



# Strömungsmechanik

Eine kompakte Einführung  
für Physiker und Ingenieure

2., aktualisierte Auflage

Hendrik Kuhlmann



## Strömungsmechanik

# Strömungsmechanik

## Inhaltsverzeichnis

Strömungsmechanik

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Motivation

1.2 Grundlegende Charakteristika von Fluiden

1.2.1 Das Kontinuum und seine Grenze

1.2.2 Viskosität

1.2.3 Kompressibilität

1.2.4 Grenzflächenspannung

1.2.5 Nichtlineare Dynamik

Zusammenfassung

Kapitel 2 Hydrostatik

2.1 Gleichgewichtsbedingung

2.2 Konstante Dichte

2.2.1 Kommunizierende Gefäße

2.2.2 Hydrostatische Druckkräfte

2.3 Variable Dichte

2.3.1 Ideales Gas

2.3.2 Ruhende Atmosphäre

2.4 Kapillarität

2.4.1 Laplace-Druck

2.4.2 Kontaktwinkel

2.4.3 Steighöhe in Kapillaren

2.4.4 Ausblick auf die kapillare Dynamik

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Aufgaben

## Kapitel 3 Hydrodynamische Grundlagen

### 3.1 Kinematik

3.1.1 Substantielle Ableitung

3.1.2 Linien in einem strömenden Fluid

3.1.3 Visualisierung und Messung der Bewegung eines Fluids

3.1.4 Lokale Deformation eines Fluids

### 3.2 Reynolds' Transport-Theorem

### 3.3 Erhaltungsgleichungen für reibungsfreie Fluide

3.3.1 Massenerhaltung

3.3.2 Impulserhaltung

3.3.3 Drallerhaltung

3.3.4 Erhaltung der Gesamtenergie

3.3.5 Thermodynamische Energie

### 3.4 Bemerkungen zur Euler-Gleichung

Zusammenfassung

Aufgaben

## Kapitel 4 Bewegung entlang von Stromfäden und Stromlinien

### 4.1 Stromfadentheorie

4.1.1 Massenerhaltung für einen stationären Stromfaden

4.1.2 Impulserhaltung bei der Rohrströmung

4.1.3 Energieerhaltung entlang eines Stromfadens

### 4.2 Integration längs und senkrecht zu Stromlinien

4.2.1 Bernoulli-Gleichung

4.2.2 Bemerkungen zur Bernoulli-Gleichung

4.2.3 Impulsbilanz senkrecht zur Stromlinie

### 4.3 Anwendungen der Bernoulli-Gleichung

# Inhaltsverzeichnis

4.3.1 Bernoulli-Konstante für eine homogene Anströmung

4.3.2 Strömung längs einer festen Wand

4.3.3 Venturi-Rohr

4.3.4 Prandtl'sches Staurohr

4.3.5 Verlustloses Ausströmen aus einem Behälter

## 4.4 Energiesatz für kompressible Strömungen

4.4.1 Thermodynamische Größen im Staupunkt

4.4.2 Wärmezufuhr bei konstantem Druck

## 4.5 Anwendung des Impulssatzes

4.5.1 Strahlimpuls

4.5.2 Strahlablenkung an einer Schneide

4.5.3 Pelton-Schaufelrad

4.5.4 Schub und Leistung eines Strahls

4.5.5 Propeller und Windturbine

4.5.6 Turbinen und Pumpen

Zusammenfassung

Aufgaben

## Kapitel 5 Strömungen mit und ohne Vortizität

### 5.1 Die Stromfunktion

### 5.2 Wirbeldynamische Grundlagen

5.2.1 Vortizität

5.2.2 Helmholtz-Gleichung

5.2.3 Helmholtz'sche Wirbelsätze

5.2.4 Zirkulationstheorem von Kelvin

### 5.3 Potentialströmungen

5.3.1 Cauchy-Riemannsche Differentialgleichungen

5.3.2 Komplexe Darstellung von Potentialströmungen

### 5.4 Ebene Wirbelströmungen

5.4.1 Festkörperrotation

5.4.2 Potentialwirbel

# Inhaltsverzeichnis

5.4.3 Rankine-Wirbel

5.4.4 Ebene Senkenströmung

5.4.5 Wirbelsenkenströmung

5.4.6 Abflußwirbel

## 5.5 Oberflächenwellen

5.5.1 Schwerewellen

5.5.2 Einfluß von Oberflächenspannung und Tiefe

5.5.3 Flachwasserwellen

Zusammenfassung

Aufgaben

## Kapitel 6 Kompressible, reibungsfreie Strömungen

### 6.1 Schallausbreitung

6.1.1 Wellengleichung und Schallgeschwindigkeit

6.1.2 Machscher Kegel

### 6.2 Verdichtungsstoß

6.2.1 Verdichtungsstelle

6.2.2 Stationärer, senkrechter Verdichtungsstoß

6.2.3 Thermodynamisches Argument gegen einen Verdünnungsstoß

6.2.4 Instationärer Stoß

6.2.5 Schwacher Stoß

6.2.6 Schräger Verdichtungsstoß

### 6.3 Stationärer, kompressibler Stromfaden

6.3.1 Infinitesimale Variationen

6.3.2 Geschwindigkeit entlang eines kompressiblen Stromfadens

6.3.3 Zustandsgrößen und kritische Werte

6.3.4 Kompressible Strömung durch Düsen

Zusammenfassung

Aufgaben

## Kapitel 7 Viskose Strömungen

# Inhaltsverzeichnis

## 7.1 Grundgleichungen

- 7.1.1 Spannungstensor
- 7.1.2 Navier-Stokes-Gleichung
- 7.1.3 Wärmetransportgleichung
- 7.1.4 Mechanische Ähnlichkeit
- 7.1.5 Dimensionsanalyse

## 7.2 Schleichende Strömungen

- 7.2.1 Eckenströmungen
- 7.2.2 Dünne Filme

## 7.3 Rohrströmung

- 7.3.1 Laminare, inkompressible Rohrströmung
- 7.3.2 Rohrhydraulik

## 7.4 Laminare Grenzschicht

- 7.4.1 Grenzschichtgleichungen
- 7.4.2 Blasius-Profil
- 7.4.3 Ablösung der Grenzschicht

## 7.5 Turbulente Strömungen

- 7.5.1 Übergang zur Turbulenz
- 7.5.2 Gleichungen für turbulente Strömungen
- 7.5.3 Wirbelviskosität
- 7.5.4 Prandtlscher Mischungsweg
- 7.5.5 Mittlere Geschwindigkeit in Wandnähe
- 7.5.6 Turbulente Grenzschicht einer ebenen Platte
- 7.5.7 Wandrauhigkeit
- 7.5.8 Turbulente inkompressible Rohrströmung

## 7.6 Kraftwirkung auf Körper

- 7.6.1 Durchströmung von Rohrleitungen
- 7.6.2 Umströmung von Körpern
- 7.6.3 Kutta-Joukowski-Formel

## Zusammenfassung

# Inhaltsverzeichnis

Aufgaben

## Anhang

Anhang A Kleines mathematisches Repetitorium

A.1 Produkte mit Vektoren

A.2 Vektorielle Ableitungen

A.3 Fundamentalsatz der Vektoranalysis

A.4 Formeln für Volumen- und Flächenintegrale

A.5 Taylor-Entwicklung

Anhang B Operatoren und Navier-Stokes-Gleichung in  
Zylinderkoordinaten

Anhang C Ausbreitung eines senkrechten Verdichtungsstoßes

Anhang D Druckverteilung in einer Laval-Düse

Literaturverzeichnis

Sachregister

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Copyright



# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<http://ebooks.pearson.de>**