

Dreidimensionale Instabilitätserscheinungen
des laminar-turbulenten Umschlags bei freier
Konvektion längs einer vertikalen
geheizten Platte

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für Maschinenwesens der
Technischen Hochschule Karlsruhe
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Pavle Čolak-Antić
aus Zagreb (Jugoslawien)

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 1963

Hauptreferent: Prof. Dr. H. Görtler

Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. H. Marcinowski

Prof. Dr.-Ing. A. Walz

Sitzungsberichte
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

=====
Jahrgang 1962/64, 6. Abhandlung
=====

**Dreidimensionale Instabilitätserscheinungen
des laminar-turbulenten Umschlages bei freier
Konvektion längs einer vertikalen
geheizten Platte**

Von

Pavle Čolak-Antić

aus dem

Institut für Angewandte Mathematik und Mechanik
der Deutschen Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V.

Mit 55 Textabbildungen und 4 Stereo-Bildpaaren

(Vorgelegt in der Sitzung vom 13. Juli 1963)



Heidelberg 1964

Springer-Verlag

Dissertation, genehmigt von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Hochschule in Karlsruhe

ISBN-13: 978-3-540-03214-4 e-ISBN-13: 978-3-642-48041-6
DOI: 10.1007/978-3-642-48041-6

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten**

**Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht ge-
stattet, diese Abhandlung oder Teile daraus auf photomechanischem
Wege (Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen**

© by Springer-Verlag / Berlin · Göttingen · Heidelberg 1964

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1964

**Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeich-
nungen usw. in dieser Abhandlung 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.**

Dreidimensionale Instabilitätserscheinungen des laminar-turbulenten Umschlages bei freier Konvektion längs einer vertikalen geheizten Platte

Von

Pavle Čolak-Antić

Mit 55 Textabbildungen und 4 Stereo-Bildpaaren

(Vorgelegt in der Sitzung vom 13. Juli 1963)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	4
1.0. Experimentelle Apparatur und Methoden	8
1.1. Platte in Wasser	9
1.2. Platte in Luft	10
1.3. Angewandte Visualisierungsmethoden	14
1.4. Beleuchtungsquellen und photographische Ausrüstung	19
1.5. Temperaturmessungen	20
1.6. Geschwindigkeitsmessungen	21
1.7. Hitzdrahtmessungen sehr kleiner Geschwindigkeiten bei gleichzeitig auftretenden Lufttemperaturschwankungen	22
1.8. Hitzdrahtapparatur, -sonden und -eichung	25
1.8.1. Hitzdrahtapparatur	25
1.8.2. Hitzdrahtsonden	26
1.8.3. Windkanal für Hitzdrahteichungen	29
1.9. Zwei- und dreidimensionale Störungszeuger	30
2.0. Versuche mit der Platte in Wasser	32
2.1. Untersuchungen des Strömungsfeldes im Wassertank	33
2.2. Laminare Grenzschichtströmung	35
2.3. Tollmien-Schlichting-artige Störungswellen	36
2.4. Auftreten von Längswirbeln im Umschlaggebiet	38
2.4.1. Stromlinienbilder der Längswirbel in horizontalen Querschnittebenen	39
2.4.2. Stromlinienbilder der Längswirbel in vertikalen Querschnittebenen	39
2.5. Frontale Stereoaufnahmen des Umschlaggebietes	43
2.6. Kinematographische Stromlinien-Aufnahmen von Längswirbeln im Umschlaggebiet	47
3.0. Versuche mit der Platte in Luft	60
3.1. Rauchfäden-Visualisierung des laminar-turbulenten Umschlages	63
3.1.1. Rauchfäden-Visualisierung des Umschlages bei erzwungenen zweidimensionalen Störungen	64
3.1.2. Rauchfäden-Visualisierung bei natürlichem Umschlag	68
3.2. Temperaturmessungen	76
3.2.1. Temperaturverteilung auf der Plattenoberfläche	76
3.2.2. Temperaturverteilung in der Grenzschicht-Grundströmung	76
3.2.3. Störungstemperaturen bei erzwungenen zweidimensionalen Pulsdraht-Störungen	76
3.2.4. Temperaturmessungen bei natürlichem Umschlag	77

	Seite
3.3. Hitzdrahtmessungen	77
3.3.1. Bildung erzwungener Tollmien-Schlichting-artiger Wellen aus Pulsdrahtstörungen	78
3.3.2. Hitzdrahtmessungen der Störungsgeschwindigkeiten bei zweidimensionalen erzwungenen Pulsdraht-Störungen	80
3.3.3. Hitzdrahtmessungen bei natürlichem Umschlag.	86
4.0. Diskussion der erhaltenen Ergebnisse und Vergleich mit zur Zeit bestehenden theoretischen Arbeiten	87
4.1. Tollmien-Schlichting-artige Störungen. Vergleich mit den numerischen Resultaten von KURTZ und CRANDALL	88
4.2. Dreidimensionale Instabilitäterscheinungen und Längswirbelbildung	94
4.3. Vergleich der dreidimensionalen Grenzschicht-Instabilitäterscheinungen bei freier Konvektion und bei inkompressibler Plattenströmung ohne Druckgradienten	96
4.4. Weitere noch offene Fragen und mögliche Verbesserungen der Versuchstechnik	96
Zusammenfassung	98
Literatur	99
Anhang: Eingeführte Bezeichnungen	103
Nähere Aufnahmedaten zu den Abbildungen	104

Einleitung

Gegenstand dieser Arbeit ist die experimentelle Untersuchung dreidimensionaler Instabilitäterscheinungen des laminar-turbulenten Umschlages bei freier Konvektion längs einer vertikalen geheizten Platte und insbesondere das Auftreten von Längswirbeln.

In der letzten Zeit wurden besondere Anstrengungen gemacht, den Mechanismus des Umschlages der laminaren Grenzschichtströmung in die Turbulenz zu erforschen. Insbesondere sollten experimentelle Untersuchungen den dreidimensionalen Charakter des Umschlagprozesses näher klären, um den theoretischen Behandlungen eine Bestätigung der Richtigkeit oder der Notwendigkeit weiterer Verbesserungen des angenommenen Umschlagmodells zu liefern.

Es zeigte sich, daß der experimentell beobachtete Umschlagvorgang bei freier Konvektionsströmung längs einer geheizten vertikalen Platte eine große Ähnlichkeit mit dem Umschlag einer laminaren inkompressiblen Grenzschichtströmung längs einer ebenen Platte aufweist. Darauf hatten wohl als erste ECKERT, SOEHNGEN und SCHNEIDER [1] hingewiesen, die mit Hilfe eines Zehnder-Mach-Interferometers das Auftreten Tollmien-Schlichting-artiger Temperaturschwankungen in der Grenzschicht einer vertikalen geheizten Platte in Luft feststellten und gleichzeitig auch Strömungs-