

# Hydrodynamik

Georg Wolschin

Universität Heidelberg

Institut für Theoretische Physik

<http://wolschin.uni-hd.de>

# Topics I

## **1. Einführung**

## **2. Ideale Fluide**

## **3. Viskose Fluide**

- Navier-Stokes Gleichung
- Energiedissipation
- Hagen-Poiseuillesches Gesetz
- Reynoldssche Zahl, Turbulenzkriterium

## **4. Turbulenz**

- Stabilität stationärer Strömungen
- Beispiel: Turbulenz in astrophysikalischen Umgebungen
- Nichtstationäre Instabilitäten (Taylor-Couette, Rayleigh-Bénard,..)
- Entwickelte Turbulenz; Selbstähnlichkeit (Nichtlinearität, Skalenprinzip, Fraktale, Chaos)
- Anomaler Übergang zur Turbulenz ohne Instabilität
- Turbulenter Nachlauf

# Topics II

## **5. Grenzschichten**

- Laminare Grenzschicht
- Turbulente Grenzschicht

## **6. Wärmeleitung**

- Die Wärmetransportgleichung
- Wärmetransport in inkompressiblen Medien
- Wärmetransport in unbegrenzten Medien
- Konvektion

## **7. Diffusion**

- Diffusion in Flüssigkeits-Gemischen
- Brownsche Bewegung
- Diffusion in relativistischen Systemen: Schwerionenreaktionen

# Topics III

## **8. Relativistische Hydrodynamik**

## **9. Astrophysikalische Hydrodynamik**

## **10. Hydrodynamik der Superflüssigkeiten**

- Grundlagen
- Hydrodynamische Gleichungen für HeII
- Schallausbreitung in Superfluiden

### Literatur

**Vorlesung Montags 9.15 - 11.00 Philosophenweg 12 gHS ab 15.10.12**

**Schein mit 4 ECTS-Punkten nach Klausur am Ende der VL**

# Literatur

D.J.Tritton: Physical Fluid Dynamics, Oxford University Press(1977)

L.D.Landau, E.M.Lifschitz: TPVI- Hydrodynamik (1991)

D.J.Acheson: Elementary fluid dynamics, Clarendon (1990)

T.E.Faber: Fluid dynamics for physicists, CUP (1995)

G. Wolschin: Diffusion and local deconfinement in relativistic systems, Phys. Rev. C 69, 024906 (2004)

W.Greiner,H.Stock: TP2A-Hydrodynamik, H.Deutsch (1987)

C.Godreche (ed.): Hydrodynamics and nonlinear instabilities, CUP (1998)

A.Sommerfeld: TPII, Mechanik der deformierbaren Medien (1947)

A.R.Choudhuri: The Physics of Fluids and Plasmas (1998)

R.Lüst: Hydrodynamik (1978)

H.L.Swinney (ed): Hydrodynamic Instabilities and the Transition to turbulence

S.N.Shore: An introduction to astrophysical Hydrodynamics (1992)

D. Michalás: Stellar Atmospheres, Freeman

F.H.Shu: The physics of astrophysics, Vol.II, Univ. Science books

# Zur Geschichte der Hydrodynamik

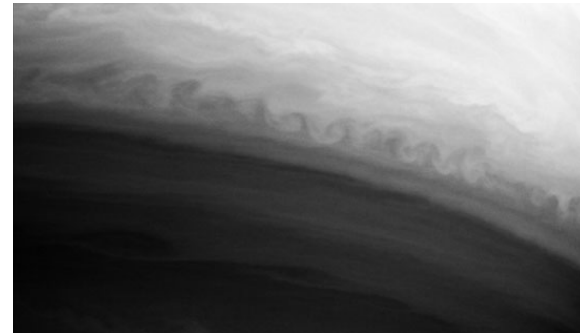
- ≈ 250 vChr     Archimedes: Hydrostatik, Auftrieb
17. Jhrhdt     Blaise Pascal: Grundgesetz der Hydrostatik
18.    ”     Leonhard Euler (1755 E.G.), Daniel Bernoulli (1738 B.G.)
19.    ”     C.L. Navier (1827), G.G. Stokes (1845), William Thomson(1869)
20.    ”     Ludwig Prandtl (1904), Geoffry Taylor, Lew Landau,  
S. Chandrasekhar, A. Einstein (Dissertation „Eine neue Bestimmung der  
Moleküldimensionen“, 1905)
21.    ”     Relativistische Hydrodynamik (Schwerionenreaktionen),  
astrophysikalische Hydrodynamik, Superfluide,....

# Zur Geschichte der Hydrodynamik

19. Jhrhdt Lord Kelvin (William Thomson), Hermann v. Helmholtz:  
„Kelvin-Helmholtz Instabilitäten“



Kelvin-Helmholtz-Instabilitätswolken  
bei San Francisco (oben) und in  
Australien (unten)



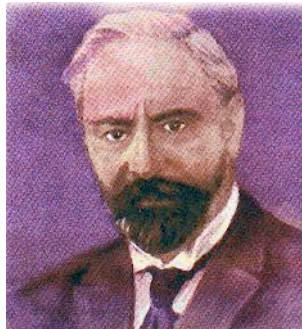
K-H Instabilität auf dem Saturn (Wechselwirkung  
zweier Bänder in der Planetenatmosphäre)



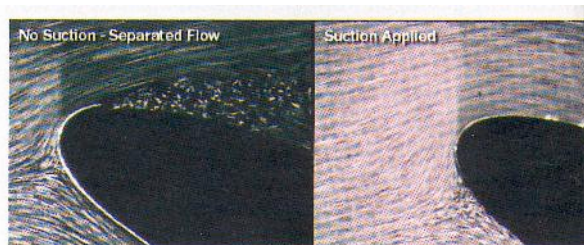
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:KHI.gif>

# Zur Geschichte der Hydrodynamik

2004 Hundert Jahre Grenzschichtphysik:  
Ludwig Prandtl, „Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung“. Verhandlungen des internationalen Mathematiker-Kongresses Heidelberg, 1904  
Prandtl'sche Grenzschichtgleichungen



Courtesy V. M. Ghatage  
(Doktorand bei Prandtl)



**Abb. 5:**  
Ablösung und Grenzschichtbeeinflussung an einem schräg gestellten Körper. Klar erkennbar ist links die laminare Strömung vor dem Körper, die Ablösung der Grenzschicht und die turbulente Strömung hinter der Ablöselinie. Auf der Unterseite bleibt die Strömung weitgehend laminar. Saugt man Fluid im Ablösebereich durch den Rand ab (rechts), lässt sich der Druckanstieg und damit die Ablösung der Grenzschicht verhindern. Das verringert den Strömungswiderstand. (aus [4])

(G.M. Homsy et al., Fluid Mechanics CD, Cambridge 2000)



# Zur Geschichte der Hydrodynamik

## Visualisierung von Turbulenz 1920 L. Prandtl

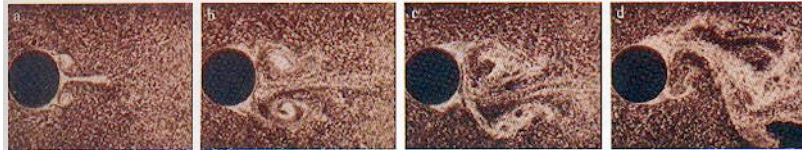


Abb. 2:  
Visualisierung der Strömung um einen Zylinder mit Hilfe von Eisenglimmerplättchen. Diese Bilder entstammen einem Film, den Prandtl in den zwanziger Jahren aufgenommen hat. Beim Anfahren löst sich die Grenzschicht von der Zylinderoberfläche,

es bilden sich hinter dem Zylinder Wirbel (a), die dann von der Strömung weggetragen werden (b). Dahinter bilden sich dann erneut Wirbel (c, d). Der Film ist unter <http://multimedia.physik-journal.de> zu finden. (aus [4])



Abb. 3:

Bei großer Reynolds-Zahl geht die geordnete (Theodor) von Kármánsche Wirbelstraße in einen ungeordnet verwirbelten Nachlauf über. Er wird hier am Beispiel einer schnell in Wasser spiralförmig aufsteigenden leichten Kugel mit Hilfe der Schlierentechnik sichtbar gemacht. Die Schlierentechnik nutzt die Abhängigkeit des Brechungsindex der Flüssigkeit von der Temperatur. Die sich mit der Geschwindigkeit  $U=390$  mm/s bewegende Kugel hat einen Durchmesser von  $L=9,5$  mm, so dass sich mit der kinematischen Viskosität des Wassers von  $\nu=0,8$  mm<sup>2</sup>/s bei einer Temperatur von 30 °C für die Reynolds-Zahl ein Wert  $Re=4600$  ergibt. Die relative Dichte der Kugel zum Wasser ist 1/2, der Temperaturgradient beträgt 1 K/cm. (Foto: Christian Veldhuis, Twente).

Bilder aus S. Großmann et al., Physik Journal 10/2004

Hydrodynamik 2012/13