Altlasten der Physik (42)

Der Staudruck

Gegenstand:

Für eine stationäre, inkompressible, reibungsfreie Flüssigkeit gilt die Bernoullische Gleichung:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \text{const}$$

Hier ist p der Druck, ρ die Dichte, g der Ortsfaktor, h die Höhe (nach oben positiv) und v die Geschwindigkeit. Mit "const" ist gemeint, dass sich die Summe der linken Seite der Gleichung nicht ändert, wenn man sich innerhalb der Strömung in Strömungsrichtung einen Stromfaden entlang bewegt. Falls sich die Werte der lokalen Größen über einen Querschnitt durch die Strömung nicht ändern, kann man die Einschränkung mit dem Stromfaden auch weglassen. "const" bedeutet dann: "hat denselben Wert an jedem Querschnitt.

Die Gleichung wird gewöhnlich folgendermaßen interpretiert. Es gibt mehrere Arten von Drücken: den statischen Druck p, den Schweredruck $\rho \cdot g \cdot h$ und den dynamischen Druck oder Staudruck $(\rho/2) \cdot v^2$. Die Bernoullische Gleichung sagt uns, dass die Summe aus diesen drei Drücken (unter den genannten Bedingungen) konstant ist.

Mängel:

Qualitativ und in Worte gefasst lautet die Aussage der Bernoulli-Gleichung:

1. Dort wo die Flüssigkeit schnell fließt, ist der Druck kleiner, als dort wo sie langsam fließt.
2. Der Druck nimmt nach unten hin zu.

In dieser Aussage gibt es nur einen Druck, und das ist die Größe p in der Bernoulli-Gleichung. Die Terme $\rho \cdot g \cdot h$ und $(\rho/2) \cdot v^2$ haben zwar beide die Dimension eines Druckes, sind aber nicht das, was man unter einem Druck versteht. Summanden in einer Summe stellen durchaus nicht immer dieselbe physikalische Größe dar. Dass $\rho \cdot g \cdot h$ nicht der Schweredruck sein kein, sieht man auch am Vorzeichen. Der Schweredruck nimmt bekanntlich nach unten hin zu, der Term $\rho \cdot g \cdot h$ dagegen wächst mit zunehmendem h.

Herkunft:

Es gab wahrscheinlich keine historische Situation, in der diese Deutung der Bernoulli-Gleichung gerechtfertigt war. Vermutlich beruht die hier inkriminierte Interpretation auf dem Wunsch oder Versuch, den Druck als eine Größe vorzustellen, für die eine Art Erhaltungssatz gilt. Tatsächlich erinnert die Aussage: "Der Gesamtdruck in … ist konstant" an eine bestimmte Formulierung von Erhaltungssätzen: "In einem abgeschlossenen System ist die elektrische Ladung (oder die Energie, der Impuls, der Drehimpuls) konstant." Solche Sätze sind sehr elegant, denn sie sind einerseits leicht zu formulieren und haben andererseits eine sehr umfassende Gültigkeit. Auch der Druck könnte also, dank Bernoulli, in den erlauchten Kreis der Erhaltungsgrößen Einlass finden. Was einen zu einer solchen Sicht noch besonders ermuntern könnte, ist dass man die Bernoulli-Gleichung ja aus dem Energie-Erhaltungssatz ableiten kann.

Wir glauben, dass hier mit dem Druck doch etwas Schindluder getrieben wird. Zur Erhaltungsgröße kann man ihn auf keinen Fall machen, denn eine notwendige Bedingung dafür, dass man überhaupt über die Erhaltung oder auch die Nichterhaltung einer Größe sprechen kann, ist, dass die Größe extensiv ist – und das ist der Druck nun mal nicht.

Man könnte einwenden, dass es doch schließlich niemand verbieten kann, den Term $(\rho/2) \cdot v^2$ "dynamischer Druck" zu nennen, denn eine Namensgebung kann prinzipiell weder falsch noch richtig sein. Nun ja, im Prinzip schon. Immerhin kann die Wahl eines Namens aber mehr oder weniger zweckmäßig sein. Und ich glaube, die zitierten Terme "Druck" zu nennen, würde eine ungeschickte Namensgebung darstellen. Der Druck ist eine der Anschauung leicht zugängliche Größe. $(\rho/2) \cdot v^2$ als

Druck zu bezeichnen würde nur dazu führen, dass der Lernende den Eindruck erhält, der Druck sei im Grunde doch eine unanschauliche Größe. Die Beweihräucherung durch das Adjektiv “dynamisch” hilft dabei noch etwas nach.

Entsorgung:

Man lese die Bernoulli-Gleichung so: Der Druck nimmt ab 1. wenn die Geschwindigkeit zunimmt, 2. wenn die Höhe zunimmt. Beide Aussagen sind einleuchtend.

F. H.