
essentials

essentials liefern aktuelles Wissen in konzentrierter Form. Die Essenz dessen, worauf es als „State-of-the-Art“ in der gegenwärtigen Fachdiskussion oder in der Praxis ankommt. *essentials* informieren schnell, unkompliziert und verständlich

- als Einführung in ein aktuelles Thema aus Ihrem Fachgebiet
- als Einstieg in ein für Sie noch unbekanntes Themenfeld
- als Einblick, um zum Thema mitreden zu können

Die Bücher in elektronischer und gedruckter Form bringen das Expertenwissen von Springer-Fachautoren kompakt zur Darstellung. Sie sind besonders für die Nutzung als eBook auf Tablet-PCs, eBook-Readern und Smartphones geeignet. *essentials*: Wissensbausteine aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, aus Technik und Naturwissenschaften sowie aus Medizin, Psychologie und Gesundheitsberufen. Von renommierten Autoren aller Springer-Verlagsmarken.

Weitere Bände in dieser Reihe <http://www.springer.com/series/13088>

Heinz Herwig

Turbulente Strömungen

Einführung in die Physik
eines Jahrhundertproblems

 Springer Vieweg

Prof. Dr.-Ing. Heinz Herwig
Hamburg, Deutschland

ISSN 2197-6708

essentials

ISBN 978-3-658-18843-6

DOI 10.1007/978-3-658-18844-3

ISSN 2197-6716 (electronic)

ISBN 978-3-658-18844-3 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Was Sie in diesem *essential* finden können

- Strömungen viskoser Fluide können auf „wohlgeordneten“ Bahnen als laminare Strömungen vorliegen oder als turbulente Strömungen von irregulären Schwankungen überlagert sein.
- Strömungen werden zu turbulenten Strömungen, wenn Störungen nicht mehr gedämpft werden können, sondern in der Strömung mit der Zeit anwachsen. Dies ist der Fall, wenn die Reynolds-Zahl zur Charakterisierung der Strömung ihren sog. kritischen Wert erreicht bzw. überschreitet.
- Bei der Umströmung von Körpern liegen bei hinreichend hohen Reynolds-Zahlen stark turbulente Gebiete nur in den Grenzschichten nahe der Körperoberfläche und im sog. Nachlauf vor.
- Bei der Durchströmung von Rohren und Kanälen kommt es bei hinreichend großen Reynolds-Zahlen zu turbulenten Strömungen. Weit entfernt vom Eintrittsquerschnitt liegen dann im gesamten Strömungsgebiet turbulente Strömungen vor.
- Turbulente Strömungen können heutzutage in allen Details berechnet werden, für technische Fragestellungen müssen aber weiterhin Näherungslösungen für die zeitgemittelten Größen mithilfe einer Turbulenzmodellierung gefunden werden.

Vorwort

Werner Heisenberg (Nobelpreis für Physik (1932)) wird folgendes Bonmot zugeschrieben. Als er sagen sollte, was er Gott fragen würde, wenn ihm die Gelegenheit dazu gegeben würde, meinte er: „Ich würde ihm zwei Fragen stellen: Warum Relativität? Und warum Turbulenz? Ich bin sicher, Gott wird eine Antwort auf die erste Frage haben.“

Dies zeigt, dass die Charakterisierung von turbulenten Strömungen als Jahrhundertproblem im Untertitel dieses *essentials* vielleicht noch untertrieben ist ...

Trotzdem: Turbulenz bestimmt viele Facetten unseres Lebens und sollte deshalb in ihren Grundzügen verstanden werden. Dazu will dieser *essential*-Band beitragen.

Ein herzliches Dankeschön geht an Dr. Andreas Moschallski und Herrn Thomas Zipsner für ihre hilfreichen Kommentare und Anmerkungen.

Hamburg
Sommer 2017

Heinz Herwig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Turbulenz, ein allgegenwärtiges Phänomen	1
2	Was ist eine turbulente Strömung?	3
3	Wann und wo sind Strömungen turbulent?	5
3.1	Umströmungen	5
3.2	Durchströmungen	8
3.3	Weder, noch: Innenraumströmungen	9
4	Warum sind Strömungen turbulent?	11
5	Wie können turbulente Strömungen theoretisch beschrieben werden?	13
5.1	Grundgleichungen (Navier-Stokes-Gleichungen)	13
5.2	Die Physik turbulenter Strömungen	14
5.3	Direkte numerische Simulation (DNS)	16
5.4	Gleichungen für zeitgemittelte Größen (RANS)	18
5.4.1	Turbulente Zusatzterme	19
5.4.2	Schließung des Gleichungssystems	20
5.4.3	Zur Physik der turbulenten Zusatzterme	20
5.5	Strategien zur Turbulenzmodellierung	21
5.5.1	Wirbelviskositäts-Modelle	21
5.5.2	Reynolds-Spannungs-Modelle	25
6	Die Zweischichtenstruktur wandnaher turbulenter Strömungen	27
6.1	Zweischichtenstruktur bei Umströmungen	28
6.2	Zweischichtenstruktur bei Durchströmungen	29
6.3	Einfluss von Wandrauheiten	32

7 Hinweise auf weiterführende Literatur	35
Literatur	39