

# Numerische Berechnung turbulenter Strömungen in Forschung und Praxis

Dresden, 12. - 14. September 2018

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 in den Bereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Bauingenieurwesen, Meteorologie, Energietechnik, Umwelttechnik, etc. 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 von eingeleiteter Wärme oder Schadstoffen in der Atmosphäre, in Flüssen oder Seen; Zweiphasenströmungen in Rohren und Reaktoren, Erosionserscheinungen, Zerstäubungsvorgänge, etc. Computer und Simulationsumgebungen sind in den letzten Jahren so leistungsfähig geworden, dass numerische Verfahren 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, beispielsweise ein Paradigmenwechsel von statistischen Simulationen zu zeitaufgelösten Techniken wie LES, SAS, etc.

Der Kurs hat zum Ziel, Ingenieure der Industrie und Forschung mit modernen Methoden der Simulation turbulenter Strömungen vertraut zu machen. Er besteht aus 16 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 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; 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**  
Physikalisches Erhaltungsprinzip und Herleitung der Erhaltungsgleichungen; Tensorschreibweise; statistische Betrachtung; Diskussion verschiedener Mittelungsarten; Ableitung gemittelter Erhaltungsgleichungen und Erläuterung der turbulenten Austauschgrößen.
- 3. EINFÜHRUNG IN DIE TURBULENZMODELLIERUNG**  
Diskussion des Verhaltens turbulenter Austauschgrößen anhand kanonischer Strömungen; 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; Low-Re-Varianten für wandnahe Bereiche; verschiedene Eingleichungsmodelle, z.B. Spalart-Allmaras-Modell; Anwendungen.
- 5. NEUERE ENTWICKLUNGEN BEI WIRBELVISKOSITÄTSMODELLEN**  
Herleitung SST-Modell; V2F-Modell; Illustration an kanonischen Strömungen; Staupunktkorrekturen; Stromlinienkrümmung; Wiederanlegeverhalten; Randbedingungen; skalierbare Wandfunktionen. Neue Verfahren wie SKL, KSKL, SAS.
- 6. REYNOLDSSPANNUNGS-TURBULENZMODELLE**  
Grundlegender Ansatz; Transportgleichungen; Rolle der einzelnen Terme; Modellierungsstrategien; Algebraische Modelle; Diskussion von Eigenschaften, Vor- und Nachteile; Anwendungsbeispiele.
- 7. GRUNDLAGEN NUMERISCHER DISKRETISIERUNG DURCH FINITE-VOLUMEN-METHODEN**  
Grundprinzip numerischer Verfahren; verschiedene Diskretisierungsmethoden; Ansatz der Finiten Volumen; Erhaltungseigenschaft; Konvektionsschemata; Diffusionsschemata; numerische Diffusion; Zeitdiskretisierung; Stabilität.

8. **LÖSUNGALGORITHMEN FÜR FINITE-VOLUMEN-METHODEN**  
 Problematik der Bestimmung des Druckfeldes; grundlegende Ansätze für inkompressible und kompressible Strömungen; Ableitung von Druckgleichungen; Vor- und Nachteile versetzter und nicht-versetzter Variablenanordnungen; gekoppelte und entkoppelte Lösungsstrategien.
9. **MODELLIERUNG DES LAMINAR-TURBULENTEN UMSCHLAGS IN GRENZSCHICHTEN**  
 Transitionsmechanismen und ihre technische Bedeutung; Intermittenz; klassische Methoden zur Transitionsberechnung; neue RANS-basierte Methoden; Kalibrierung; Anwendungsbeispiele.
10. **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 Rechnetze, Datenstruktur, Vor- und Nachteile; Algorithmen zur Erzeugung von Gittern.
11. **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.
12. **HYBRIDE TURBULENZMODELLIERUNG**  
 Unsteady RANS (URANS); Übersicht über Ansätze zur Kopplung von LES und RANS, nicht-zonale Verfahren; Detached Eddy Simulation (DES); hybride Wirbelviskositäten; Scale-Adaptive Simulation (SAS); zonale Verfahren; Bewertung der Verfahren; Anwendungsbeispiele.
13. **QUALITÄTSSICHERUNG**  
 Systematik bei der 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, Zerstäubung; Empfehlungen zur Verfahrenswahl.
15. **ANWENDUNGSBEISPIELE**  
 Illustration durch Simulationen aus aktueller Forschung und industrieller Praxis: Turbomaschinenströmungen; Brennkammerströmungen; bewegte Gitter; Filmkühlung; Aeroelastik; Wärmetransport und thermische Ermüdung; systematische Diskussion einzelner Fehlerkomponenten in der Praxis; Vergleich unterschiedlicher Modelle.
16. **ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN**  
 Übersicht über Leistungsfähigkeit und Grenzen der behandelten Methoden; Bewertung der verschiedenen statistischen und skalenauflösenden Modellierungen; Ausblick auf weitere Entwicklungen bei numerischen Verfahren; Bewertung und Perspektiven zeitaufgelöster Simulationen; Ausblick auf Fluid-Struktur-Kopplung; Hinweise auf weitere Best Practice.

Der Kurs beginnt am **12.9.2018 um 9:00** und endet am **14.9.2018 um 18:00**. Danach gemeinsamen Abendessen möglich.

Kurzfristige Aktualisierung vorbehalten.

**Referenten:** Prof. Dr.-Ing. M. Breuer (HSU Hamburg) Dr.-Ing. G. Scheuerer (ISimQ Germany, Warngau)  
 Prof. Dr.-Ing. J. Fröhlich (TU Dresden) Prof. Dr.-Ing. M. Sommerfeld (Universität Magdeburg)  
 Dr.-Ing. F. Menter (ANSYS Germany, Otterfing)

**Zeitplan:** Es werden täglich sechs Vorlesungen abgehalten. Am Schluss jedes Tages ist eine Stunde für Diskussion vorgesehen. Zwischen den Vorlesungen und während der gemeinsamen Mittag- und Abendessen besteht Gelegenheit zur persönlichen Diskussion mit den Referenten. Dabei können auch 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, Kennwort: Hochschulkurs Turbulente Strömungen**  
**Bitte unbedingt Anmeldeformular verwenden: <http://www.gvt.org/Hochschulkurse.html>**

**Kursgebühr:** Die Gebühr für den Kurs einschließlich aller schriftlichen Unterlagen, mit Pausenverpflegung, Mittag- und Abendessen, beträgt **€ 890,-**. Bei Anmeldung **bis zum 12.7.2018** reduziert sich die Gebühr auf **€ 810,-**. Die Teilnehmergebühren sind steuerfrei gemäß § 4, Ziffer 22 UStG. Bei Abmeldung bis zum 13.8.2018 wird die Teilnehmergebühr abzüglich einer Bearbeitungsgebühr von € 90,- zurückerstattet. Bei späterer Abmeldung muss die Gebühr in voller Höhe berechnet werden, doch 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/psm/events/kurse](http://www.tu-dresden.de/mwism/psm/events/kurse), organisatorische Auskünfte über GVT.  
 Mit freundlicher Unterstützung der DECHEMA e.V.

**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 12. – 14. September 2018 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 890 €. Bei Anmeldung bis zum 12.7.2018 reduziert sich die Gebühr auf 810 €. Erst nach der endgültigen Teilnahmebestätigung durch die GVT bitten wir um Überweisung. Wird eine Anmeldung bis 13.8.2018 storniert, erfolgt die Erstattung der Teilnehmergebühr abzüglich einer Bearbeitungsgebühr von 90 €. Bei Stornierung zu einem späteren Termin ist eine Erstattung nicht mehr möglich, doch ist die Benennung eines anderen Teilnehmers möglich. Die Teilnehmergebühren unterliegen nicht der Mehrwertsteuerpflicht (Steuerbefreiung nach § 4.22 UstG), da die GVT als gemeinnützig anerkannt ist. Ohne Überweisung der Kursgebühren vor dem Kurs ist keine Teilnahme möglich.

Datenschutzhinweis: Alle Details zur Verarbeitung Ihrer Daten können den Datenschutzhinweisen der GVT entnommen werden. Sie finden diese im Internet unter der URL: <http://www.gvt.org/Datenschutz.html>. Über mein Recht, der Nutzung meiner Daten jederzeit widersprechen zu können, bin ich gleichfalls informiert worden.

.....  
Datum, Unterschrift + Firmenstempel