"Laminar"-Profile

typ. laminare Laufstrecken: 60-70% Saugseite 70-95% Druckseite



- ⇒ Vorhersage der Umschlagslage ist essentiell für den Profilentwurf
- zur Erzielung der laminaren Laufstrecke
- zur Vermeidung (Kontrolle) von Ablöseblasen
- zur Steuerung des Umschlagsverlaufs (Delleneck, c_{a-max})

Motivation



lokale Umschlagskriterien:

- ⇒ basierend auf lokalen Grenzschichtgrößen
- \Rightarrow heute kaum noch im Einsatz

nichtlokale Umschlagskriterien:

⇒ berücksichtigen Grenzschichtentwicklung und Stabilitätseigenschaften









Amplitudenentwicklung von Tollmien-Schlichting (TS)-Wellen

Umschlagsvorhersage bei unterschiedlicher Grenzschichtentwicklung

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart





Grenzschichtprofil und TS-Eigenfunktion

-







Stabilitätsanalyse SM-701

Auswirkung: $\Delta s_{tr}=0.10 \Rightarrow \Delta c_w=+13,2\%$

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Ę

Vergleich der Umschlagsbestimmung XFOIL - lineare Stabilitätstheorie





Video1: Wanddruckschwankungen von **TS-Wellen am Windkanalmodell**



Video2:

Direkte Numerische Simulation DNS, vollständige Lösung der Navier-Stokes Gleichungen

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Video zur Umschlagsentwicklung





$$n = ln \frac{A}{A_0}$$
, $n = 11$ (Lamin arwindkanal), $\frac{A}{A_0} = 59.900$

Rezeptivität: Umsetzung von Störungen in TS-Amplitude

- Turbulenz
- Schall
- Vibration (0,1µm)
- lokale Oberflächenstörung
- Welligkeit / Rauhigkeit
- Oberflächenkrümmung
- Grenzschichtwachstum

Kenntnisse über den Mechanismus ermöglichen indirekt Kenntnisse über das Störfeld



Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Anfangsamplitude — Rezeptivität









Meßaufbau mit Grenzschichtsonde

Streifenhöhe: 0,034mm Streifenbreite: 1 - 24mm

Geschwindigkeitsverteilung und Grenzschichtgrößen

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Rezeptivität von 2D-Störungen





Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Rezeptivität von 2D-Störungen





In Zusammenarbeit mit TU-Berlin geplant:

- Freiflugversuche mit 2D-Streifen
- Signalanalyse mit Oberflächenhitzdrähten
- Störungsseparierung



Laminarhandschuh, TU-Berlin

Quantitative Messungen zur akustischen Rezeptivität bei einer 3D Oberflächenstörung

displacement

- stationär/ instationär
- Frequenz
- Druckgradient max: 42um Rezeptivitätsfunktion ^{0.5}[G_{av1,2}[-] ^{0.5}[G_{av1,2}[-] ^{0.5}[G_{av1,2}[-] ٥. 0.4 0.4 0.3 0.2 0 0.1 0.1 0.1 0.0L 0.0**l** 0.0L -20 -20 20 ⁴⁰Θ[°] -40 20 ⁴⁰ Θ[°] -40 -20 -40 0 0 0 20 40 Θ [°] 720Hz 1088Hz 1560Hz

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik Universität Stuttgart

Stand der Rezeptivitätsuntersuchungen



Durch Rezeptivitätsuntersuchungen ist es möglich:

- wesentliche physikalische Mechanismen zu verstehen, die zur Umsetzung von Störungen in TS-Wellen führen
- die "Gefährlichkeit" dieser Mechanismen bzgl. des laminarturbulenten Umschlags zu quantifizieren
- indirekt Aussagen über die (nicht meßbaren) initialen Störungen zu gewinnen
- evtl. (in Zukunft) gezielt in den Mechanismus einzugreifen um die Entstehung von TS-Wellen zu dämpfen

⇒ längere laminare Laufstrecken zu ermöglichen

