

Charakteristische Merkmale der Strömungsmechanik



In diesem Kapitel ...

- ▶ Strömungsmechanik verstehen
- ▶ Andere Wissensgebiete von der Strömungsmechanik unterscheiden
- ▶ Strömungsmechanik im Verlauf der Geschichte

Der Begriff *Strömungsmechanik* wird aus historischen Gründen häufig verwendet, beschreibt den Kern des Arbeitsgebietes jedoch nur unzureichend. Das liegt im Wesentlichen daran, dass es hier nicht nur um die Beschreibung der Bewegung von Flüssigkeiten oder Gasen und den daraus resultierenden Kräften auf umströmte Körper geht, sondern auch um die Kräfte in ruhenden Systemen. Zum Leidwesen des auf korrekte Sprachregelung bedachten Ingenieurs existierte in der deutschen Sprache dafür bis dato kein eindeutiger Begriff, und so wurde mit *DIN 5492 – Formelzeichen der Strömungsmechanik* eine eigene Definition des Begriffs *Fluid* geschaffen, um diesem Missstand ein Ende zu bereiten. Ordnung muss sein...

Fluid – Definition nach DIN 5492 (1965), inzwischen ersetzt durch DIN 1304

»Unter einem Fluid (das Fluid, die Fluide) wird eine Flüssigkeit, ein Gas oder ein Dampf, also ein nichtfestes Kontinuum verstanden, auf welches die Gesetze der Strömungsmechanik anwendbar sind.«

In Abgrenzung zum Festkörper wurde entsprechend dem englischen Begriff *fluid mechanics* somit für alle gasförmigen, flüssigen oder auch tropfbaren Stoffe der Begriff *Fluidmechanik* eingeführt. Weit verbreitet ist auch der Begriff *Strömungslehre*. Genau genommen beschreibt die Strömungslehre jedoch den Vorgang der Wissensvermittlung, nämlich die Vermittlung der Inhalte der Strömungsmechanik. Allerdings sollten Sie sich nicht mit solchen Haarspaltereien aufhalten und im Folgenden den Begriff Strömungsmechanik verwenden.

Um was geht es denn bei der Strömungsmechanik?

Sie werden vermuten, dass sie irgendetwas mit dem Ingenieurbereich zu tun hat. Nun müssen Sie aber kein Ingenieur sein, um sich mit solchen Fragestellungen zu beschäftigen. Anhand einiger Beispiele werden Sie erkennen, worum es im Kern der Sache geht. Stellen Sie sich einfach vor, Sie steigen morgens unter Ihre Dusche. Der Duschkopf, aus dem das Wasser

strömt, ist nicht einfach als Zufallsprodukt entstanden. Nein, hier hat sich ein Strömungsmechaniker vorher darüber Gedanken gemacht, wie viele Austrittsöffnungen der Duschkopf haben sollte und welchen Durchmesser die Zuleitung zur Brause benötigt, so dass das Wasser wirklich in dem Maße ausströmt, wie Sie es gerne hätten. Am Frühstückstisch angekommen, setzen Sie Ihre hochmoderne italienische Multifunktionskaffeemaschine in Gang um sich einen Kaffee zuzubereiten. Auch hier hat ein Strömungsmechaniker die erforderlichen Rohrquerschnitte, die Durchflussmengen des Wassers und der restlichen Zutaten sowie die Belastung des Druckgehäuses infolge des Überdrucks bei der Espressozubereitung berechnet. Na gut, der Designer hat bei der Produktentwicklung auch ein Wörtchen mitgeredet. Verkaufen muss man das Gerät ja letztlich auch noch. Auf dem Weg zur Arbeit sitzen Sie in einem Auto oder Bus, und auch hier treffen Sie auf die Ergebnisse der Überlegungen von Strömungsmechanikern. Das beginnt mit der äußeren Geometrie des Fahrzeugs, die als Ergebnis von Experimenten im Windkanal und Strömungssimulationen mit Computerprogrammen eine widerstandsminimale Form annimmt, und reicht bis hin zum Innenraumklima. Sofern der Strömungsmechaniker hier gute Arbeit geleistet hat, wird sich entsprechend Ihren Anforderungen das gewünschte Klima einstellen, ohne störende Zugluft oder Temperaturschwankungen. Viele Dinge werden Sie gar nicht bewusst wahrnehmen, wie beispielsweise die Arbeit, die die Kraftstoffpumpe oder die Unterdruckpumpen zur Unterstützung der Lenkung oder des Bremssystems still und leise im Hintergrund verrichten. Aber auch hier sehen Sie die Arbeit von Strömungsmechanikern. Bei einer Pumpe sind entsprechend der geforderten Leistung Masse- und Volumenströme durch die Pumpe zu berechnen, Schaufelblätter und Strömungskanäle müssen ausgelegt und Druckverhältnisse bestimmt werden.

Was die Strömungsmechanik von anderen Wissensgebieten unterscheidet

Was unterscheidet nun die Arbeitsweise der Strömungsmechanik von dem Vorgehen in anderen Wissensgebieten? Ein Vergleich mit der Massepunktdynamik soll dies verdeutlichen. Möchte man zum Beispiel die Bahn der Erde um die Sonne beschreiben, so genügt es, diesen Planeten auf einen einzigen Massepunkt zu reduzieren. Zur vollständigen Beschreibung der Umlaufbahn ist jetzt nur der Ortsvektor von der Sonne zum Massepunkt erforderlich.

Wenn Sie an Ihre Schulzeit zurückdenken, werden Sie sich hoffentlich noch dunkel an den deutschen Naturwissenschaftler Johannes Kepler (1571–1630) erinnern. In diesem Zusammenhang könnte Ihnen dann das 3. Keplersche Gesetz einfallen, das aussagt, dass für alle Planetenbahnen das Verhältnis r^3/T^2 konstant ist, wobei r den Abstand zum Zentralgestirn und T die Umlaufzeit beschreibt. Zusammen mit dem Ansatz für die Zentripetalkraft ergibt sich daraus:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{\gamma \cdot m_S}{4 \cdot \pi^2} = \text{const.} = 3,36 \cdot 10^{18} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

mit

γ	Gravitationskonstante	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
m_S	Masse der Sonne, ca.	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Die mittlere Entfernung der Erde zur Sonne lässt sich somit unter der Annahme, dass die Exzentrizität der Bahn vernachlässigbar ist, einfach berechnen:

Mit einer Umlaufzeit von $T = 365 \text{ Tagen} = 3,1536 \cdot 10^7 \text{ s}$ ergibt sich der mittlere Abstand r zu

$$r = [T^2 \cdot 3,36 \cdot 10^{18}]^{\frac{1}{3}} = [(3,1536 \cdot 10^7)^2 \cdot 3,36 \cdot 10^{18}]^{\frac{1}{3}} \approx 1,495 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

Bei einer Lichtgeschwindigkeit im Vakuum von $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ergibt sich eine Laufzeit für das Sonnenlicht von der Sonne zur Erde von $t = 498 \text{ s} = 8,3 \text{ min}$.

Betrachten Sie diese aus heutiger Perspektive recht triviale Gleichung, so sehen Sie, dass mit einer einzigen Gleichung die Bahn eines zugegebenermaßen sehr komplexen Gebildes, nämlich der Erde, mit verblüffender Präzision beschrieben werden kann.

Die Bedeutung der Umlaufbahn

Der Wert dieser Betrachtung ergibt sich jedoch vor allem im historischen Kontext. Zu jener Zeit wurden bahnbrechende Entdeckungen von der Obrigkeit, häufig in Personalunion mit der Kirche, nicht immer geschätzt oder entsprechend gewürdigt. »So mussten viele, die ihrer Zeit vorausgeeilt waren, sehr häufig in recht unbequemen Quartieren auf sie warten«, wie der polnische Lyriker Stanislaw Jerzy Lec (1909–1966) schrieb. Sofern sie nicht wie der italienische Philosoph und Astronom Giordano Bruno (1548–1600) das Pech hatten, direkt auf dem Scheiterhaufen zu landen. Aber auch hier nahm die Gerechtigkeit mit schier unglaublicher Geschwindigkeit ihren Lauf, und bereits im Jahre 2000 wurde Bruno vom Vatikan zumindest teilweise rehabilitiert.

Bei dem Versuch, diese im Falle der Massepunktdynamik sehr erfolgreiche Vorgehensweise auf strömungsmechanische Problemstellungen anzuwenden, stößt man sehr schnell an die Grenzen des Möglichen.

Betrachten Sie zum Beispiel das Strömungsfeld um einen beliebigen Körper, der von vorne angeströmt wird. Wie bei der Bahnberechnung der Erde könnte man für ein einzelnes Stickstoff- beziehungsweise Sauerstoffmolekül eine Bahnberechnung erstellen. Da die Molekülmassen bekannt sind, sollte dies eine einfache Aufgabe sein. Nun stellt sich allerdings die Frage: Welche Aussage können Sie aus der berechneten Flugbahn eines einzelnen Teilchens im Hinblick auf die Belastung des Körpers infolge der Umströmung treffen? Sofern Sie von dem strömungsmechanischen Sonderfall der verdünnten Gase absehen, lautet die Antwort schlicht: Keine! Erinnern Sie sich an Ihr zweites Lieblingsfach nach der Strömungsmechanik, die Chemie, und Ihnen fällt vielleicht die *Avogadro-Konstante* N_A ein. Damit lässt sich die Anzahl der Gasteilchen in einem bestimmten Volumen bestimmen.



In einem Kontrollvolumen, in dem sich ein Mol eines Gases befinden, (unter Normbedingungen $p = 1 \text{ bar}$ und $T = 0 \text{ °C}$ entspricht das $V = 0,022414 \text{ m}^3$) ist die stattliche Anzahl von $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen versammelt. Der Frage, wer hier jemals wirklich die Teilchen nachgezählt hat, soll an dieser Stelle nicht weiter nachgegangen werden.

Um ein Gesamtbild von der Umströmung eines Körpers zu gewinnen, wäre es erforderlich nicht nur die Bahnlinie eines einzigen Massepunktes, sondern die aller Teilchen im Kontrollvolumen zu kennen, um daraus das Druck- und Geschwindigkeitsfeld zu berechnen. Sofern Sie den Ansatz der Massepunktdynamik verfolgen, müssten Sie für das betrachtete Kontrollvolumen genau N_A Bewegungsgleichungen aufstellen und lösen. Auch bei den heute zur Verfügung stehenden Rechnern wäre dies nicht unbedingt die eleganteste Vorgehensweise.

Es wird sich zeigen, dass in der Strömungsmechanik andere Problemlösungsverfahren ihre Anwendung finden.

Veränderung der Arbeitsweise von Strömungsmechanikern im Verlauf der Geschichte

Historisch waren die ersten Lösungsansätze mangels Alternative experimenteller Natur. Aus der Kombination von Erfahrung sowie Versuch und Irrtum wurden bereits in der Antike erfolgreich strömungsmechanische Konstruktionen wie zum Beispiel Wasserräder, Windmühlen oder Pumpen realisiert.

Diese Vorgehensweise setzte sich unverändert bis ins 17. Jahrhundert fort. Erst mit der Entwicklung der Integral- und Differentialrechnung durch Forscher wie Isaac Newton (1642–1726 beziehungsweise 1643–1727), Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), Leonhard Euler (1707–1783) oder Carl Friedrich Gauß (1777–1855) standen die mathematischen Werkzeuge zur Beschreibung komplexer Strömungszustände zur Verfügung. Dabei stellt die Beschreibung des Problems zwar den ersten wichtigen Schritt dar, beinhaltet jedoch nicht automatisch auch dessen Lösung.

Deshalb nimmt das experimentelle Vorgehen, also die Nachbildung der Realität in einer Modellumgebung, in der unter kontrollierten Randbedingungen einzelne Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur oder Druck sowie die resultierenden Kräfte auf einzelne Baugruppen oder aber auch auf das vollständige Untersuchungsobjekt bestimmt werden können, in der Strömungsmechanik eine weit wichtigere Rolle ein als in anderen Gebieten der Wissenschaft. Um bei dem vorher gewählten Beispiel aus der Massepunktdynamik zur Berechnung von Planetenbahnen zu bleiben: Es ist leicht einsehbar, dass Experimente zur Bestimmung von Planetenbahnen recht aufwendig sind und daher in der Regel unterbleiben. Sie können nicht einfach einen Mond nach Belieben auf eine veränderte Umlaufbahn um einen Planeten versetzen. Hier bleibt Ihnen lediglich ein analytisches Vorgehen.

In der Strömungsmechanik stehen bei vielen Fragestellungen nicht so sehr die bewegten Teilchen als vielmehr die auf ruhende oder bewegte Körper wirkenden Belastungen im Mittelpunkt des Interesses. Allerdings gewinnen numerische, also computergestützte Verfahren (CFD *computational fluid dynamics*) zunehmend an Bedeutung. Simulation im Windkanal wird zunehmend durch Computer-Simulationen ergänzt.

Sir Isaac Newton

Sollten Sie sich über die beiden unterschiedlichen Geburts- und Sterbedaten von Sir Isaac Newton (1642–1726 beziehungsweise 1643–1727) wundern: Sie beruhen darauf, dass zu dieser Zeit in Europa bereits der gregorianische Kalender eingeführt war, wohingegen in England noch der julianische Kalender galt. Dies hatte seine Ursache in der von Heinrich VIII (1491–1547), bekannt für seine nach heutigen Maßstäben ruppige Scheidungspolitik, initiierten Abspaltung von der römisch-katholischen Kirche und der Gründung der anglikanischen Kirche mit sich selbst als Oberhaupt.

