

# Numerische Berechnung turbulenter Strömungen in Forschung und Praxis

Dresden, 10. - 12. September 2014

Prof. M. BREUER , Prof. J. FRÖHLICH, Dr. F. MENTER, Dr. G. SCHEUERER, Prof. M. SOMMERFELD

Leitung Prof. J. Fröhlich  
Institut für Strömungsmechanik  
TU Dresden

Die Berechnung turbulenter Strömungen, einschließlich des Wärme- und Stofftransports ist bei vielen Problemen der Luft- und Raumfahrttechnik, des Maschinenbau-, Chemieingenieur- sowie des Bauingenieurwesens eine vordringliche Aufgabe. Beispiele sind die Strömung um Flug- oder Schiffskörper, Autos und Gebäude sowie durch Leitungen, Kanäle, Kammern und Wärmetauscher, Vermischungsprozesse in Reaktoren aller Art, Kühlung von Turbinenschaufeln und Brennkammern; die Ausbreitung eingeleiteter Wärme oder von Schadstoffen in der Atmosphäre, in Flüssen, Seen; Zweiphasenströmungen in Röhren, Erosionserscheinungen, Kraftstoffzerstäubung in Verbrennungsmotoren, u.s.w. Computer und Simulationsumgebungen sind in den letzten Jahren so leistungsfähig geworden, dass CFD (Computational Fluid Dynamics) in allen genannten Bereichen und darüber hinaus immer stärker eingesetzt wird. Die Beherrschung der Simulationen wird damit zu einem wesentlichen Faktor in Produktentwicklung und Qualitätssicherung sowie in der Grundlagenforschung, der anwendungsorientierten Forschung und bei Gutachtertätigkeiten. Verlässliche Resultate lassen sich jedoch nur mit dem entsprechenden Wissen über die eingesetzten Methoden, ihre Handhabung, sowie ihre jeweiligen Stärken und Schwächen erzielen. Auf diesem Gebiet finden gegenwärtig sowohl im Bereich der Numerik als auch der Turbulenzmodellierung wichtige Entwicklungen statt. Gleichzeitig bahnt sich in manchen Bereichen ein Paradigmenwechsel von statistischen Simulationen zu zeitaufgelösten Techniken wie LES und DES an.

Der Kurs hat zum Ziel, Ingenieure der Industrie und Forschung mit modernen Methoden der Simulation turbulenter Strömungen vertraut zu machen. Er besteht aus 15 sorgfältig aufeinander abgestimmten Vorlesungen namhafter Experten, die den aktuellen Stand der Technik auf diesem sich schnell entwickelnden Gebiet präsentieren. Zahlreiche Anwendungsbeispiele direkt aus der Praxis veranschaulichen die Theorie. Sie zeigen die Möglichkeiten und Grenzen auf und vermitteln Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung numerischer Rechenergebnisse. Darüber hinaus geben die Vortragenden auf der Basis ihres engen Kontaktes zur Forschung einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen. Diskussionszeit im Plenum sowie die gemeinsamen Mahlzeiten und Pausen bieten für alle Teilnehmer die Gelegenheit, auch eigene Fragestellungen intensiv mit den Referenten zu diskutieren.

## KURSPROGRAMM:

- 1. PROBLEMATIK DER BERECHNUNG TURBULENTER STRÖMUNGEN**  
Bedeutung turbulenter Strömungen in der Praxis; Eigenarten der Turbulenz; Mögliche Methoden der Turbulenzberechnung und ihre Eignung für die praktische Anwendung: Direkte Numerische Simulation (DNS), Large-Eddy Simulation (LES), statistische Turbulenzmodelle (RANS).
- 2. GRUNDGLEICHUNGEN ZUR BERECHNUNG TURBULENTER STRÖMUNGEN**  
Erläuterung des physikalischen Erhaltungsprinzips; Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls, Energie und allgemeine Skalare; Einführung der Tensorschreibweise; statistische Betrachtung turbulenter Strömungen; Diskussion verschiedener Mittelungsarten; Ableitung gemittelter Erhaltungsgleichungen und Diskussion der eingeführten turbulenten Austauschgrößen.
- 3. EINFÜHRUNG IN DIE TURBULENZMODELLIERUNG**  
Diskussion des Verhaltens turbulenter Austauschgrößen anhand von Messungen; Aufgabe und wünschenswerte Eigenschaften von Turbulenzmodellen; Grundprinzipien der Turbulenzmodellierung; Systematik und Klassifizierung existierender Modelle; einfache algebraische Wirbelviskositätsmodelle.
- 4. EIN- UND ZWEI-GLEICHUNGS-TURBULENZMODELLE**  
Zwei-Gleichungs-Turbulenzmodelle,  $k-\epsilon$ - und  $k-\omega$ -Modell; Transportgleichungen der Turbulenzgrößen; Kalibrierung der Konstanten; spezielle Eigenschaften der Modelle; mathematischer Zusammenhang zwischen den Modellen; Behandlung wandnaher Bereiche (Low-Re-Varianten); Eingleichungsmodelle, Spalart-Allmaras-Modell; Anwendungen.
- 5. NEUERE ENTWICKLUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN BEI WIRBELVISKOSITÄTSMODELLEN**  
SST-Modell und V2F-Modell; Staupunktkorrekturen; Stromlinienkrümmung; Wiederanlegeverhalten; Randbedingungen; skalierbare Wandfunktionen.
- 6. GRUNDLAGEN NUMERISCHER DISKRETISIERUNG DURCH FINITE-VOLUMEN-METHODEN**  
Grundprinzip numerischer Verfahren; verschiedene Diskretisierungsmethoden; Ansatz der Finiten Volumen; Erhaltungseigenschaft; Konvektionsschemata; Diffusionsschemata; numerische Diffusion; Zeitdiskretisierung: explizite und implizite Schemata; Stabilität; TVD-Schemata.
- 7. NUMERISCHE GITTER UND DEREN EIGENSCHAFTEN**  
Anforderungen an Rechengitter; Definition von Lösungs- und Abbruchfehlern; empirische Kriterien zur Netzoptimierung;

Vor- und Nachteile verschiedener Elementtypen (Hexaeder, Tetraeder, etc.), strukturierte und unstrukturierte Rechennetze, Datenstruktur, Vor- und Nachteile; Algorithmen zur Erzeugung strukturierter und unstrukturierter Rechennetze.

#### 8. **LÖSUNGALGORITHMEN FÜR FINITE-VOLUMEN-VERFAHREN**

Problematik der Bestimmung des Druckfeldes; Übersicht über grundlegende Ansätze für inkompressible und kompressible Strömungen; Ableitung von Druckgleichungen aus der Massenerhaltungsgleichung; Vor- und Nachteile versetzter und nicht-versetzter Variablenanordnungen; entkoppelte Lösungsstrategien (SIMPLE, SIMPLE-C, PISO); gekoppelte Lösungsstrategien; Erweiterungen und Alternativen für kompressible Strömungen; Lösung der Gleichungssysteme durch direkte und iterative Methoden; Mehrgittermethoden.

#### 10. **LARGE EDDY SIMULATION**

Prinzip der Large Eddy Simulation; Filteransatz und Erhaltungsgleichungen für die Grobstrukturbewegung; Modellierung der turbulenten Feinstrukturen, Einkalenmodelle, Mehrskalenmodelle; LES ohne Feinstrukturmodell, MILES, ILES; Problematik der Randbedingungen: Einströmränder, wandauflösende LES, Wandfunktionen.

#### 11. **HYBRIDE TURBULENZMODELLIERUNG**

Unsteady RANS (URANS); Übersicht über Ansätze zur Kopplung von LES und RANS, zonale und nicht-zonale Verfahren; Detached Eddy Simulation (DES); hybride Wirbelviskositäten; Scale-Adaptive Simulation (SAS); zonale Verfahren mit expliziter Kopplung.

#### 12. **ANWENDUNGSBEISPIELE**

Illustration durch Simulationen aus aktueller Forschung und industrieller Praxis: Turbomaschinenströmungen; Brennkammerströmungen; Schallausbreitung; Methodenvergleich anhand einer Fahrzeugumströmung; Hydrozyklon; Strömungen im Umweltbereich: Flussmodellierung.

#### 13. **QUALITÄTSSICHERUNG**

Validierung neuer Verfahren; Geometrie und Gittergenerierung; Gitterauflösung; Auswahl der physikalischen Modelle; Auswahl der Randbedingungen; Konvergenzkriterien; Fehlerabschätzung; mögliche Fehlerquellen; instationäre Probleme; Beurteilung von numerischen Lösungen; Best Practice Guidelines.

#### 14. **BERECHNUNG VON MEHRPHASENSTRÖMUNGEN**

Charakterisierung und Einteilung von Mehrphasenströmungen; Übersicht der verschiedenen Berechnungsansätze; Zweifluid-Modelle; Euler/Lagrange-Verfahren; Modellierung von Wandkollisionen und Partikelstößen; Anwendungsbeispiele: pneumatische Förderung, Blasensäulen, Suspendieren im Rührbehälter.

#### 15. **ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN**

Übersicht über Leistungsfähigkeit und Grenzen der behandelten Methoden; Ausblick auf weitere Entwicklungen bei numerischen Verfahren; Transitionsmodellierung, Bewertung der verschiedenen statistischen Turbulenzmodelle; Bewertung und Perspektiven zeitaufgelöster Simulationen.

Kurzfristige Aktualisierung vorbehalten

#### **Referenten:**

Prof. Dr.-Ing. M. Breuer (HSU Hamburg)  
Prof. Dr.-Ing. J. Fröhlich (Technische Universität Dresden)  
Dr.-Ing. F. Menter (ANSYS Germany, Otterfing)

Dr.-Ing. G. Scheuerer (ANSYS Germany, Otterfing)  
Prof. Dr.-Ing. M. Sommerfeld (Universität Halle-Wittenberg)

#### **Zeitplan:**

Es werden täglich fünf Vorlesungsstunden abgehalten. Am Schluss jedes Tages ist eine Stunde für Diskussion vorgesehen. Zwischen den Vorlesungen und während der gemeinsamen Mittag- und Abendessen besteht die Gelegenheit zur persönlichen Diskussion mit den Referenten. Dabei können spezielle Berechnungsprobleme der Kursteilnehmer erörtert werden.

#### **Kursunterlagen:**

Jeder Kursteilnehmer erhält ein Handbuch mit dem in den Vorlesungen gezeigten Projektionsmaterial, das alle wichtigen Informationen wie Gleichungen, Rechenbeispiele und zahlreiche Literaturhinweise enthält.

#### **Anmeldungen:**

**Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik e.V. (GVT)**  
**Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt a.M.**  
**Frau A. M. Hipp Tel: 069/ 7564-118 Fax: 069/ 7564-437**  
**E-mail: [gvt-hochschulkurse@gvt.org](mailto:gvt-hochschulkurse@gvt.org) Kennwort: Hochschulkurs turbulente Strömungen**  
**Bitte Anmeldeformular verwenden: <http://www.gvt.org/Hochschulkurse.html>**

#### **Kursgebühr:**

Die Gebühr für den Kurs einschließlich aller schriftlichen Unterlagen sowie Mittag- und Abendessen beträgt **€ 680,-**. Bei Anmeldung **bis zum 20.7.2014** reduziert sich die Gebühr auf **€ 620,-**. Die Teilnehmergebühren sind steuerfrei gemäß § 4, Ziffer 22 UStG. Bei Abmeldung bis zum 10.8.2014 wird die Teilnehmergebühr abzüglich einer Bearbeitungsgebühr von **€ 50,-** zurückerstattet. Bei späterer Abmeldung muss die Teilnehmergebühr in voller Höhe berechnet werden, jedoch ist die Benennung eines anderen Teilnehmers möglich. Die Teilnehmerzahl ist begrenzt. Frühzeitige Anmeldung wird empfohlen.

#### **Aktuelle Informationen:**

Weitere Informationen unter [www.tu-dresden.de/mwism/sm/tagungen/](http://www.tu-dresden.de/mwism/sm/tagungen/).

**Brief- / Fax-Antwort**

**Fax-Nr. 069 / 7564 - 437**

**GVT  
Forschungs-Gesellschaft  
Verfahrens-Technik e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25**

**60486 Frankfurt am Main**

---

**Anmeldung** für den GVT-Hochschulkurs

**"Numerische Berechnung turbulenter Strömungen in Forschung und Praxis"**

vom 10. – 12. September 2014 an der Technischen Universität Dresden

Die Anmeldungen werden entsprechend der Reihenfolge des Eingangs berücksichtigt.

---

**Veranstaltungsteilnehmer**

Herr  Frau

Name.....

Vorname.....

Titel / Beruf.....

Firma.....Abt.....

Straße.....

PLZ / Ort.....

Tel. / Fax.....E-Mail.....

**Rechnungsanschrift** (sofern abweichend von obiger Anschrift)

Firma.....

Abteilung.....

Straße.....

PLZ / Ort.....

Die Kursgebühr beträgt 680 €. Bei Anmeldung bis zum 20.7.2014 reduziert sich die Gebühr auf 620 €. Erst nach der endgültigen Teilnahmebestätigung durch die GVT bitten wir um Überweisung. Wird eine Anmeldung bis 10.8. 2014 storniert, erfolgt die Erstattung der Teilnehmergebühr abzüglich einer Bearbeitungsgebühr von 50 €. Bei Stornierung zu einem späteren Termin ist eine Erstattung nicht mehr möglich, jedoch ist die Benennung eines anderen Teilnehmers möglich. Unsere Teilnehmergebühren unterliegen nicht der Mehrwertsteuerpflicht (Steuerbefreiung nach § 4.22 UstG), da die GVT als gemeinnützig anerkannt ist.

.....  
Datum, Unterschrift + Firmenstempel