

In diesem Kapitel sollen ausgehend von „normalen Alltagserfahrungen“ Situationen benannt werden, in denen Strömungen eine (mehr oder weniger entscheidende) Rolle spielen. Es wird dabei nach Strömungen in der Natur und solchen in technischen Anwendun-

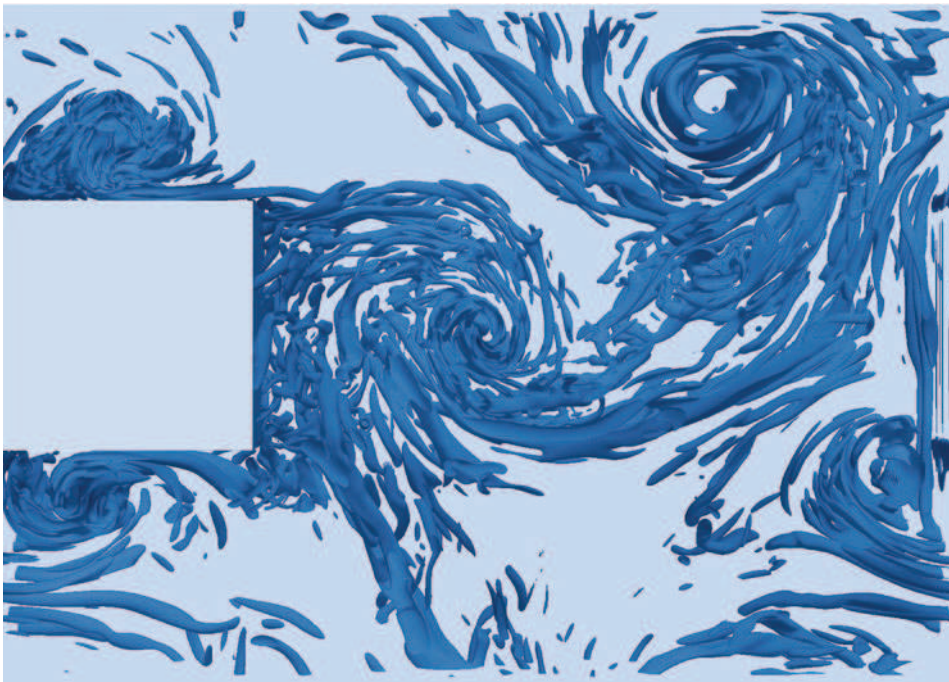


Abb. 2.1 Details einer (turbulenten) Strömung um ein Hindernis; das Bild entsteht auf der Basis genauer (numerischer) Berechnungen, s. dazu Abschn. 8.2.1

gen unterschieden. Abschließend wird der Begriff der *technischen Strömungen* eingeführt und erläutert. Die weiteren Ausführungen im vorliegenden Buch beziehen sich auf solche technischen Strömungen. In Abb. 2.1 ist ein Ausschnitt einer solchen technischen Strömung gezeigt, ohne dass diese hier genauer erläutert werden soll.

2.1 Strömungen im Alltag

Entlang eines normalen Tagesablaufes sollen im Folgenden Strömungsbeispiele benannt werden. In Klammern werden jeweils die strömungsmechanisch korrekten Bezeichnungen für die genannten Strömungssituationen angegeben. Diese sind bisher weder eingeführt noch definiert worden, die im Alltag übliche Bedeutung der vorkommenden Begriffe gestattet aber ein grobes Verständnis der verwendeten Fachbegriffe.

Beispiele

- Morgens vor dem Aufstehen: Wir wachen nur auf, weil über Nacht u. a.
 - unser Blutkreislauf vorhanden war. [STRÖMUNG EINES NICHT-NEWTONSCHEN FLUIDES (Blut) IN FLEXIBLEN BLUTGEFÄSSEN SEHR UNTERSCHIEDLICHER DURCHMESSER]
 - unsere Atmung aktiv war. [WEITGEHEND LAMINARE STRÖMUNG MIT STOFFÜBERGÄNGEN IN DEN FEINEN POREN DER LUNGENFLÜGEL]
 - unsere Nieren gearbeitet haben. [STRÖMUNG IN PORÖSEN MEDIEN MIT STOFFÜBERGÄNGEN].
- Morgens nach dem Aufstehen:
 - Im Badezimmer wird auf vielfältige Weise Wasser genutzt. [STRÖMUNG EINES INKOMPRESSIBLEN FLUIDES (Wasser) IN MEHRFACH VERZWEIGTEN ROHRLEITUNGSSYSTEMEN; OFFENE GERINNESTRÖMUNG VOR DEN ABFLÜSSEN]
 - Die Haare werden mit dem Fön getrocknet. [KONVEKTIVER WÄRME- UND STOFFÜBERGANG]
 - Die Zahnpasta wird aus der Tube gedrückt. [SCHLEICHENDE STRÖMUNG EINES BINGHAM-FLUIDES (Zahnpasta)]
 - Die Heizung im Badezimmer sorgt für eine angenehme Raumtemperatur. [NATÜRLICHE KONVEKTION IN GESCHLOSSENEN RÄUMEN KOMBINIERT MIT WÄRMESTRAHLUNG]
- Morgens beim Frühstück:
 - Der pfeifende Wasserkessel zeigt an, dass die Siedetemperatur des Kaffeewassers erreicht ist. [STRÖMUNGS-AKUSTIK; BLASENSIEDEN]
 - Der Kaffee wurde umweltfreundlich durch Aufgießen in einer Push-Kaffeemaschine zubereitet. [STRÖMUNG IN PORÖSEN MEDIEN (Kaffeesatz)]
 - Die Milch verteilt sich durch Umrühren schnell und gleichmäßig im Kaffee. [MISCHUNG IN TURBULENTEN STRÖMUNGEN]

- Der Kaffee in der Tasse wird leider relativ schnell kalt. [NATÜRLICHE KONVEKTION IM KAFFEE UND IN DER UMGEBENDEN LUFT KOMBINIERT MIT WÄRMESTRAHLUNG]
- Der Honig läuft langsam vom Löffel auf die Brötchenhälfte. [SCHLEICHENDE STRÖMUNG EINES SCHERENTZÄHENDEN FLUIDES (Honig)]
- Auf der Fahrt zur Arbeit im Auto (stichwortartige Aufzählung):
 - Benzinzufuhr mit Einspritzen in die Zylinder, Zündung und Verbrennung [MEHRPHASENSTRÖMUNG CHEMISCH REAGIERENDER FLUIDE]
 - Motorkühlung mit Hilfe eines Kühlwasserkreislaufes; Umströmung des Kühleraggregates durch Fahrtwind oder ein Kühlgebläse [KONVEKTIVER WÄRMEÜBERGANG GAS- UND FLÜSSIGKEITSSEITIG; LOKALES BLASENSIEDEN AN THERMISCH HOCHBELASTETEN BAUTEILEN]
 - Umströmung des aerodynamisch besonders günstigen Autos mit einem niedrigen Widerstandsbeiwert $c_w \approx 0,3$ [DREIDIMENSIONALE UMSTRÖMUNG EINES BEWEGTEN KÖRPERS IN BODENNÄHE]
 - klimatisierter Fahrgastraum [STRÖMUNG MIT ZWEIFACHEM PHASENWECHSEL IN DER KLIMAAANLAGE (Kältemittel), KONVEKTIVE WÄRMEÜBERGÄNGE IM KÄLTEMITTEL UND IN DER KONDITIONIERTEN LUFT]
- Während der Arbeit und danach:

jetzt sollte der Leser bereits hinreichend motiviert sein, die konkrete Umgebung auf vorkommende Strömungssituationen bzw. -phänomene hin zu überdenken.

2.2 Strömungen in Natur und Technik

Die im vorigen Abschnitt genannten Strömungsbeispiele sind mehrheitlich technisch bedingt, und finden deshalb in und um technisch hergestellte(n) Geometrien statt. Bevor anschließend definiert wird, was technische Strömungen ausmacht, die ausschließlich Gegenstand des vorliegenden Buches sind, sollen im Folgenden zunächst weitere typische Strömungen aus der Natur aufgeführt werden.

Neben den im vorigen Abschnitt bereits erwähnten Blut- und Atemströmungen kommen zum Beispiel folgende Strömungen in der Natur vor:¹

¹ Der Wissenschaftszweig *Bionik* beschäftigt sich u. a. mit Strömungen, die in der Natur vorkommen und versucht daraus Erkenntnisse abzuleiten, die in technischen Strömungen gewinnbringend eingesetzt werden können. Einen sehr guten Überblick gibt: Nachtigall, W. (2003): *Bionik*, 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Beispiele

- Aerodynamische Strömung beim Vogelflug: Es handelt sich um eine stark instationäre Strömung u. a. um die verformbaren Vogelflügel (Auftriebserzeugung), die durch die Federstruktur eine geometrisch komplizierte und zeitlich veränderliche Oberflächengeometrie aufweisen. Die jeweilige Geometrieform entsteht in Wechselwirkung mit der Strömung.
- Hydrodynamische Strömung beim Delfin: Auch hier liegt (betrachtet aus dem Bezugs-Koordinatensystem des Delfins) eine hochgradig instationäre Umströmung der Körpergeometrie vor. Die Körperoberfläche ist glatt und flexibel, die genaue Geometrie stellt sich aufgrund einer Wechselwirkung zwischen der Strömung und dem umströmten Körper ein.
- Hydrodynamische Strömung von Flüssen: Es handelt sich um sogenannte offene Gerinneströmungen mit sehr stark variablen und auf verschiedenen Zeitskalen veränderlichen Strömungsgeometrien. Eine kurzfristige Veränderung der strömungsbegrenzenden Geometrie liegt bei starkem Sedimenttransport vor. Eine langfristige Veränderung tritt auf, weil die Mäanderform des Flussbettes durch eine strömungsbedingte Abtragung von Ufermaterial entsteht.

Als charakteristische Eigenschaften von Strömungen in der Natur können bereits aus den hier genannten Beispielen ausgemacht werden:

- ungleichmäßige „komplizierte“ Strömungsgeometrie,
- Wechselwirkung zwischen der Strömung und der Geometrieform,
- hochgradige Instationarität.

Diese drei Aspekte können auch in sogenannten technischen Strömungen auftreten, sind dort aber eher die Ausnahme als die Regel. Deshalb können technische Strömungen wie folgt definiert werden.

DEFINITION: Technische Strömungen

Technische Strömungen liegen vor, wenn

- die Strömung durch technische Mittel zustande kommt.
- die um- oder durchströmte Geometrie technisch entworfen und hergestellt worden ist.

Solche Strömungen zeichnen sich *in der Regel* aus durch

- geometrisch einfache Strömungsfeld-Begrenzungen, die von der Strömung nicht beeinflusst werden (keine Wechselwirkung zwischen der Strömung und der Geometrie).
- stationäres Strömungsverhalten nach einem instationären „Anfahrvorgang“.

Ein typisches Beispiel für eine Strömung, die alle in der Definition vorkommenden Bedingungen erfüllt, ist die zeitlich unveränderliche (stationäre) Strömung von Wasser durch ein Rohr (Durchmesser D , Länge L), die mit einer Pumpe aufrechterhalten wird.

In Ausnahmefällen kann eine solche Strömung auch instationär sein (z. B. aufgrund einer periodisch veränderlichen Pumpenleistung). Wenn die Rohrwand aus elastischem Material besteht, stellt sich die Geometrie aufgrund einer Wechselwirkung mit der Strömung ein. Man spricht dann von einer sogenannten *Fluid-Struktur-Wechselwirkung*.

Gegenstand des vorliegenden Buches sind zunächst allerdings technische Strömungen ohne spezielle Zusatzaspekte. Die Behandlung spezieller Aspekte setzt die Kenntnis der standardmäßigen technischen Strömungen voraus. Das Ziel des vorliegenden Buches ist es, in die Physik und die mathematische Beschreibung von technischen Standard-Strömungen einzuführen.

In sogenannten ILLUSTRIERENDEN BEISPIELEN werden z. T. auch Fälle von komplexeren technischen Strömungen genannt, die dann aber nicht in allen Einzelheiten diskutiert werden können.