

Kontrollfragen

Hydrodynamik

Stephan Mertens

6. Juli 2013



1 Einführung und Motivation

1. Erläutern Sie die **Lagrange'sche und die Euler'sche Darstellung** der Kinematik von Fluiden.
2. Was sind **Stromlinien**? Was sind **Bahnlinien**? Wann sind beide gleich?
3. Was versteht man unter **Viskosität**?
4. Was ist ein **Newton'sches Fluid**?
5. Was ist der **Spannungstensor**?
6. Wieso muß der Spannungstensor symmetrisch sein?
7. Erläutern Sie, warum die Diagonalelemente des Spannungstensors identisch sind („Pascal's Theorem“).
8. Was versteht man unter der **Dimensionsanalyse**? Geben Sie ein Beispiel aus der Physik.
9. Wie ist die **Reynoldszahl** definiert? Was ist ihre Bedeutung?

2 Grundgleichungen der Hydrodynamik

1. Wie lautet die **Kontinuitätsgleichung**? Was besagt sie?
2. Wie lautet die Kontinuitätsgleichung für inkompressible Fluide?
3. Wie lautet die **Euler-Gleichung** für ideale Fluide? Erläutern Sie die einzelnen Terme!
4. Wie lautet die Grundgleichung der **Hydrostatik**?
5. Wie ist die **Wirbelstärke** (Vortizität) eines Strömungsfeldes definiert?
6. Wie ist die **Zirkulation** eines Strömungsfeldes definiert?
7. Was versteht man unter einer **stationären Strömung**?
8. Leiten Sie das **Bernoulli-Theorem** für eine Stromlinie her.
9. Unter welcher Bedingung gilt das Bernoulli-Theorem nicht nur für einzelne Stromlinien sondern für die gesamte Strömung?
10. Wie funktioniert ein **Venturi-Rohr**?
11. Was versteht man unter der **vena contracta**?
12. Was ist eine **Borda-Mündung** und was ist so besonderes daran?
13. Wie funktioniert ein **Prandtl'sches Staurohr**? Wozu wird es verwendet?

3 Thermodynamik

1. Warum benötigt man in der Hydrodynamik die **Zustandsgleichung** eines Fluids?
2. Wie lautet die Zustandsgleichung des **idealen Gases** ?
3. Wie ist der isobare **Ausdehnungskoeffizient** definiert?
4. Wie ist die isotherme **Kompressibilität** definiert?
5. Wie ist der **Druckkoeffizient** definiert?
6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Ausdehnungskoeffizient, Kompressibilität und Druckkoeffizient? Wenn ja, welchen?
7. Wie funktioniert der Versuch von **Gay-Lussac** und was lernen wir daraus?
8. Wie funktioniert der Versuch von **Joule-Thomson** und welches thermodynamische Potential bleibt hierbei konstant?
9. Wie ist die **spezifische Wärme** definiert?
10. Berechnen Sie $c_p - c_v$ für ein ideales Gas!
11. Was versteht man unter einer **adiabatischen** Zustandsänderung?
12. Wie hängen Druck und Dichte des idealen Gases bei adiabatischen Zustandsänderungen zusammen?
13. Wie lautet der **1. Hauptsatz** der Thermodynamik? Welche Gleichung gibt ihn wieder?
14. Wie lautet die thermodynamische Definition der **Entropie** ?
15. Was ist ein **thermodynamisches Potential** ? Was versteht man unter den natürlichen Variablen eines thermodynamischen Potentials?
16. Erläutern Sie das **„thermodynamische Quadrat.“**

4 Kompressible Fluide

1. Wie lautet die **Euler-Gleichung** für kompressible Fluide? Was ist anders als bei inkompressiblen Fluiden?
2. Wie berechnet man die **Schallgeschwindigkeit** in einem kompressiblen Fluid?
3. Wie ist die **Mach-Zahl** definiert?
4. Wie lautet die **Wellengleichung** für den druck in einem kompressiblen Fluid? Unter welchen Voraussetzungen kann sie hergeleitet werden?
5. Ist die **Schallausbreitung** eher adiabatisch oder eher isotherm? Begründen Sie ihre Antwort!
6. Wie lautet das **Bernoulli-Theorem** für adiabatische Strömungen?
7. Wozu verwendet man eine **Laval-Düse** und wie funktioniert sie?

5 Potentiale

1. Was ist eine **Rotationsströmung**?
2. Was ist eine **Potentialströmung**?
3. Wie lautet die Differentialgleichung für das Geschwindigkeitspotential einer Potentialströmung?
4. Welche **Randbedingungen** gibt man bei einer Potentialströmung vor, wenn das Strömungsgebiet einfach zusammenhängend ist?
5. Betrachten Sie ein Strömungsgebiet, welches **nicht einfach zusammenhängend** ist. Welche Randbedingungen muß man zusätzlich angeben, um die Potentialströmung eindeutig festzulegen?
6. Geben Sie ein Beispiel an für ein nicht einfach zusammenhängendes Strömungsgebiet.
7. Wie ist die **Stromfunktion** Ψ definiert für eine ebene Strömung?
8. Wie ist die Stromfunktion Ψ definiert für eine axialsymmetrische Strömung?
9. Was bedeuten die Linien (bzw. Flächen) $\Psi = \text{const.}$, wenn Ψ die Stromfunktion ist?

6 Potentialströmungen I

1. Wie lautet das Strömungsfeld einer **Quellen- bzw. Senkenströmung**?
2. Wie lautet das Strömungsfeld einer **ebenen Wirbelströmung**?
3. Was versteht man unter einer **Dipolströmung**?
4. Warum dürfen wir Potentialströmungen einfach aus den **elementaren Strömungsfeldern** zusammensetzen?
5. Skizzieren Sie das Stromlinienbild einer Potentialströmung, die einen **Kreiszyylinder** umströmt. Einmal ohne und einmal mit Zirkulation. Gibt es immer Staupunkte? Wenn ja, wo liegen diese?
6. Erläutern Sie den **Magnus-Effekt** am Beispiel der Potentialströmung, die einen kreisförmigen Zylinder umströmt.
7. Welchen **Strömungswiderstand** erfährt ein Körper, der von einer Potentialströmung umströmt wird? Begründen Sie ihre Antwort!

7 Potentialströmungen II: Kräfte

1. Aus der **Impuls-Bilanz** folgt eine Gleichung, die die Kraft einer Potentialströmung auf ein raumfestes Volumen V als Integral über die Oberfläche ∂V des Volumens ausdrückt. Wie lautet dieses Integral?
2. Erläutern Sie, wie man mit Hilfe der Impulsbilanz und der Multipolentwicklung die Kraft auf ein Hindernis in einer zweidimensionalen Potentialströmung berechnet.
3. Betrachten Sie eine zweidimensionale Potentialströmung um ein Hindernis. Wie groß ist die **Widerstandskraft** F_t ? Begründen Sie ihre Antwort!
4. Betrachten Sie eine zweidimensionale Potentialströmung um ein Hindernis. Wie groß ist die **Auftriebskraft** F_p ? Begründen Sie ihre Antwort!
5. Erläutern Sie die **Magnuskraft**.
6. Kann eine **dreidimensionale Potentialströmung** Kräfte auf ein ruhendes Hindernis ausüben? Begründen Sie ihre Antwort!
7. Ein Objekt wird durch eine dreidimensionale Potentialströmung bewegt. Kann die Strömung Kräfte auf dieses Objekt ausüben? Wenn nein, erklären Sie, warum nicht. Wenn ja, erläutern Sie die Ursache dieser Kräfte.
8. Erläutern Sie die Herleitung der Gleichung für den **Impulsübertrag** eines bewegten Objektes auf das umgebende ideale Fluid.
9. Wie lautet die Gleichung für den Impulsübertrag eines bewegten Objektes auf das umgebende ideale Fluid? Interpretieren Sie die einzelnen Beiträge!
10. Wie lautet die Kraft, die ein ideales Fluid auf eine **Kugel** ausübt, die sich durch das Fluid bewegt? Interpretieren Sie diese Kraft!

8 Das komplexe Geschwindigkeitspotential

1. Wie ist die **komplexe Potentialfunktion** definiert?
2. Wie lauten die Cauchy-Riemann'schen Differentialgleichungen für eine komplexe Funktion?
3. Wie ist die **komplexe Geschwindigkeit** definiert?
4. Wie ist die **komplexe Zirkulation** definiert?
5. Wie hängt die komplexe Zirkulation mit der üblichen Zirkulation und der Quellstärke zusammen?
6. Wie lautet das komplexe Potential einer **gleichförmig parallelen Strömung**?
7. Wie lautet das komplexe Potential eines **Wirbels**?
8. Wie lautet das komplexe Potential einer **Quelle**?
9. Wie lautet das komplexe Potential einer **Dipolströmung**?
10. Wie lautet das komplexe Potential einer **Keilströmung**? Was versteht man unter einer Keilströmung? Machen Sie eine Skizze!
11. Was versteht man unter einer **konformen Abbildung**?
12. Begründen Sie, warum konforme Abbildungen **winkeltreu** sind.
13. Erläutern Sie, warum konforme Abbildungen in der Strömungsmechanik so nützlich sind.
14. Wie ist die **Joukowski-Transformation** definiert? Was macht sie aus einem Kreis?
15. Erläutern Sie (qualitativ), wie man mit Hilfe der Joukowski-Transformation die Strömung um eine **schräg angeströmte Platte berechnet**!

9 Wogen und Wellen

1. Wie ist die **Oberflächenspannung** definiert?
2. Berechnen Sie den **Kapillardruck** eines kugelförmigen Tropfens!
3. Wie lautet das **Gesetz von Laplace**? Erläutern Sie die darin auftretenden Terme!
4. Wann sind **Kapillarkräfte** wichtiger als Volumenkräfte? Wann ist es umgekehrt?
5. Wie ist die **Bond-Zahl** definiert und welche Bedeutung hat sie?
6. Wie ist die **Kapillarlänge** definiert und welche Bedeutung hat sie?
7. Wie lautet die **Dispersionsrelation** von Oberflächenwellen?
8. Was sind **Kapillarwellen**?
9. Wie lautet die Dispersionsrelation für Kapillarwellen?
10. Was sind **Schwerewellen**?
11. Wie lautet die Dispersionsrelation für Schwerewellen?
12. Warum „stürzen“ Wellen am Strand?
13. Was unterscheidet **Flachwasserwellen** von **Tiefwasserwellen**?
14. Skizzieren Sie die **Phasengeschwindigkeit** einer Oberflächenwelle als Funktion der Wellenzahl k . Markieren Sie die Bereiche für flaches Wasser, tiefes Wasser, Kapillar- und Schwerewellen.
15. Skizzieren Sie die **Bahnkurven** von Flüssigkeitselementen bei Wellen in tiefem und im flachen Wasser.

10 Die Navier-Stokes-Gleichung

1. Welche physikalische Größe beschreibt das Element σ_{xy} des Spannungstensors?
2. Wie berechnen Sie die Oberflächenkraft df auf ein Flächenelement dS mit Normalenvektor \mathbf{n} mit Hilfe des Spannungstensors $\underline{\sigma}$?
3. Wie ist der Zähigkeitsspannungstensor definiert?
4. Wie ist der Geschwindigkeitstensor G_{ij} definiert?
5. Was beschreibt der symmetrische Anteil des Geschwindigkeitstensors?
6. Was beschreibt der anti-symmetrische Anteil des Geschwindigkeitstensors?
7. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Spannungstensor und dem Geschwindigkeitstensor bei Newton'schen Fluiden?
8. Wie hängt die Scherviskosität mit dem Zähigkeitsspannungstensor zusammen?
9. Wie hängt die Volumenviskosität mit dem Zähigkeitsspannungstensor zusammen?
10. Wie lautet die Navier-Stokes-Gleichung?
11. Wie ist die Reynolds-Zahl definiert?
12. Wie lautet die Navier-Stokes-Gleichung in dimensionslosen Koordinaten?

11 Strömung von nassem Wasser

1. Wie lautet der **1. Helmholtz'sche Wirbelsatz**? Beweisen Sie ihn.
2. Wie lautet der **2. Helmholtz'sche Wirbelsatz**? Beweisen Sie ihn.
3. Wie lautet der **3. Helmholtz'sche Wirbelsatz**?
4. Wie lautet die Formel für die **zeitliche Änderung der Zirkulation** in einem viskosen Fluid?
5. Begründen Sie, warum man die Viskosität im Prinzip nicht ignorieren kann und wieso es trotzdem sinnvoll ist, Potentialströmungen zu betrachten.
6. Warum ergibt sich im **Limes großer Reynoldszahlen** nicht die Potentialströmung?
7. Wie lautet die **Stokes'sche Gleichung**? Wann gilt sie?
8. Beschreiben Sie qualitativ die **Strömung um einen Kreiszyylinder** bei unterschiedlichen Reynoldszahlen.