

Numerische Methoden in der Strömungsmechanik

Vorbesprechung (SoSe20)

Dr. Michael Schlottko-Lakemper, Christof Czernik

Abteilung Mathematik
Department Mathematik/Informatik
Universität zu Köln

24. Januar 2020

Strömungsmechanik und Numerik

- ▶ Strömungsphänomene weit verbreitet
 - ▶ Natur (Meeresströmungen, Wetter)
 - ▶ Industrie (Stromerzeugung, Prozessanlagen)
 - ▶ Verkehr (Aerodynamik, Verbrennung)
 - ▶ Physiologie (Atmung, Blutkreislauf)
 - ▶ Astrophysik (Sternentstehung)
 - ▶ ...
- ▶ Lange Geschichte numerischer Verfahren
 - ▶ 2D: erste Verfahren 1930er
 - ▶ 3D: seit den 1960er
- ▶ Seitdem kontinuierliche Weiterentwicklung von Methoden und Algorithmen
- ▶ Heute: oft größter Einzelanteil auf Supercomputern weltweit (z.B. 28% bei CINECA Call XVIII)

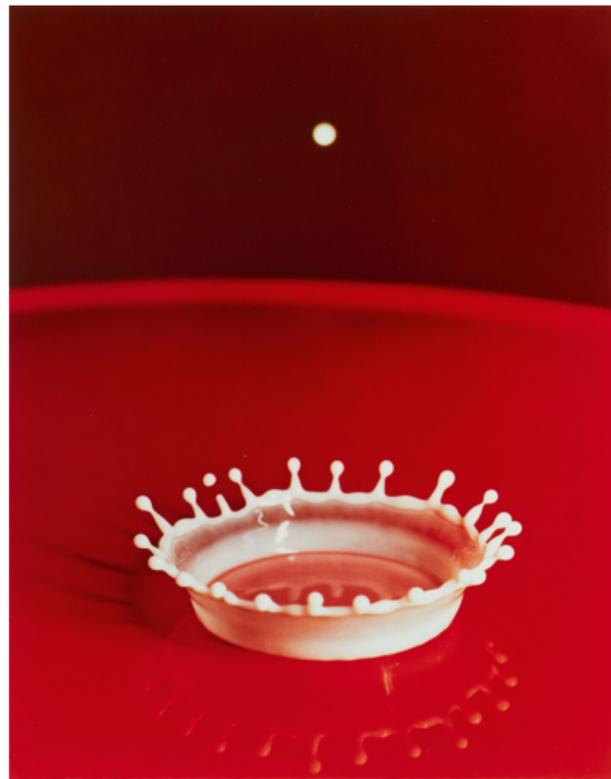
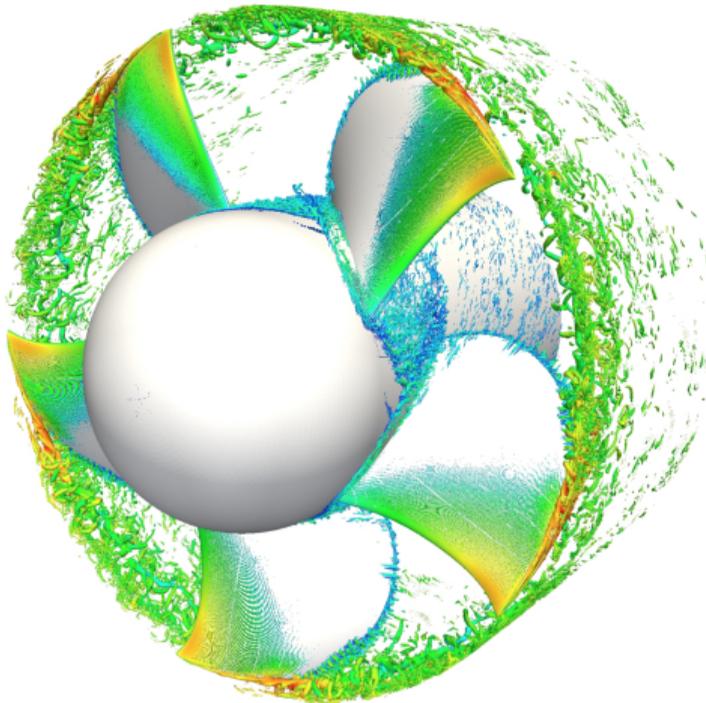


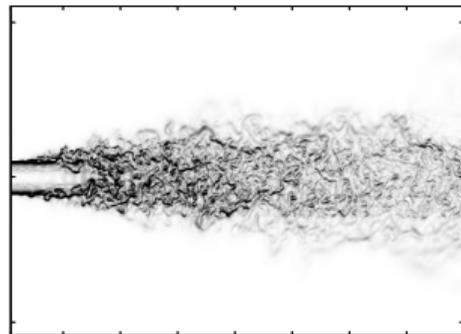
Bild: Harold Edgerton, "Milk Drop Coronet", 1957

Beispiele für numerische Strömungssimulation



Verdichterschaufel

Kraus, Schlottke et al., WACCPD '14 (2014)



Turbulenter Freistrah

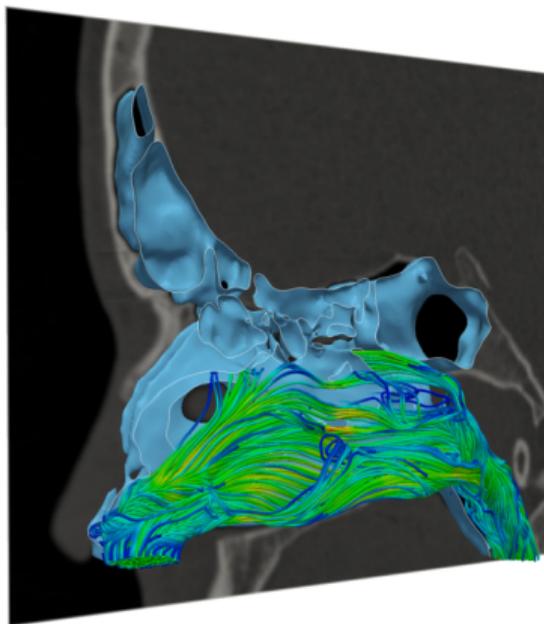
Kraus, Schlottke et al., WACCPD '14 (2014)



Akustisches Feld

Schlottke-Lakemper, Niemöller et al., Comput Methods Appl Mech Eng (2019)

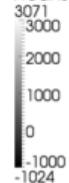
Beispiele für numerische Strömungssimulation



Velocity magnitude

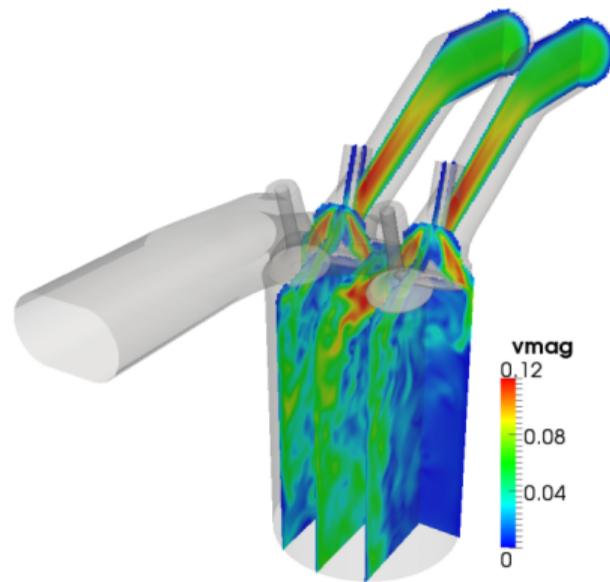


Hounsfield

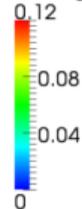


Nasenhöhle

Lintermann, Meinke et al., Comput Biol Med (2013)



vmag



Verbrennungsmotor

Meinke, Schneiders et al., Comput Fluids (2013)

Ziele des Seminars

Einführung in die Strömungsmechanik

- ▶ Grundgleichungen
- ▶ Strömungsphänomene

Verständnis der wichtigsten Diskretisierungsverfahren

- ▶ Konstruktion und Algorithmen
- ▶ Eigenschaften und Einsatzbereiche

Praxisorientierte Kenntnisse

- ▶ Fehlende Bausteine zur vollständigen Simulation
- ▶ Fragen der technischen Umsetzung

Themengebiete

Grundlagen

- ▶ Grundgleichungen der Strömungsmechanik
- ▶ Entropie und Stabilität

Diskretisierungsverfahren

- ▶ Finite-Differenzen-Methoden
- ▶ Finite-Volumen-Methoden
- ▶ Discontinuous-Galerkin-Methoden

Aspekte in der Praxis

- ▶ Gitter und Adaption
- ▶ Zeitintegration
- ▶ Turbulenz
- ▶ Parallelisierung und Effizienz

Grundgleichungen der Strömungsmechanik

- ▶ Herleitung der mathematischen Modelle
- ▶ Kompressibel/inkompressibel, Euler/Navier-Stokes
- ▶ Mathematischer Typ

Entropie und Stabilität

- ▶ Erster und zweiter Satz der Thermodynamik
- ▶ Skalare hyperbolische PDEs, Systeme
- ▶ Nichtlineare Stabilität

Diskretisierungsverfahren

Finite-Differenzen-Methoden

- ▶ Herleitung/Prinzip, explizite vs. kompakte Formulierung
- ▶ Dispersions-/Dissipationseigenschaften

Finite-Volumen-Methoden

- ▶ Riemann-Problem, Riemann-Löser
- ▶ Hohe-Ordnung-Rekonstruktion, Limiter/TVD, ENO/WENO-Verfahren

Discontinuous-Galerkin-Methoden

- ▶ DGSEM für skalare Erhaltungsgleichungen und Systeme
- ▶ Koordinatentransformation, h -/ p -Verfeinerung

Aspekte in der Praxis 1/2

Gitter und Adaption

- ▶ strukturiert/unstrukturiert, konform/nicht konform
- ▶ körperangepasst/kartesisch
- ▶ Dynamische Anpassung an Lösung

Zeitintegration

- ▶ explizit/implizit
- ▶ Zeitschrittweite
- ▶ stationär/instationär

Aspekte in der Praxis 2/2

Turbulenz

- ▶ Mathematische Eigenschaften
- ▶ Problem der Skalen
- ▶ Modellierung: DNS vs. LES vs. RANS

Parallelisierung und Effizienz

- ▶ Verteilte Systeme vs. “shared memory”
- ▶ Strategien zur gleichmäßigen Lastverteilung
- ▶ Multiple program vs. multiple data

Zielgruppe und Voraussetzungen

Zielgruppe sind Studierende...

- ▶ im Masterstudium.
- ▶ ohne spezifische Vorkenntnisse im Bereich Strömungssimulation.
- ▶ mit Interesse an anwendungsbezogenen Themen und Teamarbeit.

Voraussetzungen

- ▶ Grundkenntnisse Numerik für PDEs hilfreich
- ▶ Englischkenntnisse für das Verständnis wissenschaftlicher Texte
- ▶ Kenntnisse in LaTeX/Beamer zum Erstellen von Präsentationen

Studierende im Bachelorstudium

- ▶ Teilnahme prinzipiell möglich (u.a. abhängig von Anmeldezahlen)
- ▶ Entsprechende Vorkenntnisse werden vorausgesetzt (z.B. Numerik 2)

Vortragsform

- ▶ Präsentation mit **LaTeX/Beamer** (maximal 20% der Zeit an der Tafel)
- ▶ Dauer: **50 min** (+ 10 min Diskussion)
- ▶ Diskussion wird vom Vortragenden geleitet
- ▶ Interaktion mit Publikum erwünscht

Teamarbeit

- ▶ Vorträge bei den meisten Themen in 2er-Teams möglich und **erwünscht**
- ▶ Selbstständige und gleichmäßige Arbeitsteilung
- ▶ Dauer Teamvortrag: **80 min** (+ 10 min Diskussion)
- ▶ Gemeinsame Präsentation (jeweils ca. 50%)

Seminarorganisation

Themenvergabe

- ▶ Bekanntgabe der Teams, Vortragsthemen, Termine: bis Mitte Februar
- ▶ Zu jedem Thema: individuelle Literaturempfehlung

Seminar

- ▶ Zeitraum: **dienstags, 14 Uhr – 15:30 Uhr** (erster Termin: **Mitte April/tbd.**)
- ▶ Ort: **Seminarraum 1** (Raum 005), Abteilung Mathematik

Anforderungen und Bewertung

Anforderungen

- ▶ Präsentation des Vortragsthemas mit LaTeX/Beamer
- ▶ Digitale Abgabe
 - ▶ 1 Woche vorher: fertige Präsentation, Rückmeldung von Dozenten
 - ▶ 24 Stunden vorher: finale Präsentation, Bereitstellung für alle Teilnehmer
- ▶ Anwesenheitspflicht

Bewertung

- ▶ Individuelles Feedback nach Vortrag
- ▶ Notenvergabe zum Semesterende
- ▶ Teambewertung: Gesamtnote aus Teamnote (50%) und Einzelnote (50%)

Anmeldung zum Seminar

Anmeldeverfahren

- ▶ Anmeldezeitraum: 24.01.20 (heute) – 29.01.20 (Mittwoch)
- ▶ Verbindliche Anmeldung per Email an aggassner@math.uni-koeln.de
- ▶ Rückmeldung zur Platzvergabe per Email bis Montag, 03.02.20

Anmeldung zum Seminar

Email zur Anmeldung (Betreff: “Anmeldung Seminar Numerik/Strömung”)

Name: Emmy Noether

Matrikelnummer: 00000007

Studienabschnitt: Master

Vorkenntnisse Numerik: Numerik 1 + 2

Teamvortrag: Marie Curie *oder* ja/nein

Themengebiet 1: Turbulenz (*optional*)

Themengebiet 2: Gitter und Adaption (*optional*)

Webseite (mit diesem Vortrag als PDF)

www.mi.uni-koeln.de/NumSim/teaching → “Seminar Numerik/Strömung”

Quellen

- ▶ **[Kraus, Schlottke et al., WACCPD '14 (2014)]**
Jiri Kraus, Michael Schlottke, Andrew Adinetz, and Dirk Pleiter. 2014. Accelerating a C++ CFD code with OpenACC. In Proceedings of the First Workshop on Accelerator Programming using Directives (WACCPD '14). IEEE Press, 47–54.
- ▶ **[Schlottke-Lakemper, Niemöller et al., Comput Methods Appl Mech Eng (2019)]**
Michael Schlottke-Lakemper, Ansgar Niemöller, Matthias Meinke, Wolfgang Schröder, Efficient parallelization for volume-coupled multiphysics simulations on hierarchical Cartesian grids, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Volume 352, 2019.
- ▶ **[Lintermann, Meinke et al., Comput Biol Med (2013)]**
Andreas Lintermann, Matthias Meinke, and Wolfgang Schröder. 2013. Fluid mechanics based classification of the respiratory efficiency of several nasal cavities. Comput. Biol. Med. 43, 11 (2013), 1833–1852.
- ▶ **[Meinke, Schneiders et al., Comput Fluids (2013)]**
Matthias Meinke, Lennart Schneiders, Claudia Günther, Wolfgang Schröder, A cut-cell method for sharp moving boundaries in Cartesian grids, Computers & Fluids, Volume 85, 2013.