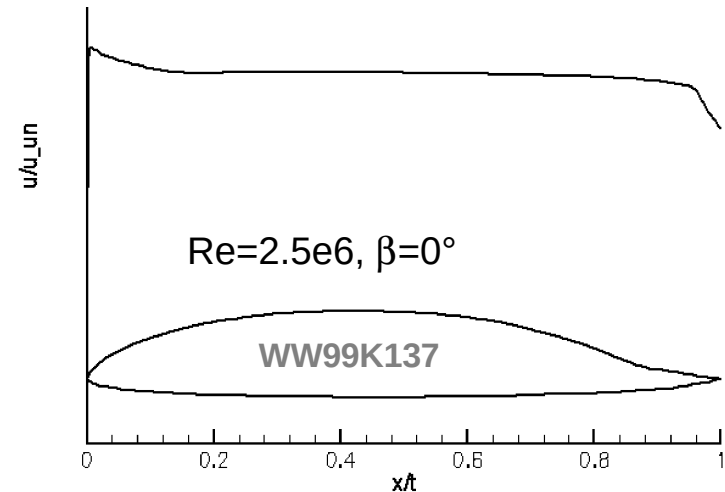
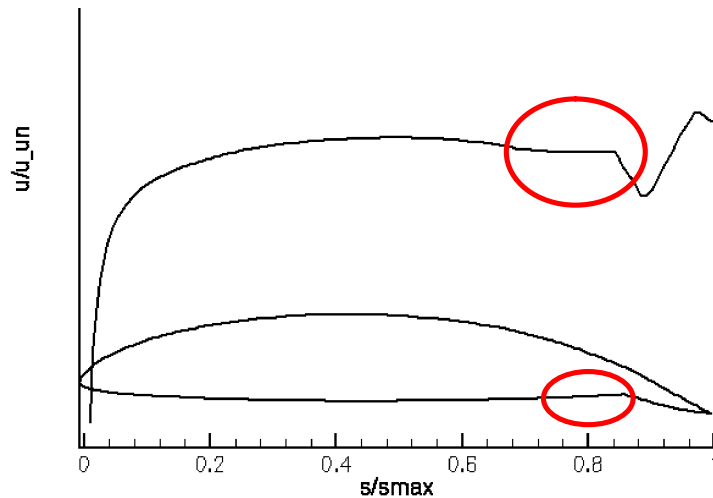


Auslegung eines Membranaktuators unter Berücksichtigung der Stabilitäts- und Rezeptivitätseigenschaften der Grenzschicht

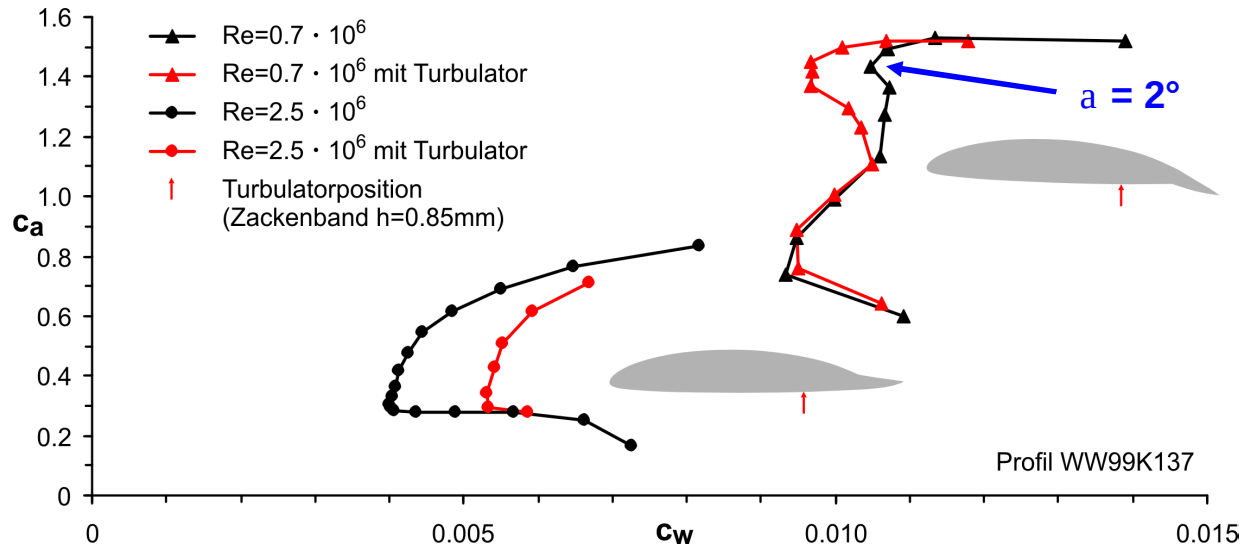
D. Sartorius, W. Würz und S. Wagner

Institut für Aerodynamik und Gasdynamik der Universität Stuttgart

- ➡ **Einleitung / Motivation**
- ➡ **Vorgehen**
- ➡ **Ergebnis**
- ➡ **Zusammenfassung**
- ➡ **Ausblick**



- Druckanstieg bei ausgeschlagener Klappe induziert eine laminare Ablöseblase vor der Klappe
- Widerstandsreduzierung mit Turbulator vor der Ablösung
- Im Schnellflug sehr lange laminare Laufstrecke auf der Profilunterseite bis 95%

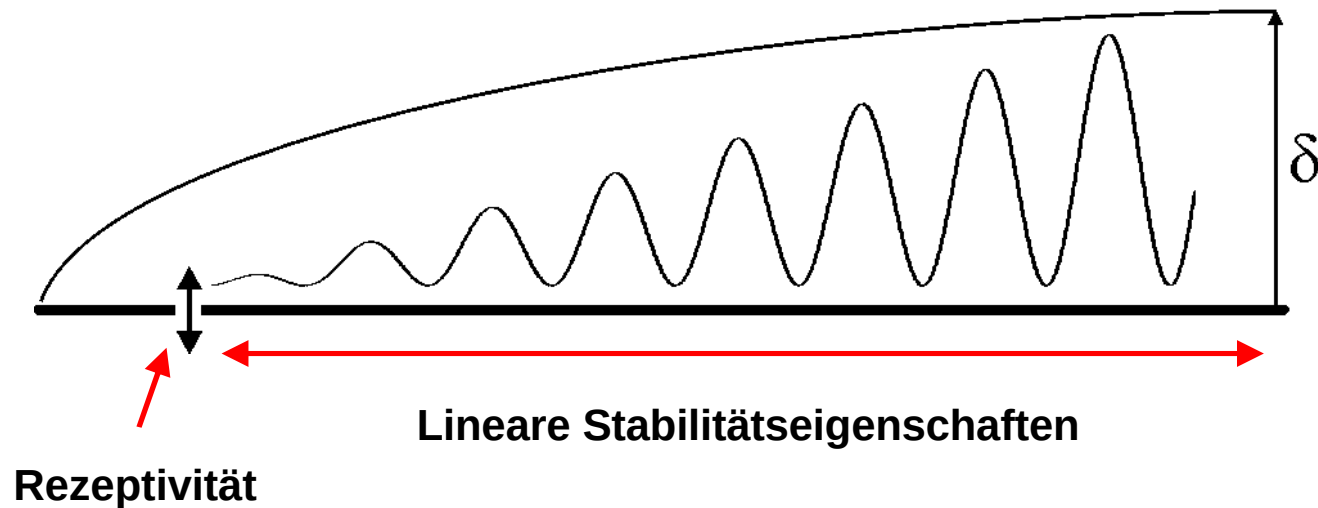


- ➡ Mechanischer Turbulator optimiert nur einen Flugzustand und wirkt sich nachteilig im Schnellflug aus
- ➡ Adaptiver Turbulator für wechselnde Anforderungen im Flug

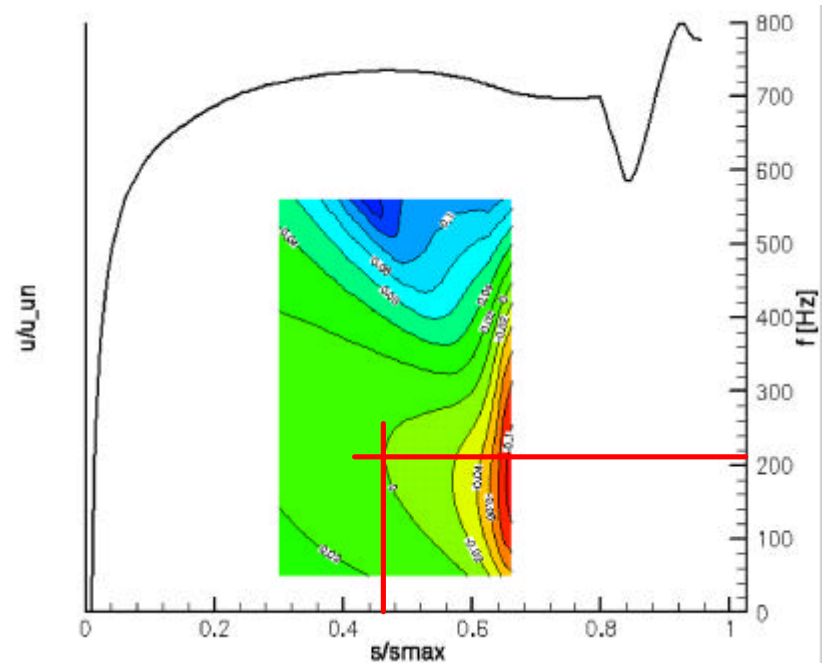
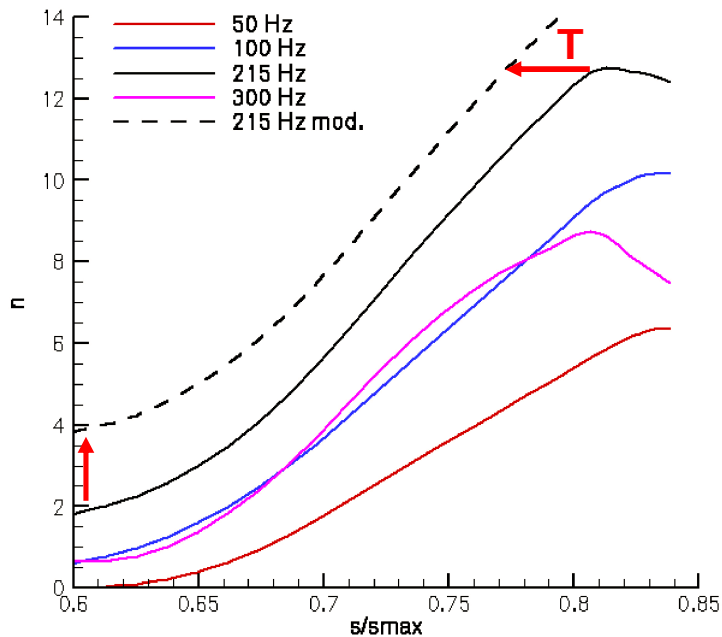
- ➡ Oberflächenbündiger Einbau ohne zusätzlichen Widerstand im ausgeschalteten Zustand
- ➡ Minimale Amplituden

▷ Membranaktuator

- **minimale Aktuatoramplituden**
- **Ausnutzung der Rezeptivitäts- und Stabilitätseigenschaften der Grenzschicht**
(keine Bypass Transition!)



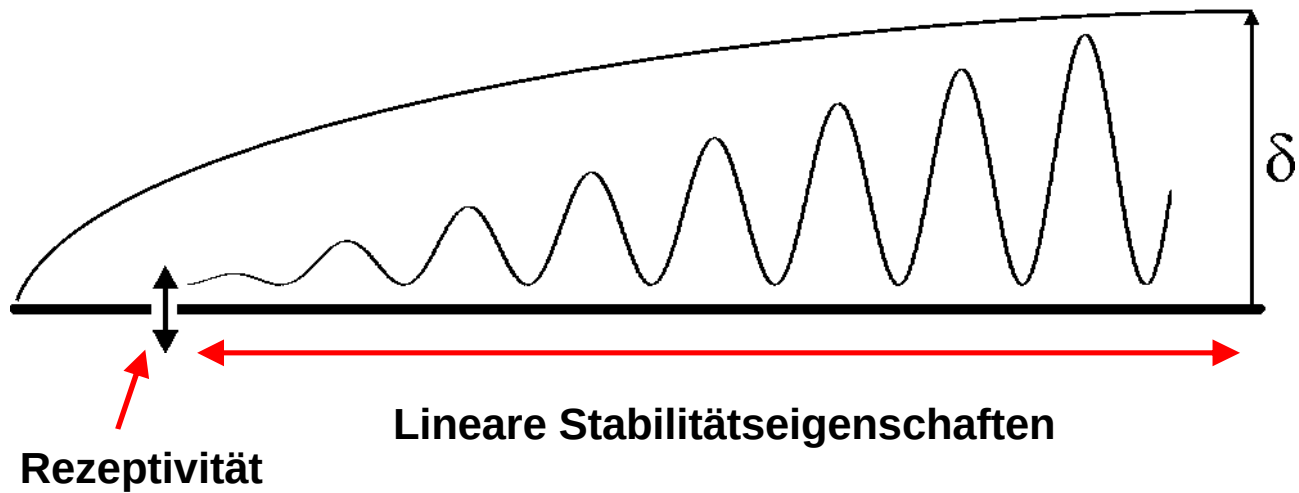
Profilunterseite, $Re=0.7e6$, $\alpha=2^\circ$, $\beta=20^\circ$



Die am stärksten angefachte Frequenz beträgt 215Hz

Instabilitätspunkt ($f = 215$ Hz) bei $s/s_{\max} = 46\%$

Frequenz und Position des Aktuators



Y.S. Kachanov, D.B. Koptsev, B.V. Smorodsky:

Investigation of 3D Receptivity of Two-Dimensional Boundary Layer with a Positive Pressure Gradient to Surface Vibrations. Experiment and Theory, Thermophysics and Aeromechanics, Vol. 9, No. 3, 2002

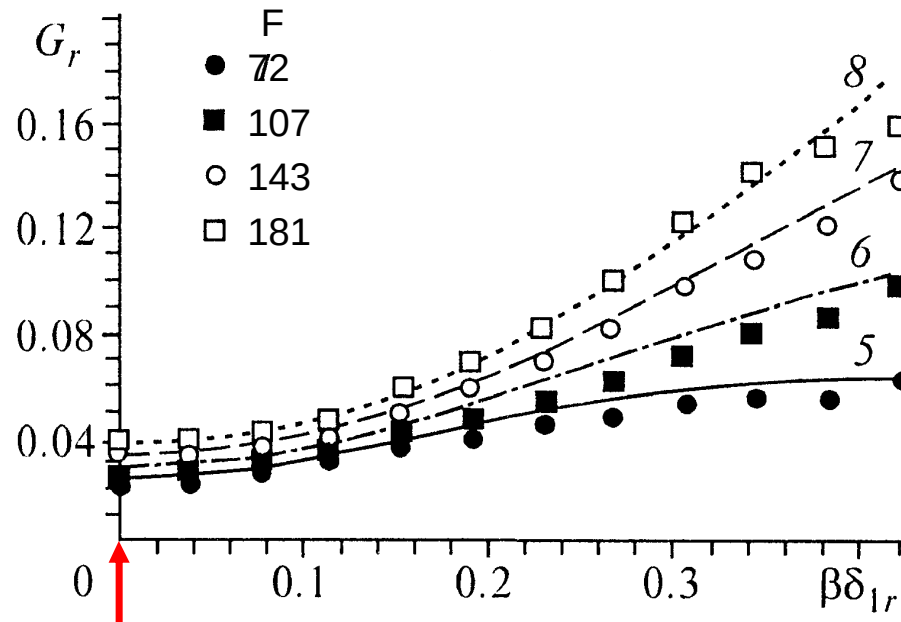
Komplexes Spektrum der
angeregten TS-Welle in
der Grenzschicht



Rezeptivitätskoeffizient

$$G_r(\tilde{\alpha}_r, \beta) = \frac{B_{in}(\tilde{\alpha}_r, \beta)}{C_v(\tilde{\alpha}_r, \beta)}$$

Resonanter Anteil im
Wellenzahlspektrum des
Aktuators (Membranform)



- **Rezeptivitätskoeffizient ist abhängig von der dimensionslosen Frequenz F und der spannweiten Wellenzahl b**
- **Störeinleitung erfolgt zweidimensional $\Rightarrow b = 0$**
- **$F = 2 \cdot p \cdot f_n \cdot U_d^2 \cdot 10^6 = 109$**



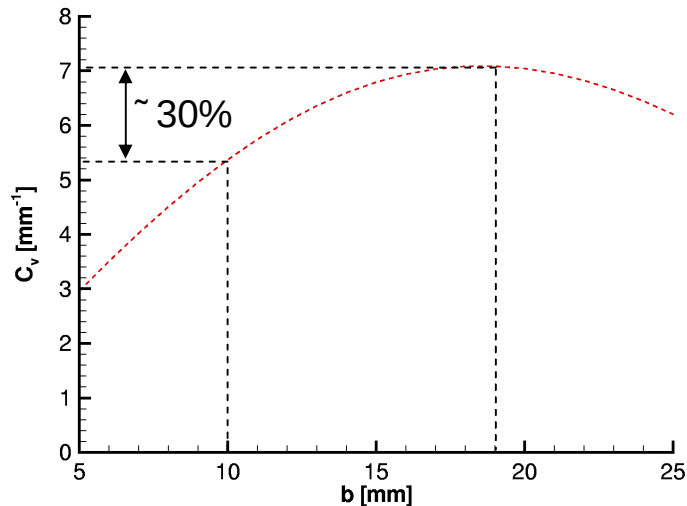
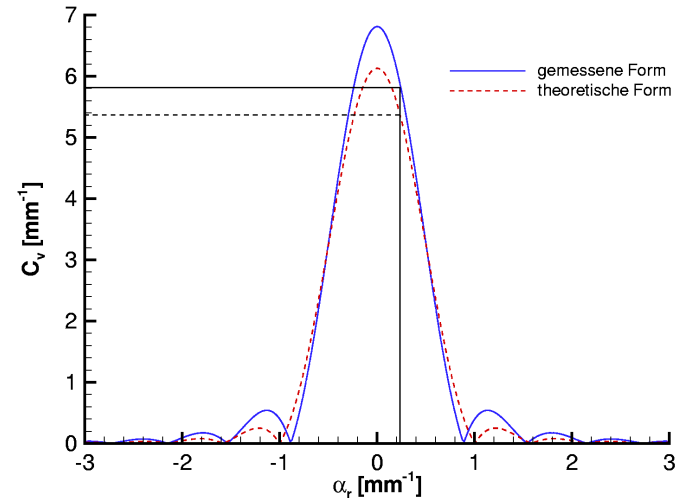
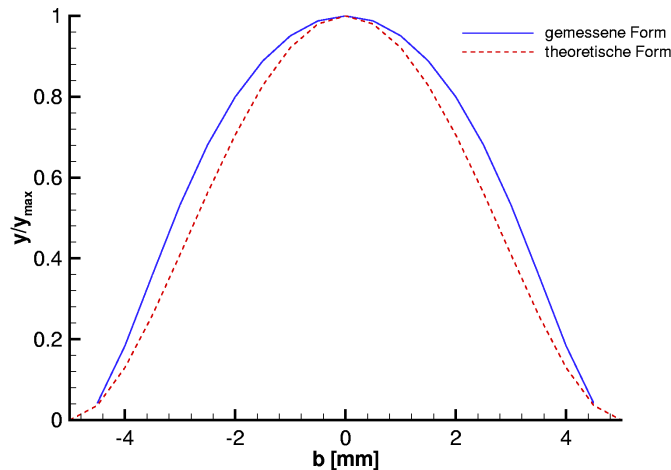
Rezeptivitätskoeffizient

$$G_r(\tilde{\alpha}_r, \beta) = \frac{B_{in}(\tilde{\alpha}_r, \beta)}{C_v(\tilde{\alpha}_r, \beta)}$$

Komplexes Spektrum der
angeregten TS-Welle in
der Grenzschicht



**Resonanter Anteil im
Wellenzahlspektrum des
Aktuators (Membranform)**



- **Instabilste Wellenzahl $a_r = 0.2347 \text{ mm}^{-1}$ ergibt $C_v = 5.37 \text{ mm}^{-1}$**
- **Minimale Amplitude für $b=19\text{mm}$**
- **Festlegung der Membranbreite auf 10mm erfordert etwa 30% mehr Amplitude**
- **Verwendete Membran kann mit kleineren Amplituden betrieben werden**



Rezeptivitätskoeffizient

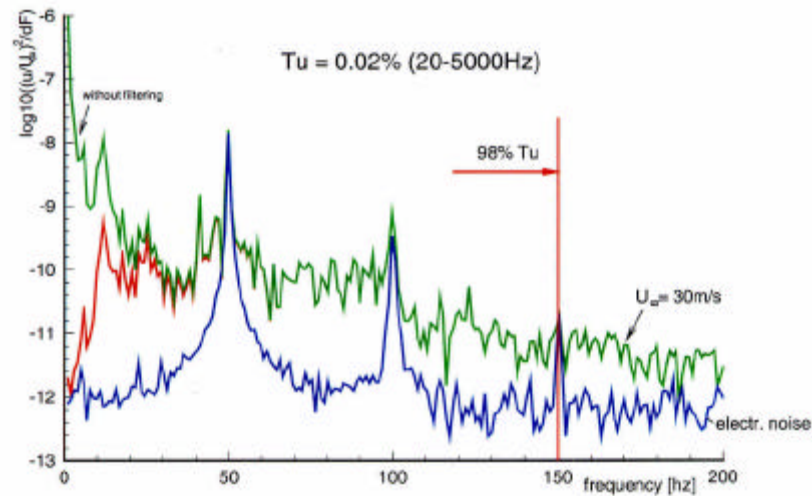
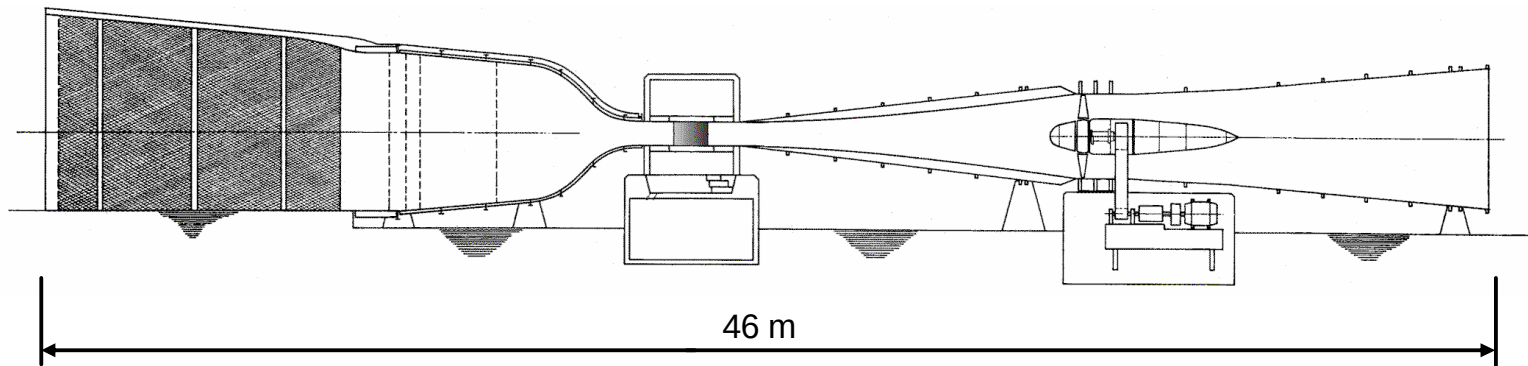
$$G_r(\tilde{\alpha}_r, \beta) = \frac{B_{in}(\tilde{\alpha}_r, \beta)}{C_v(\tilde{\alpha}_r, \beta)}$$

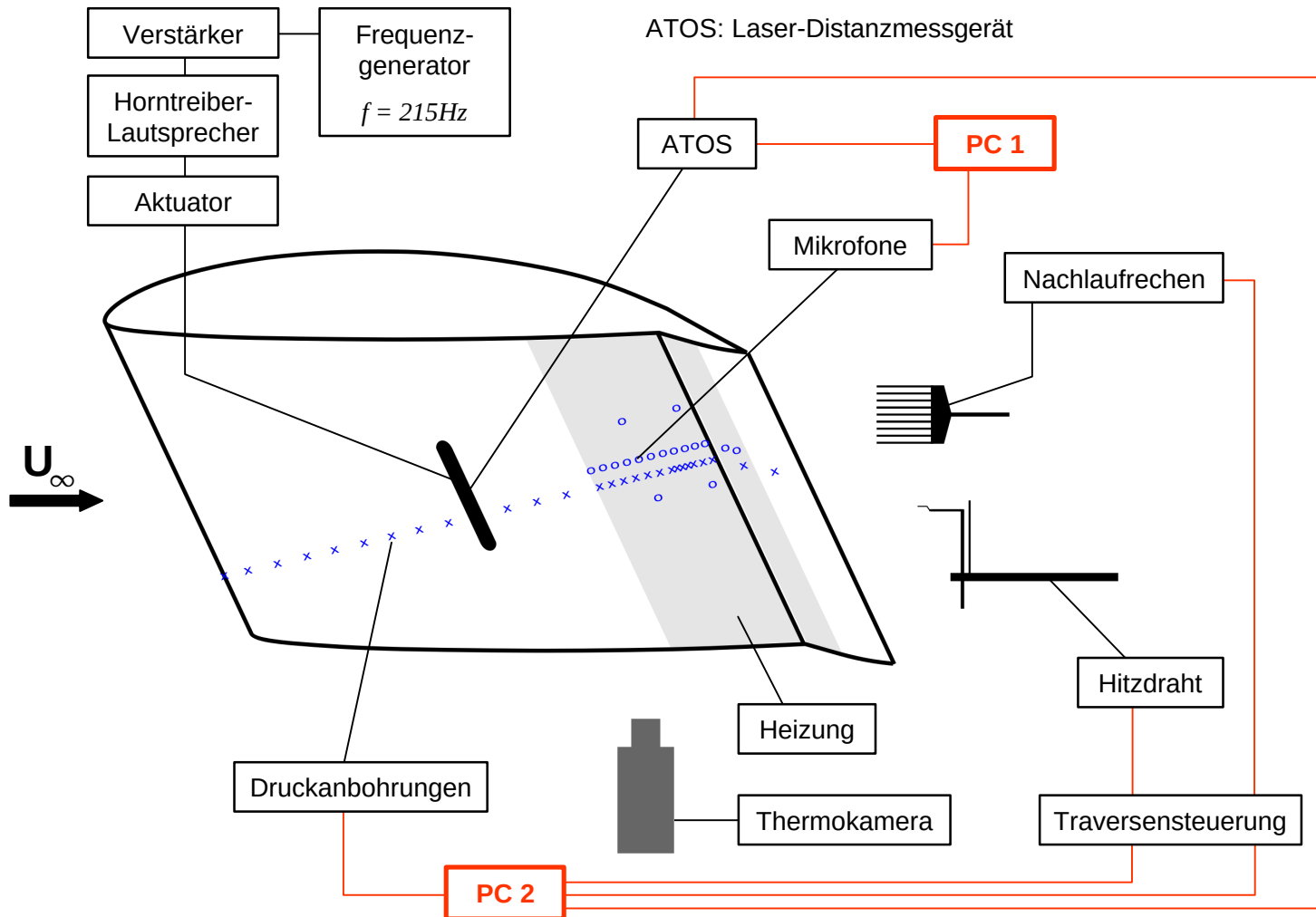
**Komplexes Spektrum der
Störfrequenz am Ort der
Einleitung**

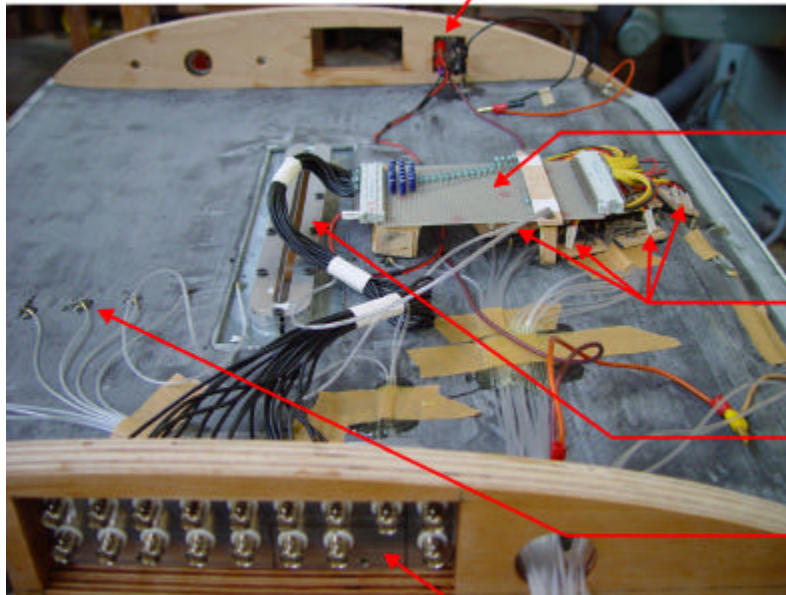


**Resonanter Anteil im
Wellenzahlspektrum der
Membranform**









**Stromanschlüsse für
Heizung und Mikrofone**

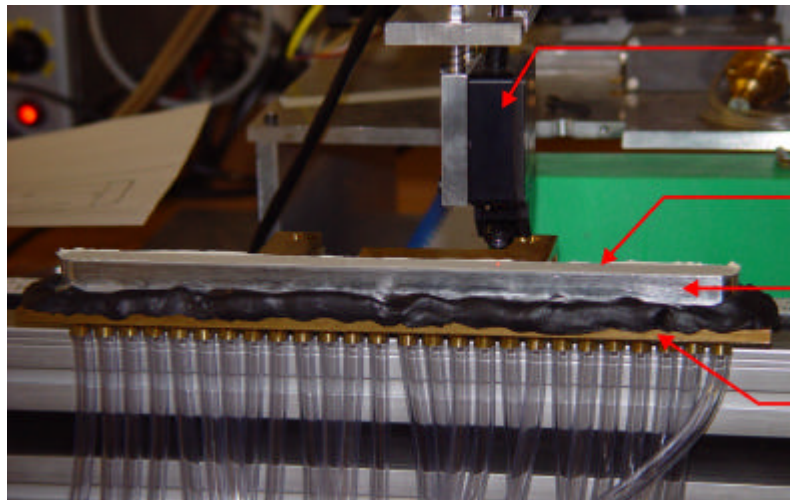
**Impedanzwandlerschaltung
für Mikrofone**

17 Mikrofone

**Halterung für
Membranaktuator**

Druckanbohrungen

Mikrofonanschlüsse

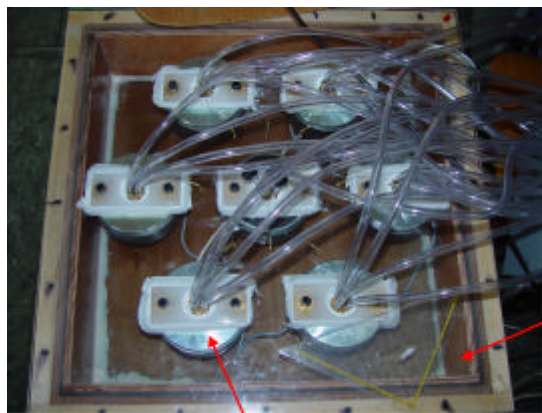


Laser zur Abtastung der Membranoberfläche

Latexmembran

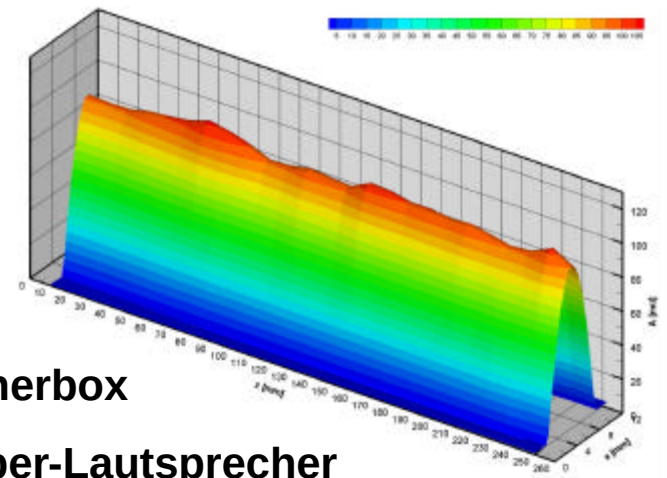
Membranwechselrahmen

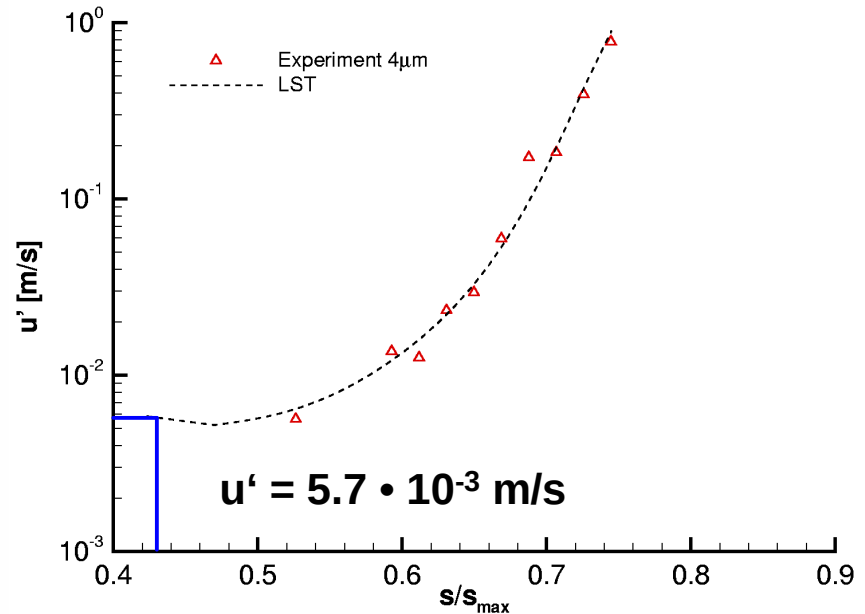
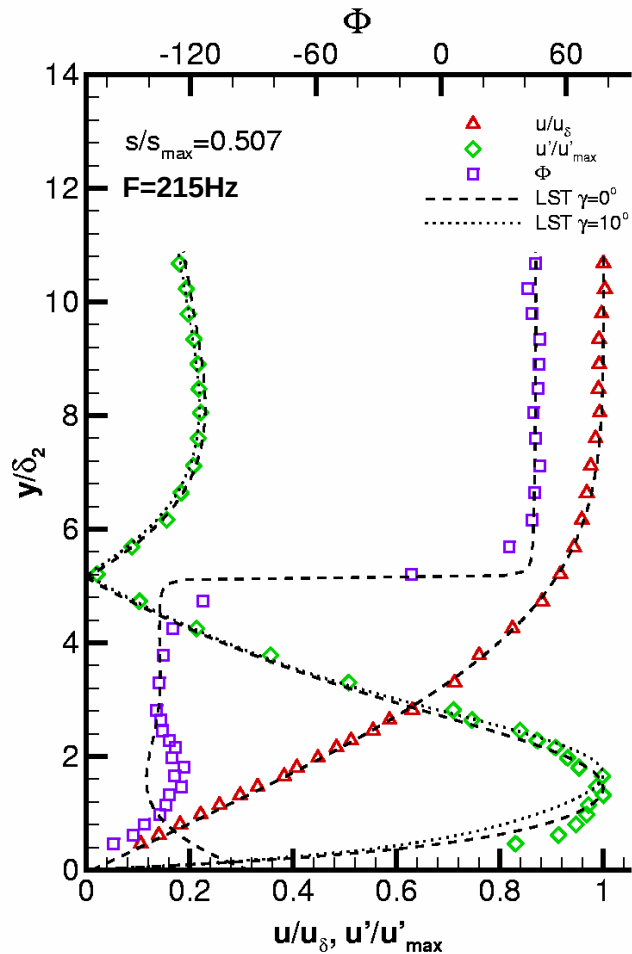
Anschlussplatte (abnehmbar) mit 26 Schlauchanschlüssen



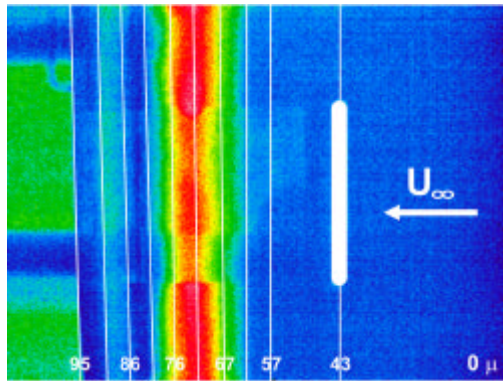
Luftdichte Lautsprecherbox

7 Horntreiber-Lautsprecher

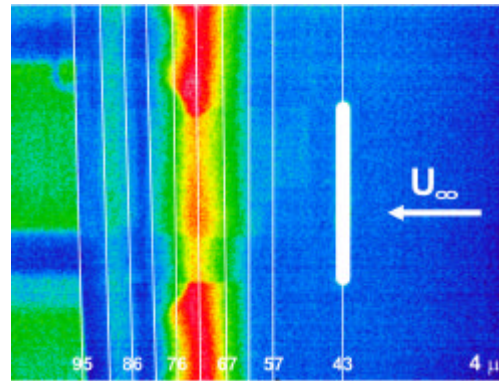




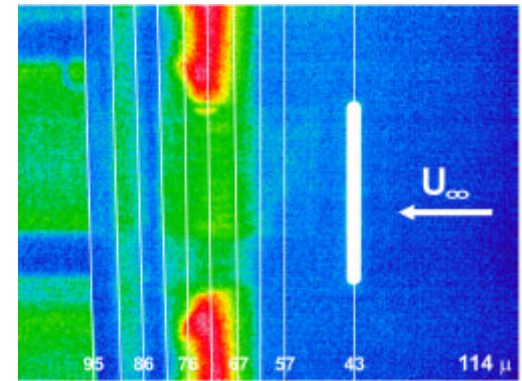
Berechnete Membranamplitude: **3mm**
 Membranamplitude im Experiment: **4mm**



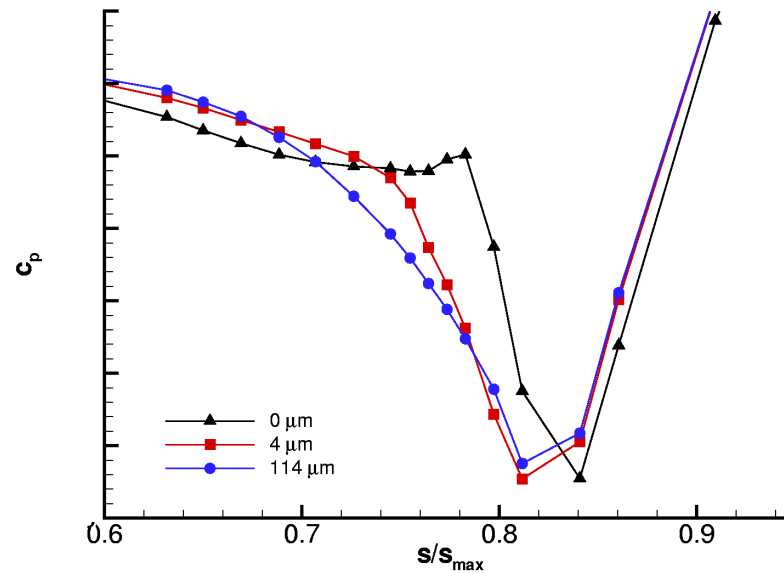
$A=0 \mu\text{m}$



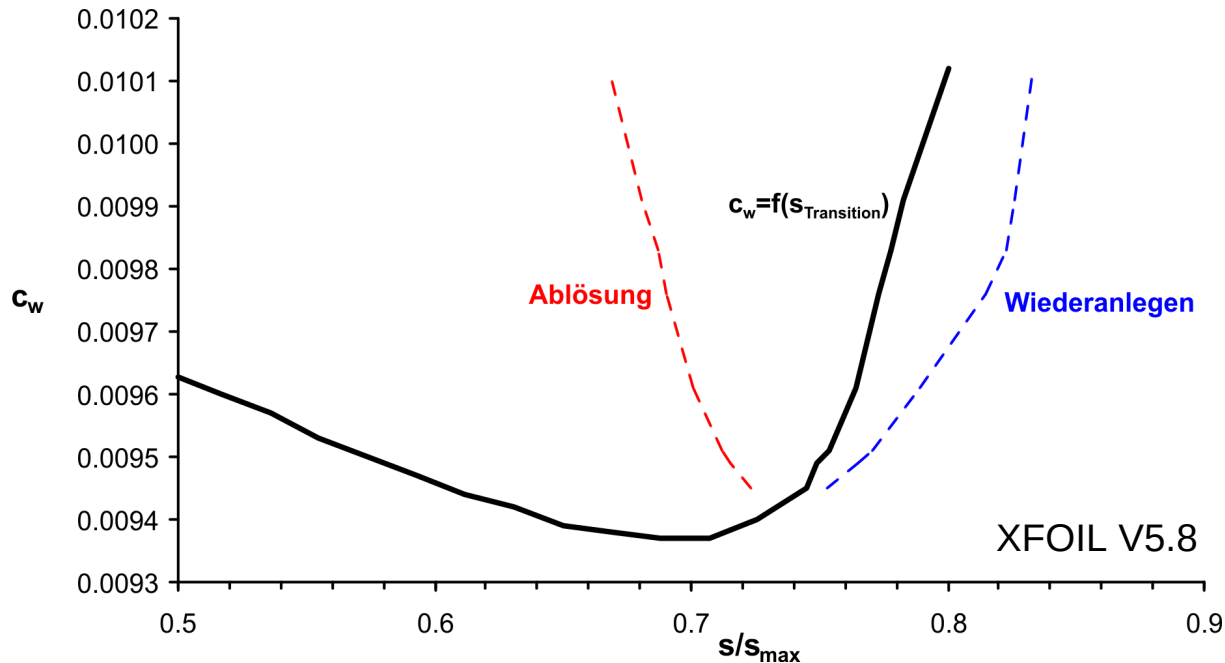
$A=4 \mu\text{m}$



$A=114 \mu\text{m}$



- Die gute Übereinstimmung der Membranamplituden zeigt, dass unter Berücksichtigung der Stabilitäts- und Rezeptivitätseigenschaften der Grenzschicht eine genaue Auslegung eines Aktuators möglich ist
- Unter Ausnutzung dieser Eigenschaften kann der Aktuator mit minimalen Amplituden (4_{mm}) betrieben werden
- Dadurch besteht prinzipiell die Möglichkeit einen Aktuator mit Piezos zu betreiben
- Kein Einfluss des Aktuators im ausgeschalteten Zustand



- Abhängigkeit der c_w -Werte von der Blasenlänge durch systematische Variation der Membranamplitude
- Vergleich mit XFOIL Rechnungen
- Minimum im Widerstand im Experiment