



Doctoral Thesis

Die Berechnung von stationären Hochtemperaturströmungen in Kanälen mit veränderlichem Querschnitt bis in den Ueberschallbereich unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug von Masse und Wärme

Author(s):

Zuzák, Tomáš

Publication Date:

1976

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000090897> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. Nr. 5839

**DIE BERECHNUNG VON STATIONÄREN
HOCHTEMPERATURSTRÖMUNGEN IN KANÄLEN
MIT VERÄNDERLICHEM QUERSCHNITT
BIS IN DEN ÜBERSCHALLBEREICH
UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON
ZUGABE UND ENTZUG VON MASSE UND WÄRME**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

TOMÁŠ ZUZÁK

Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 12. Juni 1946
Tschechoslowakischer Staatsangehöriger

Prof. M. Berchtold, Referent
Prof. Dr. W. Traupel, Korreferent

1976

Druckerei Blum und Good

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit untersuche und berechne ich Gasströmungen bei hohen Temperaturen, sogenannte Plasmaströmungen. Die Strömung steht unter dem Einfluss von Querschnitts-, Energie-, Impuls- und Massenstromänderung. Besondere Aufmerksamkeit widme ich dem Einfluss der Dissoziation und Ionisation.

Folgende Annahmen werden getroffen:

- * Massenstrom-, Impuls- und Querschnittsänderung
- * Wärmezu- oder -abfuhr
- * Vollständige Durchmischung der zugeführten Masse mit dem Hauptstrom
- * Berücksichtigung der Wandreibung; die Reibungswärme kann sowohl ins Gas als auch nach aussen abgegeben werden
- * Eindimensionale Strömung, in einem Spezialfall Zweizonenströmung
- * Stationäre Strömung
- * Unterschall- und Uberschallströmung
- * Kontinuierliche Strömung (Ausschluss der Verdichtungsstöße)
- * Plasma als homogenes Medium (Einflüssigkeitsmodell)
- * Gas im thermodynamischen Gleichgewicht
- * Gaseigenschaften von der Temperatur und vom Druck abhängig (reales Gas)

Durch die Anwendung der Kontinuitäts-, Energie-, Impuls- und ergänzenden Gleichungen entsteht ein System von nichtlinearen Differentialgleichungen. Sie werden mit Hilfe des Computerprogrammes in Fortran IV nach der Methode von Runge-Kutta gelöst. Die Bestimmung der Stelle, wo Schallgeschwindigkeit erreicht wird, erfolgt nach der Newton- und der Regula-Falsi-Methode.

Das Rechenprogramm erlaubt, die oben genannten Einflüsse auf die Strömung einzeln oder überlagert zu untersuchen (Kap.5).

Für eine Strömung mit Querschnittsänderung werden der Verlauf der Temperatur, des Druckes und der Geschwindigkeit gerechnet. Der Einfluss der Dissoziation und Ionisation auf die Strömung wird mit einem Koeffizienten charakterisiert.

Bei Massenzufuhr durch die poröse Kanalwand wird für kleine Geschwindigkeiten der Temperaturverlauf perfekter Gase explizit analytisch bestimmt. Bei grösseren Geschwindigkeiten berechne ich mit Hilfe des Computers den Verlauf der Temperatur und der Machzahl perfekter Gase für $\kappa=1,4$ und $\kappa=1,3$. Die Resultate sind graphisch dimensionslos dargestellt. Das unterschiedliche Verhalten eines perfekten und eines realen Gases charakterisiere ich mit einem Koeffizienten. Dieser Koeffizient kann rechnerisch oder graphisch aus dem Enthalpie-Temperatur-Diagramm des Arbeitsgases bestimmt werden. In den Gebieten der Dissoziation und Ionisation ergeben sich im Verhalten eines perfekten und eines realen Gases wesentliche Unterschiede.

Für eine turbulente Vermischung zweier Gasströme (freie Turbulenz) können die Gleichungen für den Temperaturverlauf geschlossen gelöst werden. Voraussetzung dafür sind kleine Geschwindigkeiten der Gasströme und perfekte Gase als Medium. Bei einer turbulenten Vermischung mit hohen Geschwindigkeiten berechne ich mit Hilfe des Computers den Verlauf der Temperatur und der Machzahl. Die Resultate sind graphisch dimensionslos dargestellt.

Weiter bestimme ich bei transsonischen Strömungen die Stelle des Kanals, wo die Schallgeschwindigkeit erreicht ist. Für reale Gase und Querschnittsänderungen liegt diese Stelle nicht im engsten Querschnitt; sie wird iterativ berechnet. Für Querschnittsänderungen mit Massenzufuhr formuliere ich für perfekte Gase die Bedingung zum Erreichen der Schallgeschwindigkeit. Ausführlich gehe ich auf die Spezialfälle ein, bei denen die

Geschwindigkeit der zugeführten Masse gegen den Hauptstrom, senkrecht zum Hauptstrom und in Richtung des Hauptstromes erfolgt.

Als Anwendungsbeispiel untersuche ich den Fall einer Stickstoffströmung mit Wärmezufuhr durch einen Lichtbogen. Anhand des Zwei-Zonen-Modells berechne ich iterativ den Verlauf von Temperatur, Druck, Geschwindigkeit und Querschnitt der Plasmaströmung. Die dominierenden Effekte Konvektion, Strahlung und Turbulenz an der Zonengrenze werden diskutiert. Die Resultate der Berechnung werden mit Messdaten verglichen und die Abweichungen diskutiert.

SUMMARY

A high temperature stream (plasma) was investigated:

A one dimensional and stationary trans-sonic stream is subject to the influence of a change in cross section, energy, impulse and mass. The non-linear differential equations were solved using a computer. The programme permitted the influence of the above parameters on the stream to be examined both individually or superimposed on one another. The results are presented graphically with no dimensions given. The influence of dissociation and ionization becomes apparent. The trans-sonic position is discussed. Finally a nitrogen stream with an electric arc providing the supply of heat is investigated using the two-zone model. The results of the calculation are compared with measured values and deviations are discussed.