

Programm der Vorlesung 'HYDRODYNAMIK'

Universität Freiburg
Sommersemester 2023

Fakultät für Mathematik und Physik
Dozent: Prof. Dr. Antonio Ferriz Mas

Teil I. Grundkonzepte und Grundgleichungen der Hydrodynamik

1. Kinematik des Kontinuums. Euler'sche und Lagrange'sche Darstellungen.
 - 1.1. Euler'sche (räumliche) und Lagrange'sche (materielle) Betrachtungsweisen der Bewegung. Substantielle Ableitung. Geschwindigkeit und Beschleunigung. Trajektorien und Stromlinien.
 - 1.2. Deformations- und Vortizitäts-Tensorfelder. Physikalische Deutung.
 - 1.3. Transportsatz von Reynolds.
2. Kräfte in der Kontinuumsmechanik.
 - 2.1. Volumenkräfte und Oberflächenkräfte.
 - 2.2. Spannungstensor in einer Kontinuumsverteilung von Materie.
3. Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik.
 - 3.1. Massenerhaltung: Kontinuitätsgleichung.
 - 3.2. Impulsbilanz: Bewegungsgleichung. Energiesatz für die mechanische Energie.
 - 3.3. Drehimpulsbilanz: Symmetrie des Spannungstensors.
 - 3.4. Energieerhaltung und erster Grundsatz der Thermodynamik.
 - 3.5. Konstitutive Beziehungen.
4. Newton'sche Flüssigkeiten.
 - 4.1. Hydrostatik. Einige astrophysikalische Anwendungen.
 - 4.2. Viskoser Spannungstensor. Allgemeine Definition von Druck.
 - 4.3. Bewegungsgleichung für eine Newton'sche Flüssigkeit: Navier-Stokes-Gleichung. Randbedingungen.
5. Energiegleichung für eine Newton'sche Flüssigkeit.
 - 5.1. Energiegleichung. Viskose Dissipationsfunktion.
 - 5.2. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik für eine linear viskose Flüssigkeit.
 - 5.3. Energiegleichung in der Entropiedarstellung. Konzepte adiabatischer, isentropischer und homoentropischer Bewegungen.
 - 5.4. Wärmeleitung. Entropiequellen.

6. Zirkulation und Vortizität.

- 6.1. Zirkulation und Vortizität. Wirbelröhren. Einige kinematische Ergebnisse.
- 6.2. Die Bewegungsgleichung in Bezug auf die Vortizität.
- 6.3. Sätze von Kelvin und Helmholtz für ideale Flüssigkeiten.
- 6.4. Crocco-Gleichung und verschiedene Bernoulli-Theoreme für ideale Flüssigkeiten.
- 6.5. Enstrophie.

7. Inkompressible viskose Strömungen.

- 7.1. Grundlegende Gleichungen. Randbedingungen.
- 7.2. Skalenanalyse der Navier-Stokes-Gleichung. Dimensionslose Zahlen.
- 7.3. Einige elementare viskose Strömungen mit einer analytischen Lösung: Couette- und Poiseuille-Strömungen. Rayleighs impulsiver Fluss; Diffusion der Vortizität.
- 7.4. Navier-Stokes-Gleichung für inkompressible Strömungen in Bezug auf die Vortizität. 2D-Ergebnisse.

8. Die hydrodynamischen Gleichungen in Erhaltungsform.

- 8.1. Impulsgleichung in Erhaltungsform. Der Impulsflusstensor.
- 8.2. Energiegleichung in Erhaltungsform. Der Energieflussvektor.
- 8.3. Herleitung der Sprungbeziehungen über eine Unstetigkeit. Tangentiale Diskontinuitäten und Stoßfronten. Rankine-Hugoniot-Beziehungen.

Teil II. Sonderthemen (Wahlthemen)

9. Schallwellen in einem homogenen Medium.

- 9.1. Linearisierung. Wellengleichung. Charakteristische Geschwindigkeit.
- 9.2. Ebene und sphärische Wellen. Allgemeine Lösung. Randbedingungen und Lösungstechniken. Stehende Wellen.
- 9.3. Energie und Impuls von Schallwellen.

10. Rotierende Flüssigkeiten.

- 10.1. Bewegungsgleichung in einem rotierenden Bezugssystem. Die Zentrifugalbeschleunigung und das Geopotential. Die Coriolis-Beschleunigung.
- 10.2. Skalenanalyse der Bewegungsgleichung; die Rossby-Zahl und andere dimensionslose Zahlen. Die geostrophische Näherung. Das Taylor-Proudman-Theorem.
- 10.3. Der geostrophische Wind und der thermische Wind. Strahlströme.

11. Der Virialsatz und astrophysikalische Anwendungen.

- 11.1. Herleitung des (skalaren) Virialsatzes in der Hydrodynamik. Interpretation der verschiedenen Terme.
- 11.2. Einige astrophysikalische Anwendungen des Virialsatzes: Sterne im hydrostatischen Gleichgewicht; Beschränkung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen. Quasistatische Kontraktion als mögliche Energiequelle. Zeitskala des freien Falls. Kelvin-Helmholtz-Zeitskala. Herleitung des Zusammenhangs zwischen Pulsationsperiode und mittlerer Sterndichte für pulsierende Sterne.

Haupt- und Sekundärliteratur zur Vorlesung ‘Hydrodynamik’

- **Elementary Fluid Dynamics.** D. J. [Acheson](#), Oxford University Press (1990).
ISBN-10: 0198596790
- **An introduction to fluid mechanics.** G. K. [Batchelor](#), Cambridge University Press (1970), [new edition 2000]. ISBN-10: 0521663962
- **The Physics of Fluids and Plasmas: An Introduction for Astrophysicists.** A. R. [Choudhuri](#), Cambridge University Press (1998, 2012). ISBN-10: 0762106913
- **Lehrbuch der theoretischen Physik (Band VI: Hydrodynamik).** J. M. [Lifschitz](#) & L. D. [Landau](#), Verlag Europa-Lehrmittel (5. Auflage, 1990). ISBN: 978-3-8085-5554-5
- **A First Course in Fluid Dynamics.** A. R. [Paterson](#), Cambridge University Press (1983).
ISBN: 9780521274241
- **The Navier-Stokes equations: A classification of flows and exact solutions.** Norman [Riley](#) & Philip Drazin, *London Mathematical Society Lecture Notes Series 334*, Cambridge University Press (2006, 2007). ISBN-13: 978-0-521-68162-9
- **Physical fluid dynamics.** D. J. [Tritton](#), Oxford Science Publications. [2^d edition 1988].
ISBN-10: 0198544936
- **Theoretical fluid dynamics.** Bhimsen K. [Shivamoggi](#), serie *Mechanics of fluids and transport processes*, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, [2^d edition 1998].
ISBN-10: 0471056596

Grundlagenliteratur zur geophysikalischen Strömungsmechanik

- **Introduction to Geophysical Fluid Dynamics.** Benoit [Cushman-Roisin](#), Prentice-Hall (1994). ISBN-10: 0133533018
- **Geophysical Fluid Dynamics.** Joseph [Pedlosky](#), Springer-Verlag, [2^d edition 1987, 1992].
ISBN-10: 0387963871

Grundlagenliteratur zur Geschichte der Strömungsmechanik

- **Essays in the History of Mechanics.** Clifford A. [Truesdell](#), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (1968). ISBN: 9783642866470.