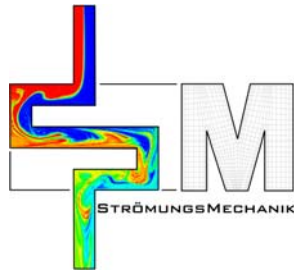


## Messung von Geschwindigkeitsfeldern in Mikrokanälen mittels $\mu$ PIV



W. Wibel<sup>1</sup> and P. Ehrhard

(<sup>1</sup> Fz Karlsruhe, Institut für Kern- und Energietechnik)

### Inhalt

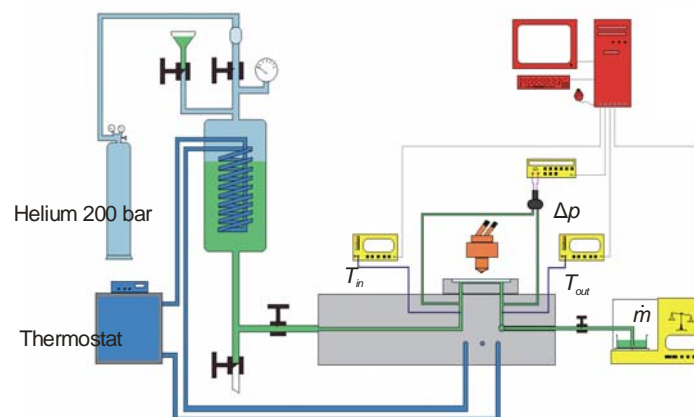
- **Motivation,**
- **experimentelle Methoden,**
- **Ergebnisse:**
  - mittlere Strömung,
  - Transitionsbereich: intermittierende Strömung,
  - Turbulenzintensitäten,
  - Einlauf der Strömung,
  - turbulente Schubspannungen,
- **Zusammenfassung.**

## Motivation

- die Korrelationen für den Druckverlust in Mikrokanälen in der Literatur sind in den letzten Jahren einigermaßen konsistent geworden,
- die Korrelationen für den integralen (oder lokale) Wärmeübergang erscheinen hingegen nach wie vor inkonsistent,
- die Transition laminar/turbulent in Mikrokanälen wird noch immer kontrovers in der Literatur diskutiert,
- die Kenntnis dieser Korrelationen und ihrer Gültigkeitsbereiche ist für die Auslegung von Mikrowärmetauscher oder Mikroreaktoren unerlässlich,
- **Ziel:** Bereitstellung **lokaler** Informationen zur Entwicklung der Strömung und zur Transition laminar/turbulent, speziell abhängig vom Seitenverhältnis (und der Wandrauhigkeit);

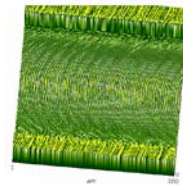
## experimentelle Methoden

- Versuchsaufbau



### experimentelle Methoden

- Mikrokanäle:
  - gefräst in Edelstahl, gedeckelt durch PMMA Platte;
  - Seitenverhältnisse 1:1, 1:2, 1:5;
  - hydraulischer Durchmesser  $d_h \cong 133 \mu\text{m}$ ;
  - Kanallänge  $l \cong 27 \text{ mm}$ ,
  - Rauigkeit  $r = 0.65 - 0.9 \mu\text{m}$ ,  $r < 0.1 \mu\text{m}$  für PMMA Deckplatte;
  - Versuchsflüssigkeit: entgastes und deionisiertes Wasser, thermostatisiert;

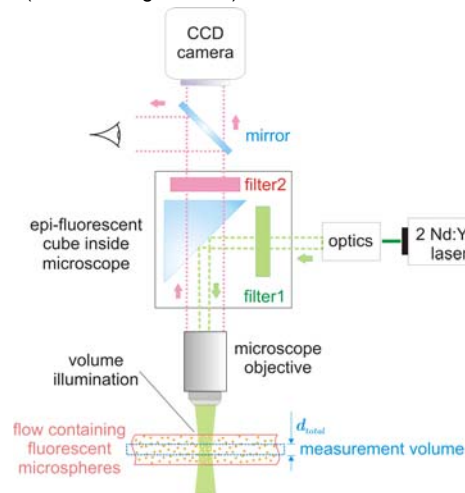


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

5

### experimentelle Methoden

- $\mu$ PIV System (Geschwindigkeitsfeld)



vgl. Meinhart et al. (1999)

Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

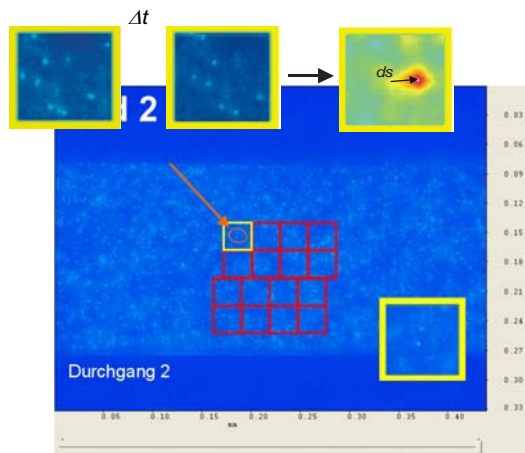
6

## experimentelle Methoden

- Auswertung der PIV Doppelbilder (Geschwindigkeitsfeld)
  - räumliche Auflösung  $\sim 5 \times 5 \mu m$  (bei 75 % Überlappung),
  - Korrelationstiefe  $\sim 15 \mu m$ ,
  - Datenaufnahme mit 2 Hz, sicherlich nicht ausreichend für das ganze turbulente Spektrum,
  - DAVIS 7.0 Software (*LaVision*), Kreuzkorrelations-Verfahren,
  - Partikeldurchmesser  $\sim 800 nm$ ,
  - $\Delta t \leq 1 \mu s$  erfordert angepasstes Verschieben des zweiten Auswertefensters in Richtung der Hauptströmung bei größeren Geschwindigkeiten ( $u \sim 20 m/s$ ),
  - mehrfache Auswertungsdurchläufe mit  $128 \times 128$  and  $64 \times 64$  Pixel Auswertefenster;

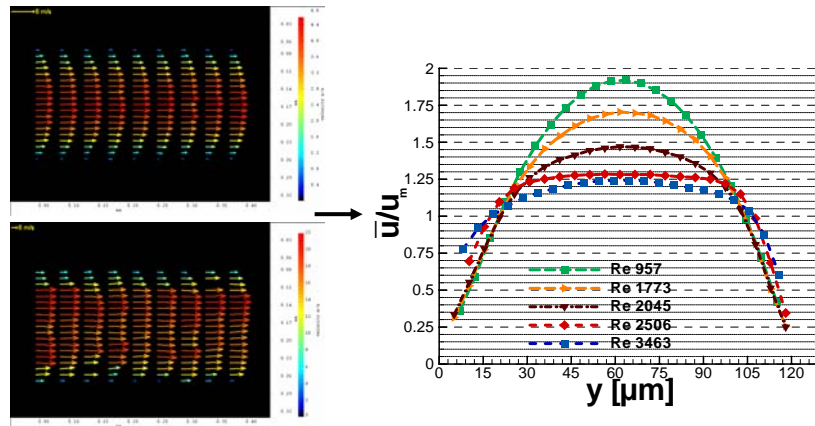
## experimentelle Methoden

- Auswertung der PIV Doppelbilder (Geschwindigkeitsfeld)



### Ergebnisse

- mittlere axiale Geschwindigkeit (Mittenebene, Ende des 1:1 Kanals)

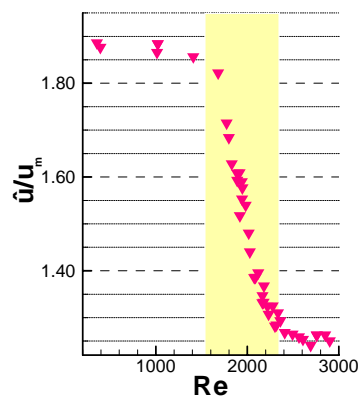


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

9

### Ergebnisse

- Amplitude der mittleren axialen Geschwindigkeit (Kanalzentrum, Ende des 1:1 Kanals)

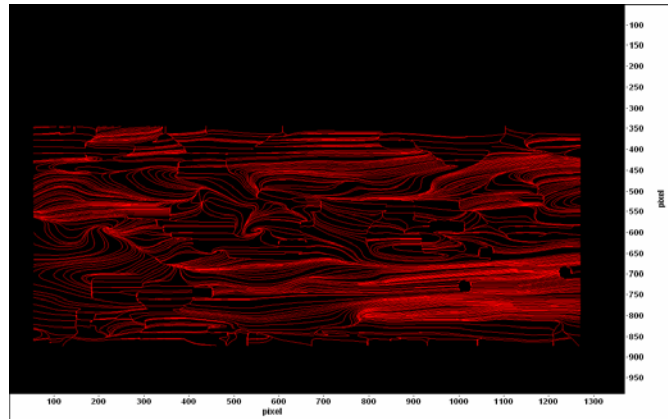


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

10

### Ergebnisse

- intermittierende Strömung im Transitionsbereich laminar/turbulent (aus  $u(x, y, t) - \bar{u}(x, y)$ , Mittenebene, 1:1 Kanal,  $Re = 2113$ )

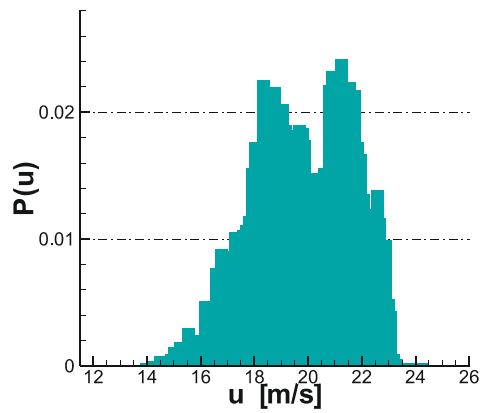


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

11

### Ergebnisse

- intermittierende Strömung im Transitionsbereich laminar/turbulent (Zentrum des 1:1 Kanals,  $Re = 2113$ )

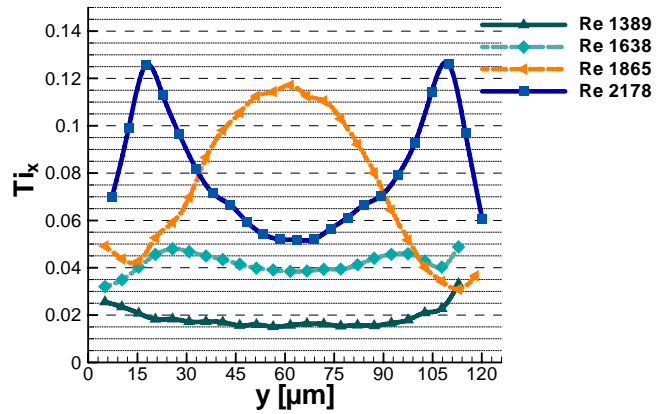


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

12

Ergebnisse

- axiale Turbulenzintensität (Mittenebene, Ende des 1:1 Kanals)

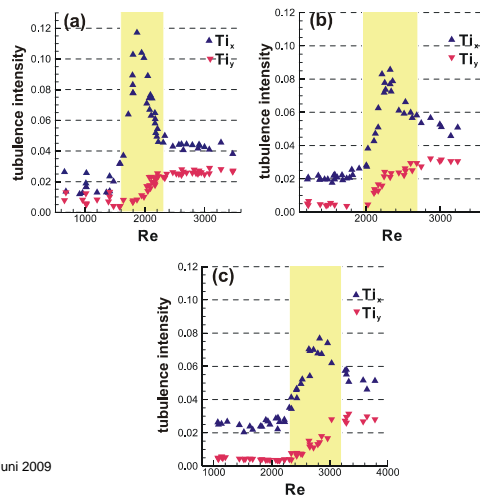


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

13

Ergebnisse

- Turbulenzintensitäten (Kanalzentrum, Ende der Kanäle)

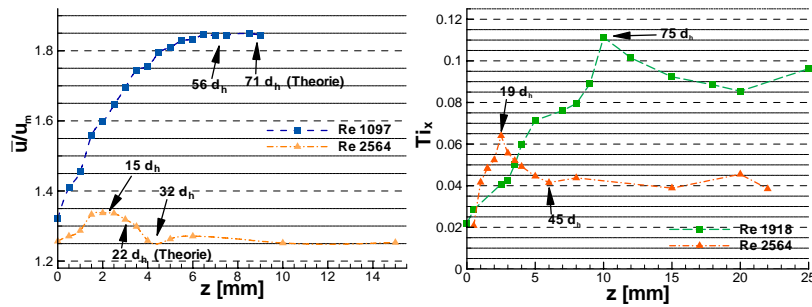


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

14

### Ergebnisse

- Einlauf der Strömung (Zentrum des 1:1 Kanals)

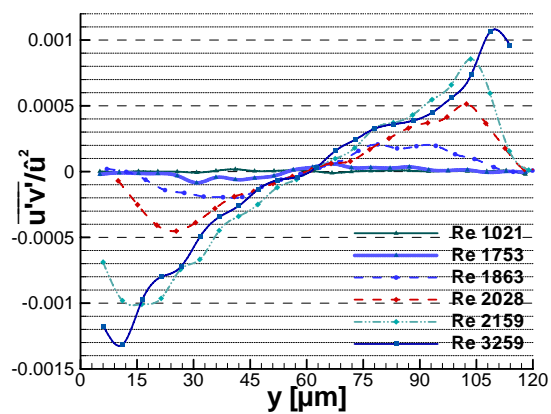


Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

15

### Ergebnisse

- turbulente Schubspannung (Mittenebene, Ende des 1:1 Kanals)



Wibel & Ehrhard | Lübeck, Juni 2009

16

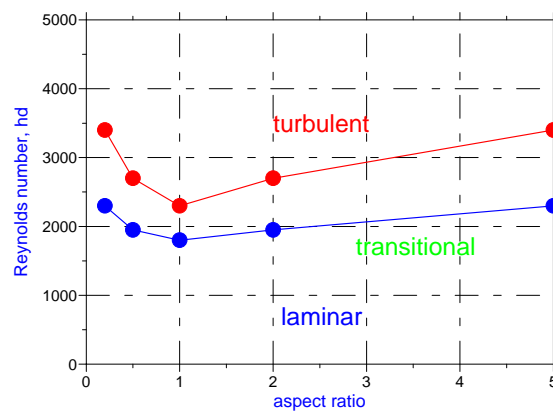


## Zusammenfassung

- Umbildung des axialen Geschwindigkeitsprofils (laminar/turbulent),
- Ausbildung der laminaren und turbulenten Strömung (im Einlauf),
- Intermittenz: laminare/turbulente Zustände im Transitionsbereich,
- Profile der axialen und transversalen Turbulenzintensitäten,
- Profile der turbulenten Schubspannung,
- alle Eigenschaften der oben genannten Größen finden sich in perfekter Übereinstimmung mit den Befunden in makroskopischen Kanälen !

## Zusammenfassung

- untere und obere Grenze des Transitionsbereichs stimmen in guter Näherung mit Befunden in makroskopischen Kanälen überein;
- diese Grenzen hängen (wie erwartet) vom Seitenverhältnis ab:



### Zusammenfassung

- wird die Reynolds-Zahl jedoch mit der kurzen Kanalseite gebildet:

