mikrokanälen werden durch empirische Modelle berücksichtigt („Linienförmige“ Quellterme in der Impuls- und Energiegleichung für den porösen Körper)
  - Bisher werden für Makro-Kanäle entwickelte Standard-Modelle verwendet
  - Erweiterung auf speziell für Mikrokanäle geeignete Modelle ist möglich
  - TwoPorFlow ist geeignet für Zweiphasenströmung; Ergebnisse zu Mikro-Verdampfer siehe Tagungsband

\* U. Imke, IRS

- Ergebnisse von TwoPorFlow für Kreuzstrom-Wärmeübertrager
  - Gitter umfasst ca. 5.000 Maschen
  - Rechendauer für gesamte Kennlinie ca. 1 Stunde (IBM Power4 Workstation)





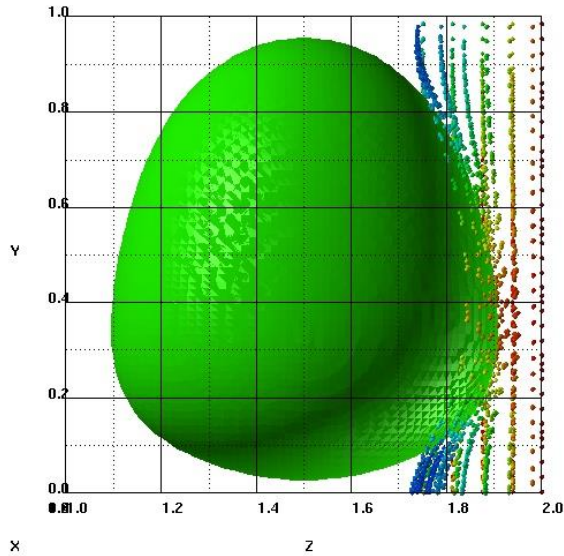
## Gas-Flüssig-Strömung in einem quadratischen Mini-Kanal\*

- **Anwendungsrelevanz**
  - Zweiphasig betriebene Mikroreaktoren (Gas-Flüssig, Flüssig-Flüssig)
  - Großer Wert der Phasengrenzfläche pro Einheitsvolumen erlaubt hohe Stoffübertragungsraten
- **Problematik der Zweiphasenströmung in kleinen Kanälen**
  - Mit abnehmender Längenskala nimmt Bedeutung der Oberflächenspannung zu
  - Zweiphasen-Strömungsformenkarten sind nicht ohne weiteres von Makro- auf Mini- und Mikro-Kanäle übertragbar
- **Ziel**
  - Detaillierte numerische Simulation der Strömung nicht mischbarer Fluide in einem quadratischen Mini-Kanal
  - Form der Grenzfläche kann sich in der Simulation frei einstellen

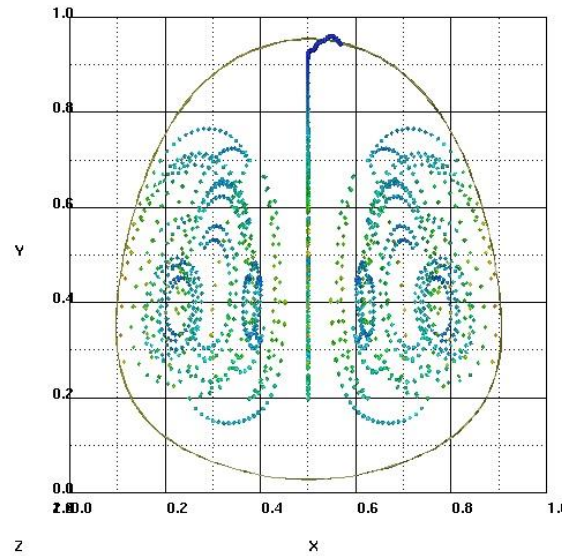
\* B. Ghidersa, M. Wörner, IRS

- **Rechenprogramm TURBIT-VOF**
  - Dreidimensionale zeitabhängige Simulation
  - In jeder Masche die momentan beide Phasen enthält wird die Phasengrenzfläche durch eine Ebene angenähert
  - Berücksichtigung der Oberflächenspannungskraft
- **Ergebnisse**
  - Vertikaler Mini-Kanal mit Querschnitt 2mm × 2mm
  - Regelmäßige Folge von Luftblasen in Silikonöl
  - Fall A: sehr viskoses Öl, Fall B: weniger viskoses Öl
  - Maschenanzahl im Querschnitt: 64 × 64 (insgesamt ca. 260.000 Maschen)
  - Anzahl Zeitschritte ca. 50.000
  - Typische Rechenzeit ca. 100 Stunden (Vektorrechner VPP 5000)
  - Vergleich mit experimentellen Daten für Blasengeschwindigkeit und Relativgeschwindigkeit der Phasen zeigt gute Übereinstimmung

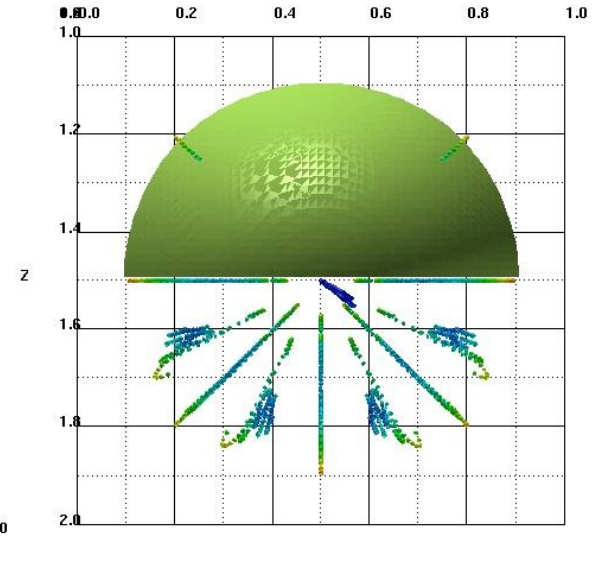
A



Seitenansicht

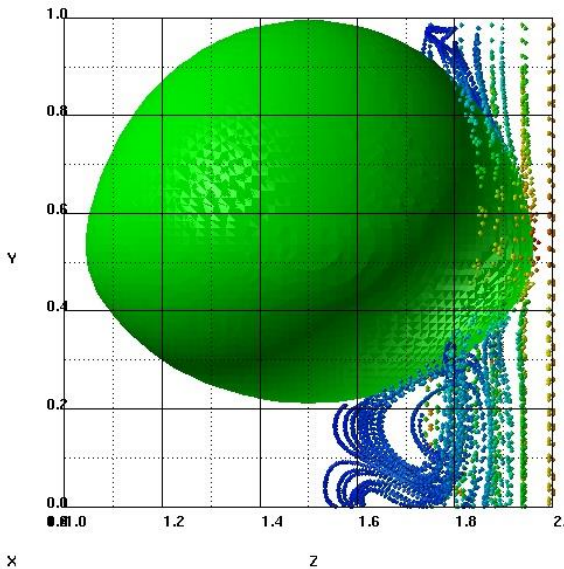


Seitenansicht

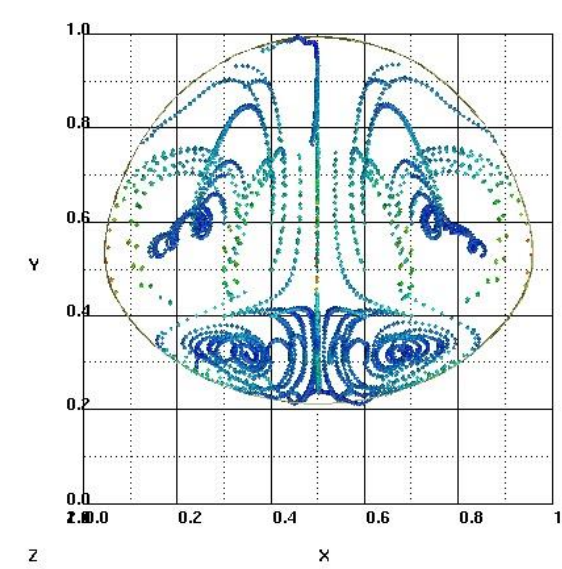


Draufsicht

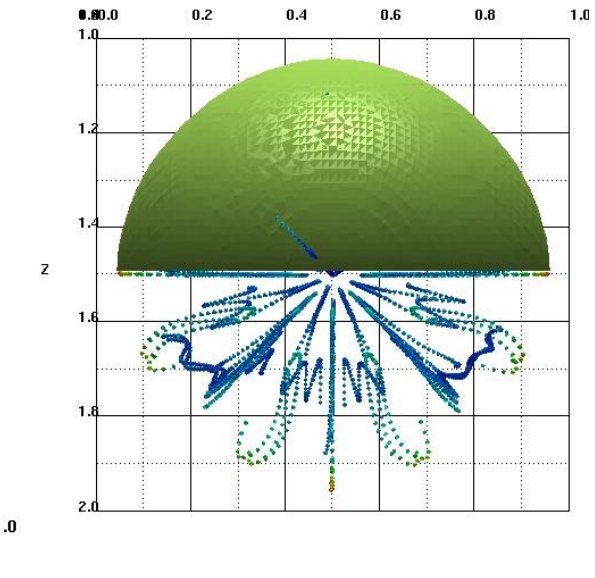
B



Seitenansicht



Seitenansicht



Draufsicht

- **Zusammenfassung**

- Die numerische Strömungssimulation ist eine wertvolle Ergänzung zu experimentellen Untersuchungen und kann einen wesentlichen Beitrag zur Analyse, Weiterentwicklung und Design von Apparaten der Mikroverfahrenstechnik leisten

- **Ausblick**

- Erweiterung von TwoPorFlow für Anwendung auf komplette Mikroapparate
- Ankopplung von Modulen und Modellen von TwoPorFlow an das kommerzielle Rechenprogramm FLUENT
- Erweiterung von TURBIT-VOF für zweiphasige Strömungen mit überlagertem Stoffübergang und chemischer Reaktion