



**ing**  
maschinenbau

Hendrik Kuhlmann

# Strömungsmechanik

Hendrik C. Kuhlmann

# Strömungsmechanik

PEARSON  
Studium

---

ein Imprint von Pearson Education  
München • Boston • San Francisco • Harlow, England  
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City  
Madrid • Amsterdam

# Strömungsmechanik

## Inhaltsverzeichnis

### Strömungsmechanik

#### Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Kapitel 1 Einleitung

Kapitel 2 Hydrostatik

Kapitel 3 Hydrodynamische Grundlagen

Kapitel 4 Bewegung entlang von Stromfäden und Stromlinien

Kapitel 5 Strömungen mit und ohne Vortizität

Kapitel 6 Kompressible, reibungsfreie Strömungen

Kapitel 7 Viskose Strömungen

Anhang A Kleines mathematisches Repetitorium

Anhang B Operatoren und Navier-Stokes-Gleichung in Zylinderkoordinaten

Anhang C Ausbreitung eines senkrechten Verdichtungsstoßes

Anhang D Druckverteilung in einer Laval-Düse

Literaturverzeichnis

Sachregister

#### Vorwort

#### 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

#### 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

# Inhaltsverzeichnis

2.4.3 Steighöhe in Kapillaren

2.4.4 Ausblick auf die kapillare Dynamik

## Aufgaben

Aufgabe 2.1: Goethe-Barometer

Aufgabe 2.2: Kraft auf eine vertikale Trennwand

Aufgabe 2.3: Eingetauchte Kugel

Aufgabe 2.4: Kraft auf eine zylindrische Klappe

Aufgabe 2.5: Isotherme Kompression

Aufgabe 2.6: Druckkraft auf einen Behälter mit einer gekrümmten Wand

## 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

#### Aufgaben

Aufgabe 3.1: Inkompressible Quellenströmung

Aufgabe 3.2: Strömungsfelder

Aufgabe 3.3: Lineare Strömungen

Aufgabe 3.4: Galilei-Transformation

## 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

## Aufgaben

Aufgabe 4.1: Senkrechter Ausfluß aus einem Behälter

Aufgabe 4.2: Ausströmen mit Hebeleitung

Aufgabe 4.3: Wasserstrahlpumpe

Aufgabe 4.4: Instationäre Ausströmung

Aufgabe 4.5: Ebener Strahl

Aufgabe 4.6: Stromlinien sind nicht Trajektorien

Aufgabe 4.7: Änderung der Zustandsgrößen im Staupunkt

Aufgabe 4.8: Schiefer Stoss eines Strahls

## 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

5.4.3 Rankine-Wirbel

5.4.4 Ebene Senkenströmung

5.4.5 Wirbelsenkenströmung

5.4.6 Abflußwirbel

# Inhaltsverzeichnis

## 5.5 Oberflächenwellen

5.5.1 Schwerewellen

5.5.2 Einfluß von Oberflächenspannung und Tiefe

5.5.3 Flachwasserwellen

### Aufgaben

Aufgabe 5.1: Rotierendes Fluid mit freier Oberfläche

Aufgabe 5.2: Ad-hoc-Argument für einen Potentialwirbel

Aufgabe 5.3: Teilchenbahnen in einer Welle

Aufgabe 5.4: Potentialströmung um einen Zylinder

Aufgabe 5.5: Zwei Fadenwirbel

## 6 Kompressible, reibungsfreie Strömungen

### 6.1 Schallausbreitung

6.1.1 Wellengleichung und Schallgeschwindigkeit

6.1.2 Machscher Kegel

### 6.2 Verdichtungsstoß

6.2.1 Verdichtungswelle

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

### Aufgaben

Aufgabe 6.1: Verwendung der inkompressiblen Bernoulli-Gleichung für langsame kompressible Strömungen

Aufgabe 6.2: Ausströmen aus einem Behälter

Aufgabe 6.3: Wiedereintritt eines Raumtransporters

Aufgabe 6.4: Lokale Wärmezufuhr

## 7 Viskose Strömungen

### 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

# Inhaltsverzeichnis

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 Wandrauigkeit

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

## Aufgaben

Aufgabe 7.1: Reynolds-Zahl

Aufgabe 7.2: Dimensionsanalyse der Rohrströmung

Aufgabe 7.3: Strömung in einem dünnen Film

Aufgabe 7.4: Geschwindigkeitsfeld der zylindrischen Couette- Strömung

Aufgabe 7.5: Couette-Viskosimeter

Aufgabe 7.6: Ebene Poiseuille-Couette-Strömung

Aufgabe 7.7: Grenzschichten

Aufgabe 7.8: Prandtl-Batchelor-Theorem

## 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 in ein ruhendes Medium hinein

# Inhaltsverzeichnis

Anhang D Druckverteilung in einer Laval-Düse

Literaturverzeichnis

Sachregister

A

B

C

D

E

F

G

H

I

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

Y

Z

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>**