

# 1 Überblick über verschiedene Strömungen und ihre physikalischen Merkmale

## 1.1 Vorüberlegungen

### 1.1.1 Gegenstand der Strömungsmechanik

Die Strömungsmechanik befaßt sich mit dem kinematischen und dynamischen Verhalten von *Fluiden*. Der Begriff Fluid umfaßt dabei Flüssigkeiten und Gase und hat sich als Oberbegriff auch deshalb eingebürgert, weil in bestimmten thermodynamischen Zustandsbereichen (in der Nähe des sog. kritischen Zustandes) keine klare Trennung zwischen einem flüssigen und einem gasförmigen Zustand möglich ist. In diesem Sinne wird im englischsprachigen Raum der Begriff *fluid mechanics* verwendet.

Der entscheidende Unterschied eines Fluides im Vergleich zu einem Festkörper besteht im sog. *Verformungsverhalten*. Während ein Festkörper unter einer aufgeprägten, zeitlich konstanten Scherkraft eine endliche Verformung zeigt, treten bei Fluiden ständig anwachsende, d.h. nicht-endliche Verformungen auf. Dies wird als *Strömen* bezeichnet. In vielen Fällen sind bei Festkörpern die Verformungen direkt proportional zu den aufgeprägten Kräften, bei Fluiden hingegen die *Geschwindigkeiten* der Verformung (also die zeitlichen Änderungen der Verformungen).

Damit wird sofort eine besondere Schwierigkeit bei der Beschreibung von Strömungen deutlich: Während ein Festkörper auch unter der Wirkung von Kräften in Raum und Zeit leicht und eindeutig zu identifizieren ist, wird ein Fluid „körper“ permanent deformiert und verliert seine ursprüngliche Identität. Wie später gezeigt wird, geht man deshalb bei Strömungen häufig von einer materiellen Beschreibung bzgl. des Verhaltens bestimmter Fluid-Partikel auf eine sog. ortsfeste Beschreibung über, die einzelne Strömungsgrößen an einem festen Ort in einem durchströmten Gebiet erfaßt.

### 1.1.2 Strömungsmechanik als Kontinuumstheorie

Abgesehen von wenigen extremen Ausnahmesituationen kann eine Strömung in sehr guter Näherung als ein Kontinuum behandelt werden. Damit wird unterstellt, daß alle beteiligten physikalischen Größen eine kontinuierliche Verteilung in Raum und Zeit aufweisen. Es können aber noch unterschiedliche Werte zu beiden Seiten von Phasengrenzen auftreten, wie z.B. bzgl. der Dichte an einer Gas/Flüssigkeits-Grenze.

Diese Kontinuums-Modellvorstellung führt zu brauchbaren Ergebnissen, solange typische Abmessungen und typische Zeiten in den Betrachtungen sehr

groß gegenüber den Abmessungen und Zeiten sind, die den molekularen Aufbau des Fluides bestimmen. Modellvorstellungen sind dabei nicht nach den Kriterien „richtig“ oder „falsch“ zu beurteilen, sondern nach „brauchbar“ oder „unbrauchbar“ zur Beschreibung von interessierenden Vorgängen. Eine Kontinuums-Modellvorstellung wäre in diesem Sinne völlig unbrauchbar, um die Wechselwirkung einzelner Moleküle zu beschreiben. Deren „aufsummierte“ Wirkung bestimmt aber das Verhalten einer Strömung, so daß diese dann wiederum sinnvoll mit einem Kontinuums-Modell beschrieben werden kann.

Bei der Verwendung einer Modellvorstellung müssen die Grenzen der Anwendbarkeit prinzipiell angegeben werden können. Im vorliegenden Fall ist dies die Frage nach den Abmessungen bzw. Zeiten, die als typische (charakteristische) Werte nicht unterschritten werden dürfen, um die Anwendung der Kontinuums-Modellvorstellung zu rechtfertigen. Dies soll im folgenden am Beispiel der Dichte  $\varrho^*$  eines Fluides diskutiert werden. Im Sinne der Kontinuums-theorie definiert man sie als

$$\varrho^* = \lim_{\Delta V^* \rightarrow 0} \frac{\Delta m^*}{\Delta V^*} \quad , \quad (1.1)$$

d.h. in einem „verschwindenden“ Volumen und damit als eine physikalische Größe an einem Punkt des Strömungsfeldes.

Wollte man den Grenzprozeß  $\lim_{\Delta V^* \rightarrow 0}$  nun in der Realität nachvollziehen, so müßten nacheinander immer kleinere Volumenelemente  $\Delta V^*$  aus dem Strömungsfeld isoliert und deren Masse  $\Delta m^*$  bestimmt werden. Dieses  $\Delta m^*$  ist dabei stets die aufsummierte Masse endlich vieler einzelner Moleküle. Solange deren Anzahl sehr groß ist, werden die Ergebnisse auch bei mehrmaliger Wiederholung „praktisch“ zum gleichen Ergebnis führen. Erst wenn die Anzahl von Molekülen im Volumen  $\Delta V^*$  klein wird, spielen statistische Schwankungen (d.h. Änderungen bei mehrmaliger Wiederholung) eine Rolle und markieren damit die Grenzen der Kontinuums-Modellvorstellung. Im nachfolgenden Beispiel 1.1 wird diese Überlegung für Luft unter Atmosphären-Bedingungen konkretisiert.

Bei Gasen sollten die charakteristischen Abmessungen eines Strömungsgebietes  $L_c^*$  deutlich größer als die sog. *mittlere freie Weglänge*  $\lambda^*$  der Moleküle sein. Diese Länge beschreibt den Weg, den ein Molekül im statistischen Mittel zurücklegt, bis es zu einer Wechselwirkung (meistens einem Stoß) mit einem anderen Molekül kommt. Sie entspricht unter Normbedingungen etwa dem 25fachen des mittleren Molekülabstandes. Der entsprechende Zahlenwert für  $\lambda^*$  von Luft ist  $\approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 0,05 \mu\text{m}$ . Setzt man beide Längen ins Verhältnis und bildet damit die sog. *Knudsen-Zahl*  $\text{Kn}$ , so gilt als Bedingung für die Anwendbarkeit der Kontinuums-Modellvorstellung bei Gasen

$$\text{Kn} = \frac{\lambda^*}{L_c^*} < c \quad \text{mit} \quad c \approx 0,01 \quad (1.2)$$

Mit  $\lambda^* \approx 0,05 \mu\text{m}$  gelangt man also bei Gasströmungen durch Mikrostrukturen im  $\mu\text{m}$ -Bereich ( $L_c^* \approx 5 \mu\text{m}$  gemäß (1.2)) bereits an die Grenzen der Kon-

tinuumstheorie. Für Flüssigkeiten und Festkörper ist das Konzept der freien Weglänge nicht sinnvoll. Da der mittlere Abstand der Moleküle bei Gasen (unter Normbedingungen) etwa *zehn* Durchmesser beträgt, bei Flüssigkeiten (und Festkörpern) aber nur etwa *einen* Durchmesser, kann die untere Grenze für die Anwendbarkeit der Kontinuums-Modellvorstellung bei Flüssigkeiten etwa zehnmal niedriger angesetzt werden als bei Gasen. Dies entspricht einer charakteristischen Länge  $L_c^*$  von etwa  $0,5 \mu\text{m}$ .

**Beispiel 1.1:** *Die Bestimmung der Dichte von Gasen unter Berücksichtigung der molekularen Struktur*

Luft im sog. Normzustand ( $p^* = 1,01325 \text{ bar}$ ,  $T^* = 0^\circ\text{C}$ ) enthält etwa  $3 \cdot 10^{19}$  Moleküle pro Kubikzentimeter. Der mittlere Abstand zwischen den einzelnen Molekülen von etwa  $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  entspricht dabei dem zehnfachen Moleküldurchmesser. Wenn, wie zuvor ausgeführt, die mittlere freie Weglänge  $\lambda^*$  etwa 25 Molekülabständen entspricht, werden also Wege von etwa 250 Moleküldurchmessern zurückgelegt, bis das nächste Stoßereignis eintritt.

Nimmt man nun ein würfelförmiges Volumen mit der Kantenlänge  $\lambda^*$  an, so sind darin im Mittel  $25^3 \approx 16000$  Moleküle enthalten. Mit Hilfe der sog. kinetischen Gastheorie kann man für dieses Volumen ermitteln, daß die Dichte als  $\varrho_\Delta^* = \Delta m^* / \Delta V^* = \Delta m^* / \lambda^{*3}$  im zeitlichen Mittel (also bei ständiger Wiederholung der Auswertung von  $\Delta m^* / \lambda^{*3}$ ) um ca. 0,8 % schwankt. Diese Prozentangabe entspricht der statistischen Standardabweichung. Reduziert man die Kantenlänge des betrachteten Würfels auf  $0,1 \cdot \lambda^*$ , so enthält dieser im Mittel noch 16 Moleküle. Trotzdem schwankt  $\varrho_\Delta^* = \Delta m^* / (0,1\lambda^*)^3$  um „nur“ etwa 25 %. Diese Überlegungen bestätigen  $\lambda^*$  als sinnvolles Maß zur Abgrenzung des Brauchbarkeitsbereiches der Kontinuums-Modellvorstellung.

Übrigens: Wollte man die Moleküle in einem Kubikzentimeter zählen und hätte dafür ein Gerät zur Verfügung, das eine Milliarde Moleküle pro Sekunde zählen könnte, brauchte man immerhin noch ca. 1000 Jahre!

## 1.2 Verschiedene Aspekte zur Charakterisierung von Strömungen

In Natur und Technik vorkommende Strömungen können sehr verschieden sein, d.h., sehr unterschiedliche Aspekte können von bestimmendem und deshalb in der Beschreibung nicht zu vernachlässigendem Einfluß sein. Häufig wird man mehrere solcher Teilaspekte benennen müssen, um eine bestimmte Strömung zu charakterisieren.

Im Sinne einer systematischen Vorgehensweise ist es wichtig, von vornherein das *Strömungsverhalten* vom *Materialverhalten* des Fluides (auch: Fluidverhalten) klar zu trennen.

### 1.2.1 Aspekte des Strömungsverhaltens

Zunächst (weitgehend) unabhängig von der Frage um welches Fluid es sich handelt, kann eine Strömung bezüglich folgender Aspekte charakterisiert werden:

### ❑ UMSTRÖMUNGEN/DURCHSTRÖMUNGEN

Dies charakterisiert ein Strömungsfeld in bezug auf begrenzende Wände. *Durchströmungen* sind dabei bis auf Ein- und Auslässe vollständig durch Wände begrenzt; ein typisches Beispiel ist die Durchströmung eines Rohres. *Umströmungen* von Körpern sind nach außen hin prinzipiell unbegrenzt; ein typisches Beispiel ist die Umströmung eines Flugzeugtragflügels zur aerodynamischen Auftriebserzeugung.

Diese Unterscheidung nach Durch- und Umströmungen ist sinnvoll, weil man beide Strömungen häufig sehr unterschiedlich behandeln kann bzw. muß. Andererseits ist die Entscheidung, welche Form vorliegt, keineswegs immer trivial. So kann z.B. die Strömung in einem Gitterverband einer Turbine als Umströmung der einzelnen (benachbarten) Schaufeln interpretiert werden, aber auch als Durchströmung der von den Schaufeln gebildeten Kanäle.

### ❑ ERZWUNGENE/NATÜRLICHE/GEMISCHTE KONVEKTION

Diese Unterscheidung hebt auf die Ursachen für das Zustandekommen einer Strömung ab.

Eine *erzwungene Konvektion* (Strömung) entsteht als Folge eines externen, in der Regel mechanischen, Antriebes z.B. in Form einer Pumpe (Förderung von Flüssigkeiten), eines Gebläses (Förderung von Gasen) oder auch durch eine bewegte Wand, die angrenzende Fluidbereiche „mitreißt“.

Eine *natürliche Konvektion* (bisweilen auch als *freie Konvektion* bezeichnet) entsteht als Folge eines internen Antriebes, mit dem die Strömung versucht, einen neuen „Gleichgewichtszustand“ zu erreichen. Häufig sind dies Auftriebsströmungen aufgrund von Dichteunterschieden im Fluid. Zu diesen Dichteunterschieden kommt es z.B. wenn Temperaturunterschiede auftreten und die Dichte  $\varrho^*$  eine Temperaturabhängigkeit  $\varrho^*(T^*)$  aufweist. Ein typisches Beispiel ist die thermische Auftriebsströmung an einem Heizkörper. Treten beide Strömungsursachen gemeinsam auf, so entsteht eine *gemischte Konvektion*.

### ❑ LAMINARE/TURBULENTE STRÖMUNGEN

Dies sind zwei Strömungsformen mit grundsätzlich verschiedenem Charakter. Während eine laminare Strömung eine räumlich und zeitlich wohlgeordnete *Schichtenströmung* darstellt (lamina lat. = Schicht), bei der die einzelnen Fluidpartikel wie in geordneten Bahnen (Schichten) nebeneinander herströmen, sind turbulente Strömungen durch eine überlagerte Schwankungsbewegung charakterisiert. Dies führt zu einem weitgehend ungeordneten Verhalten der Fluidpartikel, die man dann nicht mehr geordneten Bahnen zuordnen kann. Als wesentliche Folge dieser Schwankungsbewegung tritt ein erhöhter Impulsaustausch zwischen benachbarten Fluidbereichen auf, der insgesamt dazu führt, daß z.B. turbulent um-

strömte Körper einen höheren Reibungswiderstand aufweisen als bei laminarer Umströmung vorliegen würde.

Technisch relevante Strömungen sind fast ausnahmslos turbulent, so daß diesem Aspekt naturgemäß eine sehr große Bedeutung zukommt.

#### ❑ STATIONÄRE/INSTATIONÄRE STRÖMUNGEN

Betrachtet man eine Strömung als ortsfester Beobachter, der sich nicht mit der Strömung mitbewegt, so wird diese als *stationär* bezeichnet, wenn sich die beobachteten Strömungsgrößen mit der Zeit nicht verändern. Entsprechend werden zeitlich veränderliche Strömungen als *instationär* bezeichnet. Dabei können insbesondere *transiente Strömungen* auftreten, die in ihrer zeitlichen Entwicklung den Übergang in zeitunabhängige stationäre Strömungen darstellen, oder *periodische Strömungen*, die ein zeitabhängiges aber periodisch wiederkehrendes Verhalten zeigen.

Bei turbulenten Strömungen, die aufgrund der überlagerten Schwingungsbewegung zunächst von Natur aus stets instationär sind, bezieht sich die Unterscheidung nach stationär/instationär auf eine (über jeweils kurze Zeiträume) gemittelte Strömung. Turbulenz und eine mögliche Instationarität der zeitgemittelten Strömung spielen sich daher auf unterschiedlichen Zeitskalen ab.

#### ❑ KOMPRESSIBLE/INKOMPRESSIBLE STRÖMUNGEN

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist durch das Verhalten der Fluid-Dichte  $\varrho^*$  im betrachteten Strömungsfeld gegeben. Treten im Feld keine nennenswerten Dichteänderungen auf, spricht man von einer in erster Näherung *inkompressiblen Strömung*. Dies ist wohlgemerkt zunächst eine Eigenschaft des Strömungsfeldes und nicht des Fluides. Die thermodynamische Fluideigenschaft, daß sich die Dichte z.B. in Folge von Druck- oder Temperaturänderungen verändern kann, ist nur eine notwendige Bedingung dafür, daß eine Strömung *kompRESSibel* ist. Erst wenn in dem Strömungsfeld dann auch tatsächlich erhebliche Dichteänderungen auftreten, liegt eine kompressible Strömung vor.

Bezieht man die Kategorie kompressibel/inkompressibel, also sowohl auf das Strömungsfeld als in einer zweiten Bedeutung auch auf das Fluidverhalten, so kann es z.B. eine inkompressible Strömung eines kompressiblen Fluides geben.

#### ❑ REIBUNGSBEHAFTETE/REIBUNGSFREIE STRÖMUNGEN

Wesentliche Mechanismen für die Ausbildung von Strömungen sind Reibungs-, Druck- und Volumenkräfte, die auf die einzelnen Fluidpartikel wirken und diese zur Bewegung bzw. zu einer Bewegungsänderung veranlassen. Soll das Fluid nicht in Ruhe oder einer gleichförmigen Bewegung verharren, so muß mindestens eine dieser Kräfte wirken. Reibungskräfte treten dabei auf, wenn Fluidpartikel eine Relativbewegung zueinander besitzen und sich aufgrund von molekularen Wechselwirkungen (z.B. An-

ziehungskräften) gegenseitig „mitreißen“. Aus makroskopischer Sicht ist dafür die sog. *Viskosität* von Fluiden verantwortlich.

Wenn nun keine besonders großen Relativbewegungen vorhanden sind, können die Reibungskräfte u.U. sehr viel kleiner als die Druck- und Volumenkräfte sein und deshalb in erster Näherung vernachlässigt werden. Auch hier ist wieder entscheidend, daß es sich um eine Aussage über das Strömungsfeld handelt und nicht über das Fluidverhalten. Eine reibungsfreie Strömung ist danach eine Strömung, in der Reibungskräfte eine in erster Näherung vernachlässigbare Rolle spielen. Wiederum ist die Viskosität eines Fluides als Stoffeigenschaft nur die notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer reibungsbehafteten, also durch Reibungskräfte beeinflussten Strömung. In diesem Sinne kann es also die reibungsfreie Strömung eines viskosen Fluides geben.

#### □ EIN-/ZWEI-/DREIDIMENSIONALE STRÖMUNGEN

In besonderen Situationen, z.B. hervorgerufen durch eine spezielle geometrische Form des Strömungsfeldes, kann es vorkommen, daß eine oder zwei Komponenten des zunächst allgemein dreidimensionalen Geschwindigkeitsvektors vernachlässigbar kleine Werte besitzen. Stellt man die Geschwindigkeitsvektoren in kartesischen Koordinaten dar, so entsteht bei Vernachlässigung einer Komponente eine sog. *ebene Strömung*. Diese besitzt in Schnittebenen parallel zur eigentlichen Darstellungsebene dasselbe Strömungsbild bzgl. der beiden nichtverschwindenden Geschwindigkeitskomponenten.

Geschwindigkeitsvektoren in Zylinderkoordinaten, bei denen jeweils die azimutale Geschwindigkeitskomponente vernachlässigt werden kann, führen auf sog. *rotationssymmetrische* Strömungen. Kann eine zweite Komponente vernachlässigt werden, das Geschwindigkeitsfeld also nur noch bzgl. einer Koordinate variieren, so spricht man von einer eindimensionalen Strömung.

Bei turbulenten Strömungen, die aufgrund der überlagerten Schwankungsbewegung von Natur aus dreidimensional sind, beziehen sich die Aussagen zur eingeschränkten Dimensionalität auf die zeitlich gemittelten Geschwindigkeitsfelder, die als solche auch keine Schwankungen mehr im Raum aufweisen.

Man sollte sich aber stets sorgfältig davon überzeugen, daß die Vernachlässigung bestimmter dreidimensionaler Effekte, die in aller Regel vorhanden sind, auch wirklich gerechtfertigt ist und die Strömung damit als eben, rotationssymmetrisch oder eindimensional bezeichnet werden kann.

### 1.2.2 Aspekte des Fluidverhaltens

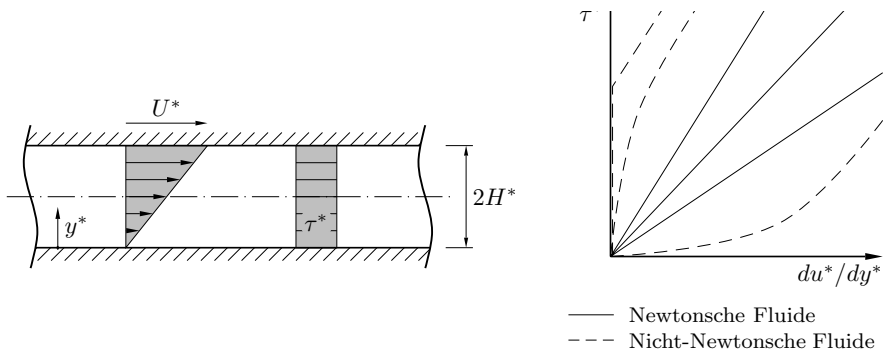
Die im vorigen Abschnitt aufgeführten Strömungskategorien gelten als Unterscheidungsmerkmale für Strömungen, weitgehend unabhängig davon, welches

Fluid strömt. Lediglich einige wenige notwendige Voraussetzungen müssen bezüglich der beteiligten Fluide getroffen werden, um eine bestimmte Strömungskategorie zu ermöglichen (wie z.B. die Variabilität der Dichte für eine kompressible Strömung).

Im konkreten Anwendungsfall spielt aber natürlich auch das Fluidverhalten eine große Rolle. Im Sinne einer systematischen Beschreibung kann ein Fluid bezüglich folgender Aspekte charakterisiert werden:

#### ■ NEWTONSCHES/NICHT-NEWTONSCHES FLUID

In einem Versuch, dessen prinzipieller Aufbau in Bild 1.1 skizziert ist, kann ermittelt werden, wie ein Fluid auf eine einfache Scherbelastung reagiert. Dies ist für Strömungen ein wichtiger Aspekt. Dazu wird das zu untersuchende Fluid zwischen zwei parallel angeordnete Platten mit den Flächen  $A^*$  gebracht. Man bewegt dann die obere Platte in ihrer eigenen Ebene gegenüber der unteren Platte und erzeugt auf diese Weise eine laminare Strömung, die nach einer gewissen Anlaufzeit (abgesehen von Abweichung an den Plattenrändern) zu der skizzierten Geschwindigkeitsverteilung führt. Diese Strömung heißt (laminare) *Couette-Strömung*. Erfahrungsgemäß erfordert die Relativbewegung der Platten zueinander eine Kraft, die um so größer wird, je schneller die Platten in dieser Anordnung gegeneinander bewegt werden. Es gibt also einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Relativgeschwindigkeit  $U^*$  und der Kraft  $F^*$ , mit der beide Platten gegeneinander bewegt werden. Um eine Aussage unabhängig von der Plattengröße zu erhalten, bildet man  $\tau^* = F^*/A^*$  als sog. *Schub-* oder *Scherspannung*. Da in der gewählten Anordnung keine weiteren Kräfte beteiligt sind, folgt unmittelbar, daß in jeder plattenparallelen Ebene im Fluid die gleich große aber entgegengesetzte Scherkraft (Schubspannung  $\times$  Fläche) zur Erfüllung des Kräftegleichgewichtes vorhanden sein muß, daß also im gesamten Strömungsfeld ein konstanter Wert  $\tau^*$  existiert.



**Bild 1.1:** Scherströmung zwischen zwei parallelen Platten (Couette-Strömung); charakteristische Verläufe verschiedener Fließgesetze

Würde man nun  $\tau^*$  als Funktion von  $U^*$  suchen, so würden in diesem Zusammenhang Strömungs- und Fluideigenschaften gleichermaßen vorkommen, weil das Ergebnis nicht nur davon abhängt, welches Fluid den Zwischenraum füllt, sondern auch, wie groß der Plattenabstand  $H^*$  ist, d.h. welches Strömungsfeld vorliegt. Wenn man aber den Zusammenhang zwischen  $\tau^*$  und einem Geschwindigkeitsgradienten  $du^*/dy^* = U^*/2H^*$  bestimmt, kann man in Gedanken den Plattenabstand  $H^*$  beliebig wählen, solange nur  $U^*/2H^*$  dabei seinen Wert beibehält. Dieses sog. *Fließgesetz*, also  $\tau^*$  als Funktion von  $du^*/dy^*$ , formal geschrieben als

$$\tau^* = \tau^* \left( \frac{du^*}{dy^*} \right),$$

ist somit eine reine Fluideigenschaft und besagt, mit welchem Geschwindigkeitsgradienten ein Fluid auf eine aufgeprägte Schubspannung reagiert.

Die Experimente ergeben für eine Reihe technisch wichtiger Fluide (wie z.B. Wasser und Luft) den einfachen Zusammenhang

$$\tau^* = \eta^* \frac{du^*}{dy^*} \quad (1.3)$$

wobei mit  $\eta^*$  die sog. *dynamische Viskosität* (oder einfach: Viskosität, aber nicht: Zähigkeit) eingeführt worden ist. Fluide, die sich gemäß (1.3) verhalten, werden als *Newtonsche Fluide* bezeichnet; Gleichung (1.3) heißt nach Isaac Newton *Newtonsches Reibungsgesetz*.

Es gibt aber sehr viele Fluide (wie z.B. Lackfarben, Honig oder Blut), die einen komplizierteren Zusammenhang zwischen  $\tau^*$  und  $du^*/dy^*$  besitzen und konsequenterweise als *Nicht-Newtonsche Fluide* bezeichnet werden.

## ■ EINPHASIGES/MEHRPHASIGES FLUID

In vielen technisch wichtigen Strömungen (wie z.B. in Verdampfern oder Kondensatoren) treten Fluide in verschiedenen Phasen gleichzeitig auf, so daß man dann verkürzt von *Mehrphasenströmungen* (statt Strömungen von Fluiden mit mehreren Phasen) spricht. Dabei ist für die Behandlung solcher Probleme danach zu unterscheiden, ob es in der Strömung zu einem Phasenwechsel kommt oder nicht.

Dieser Phasenwechsel ist z.B. bei Kondensatoren und Verdampfern ein entscheidender Vorgang in der Strömung. Es gibt aber auch Strömungen eines Fluides mit mehr als einer Phase aber ohne Phasenwechsel.

Zu Mehrphasenströmungen kann es auch kommen, wenn mehr als eine Komponente an der Strömung beteiligt ist; so kommen z.B. bei Gas-Feststoffströmungen der pneumatischen Förderung von granulösen Materialien zwei Phasen, aber keine Phasenübergänge vor.



**Anmerkung 1.1:** *Teilgebiete der Strömungsmechanik*

Für Teilgebiete der Strömungsmechanik haben sich eigene Namen eingebürgert, die meist schon erkennen lassen, welche Strömungen darin schwerpunktmäßig behandelt werden. In diesem Sinne sind folgende Bezeichnungen gebräuchlich:

☐ **AERODYNAMIK:**

Schwerpunkt ist die Strömung von Gasen im gesamten Geschwindigkeitsbereich (Unter- bis Überschallströmungen). Eine entscheidende Fragestellung bezieht sich auf die Kräfte, die an umströmten Körpern auftreten, wie z.B. den Auftrieb an einem Flugzeugtragflügel.

☐ **GASDYNAMIK:**

Auch die Gasdynamik befaßt sich mit der Strömung von Gasen, schwerpunktmäßig aber im Bereich hoher Geschwindigkeiten, wo Kompressibilitätseffekte eine wichtige Rolle spielen. Reibungseffekte werden weitgehend vernachlässigt, so daß die Strömungen meist als reibungsfreie Strömungen modelliert werden. Zusätzlich wird das thermodynamische Verhalten der Gase einbezogen, insbesondere wenn chemische Reaktionen, wie z.B. bei der Verbrennung hinzukommen.

☐ **HYDRODYNAMIK:**

Schwerpunkt ist die Strömung bei relativ niedrigen Geschwindigkeiten, bei denen Dichteänderungen nicht vorkommen bzw. vernachlässigt werden können (inkompressible Strömungen). Häufig wird der Begriff auf die Strömung von Flüssigkeiten bezogen, bei denen die fehlende Kompressibilität eine Fluideigenschaft ist.

☐ **HYDRAULIK:**

Wie bei der Hydrodynamik werden inkompressible Strömungen betrachtet. Als weitere Einschränkung kommt hinzu, daß diese Strömungen in Rohrleitungen bzw. geschlossenen Systemen stattfinden. Ein wichtiger Aspekt ist die Kraftübertragung und -Verstärkung in solchen Systemen.

☐ **HYDROSTATIK:**

Im eigentlichen Sinne ist dies kein Teilgebiet der Strömungsmechanik, da Fluide gerade in dem Zustand untersucht werden, in dem keine Strömung vorliegt. Trotzdem sind die Verhältnisse, insbesondere bzgl. des Druckes, in ruhenden Fluiden auch für strömende Fluide von Bedeutung, da sie die Grenzfälle darstellen, die Gesetzmäßigkeiten für strömende Fluide enthalten müssen.

☐ **RHEOLOGIE:**

Dieses Teilgebiet der Strömungsmechanik befaßt sich mit den Materialgesetzen sowie der Strömung von Nicht-Newtonschen Fluiden, s. dazu Gleichung (1.3).

**Strömungsmechanik**

Eine Einführung in die Physik und die mathematische  
Modellierung von Strömungen

Herwig, H.

2006, XVI, 373 S., Softcover

ISBN: 978-3-540-32441-6