ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: ENERGETYKA z. 98 Nr kol. 1022

Adalbert GEORGES

Ingenieurhochschule Zittau, DDR

EIN VERSUCHSSTAND ZUR UNTERSUCHUNG TRANSIENTER STRÖMUNGSVORGÄNGE MIT HILFE DER MESSUNG DES ÖRTLICHEN WÄRMEÜBERGANGES IN GRENZSCHICHTSTRÖMUNGEN

Zusammenfassung. Es wird über eine Messstrecke am Strömungskanal der Ingenieurhochschule Zittau und die vorgesehenen Untersuchungen zum Übergangsgebiet laminar-turbulent von Grenzschichten berichtet. Erste Versuchsergebnisse werden vorgestellt und mit Ergebnissen nach dem Grenzschichtberechnungsverfahren von VOGEL [1] verglichen. Die Übereinstimmung ist gut.

1. Einleitung

Aufgrund der Ergebnisse der bisherigen theoretischen und experimentellen Untersuchungen über Strömungs - und Temperaturgrenzschichten [1, 2, 3] ergab sich die Notwendigkeit genauerer Betrachtungen der Probleme, die mit dem Übergang von laminarer in turbulente Grenzschicht verbunden sind. Einer Berechnung der sogenannten transienten Grenzschicht stehen erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Die empirischen Zusamenhänge zwischen vorgegebenen Parametern wie der RYENOLDS-Zahl, dem Druckgradienten, der Aussenturbulenz und abhängigen Grenzschichtgrössen sind weitaus vielschichtiger als das bei ausgebildeten turbulenten Grenzschichten der Fall ist. Bei den Experimenten erfolgt die Bestimmung des Grenzschichtzustandes mit Hilfe der Messung des örtlichen Wärmeüberganges, was sich bei den bisherigen Untersuchungen gut bewährt hat. Neben einer Ausarbeitung eines einheitlichen Rechenverfahrens für laminare, transiente und turbulente Grenzschichten wurden die Voraussetzungen für experimentelle Untersuchungen mit dem Aufbau eines entsprechenden Strömungskanals geschaffen [4], worüber hier berichtet wird. Der Versuchsstand wurde 1984 in Betrieb genommen [5].

2. Versuchsaufbau und Messtechnik

Der vorhandene offene Niedergeschwindigkeitskanal wurde auf Umlaufbetrieb umgebaut. Es entstand ein geschlossener Windkanal. Alle Kanalteile umgibt eine aus mehreren Schichten bestehende Isolation. Durch diese Massnahme werden Temperaturen von 100 bis 130°C für den Versuchsbetrieb er-

reicht. Eine sichere Betriebsführung mit dem eingesetzten Gebläse ist bis 150°C Lufttemperatur möglich. Ist ein Beharrungszustand erreicht, beträgt die Temperaturschwankung noch max. 2°C. Bild 1 informiert über den Aufbau der Versuchsanlage. Der Messstellenplan ergänzt den Überblick. Als einzelne Bestandteile des Kanals sind zu nennen: Das Gebläse vom Typ GRF 400/890, 50 KW Antriebsleistung, die sich bis auf 900 mm zum Quadrat erweiternde Rohrleitung, der Beruhigungsraum mit rechtwinklig abgehender Bypassentnahmeleitung NW 400 einschliesslich Drosselorgan, die Düse, die Messstrecke und die Rückführleitung NW 400 mit Ejektor und Abblaseleitung NW 160.

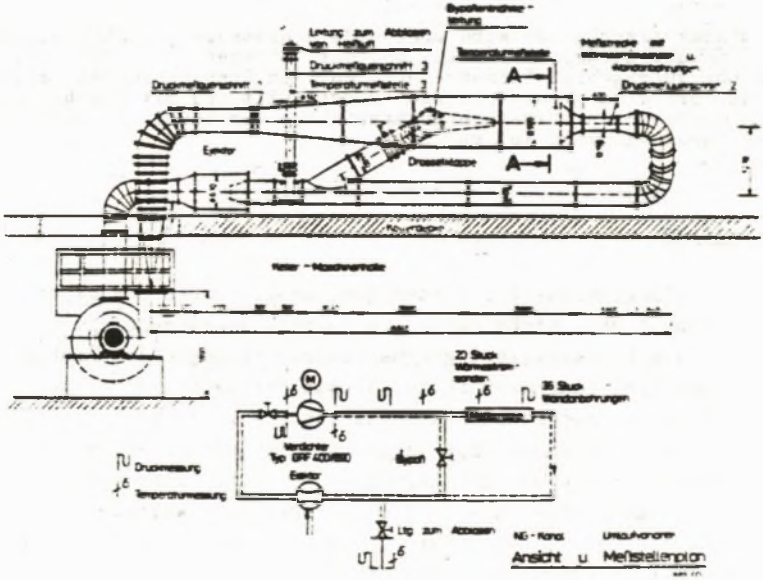
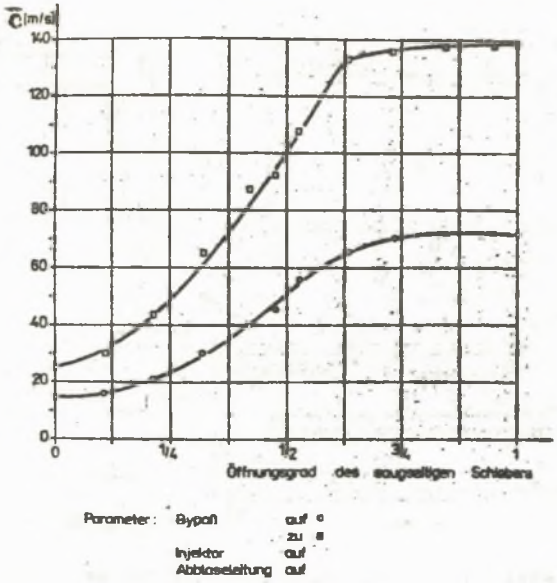


Bild 1. Versuchsanlage
Rys. 1. Instalacja badawcza

Die Strömung wird durch die Düse stark beschleunigt in die Messstrecke geführt, wobei Geschwindigkeiten von 12 bis 140 m/s realisiert werden. Bild 2 informiert über die mittlere Geschwindigkeit $\bar{c}$ in der Messstrecke ohne eingebauter Messplatte bei Änderung ausgewählter Parameter der Stellorgane am Versuchsstand. Der freie Querschnitt der Messstrecke beträgt 160x160 mm, ihre Länge misst 400 mm. In der Mitte der Messstrecke befindet sich senkrechtstehend die längsangeströmte ebene Platte, deren Grenzschicht Gegenstand der Untersuchung ist. Die für die Untersuchungen notwendigen Druckgradienten werden durch entsprechend profilierte Ein-



Anlage 3: Die mittlere Geschwindigkeit c̄ in der Meßstrecke in Abhängigkeit vom Öffnungsgrad des Gebläse - schiebers bei ausgewählten Parametern

Bild 2. Regelbereich der Messstrecke
Rys. 2. Możliwości regulacyjne stanowiska badawczego

bauten an den gegenüberliegenden Wänden erzeugt. In verschiedenen Abständen vor der Messplatte lässt sich ein Turbulenzgenerator anbringen. Die Bilder 3, 4 und 5 informieren über die experimentellen Möglichkeiten mit der Messstrecke. Bild 6 zeigt die Messplatte ohne An - und Abströmkonturen mit Angabe der Positionen der Wärmestromsonden und Wandanbohrungen. Die Messplatte besteht aus zwei längsgeteilten wasserdicht zusammengefügten Platten, die im Inneren gekühll werden. In einer Plattenhälfte sind 20 Wärmestromsonden geometrisch versetzt eingebaut. In der gleichen Platte befinden sich 35 Wandanbohrungen. Damit erhält man Informationen über die Druckverhältnisse. Die andere Plattenhälfte bildet die Rückseite. Ohne die auswechselbaren An - und Abströmkonturen misst die Platte in der Gesamtlänge 288 mm. Die Plattendicke beträgt 18 mm. Bild 7 gibt die Platte mit bestückten Thermoelementen und Sonden von innen wider, Bild 8 Stellt die Platte im ausgebauten Zustand dar. Die An - und Abströmkontur besitzen aerodynamische Form. Bild 9 illustriert die eingebaute Messstrecke in der Versuchsanlage.

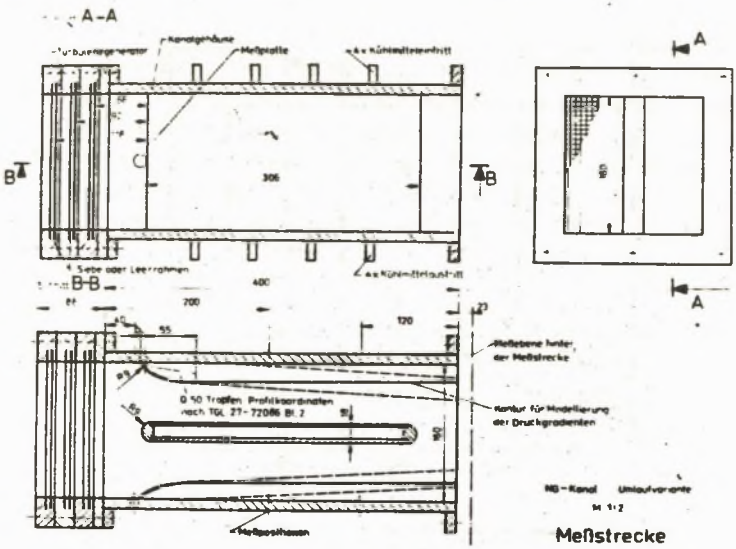


Bild 3. Mögliche Versuchsvarianten mit der Messstrecke

Rys. 3. Możliwe warianty rozwiązań konstrukcyjnych komory pomiarowej

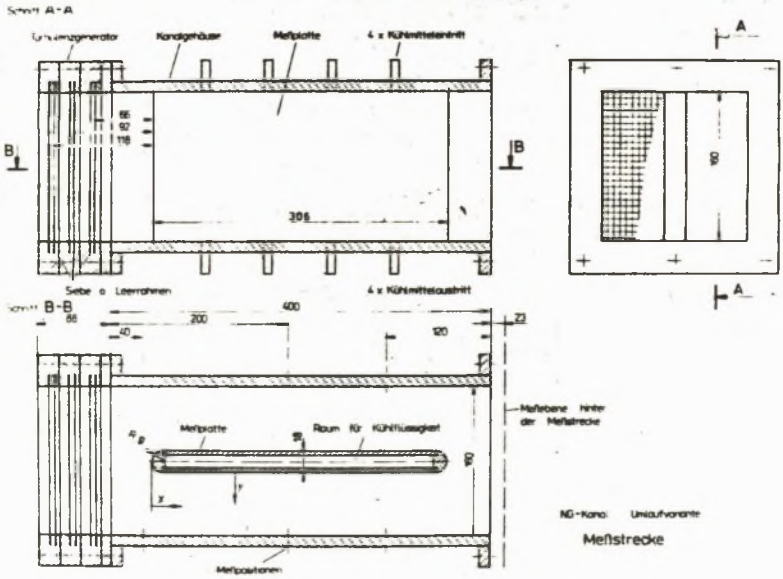


Bild 4. Mögliche Versuchsvarianten mit der Messstrecke

Rys. 4. Możliwe warianty rozwiązań konstrukcyjnych komory pomiarowej

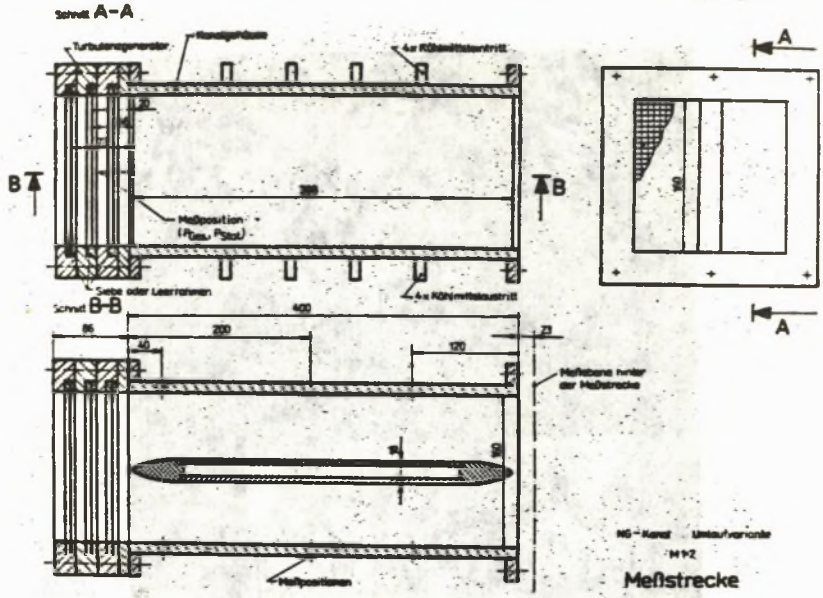


Bild 5. Mogliche Versuchsvarianten mit der Messstrecke

Rys. 5. Możliwe warianty rozwiązań konstrukcyjnych komory pomiarowej

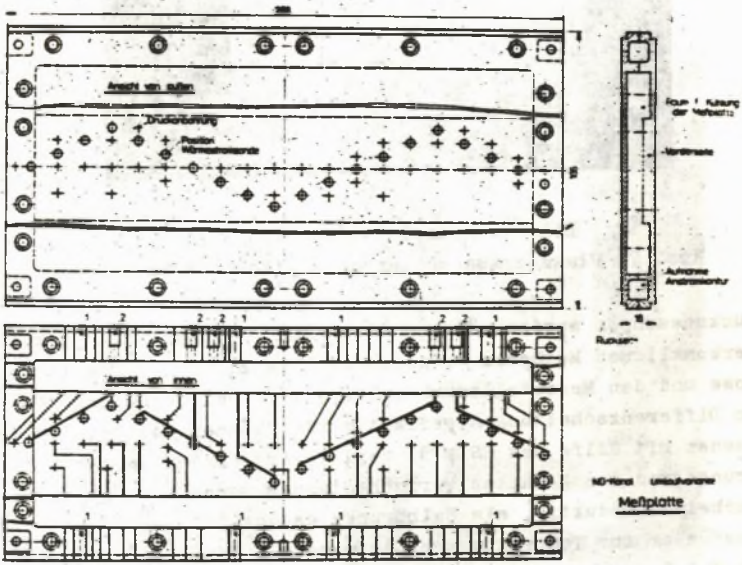


Bild 6. Messplatte von aussen

Rys. 6. Płaszczyzna pomiarowa - widok z zewnątrz

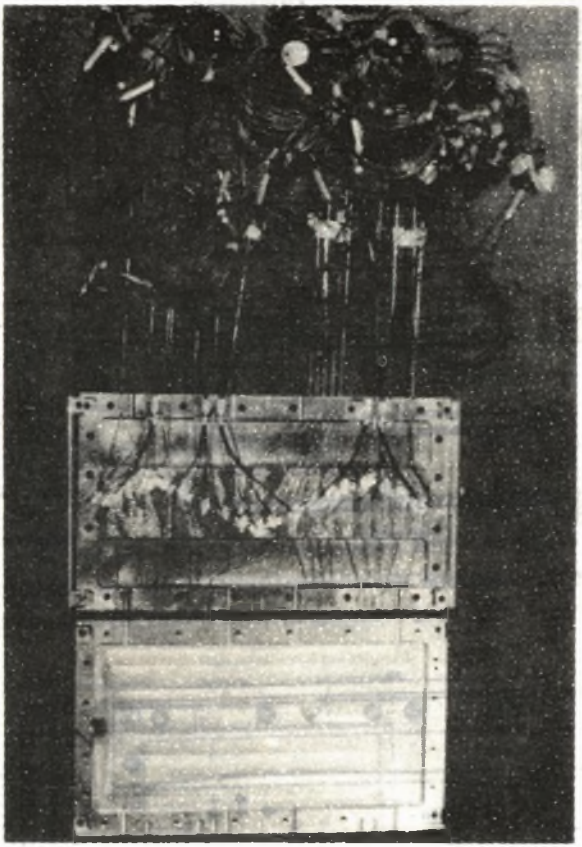


Bild 7. Messplatte von innen
Rys. 7. Płaszczyzna pomiarowa - widok z wewnątrz

Die Druckmessungen wurden während der bisher durchgeführten Experimente nach herkommlichen Methoden vorgenommen. Die Bilder 10 und 11 zeigen die Messdose und den Messstellenumschalter, mit dem in Zukunft 48 Messstellen in Differenzschaltung abgefragt werden können. Die elektrischen Signale konnen mit Hilfe des ESDM 31 registriert werden, wodurch der Automatisierungsgrad des gesamten Versuchsstandes verbessert wird. Die Druckmessdose arbeitet induktiv, als Halbbrücke geschaltet [6].

Als Messfühler zur Temperaturmessung werden Manteltherm oelemente NiCr-Konstantan ϕ 0,5 mm nach TGL 33291 verwendet. Die Bestimmung der örtlichen Wärmeenergieströme erfolgt mit Wärmestromsonden nach GARDON, die auf der Basis eines Wärmewiderstandes arbeiten, der auch Hilfswand genannt

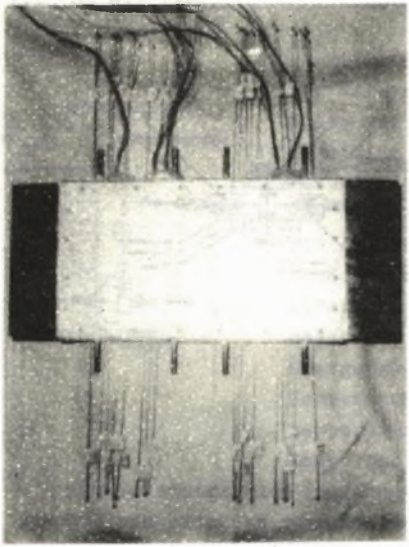
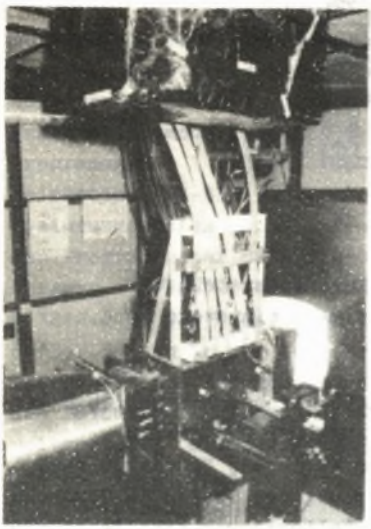


Bild 8. Messplatte zusammengebaut mit aerodynamischen An - und Abströmprofil

Rys. 8. Płaszczyzna pomiarowa połączona z profilem wlotowym i wylotowym



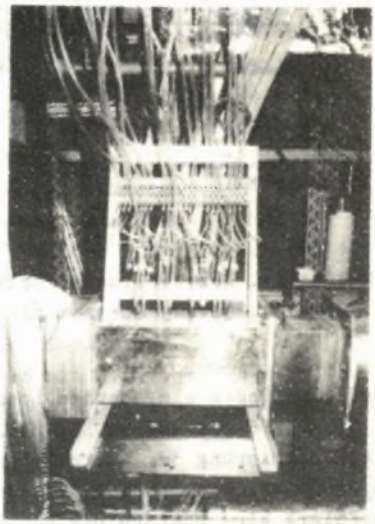


Bild 9. Messstrecke in der Versuchsanlage

Rys. 9. Odcinek pomiarowy w instalacji badawczej

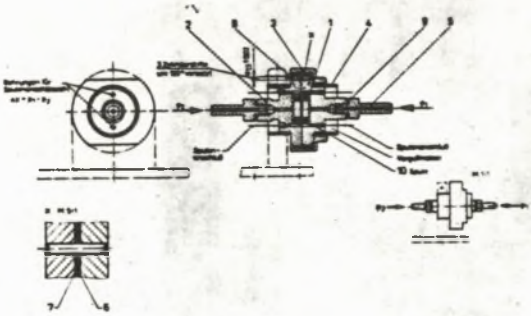


Bild 10. Messdose, Prinzipdarstellung
Rys. 10. Ideowy schemat czujnika pomiarowego

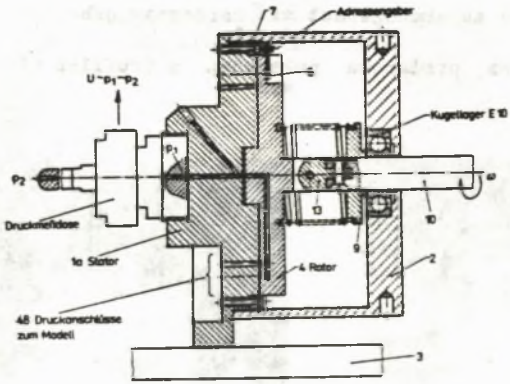


Bild 11. Messstellenumschalter, Prinzipdarstellung
Rys. 11. Ideowy schemat przełącznika pomiarowego

wird. Diese wandbündig eingebauten Sonden haben sich schon in den Untersuchungen bei WEISS [2] und SAUER, SEIDEL, RUTTLOFF [7] bewährt.

Für die Kalibrierung der Wärmestromsonden wurde das Verfahren nach KAISER [8] genutzt. Nach zwei Jahren der Nutzung der Sonden im Versuchsbetrieb erfolgre eine Überprüfung der durch Kalibrierung erhaltenen Übertragungskoeffizienten durch ein vom Verfasser entwickeltes Verfahren [9]. Unter Nutzung eines monochromatischen Energiestrahlers grosser Leistungs-

dichte (LASER) konnten die Überganskoeffizienten exakter bestimmt werden.

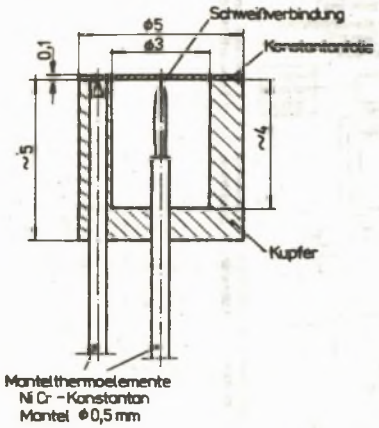


Bild 12. Wärmestromsonde
Rys. 12. Sonda przy pomiarze strumienia ciepła

Bild 12 illustriert die verwendeten Wärmestromsonden. Die zwischen Mitte und Rand an der wandbündig eingesetzten Hilfswand gemessenen Temperaturdifferenzen sind ein Mass für den Wärmestrom vom Fluid zur Wand. Mit dem Thermoelement am Rand der Sonde werden die absoluten Wandtemperaturen gegenüber dem Vergleichsmesspunkt (Eis) bestimmt. Der Wärmeübergangskoeffizient ist der auf die Temperaturdifferenz zwischen Gesamttemperatur des Fluids am Grenzschichtrand und Wandtemperatur bezogene Wärmestrom. Die erforderlichen Temperaturmessungen zur Ermittlung der Wärmeströme an der Platte und deren Registrierung nimmt die automatische Messwerterfassungsanlage, "Digitale Messund und Messwertausgabe "kurz WSDM 31 genannt, vor. Bild 13 informiert über die Messwerterfassung und den Gerätekomplex. Für den Nutzer des Systems ESDM 31 ist die Kenntnis über die externe Verkabelung von Bedeutung. Im einzelnen sind die folgenden Geräte genutzt:
Umsetzer S-3291.010 zur Steuerung des Streifendruckes S-3291.310, der Messstellenumschalter mit den Bestandteilen Steuerteil S-3201.010, dem Programmgeber 1 S-3201.050, dem Programmgeber 3 S-3201.070, fünf Schalteinheiten 1 S-3201.020 und dem Programmumschalter S-3201.040. Das Serialisierungssystem enthält die Bausteine Umsetzer 1/1 und 1/2 S-3297.020, den Programmgeber S-3297.040, den Treiber 1 S-3297.120 und die Stromversorgung 1 S-3297.010. Weiterhin sind eingesetzt ein Digitalvoltmeter G 1212.010, die Elektronik S-3297.321, die Auf - und Abspuler S-3297.331, S-3297.341 sowie der Messwertlocher S-3297.511.
Die erhaltenen Informationen werden mit Hilfe des Messwertlochers auf den Datenträger (Lochband) übertragen und zur Off-line-Verarbeitung bereitgestellt. Mit dem FORTRAN - Programm WAR 1, das auf einem ESER - Rechner 1022 abgearbeitet wird, werden die interessierenden Grössen, wie die Wärmeübergangskoeffizienten, die STANTON-Zahl, die NUSSELT-Zahl und weitere Grössen berechnet. Die von Streifendrucker gelieferten Druckstreifen dienen der sofortigen Kontrolle der gemessenen Signale.

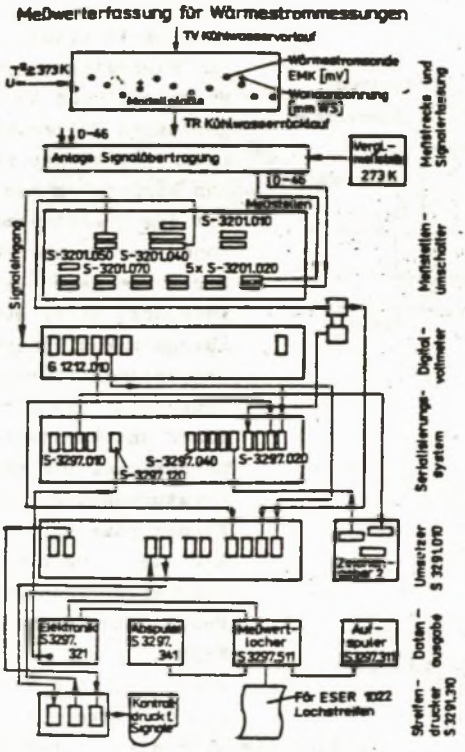


Bild 13. Messwerterfassungsanlage
Rys. 13. Schemat pomiarowy

3. Messergebnisse

Die Messung wurde an der Platte ohne zusätzlich durch Einbauten erzeugten Druckgradienten durchgeführt. Der Druckgradient war sehr gering. Im vorderen Teil der Platte ergab sich durch das Abklingen der Höchstgeschwindigkeit bei Umströmung der Plattennase ein geringer Druckanstieg. In der hinteren Hälfte zeigte sich ein schwacher Druckabfall, der sich durch die Verdrängungswirkung der Grenzschichten an der Platte und den Kanalwänden erklären lässt. Die Grenzschichten sind jedoch im Verhältnis zur Kanalweite sehr dünn. Bei den Messungen wurden die Geschwindigkeiten und damit die REYNOLDS-Zahl sowie Turbulenzgrad durch unterschiedliche Stabgitter vor der Platte variiert. Ohne Stabgitter ergibt sich ein Tur-

bulenzgrad in der Messstrecke von 1 bis 2%. Fur zwei Fälle sind die gemessenen STANTON-Zahlen zusammen mit den Kurven, die nach dem Verfahren von VOGEL [1] berechnet wurden, in Bild 14 dargestellt. Durch die in erster Variante halbrunde Plattennase und die sich damit vorn ausbildende

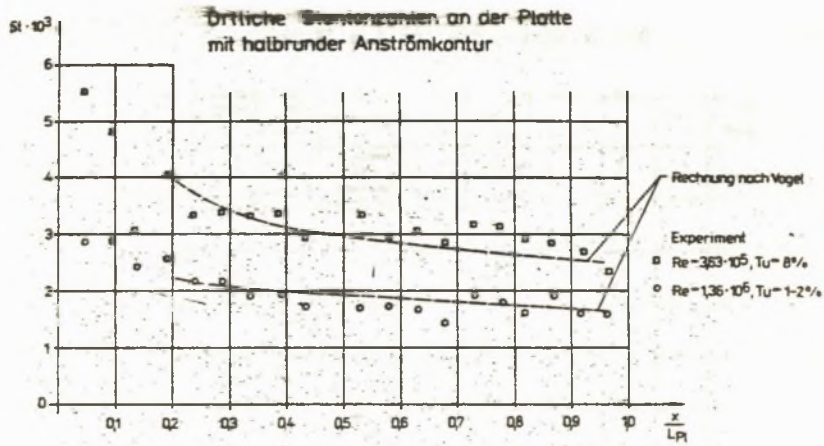


Bild 14. Vergleich Theorie - Experiment
Rys. 14. Porównanie obliczeń i eksperymentów

Ablöseblase ist die Grenzschicht über der gesamten Lauflänge turbulent. Die Berechnung wurde deshalb erst stromabwärts von der Ablöseblase begonnen, wobei am Berechnungsanfang die gleichen STANTON-Zahlen wie beim Experiment angenommen wurden. Die geringfügigen Druckgradienten wurden bei der Berechnung berücksichtigt. Der hohe durch das Stabgitter hervorgerufene Turbulenzgrad vor der Platte bon 8% nimmt stromabwärts ab, was bei der Berechnung ebenfalls beachtet wurde. Die Messwerte im Bild 14 streuen mehr oder weniger stark. Eine wesentliche Ursache dürften die Störungen an der Plattenoberfläche durch unvermeidbare geringfügige Wölbungen der Folien der Wärmestromsonden sein, die bei einer Strömung mit nahezu verschwindendem Druckgradienten die Ausbildung der Grenzschicht stärker beeinflussen, als bei Strömungen mit grösseren Druckgradienten. Die kommenden Untersuchungen sollen sich vorrangig auf Grenzschichten von beschleunigten Stromungen konzentrieren.

Die geringen Dicken beschleunigter Grenzschichten bringen bei der angewandeten Messmethode mit Wärmestromsonden keine Probleme bei der Realisierung einer hohen Messgenauigkeit mit sich. Um die Problematid des Übergange von laminarer in turbulente Grenzschicht systematisch untersucher

zu können, wurde die Platte vorn und hinten mit einem entsprechenden aerodynamischen Profil versehen. Bild 15 zeigt im Vergleich die experimentell bestimmten STANTON-Zahlen mit der Theorie nach VOGEL [1]. Es konnte nachgewiesen werden, dass laminare, turbulente und transiente Grenzschichtzustände mit der Versuchsanlage sehr gut simuliert werden können.

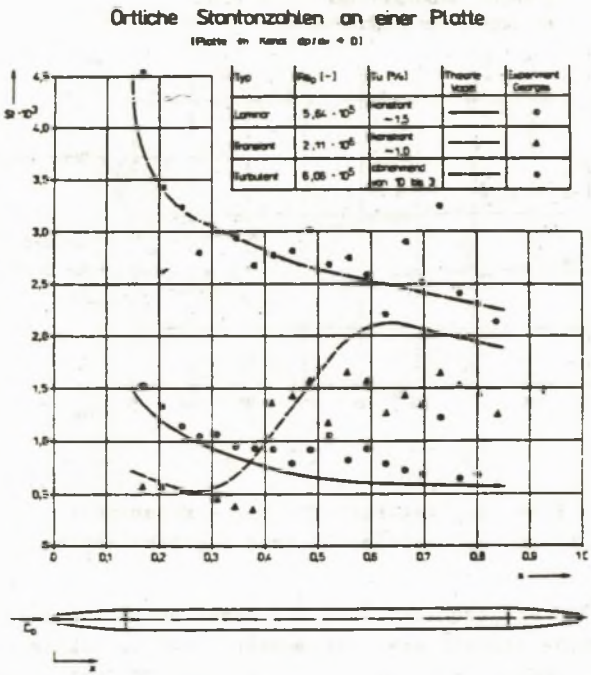


Bild 15. Nachweis laminarer, transienter und turbulenter Grenzschichten im Vergleich Theorie - Experiment

Rys. 15. Ilustracja przebiegu przejścia od laminarnej do burzliwej warstwy przyściennej - teoria i eksperyment

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Vogel, H.: Berechnung ebener inkompressibler und kompressibler Strömungs - und Gesamtenthalpiegrenzschichten. Dissertation IH - Zitau, 1975.

[2] Weiss, E.: Experimentelle Untersuchungen des örtlichen Wärmeübergangs an Turbinenschaufeln im Gitterkanal. Dissertation IH - Zitau, 1979.

[3] Weiss, E.: Weiterführung der experimentellen Untersuchungen zur Bestimmung des örtlichen Wärmeüberganges an Bauteilen von Turbinen und zur Entwicklung von Berechnungsverfahren - Entwicklung der Messtechnik. Unveröffentlichter Forschungsbericht K 534/79, IH Zittau, 1979.

[4] Georges, A.: Umlaufvariante des NG-Kanals, Versuchsstandsprojekt. Unveröffentlichter Forschungsbericht K2S-134/81, IH Zittau, 1981.

[5] Georges, A.: Erprobung des Niedergeschwindigkeitskanals in geschlossener Variante. Unveröffentlichter Forschungsbericht K 1086/83, IH Zittau, 1983.

[6] Beger, G.: Druckmesseinrichtung mit Umschalter für 48 Messstelen und digitaler Messwertverarbeitung, Maschinenbautechnik 21 (1972) Heft 9, Seite 388-389.

[7] Sauer, H.: Seidel, G.: Ruttloff, G.: Strömungsparameter und Wärmeübergangskoeffizienten in Turbinengitter grosser Umlenkung. Maschinenbautechnik (33) 1984, Heft 11, Seite 484-490.

[8] Kaiser, E.: Die Kalibrierung wandbundig eingebauter Hilfswand-Wärmestromaufnehmer. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 29 (1980) 2, Seite 455-457.

[9] Georges, A.: Ein Beitrag zur Kalibrierung von Wärmestromsonden. Maschinenbautechnik, erscheint 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987

INSTALACJA BADAWCZA PRZEPŁYWU PRZEJŚCIOWEGO W WARSTWIE GRANICZNEJ Z WYKORZYSTANIEM POMIARÓW LOKALNYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW WNIKANIA CIEPŁA

S t r e s z c z e n i e

Artykuł zawiera opis instalacji badawczej przeznaczonej do badań strefy przejściowej między laminarną a burzliwą warstwą graniczną. Szczególną uwagę zwrócono na główne elementy układu pomiarowego oraz metodykę badawczą. Podstawowe informacje uzyskiwane są z pomiaru lokalnych współczynników wnikania ciepła. Do ich określenia wykorzystano zminiaturowane sondy strumieni ciepła. W artykule przedstawiono także wybrane rezultaty pomiarów i ich porównanie z metodą obliczeniową Vogela [1].

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ УСТАНОВКА ПЕРЕХОДНОГО ТЕЧЕНИЯ В ГРАНИЧНОМ СЛОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОНИКАНИЯ ТЕПЛА

Р е з ю м е

В статье даётся описание исследовательской установки, предназначенной для исследований переходной зоны между ламинарным и вихревым граничным слоем. Особое внимание обращено на главные элементы измерительной системы и исследовательский метод. Основная информация получается по местным измере-

ниям коэффициентов проникания тепла. Для определения этих коэффициентов использованы миниатюризованные зонды потоков тепла.

В статье представлены также выбранные результаты измерений и их сравнение с расчётным методом Фогеля [1].