

Drei Aspekte charakterisieren eine turbulente Strömung, ohne dass dies aber schon eine vollständige Definition wäre:

1. Turbulente Strömungen weisen weitgehend nicht vorhersagbare Schwankungen der Geschwindigkeit auf. Diese Schwankungen erfolgen um einen zeitlichen Mittelwert, wie dies in Abb. 2.1 skizziert ist. Für eine Geschwindigkeitskomponente $u(\vec{x}, t)$ gilt damit:

$$u(\vec{x}, t) = \bar{u}(\vec{x}) + u'(\vec{x}, t) \quad (2.1)$$

mit \bar{u} als zeitlichem Mittelwert an einer Stelle \vec{x} und u' als Wert der momentanen Abweichung (Geschwindigkeitsschwankung).

2. Turbulente Strömungen sind bzgl. der Schwankungsbewegung stets dreidimensional, d. h., Geschwindigkeitsschwankungen treten in allen drei (kartesischen) Raumrichtungen auf. Für einen Geschwindigkeitsvektor (u, v, w) gilt.

$$(u, v, w) = (\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}) + (u', v', w') \quad (2.2)$$

Es können im zeitlichen Mittel zweidimensionale Strömungen ($\bar{w} = 0$) oder auch eindimensionale Strömungen ($\bar{w} = 0, \bar{v} = 0$) auftreten, bzgl. der Schwankungen sind aber stets alle drei Komponenten u', v' und w' vorhanden.

3. Turbulente Strömungen sind Kontinuumsströmungen, d. h. die Geschwindigkeitsschwankungen sind nicht etwa Schwankungsbewegungen einzelner Moleküle, sondern solche von zusammenhängen Fluidbereichen.

Eine weitergehende Charakterisierung, die bereits Hinweise auf die Physik turbulenter Geschwindigkeitsfelder gibt, kann durch folgende vier weitere Eigenschaften der turbulenten Geschwindigkeitsfelder erfolgen.

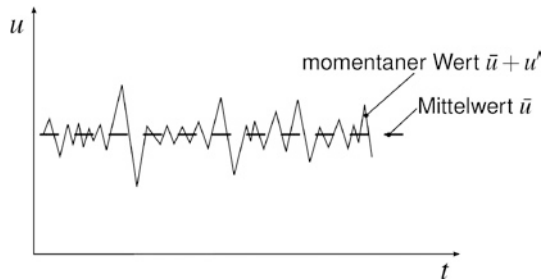


Abb. 2.1 Typisches zeitliches Verhalten einer turbulenten Geschwindigkeitskomponente u

4. Geschwindigkeitsschwankungen an benachbarten Orten und zu kurz aufeinander folgenden Zeiten sind nicht vollständig unabhängig voneinander, sondern sind auf bestimmte Weise miteinander korreliert. Die Stärke der Korrelation nimmt mit steigendem Abstand und größeren Zeitdifferenzen ab.
5. Das instationäre Feld der Geschwindigkeitsschwankungen besitzt ein kontinuierliches, aber in beide Richtungen begrenztes Spektrum von Längen- und Zeitskalen.
6. Die Schwankungsgeschwindigkeiten sind mit kinetischer Energie verbunden. Diese ist ungleichmäßig auf die verschiedenen Frequenzen des endlichen Frequenzbandes verteilt, in dem die Schwankungsgeschwindigkeiten auftreten. Hohe Werte der kinetischen Energie liegen bei niedrigen Frequenzen vor, niedrige bei den hohen Frequenzwerten. Damit entsteht ein typischer Verlauf des sog. Energiespektrums der turbulenten Schwankungsbewegungen, mit dessen Hilfe eine genauere Vorstellung von der Physik turbulenter Strömungen entwickelt werden kann, s. dazu das spätere Kap. 5.
7. Bisher sind nur Geschwindigkeitsschwankungen betrachtet worden. Weil aber in einem Strömungsfeld eine Kopplung zwischen den Geschwindigkeiten und dem Druck sowie der Temperatur vorliegt (die in den Grundgleichungen der Strömungsmechanik mathematisch beschrieben wird), kommt es auch bzgl. der beiden skalaren Größen Druck und Temperatur zu entsprechenden Schwankungsgrößen ($p = \bar{p} + p'$, $T = \bar{T} + T'$). Für die Temperatur gilt dies allerdings nur, wenn eine nicht-isotherme Situation vorliegt, d. h. wenn nicht im gesamten Strömungsfeld eine einheitliche Temperatur herrscht.

Zusätzlich unterliegen alle Stoffwerte, die für eine bestimmte Strömung von Bedeutung sind (wie die Dichte und die Viskosität) dann analogen Schwankungen, wenn deren Druck- und/oder Temperaturabhängigkeiten berücksichtigt werden.

Turbulente Strömungen

Einführung in die Physik eines Jahrhundertproblems

Herwig, H.

2017, X, 39 S. 11 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-18843-6