

Zusammenspiel von Experimenten und Numerik

BIRGIT FUTTERER | CHRISTOPH EGBERS

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum Artikel „Der innere Kreislauf der Erde“ in Physik in unserer Zeit **2014**, 45 (3), 126.

Experimente zur Erfassung nichtlinearer Effekte

Die Strömungen reibungsbehafteter Flüssigkeiten (inkompressibel und Newtonsch) werden mathematisch mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen beschrieben [1]:

$$\underbrace{\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right)}_{\text{Trägheit}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{Druck}} + \underbrace{\nu \rho \nabla^2 \mathbf{u}}_{\substack{\text{inkompressible} \\ \text{Reibung}}} + \underbrace{\rho \mathbf{f}}_{\substack{\text{externe} \\ \text{Kräfte}}}.$$

Sie stellt das Impulserhaltungsgesetz oder auch das 2. Newtonsche Axiom für Flüssigkeiten dar (im Gegensatz zu Festkörpern). Diese Gleichung ist nichtlinear, das heißt es liegt keine einfache Proportionalität vor. Das hat mehrere Konsequenzen. Mathematisch betrachtet ist es nicht möglich, geschlossene Lösungen zu erhalten. Daher werden diese Gleichungen entweder numerisch mit Computermodellen gelöst. Oder aber es werden Experimente mit Systemen durchgeführt, für die diese Gleichungen gelten. Numerische, experimentelle und theoretische Methoden ergänzen sich damit.

Bei den beiden erst genannten Verfahren nimmt man gewisse Fehler in Kauf: So müssen die „analogen“ Gleichungen für den Computer „digitalisiert“ (mathematisch diskretisiert) werden. Bei Experimenten muss entschieden werden, welches Strömungs-Messverfahren angewandt wird. Dabei entscheidet sich, wie gut das Problem in Raum und Zeit aufgelöst werden kann. Das numerische Lösungsverfahren und auch die Messverfahren sind ebenso mit Fehlern behaftet, die berücksichtigt werden müssen. Trotz dieser Unsicherheiten haben aber Experimente den entscheidenden Vorteil, dass sie bei allen Annäherungen die Nichtlinearität aus der Physik nicht verlieren. Damit werden Sie zum „Benchmark“ (Orientierungswert) für Computermodelle.

Experimente in der Schwerelosigkeit

Die Schwerkraft bestimmt das Verhalten sämtlicher Organismen auf unserem Planeten. Am deutlichsten wird das an Astronauten, die sich längere Zeit in der Schwerelosigkeit aufhalten. Zunächst einmal ist unser Muskelapparat in einer Welt ohne Gewicht nahezu nutzlos. Die Astronauten leiden nach einer gewissen Zeit unter Muskelschwund und müssen, um dem entgegenzuwirken, ein strenges Sportprogramm einhalten. Unser Gleichgewichtsorgan im Ohr ist außerdem in der Lage, uns die Richtung der Schwerebeschleunigung anzuzeigen. Fällt

die Schwere aber weg, so verlieren wir unseren Orientierungssinn. Der Körper reagiert mit Übelkeit und Schweißausbrüchen. Je nachdem, wie lange die Anpassung des Gleichgewichtsorgans an die neue Situation dauert, spricht man auch von der Raumkrankheit. Neben diesen Einflüssen auf den menschlichen Organismus übernimmt die Gravitation aber auch eine tragende Rolle bei vielen physikalischen Effekten. Auftrieb ist nur aufgrund von Gravitation überhaupt möglich. Weitere elementare Grundkräfte treten dabei in den Hintergrund, so dass es insbesondere erst in der Schwerelosigkeit möglich ist, grundlegende naturwissenschaftliche Phänomene zu erkennen.

In Deutschland werden durch das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum DLR über das Programm „Forschen unter Weltraumbedingungen“ physikalische, medizinische und biologische Experimente durchgeführt. Diese finden auf Parabelflügen, im Fallturm des ZARM in Bremen, auf Forschungsraketen und Satelliten sowie auf der Internationalen Raumstation ISS statt. Diese Forschungsplattformen bieten dabei sehr unterschiedliche Bedingungen, denen man bei der Umsetzung und Durchführung der Experimente gerecht werden muss:

Flug Gelegenheit	Dauer Schwerelosigkeit	automatisch	Manuell	bemannt
Fallturm Bremen	5-9 Sekunden	X	-	-
Flugzeug-Parabelflüge	22 Sekunden	(X)	X	X
Forschungsraketen	1-12 Minuten	X	(X)	-
Rückkehrkapseln	bis etwa 3 Monate	X	-	-
Raumstation ISS	mehrere Monate bis Jahre	X	X	X

Quelle: http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-8283/14189_read-35895.

Literatur

[1] H. Kuhlmann, Strömungsmechanik, Pearson Studium, München 2007.