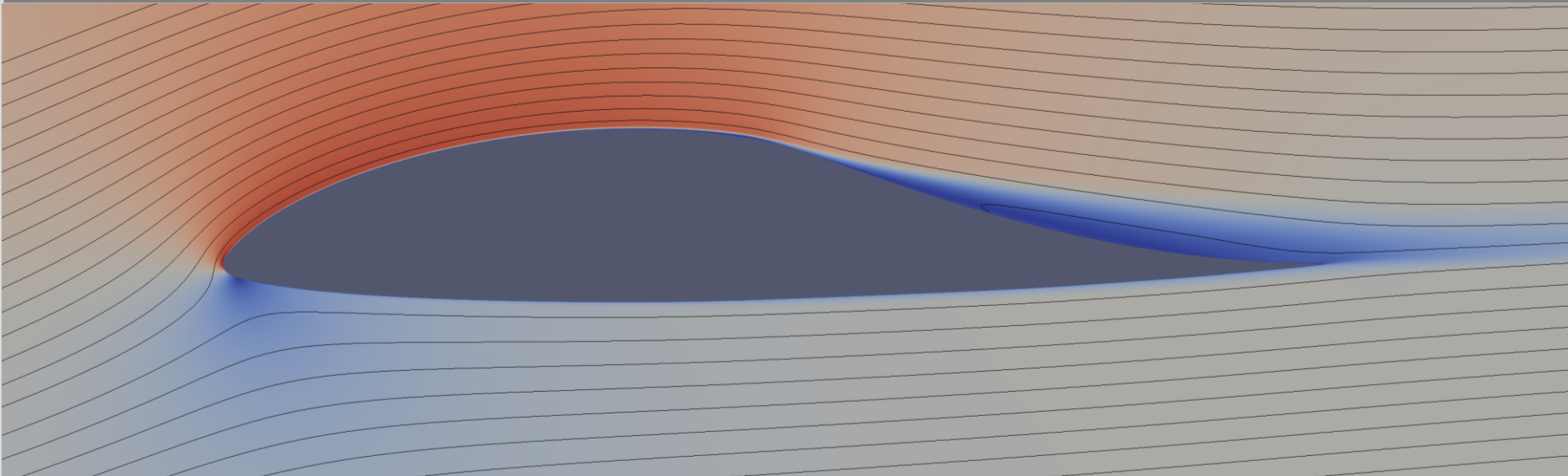


RANS Untersuchungen zur Strömungskontrolle in turbulenter Grenzschicht von Flügelprofilen

Georg Fahland

Betreuer: Dr.-Ing. Alexander Stroh, Dr.-Ing. Davide Gatti,
Prof. Dr.-Ing. Bettina Frohnepfel

Institut für Strömungsmechanik, KIT

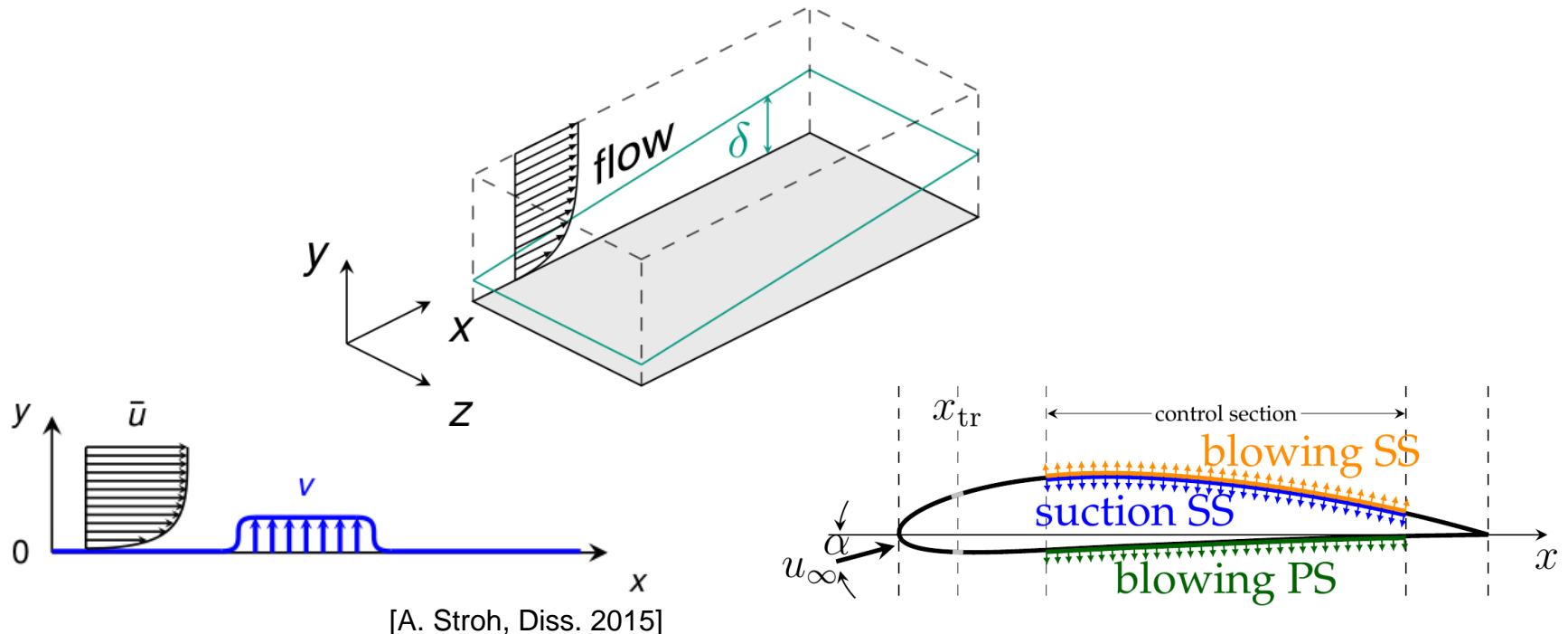


Homogenes Ausblasen/Absaugen

- Aktive Kontrolle
- Niedrige Ausblaseintensität ($0.025-2\%U_\infty$)

Grenzschichtentwicklung

- Ausblasen $\rightarrow \delta \uparrow, \tau \downarrow$
- Absaugen $\rightarrow \delta \downarrow, \tau \uparrow$



Motivation/Ziel

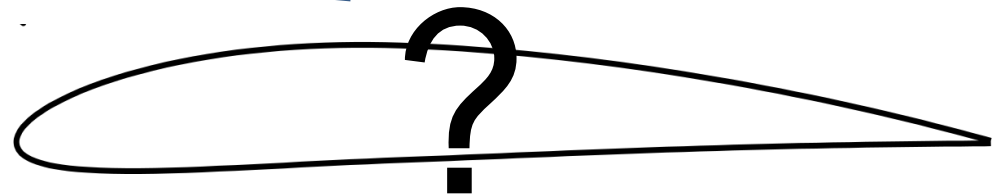
Profilanforderungen

- Auftrieb
- Effizienz
- Momentenhaushalt
- Überzieheigenschaften
- Steuerflächen
- Re
- $Mach$
- ...



Parameter

- Profilform
- Klappen, etc.
- **Grenzschichtkontrolle (BLC)**



Allgemein

- RANS, low- Re , inkompressibel
- OpenFOAM → SIMPLE FOAM
- $k\omega$ -SST

Vollturbulente Umströmung

Laminare Strömung + Transition

$x_{tr} = 0.1c \rightarrow$ Quellterm für k

$k\omega$ -SSTLM

- Transitionsmodell
- Alle Transitionsmoden, die für 2D Profilmströmung notwendig
- Langsame/keine Konvergenz

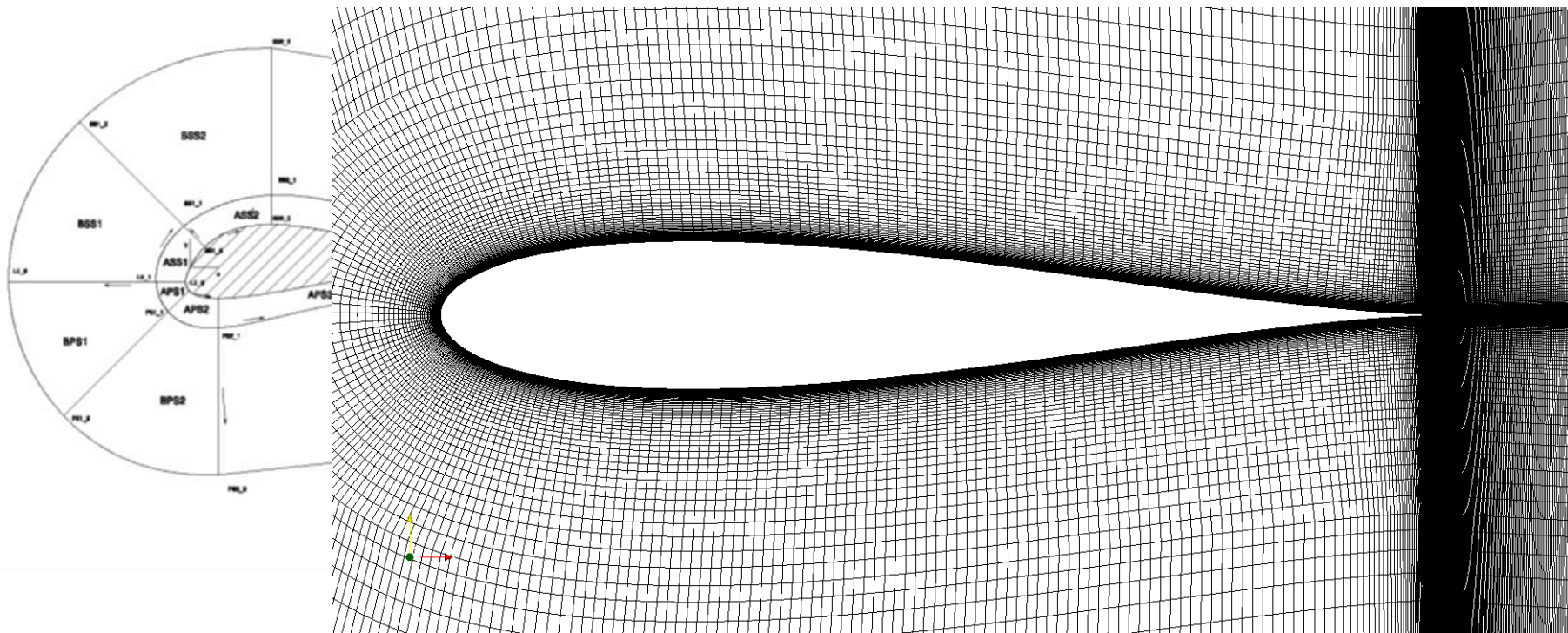
$k\omega$ -SST $k = 0, x \leq x_{tr}$

- Gleicher Effekt wie Transitionsmodell
- Schnelle Konvergenz
- Keine natürliche Transition
- Achtung: Laminare Ablöseblasen

Methodik – Netz

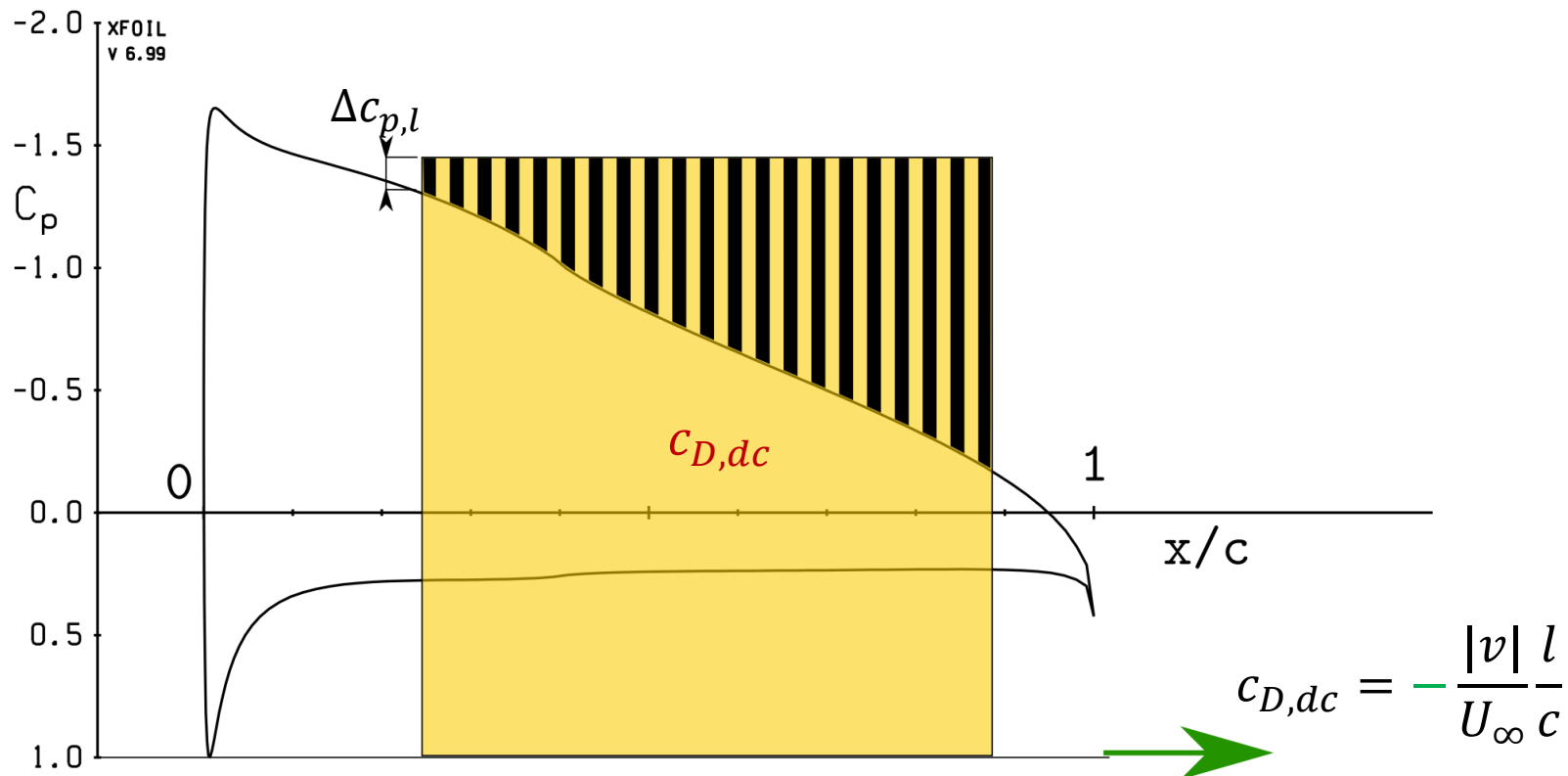
- 2D-Netze
 - Mehrere Profile (7)
 - Verschiedene Re
- } ≈ 40 Netze

→ Automatisierte Netzerstellung
Strukturierte blockMesh-basierte Netze



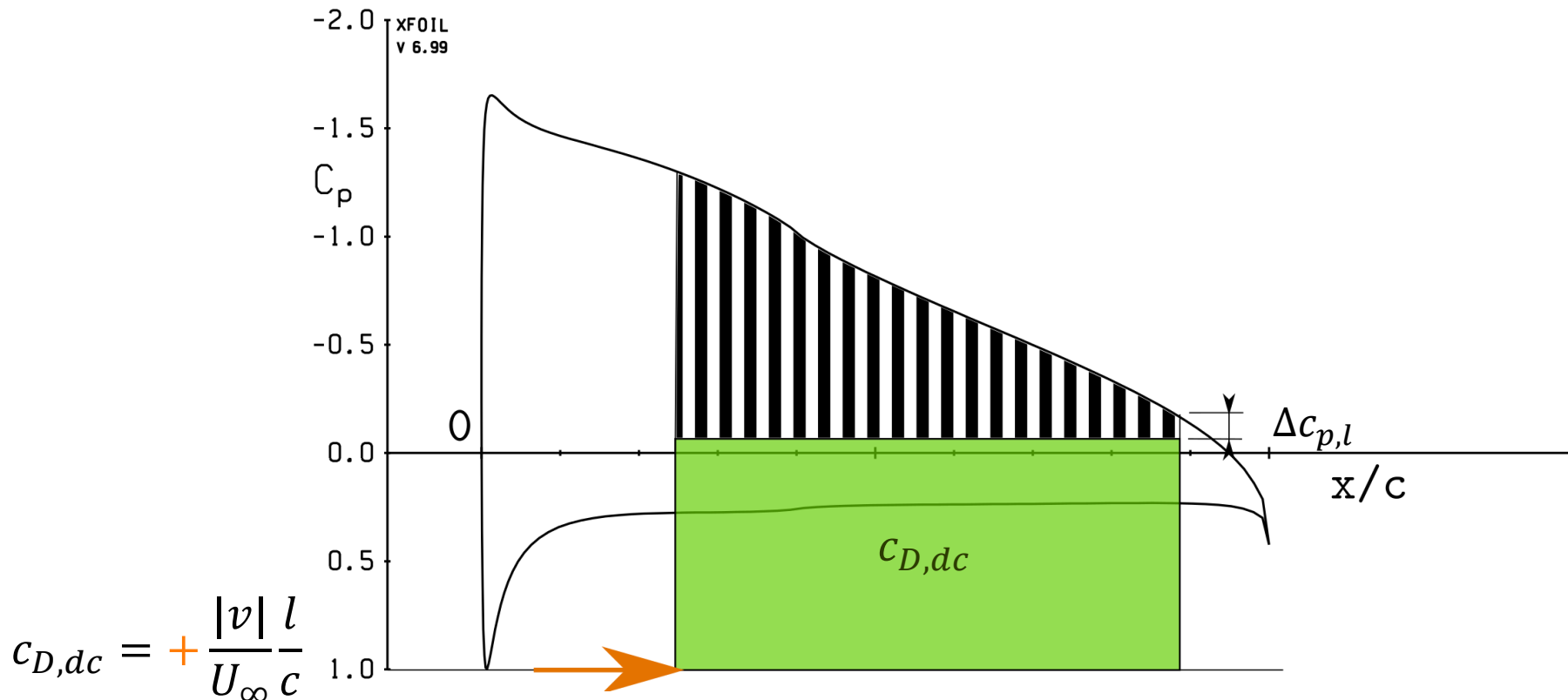
Methodik – Widerstandsbilanzierung $c_{D,corr}$

- c_D 2D-Profilwiderstand
- $c_{D,as}$ Momentengewinn des Kontrollfluids
- $c_{D,dc}$ Pumpenleistung ($\eta = 70\%$), Strömungsverluste ($\Delta c_{p,l} = 0.1$)



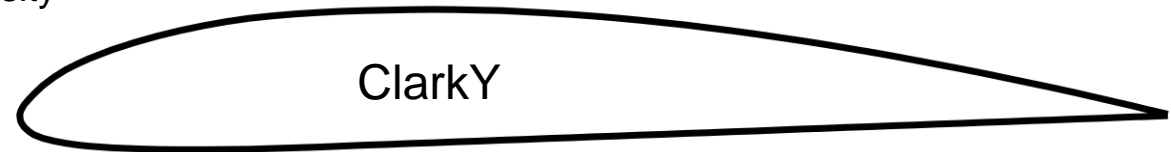
Methodik – Widerstandsbilanzierung $c_{D,corr}$

- c_D 2D-Profilwiderstand
- $c_{D,as}$ Momentenverlust des Kontrollfluids
- $c_{D,dc}$ Turbinenleistung ($\eta = 70\%$), Strömungsverluste ($\Delta c_{p,l} = 0.1$)

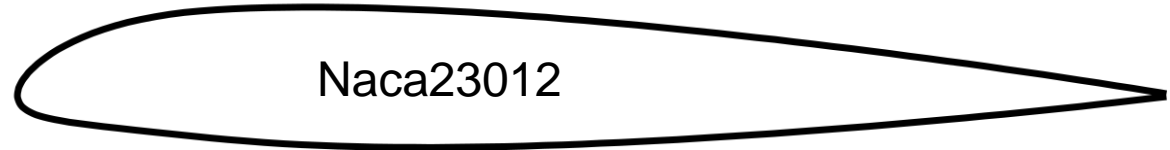


Validierung

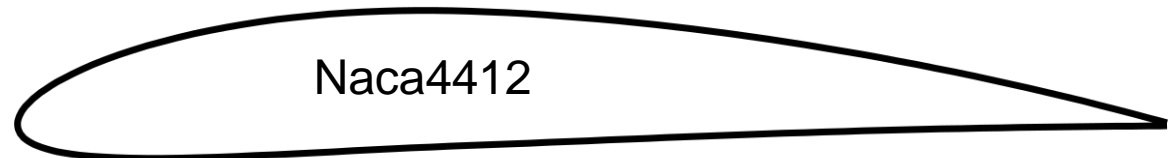
- Netzkonvergenzstudie
- XFOIL
- Experimentelle Daten zum Vergleich:
 - Fukagata Lab, Keio University



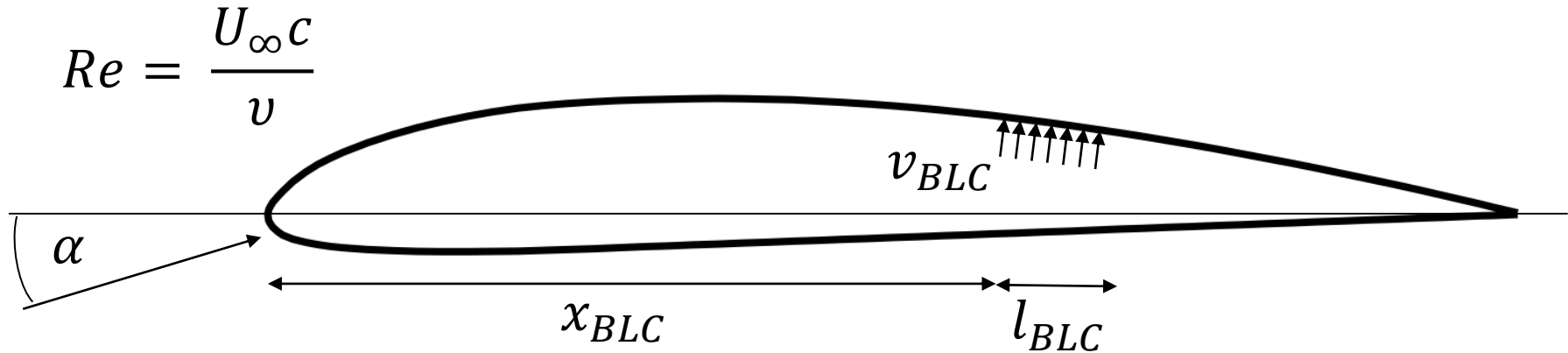
- IAG, Universität Stuttgart



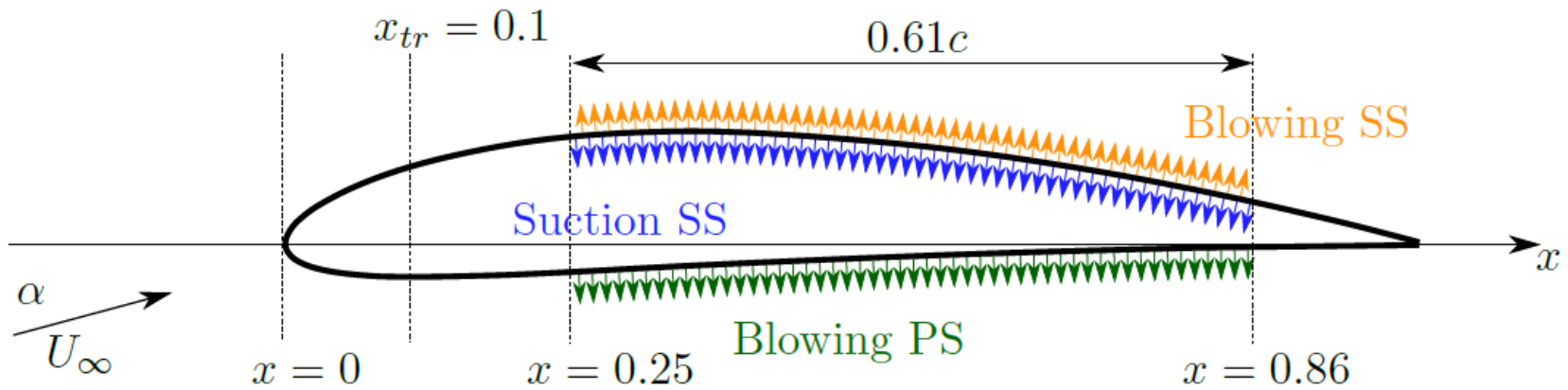
- DNS/LES Daten:
 - Naca4412 (Linné Flow Centre, KTH)



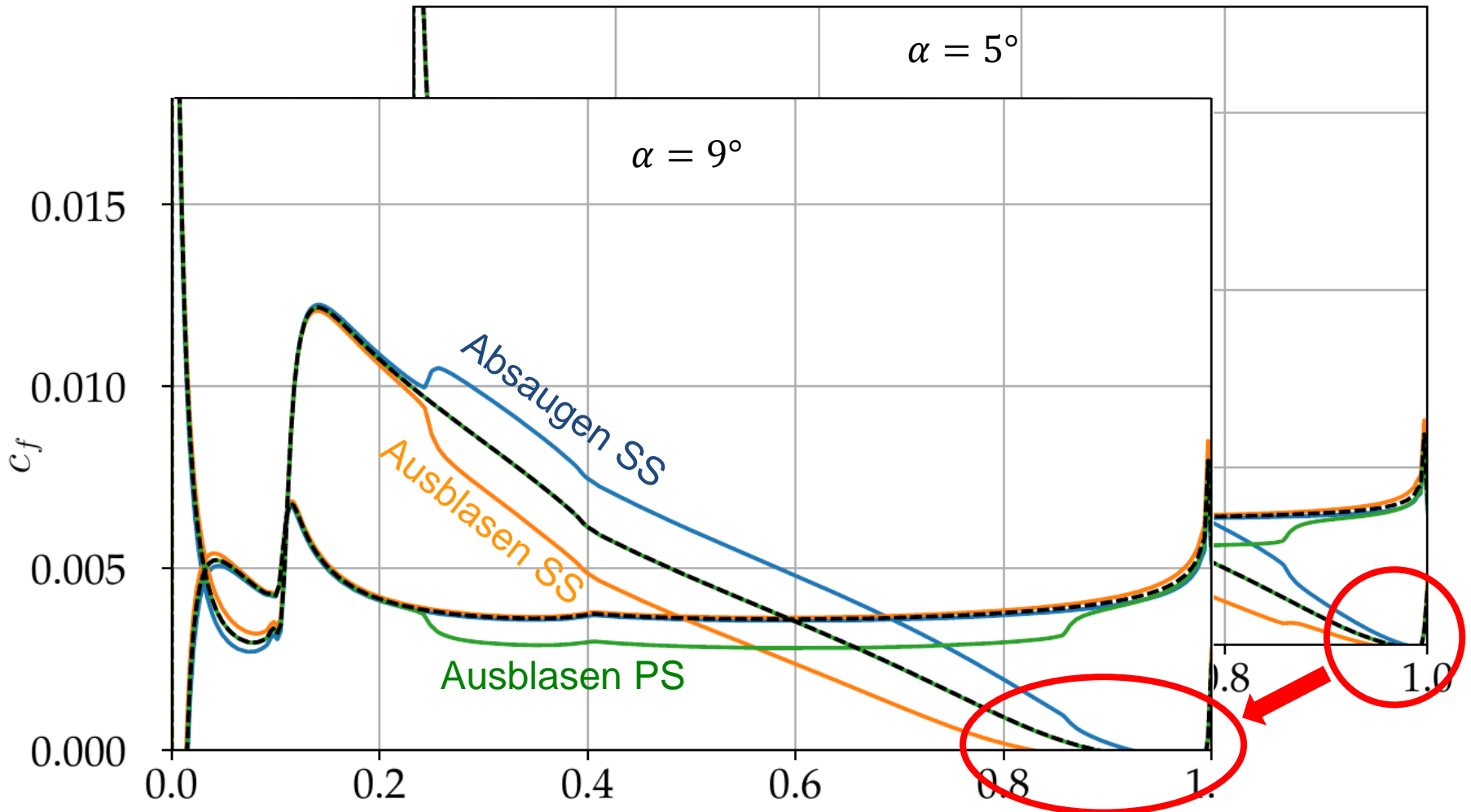
Parameterstudie – Übersicht



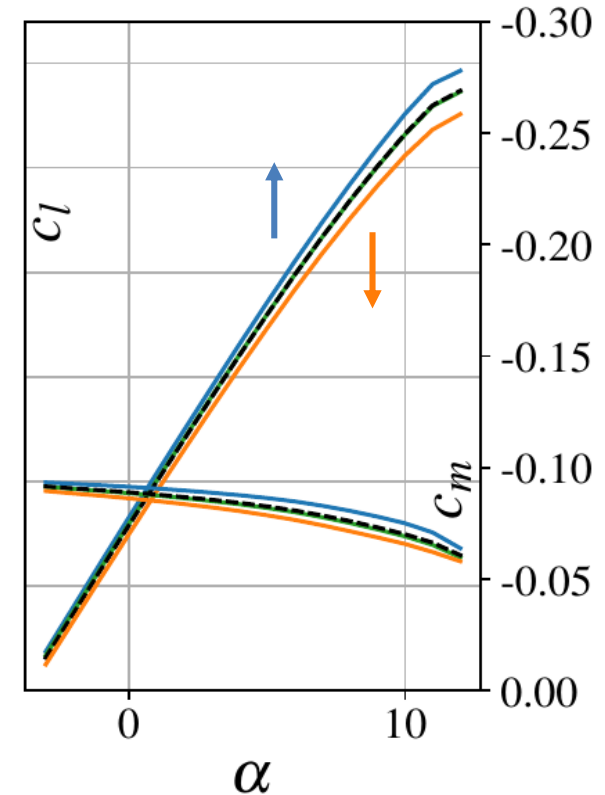
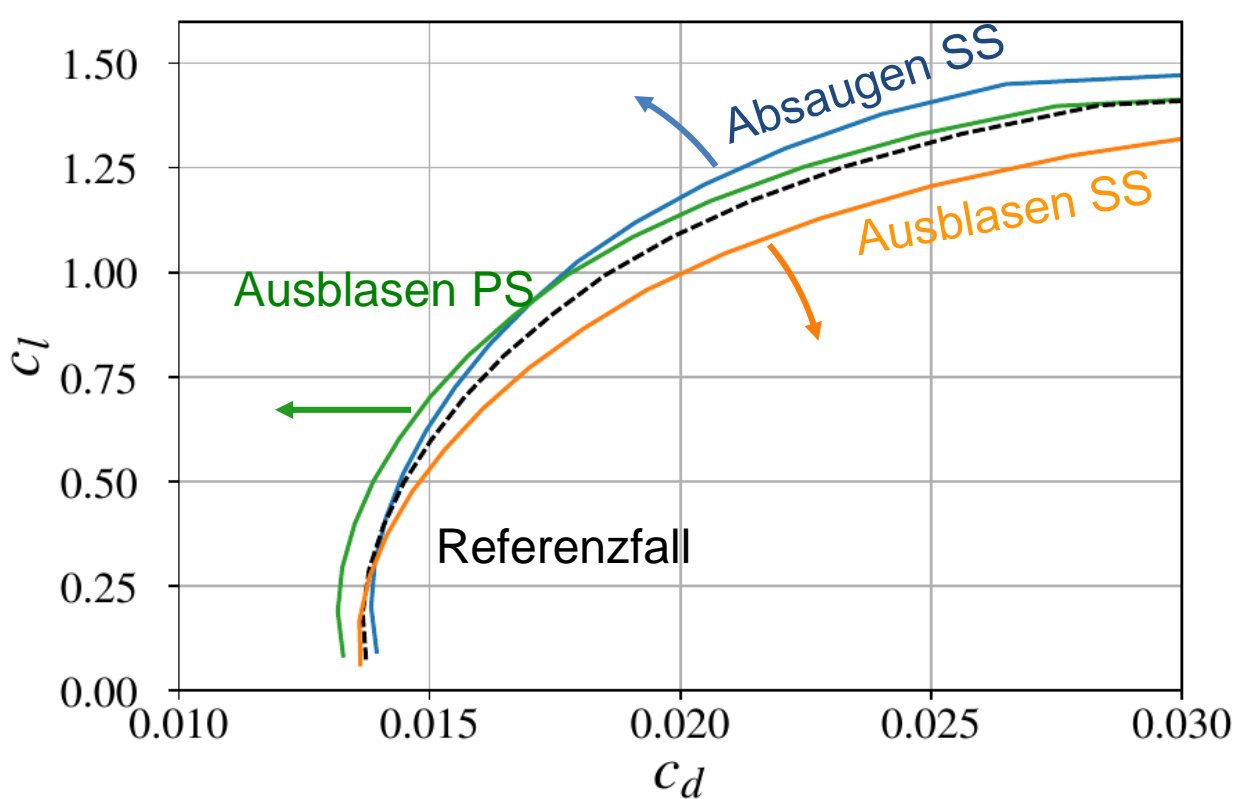
Klasse	Konfigurationen	Varierte Parameter
Basis-Konfiguration	KTH	α , Re , Wölbung, Dicke, v_{BLC}
Kombinierte Konfigurationen	Gersten	α , Re , v_{BLC}
	Reder	α , Re , v_{BLC}
	Endleistenkonfiguration	α , Re , v_{BLC}
Hybride Konfiguration	Ausblasen in Stratford-Druckanstieg	α , v_{BLC}



Wandschubspannung c_f : α -Abhängigkeit

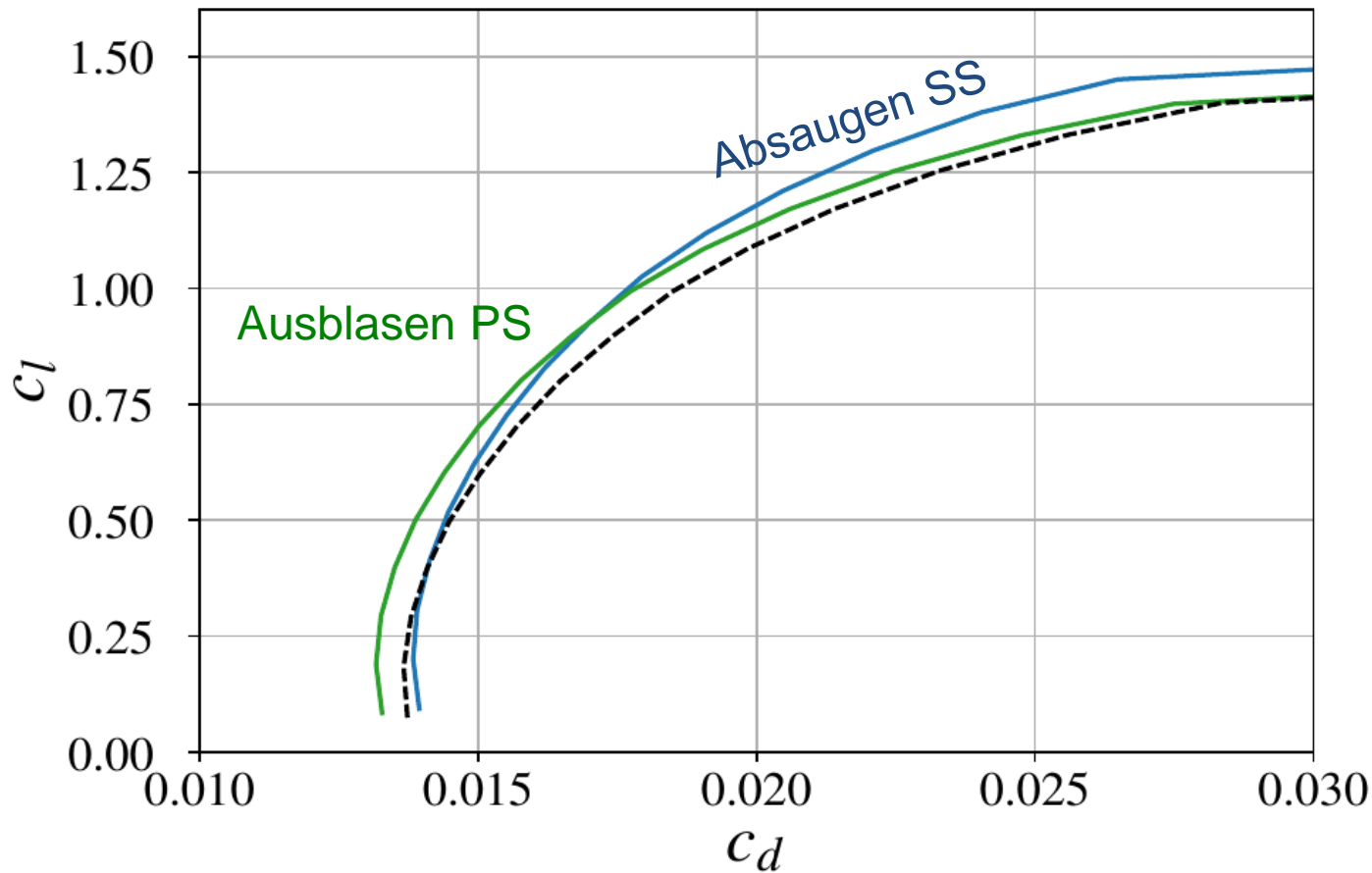


Naca4412, KTH-Konfig., $Re = 4 \cdot 10^5$ $\frac{x}{c}$



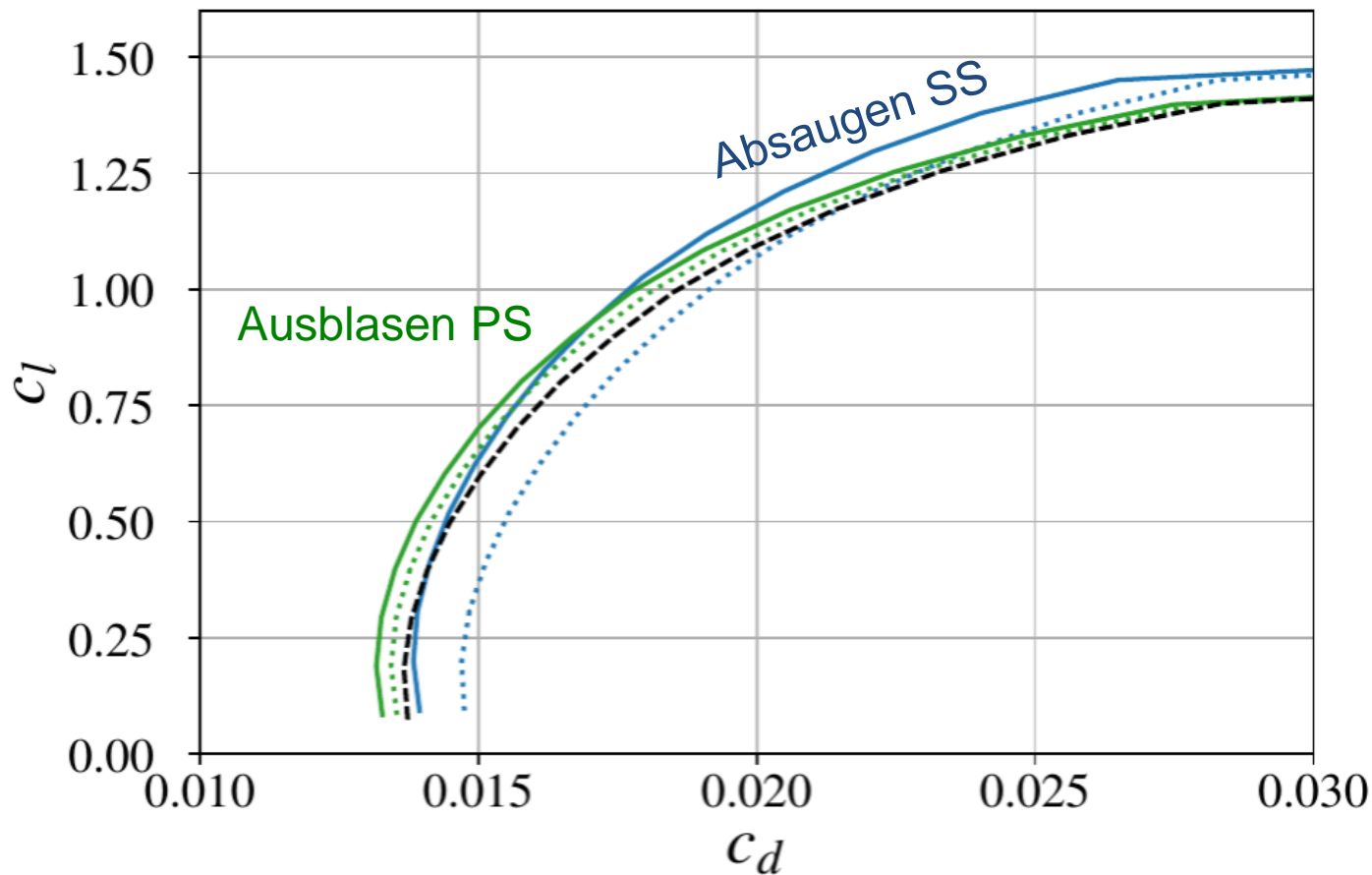
Naca4412, KTH-Konfig., $Re = 4 \cdot 10^5$, $v_{BLC} = 0.1\%U_\infty$

Polare: KTH Konfig., inkl. Systemwiderstand



Naca4412, KTH-Konfig., $Re = 4 \cdot 10^5$, $v_{BLC} = 0.1\%U_\infty$

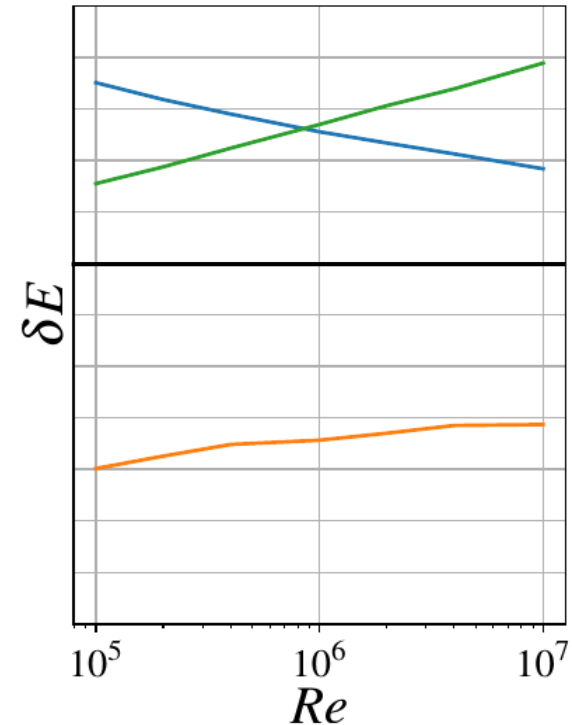
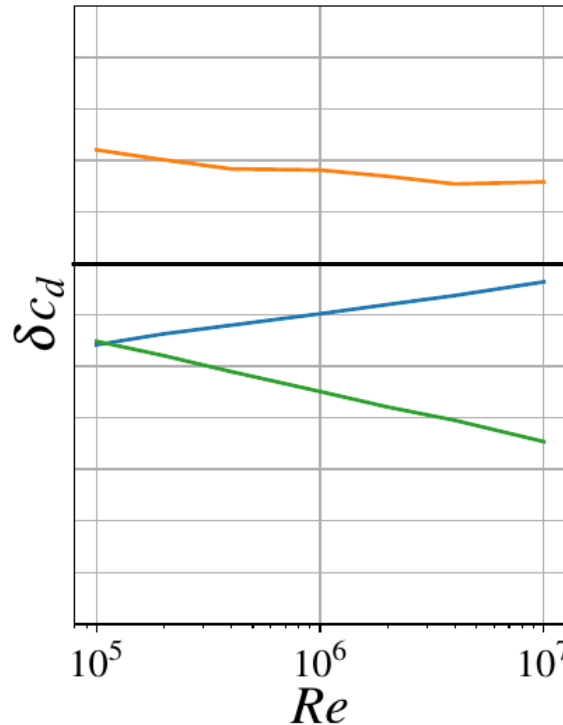
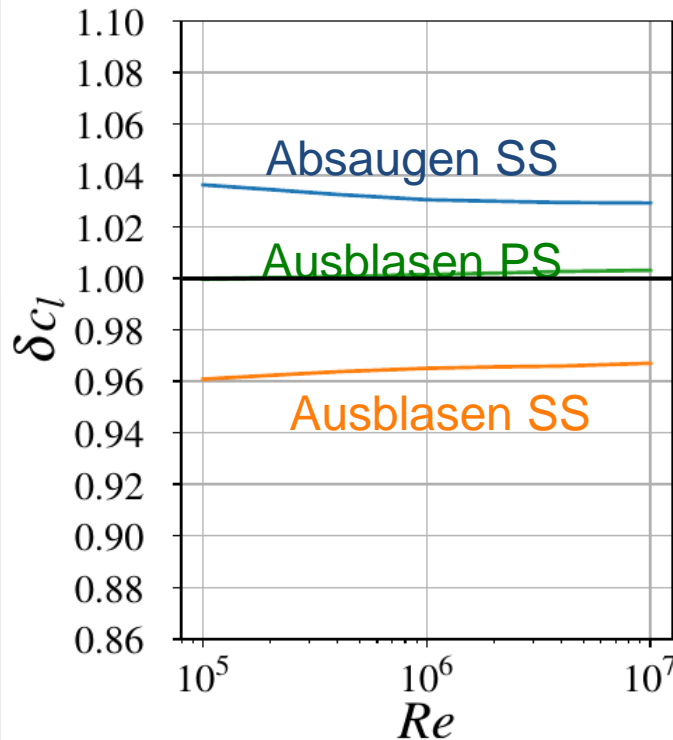
Polare: KTH Konfig., inkl. Systemwiderstand



Naca4412, KTH-Konfig., $Re = 4 \cdot 10^5$, $v_{BLC} = 0.1\%U_\infty$

Re-Abhängigkeit

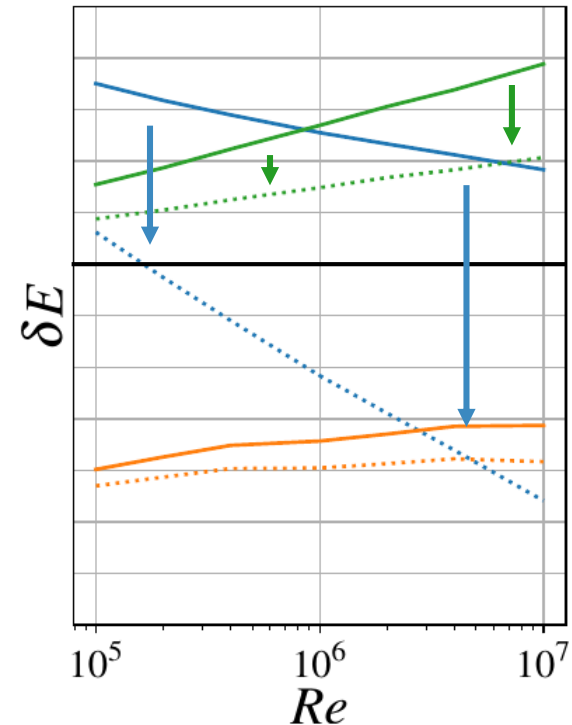
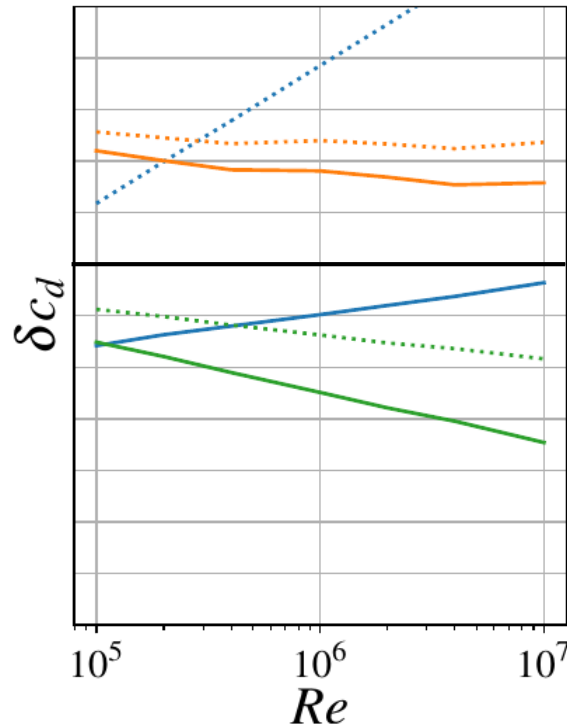
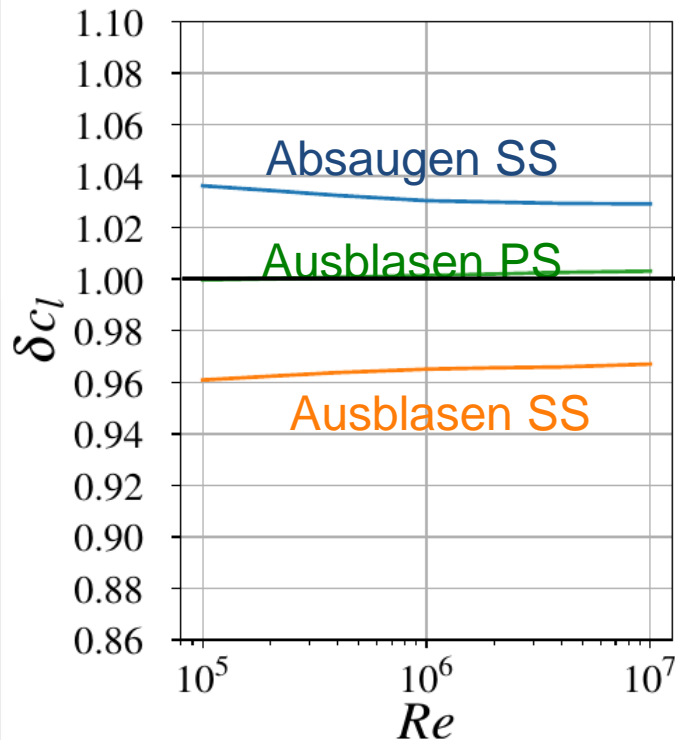
$$\delta\Phi = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}}$$



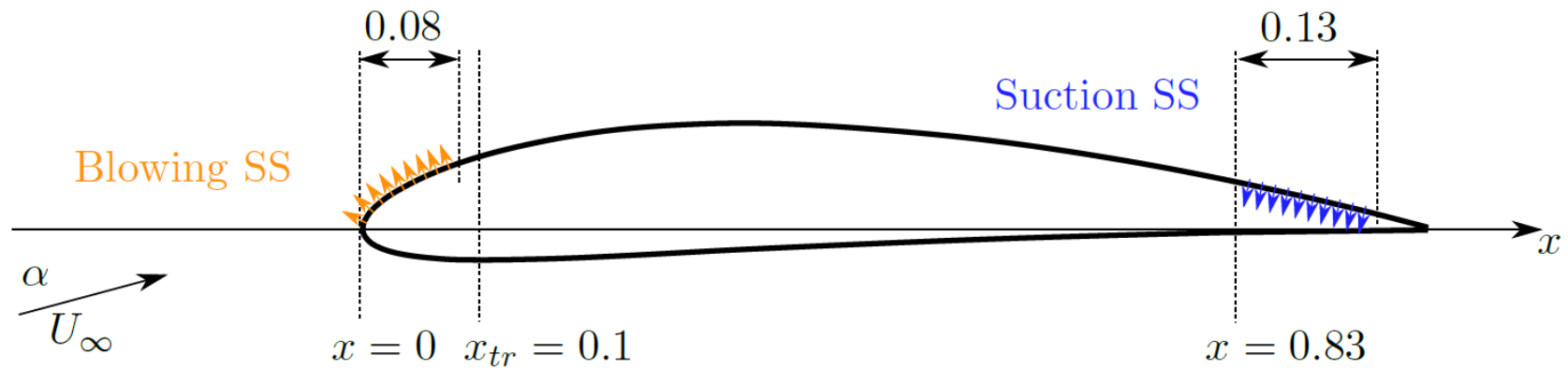
Naca4412, KTH-Konfig., $\alpha = 5^\circ$, $v_{BLC} = 0.1\%U_\infty$

Re-Abhängigkeit

$$\delta\Phi = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}}$$



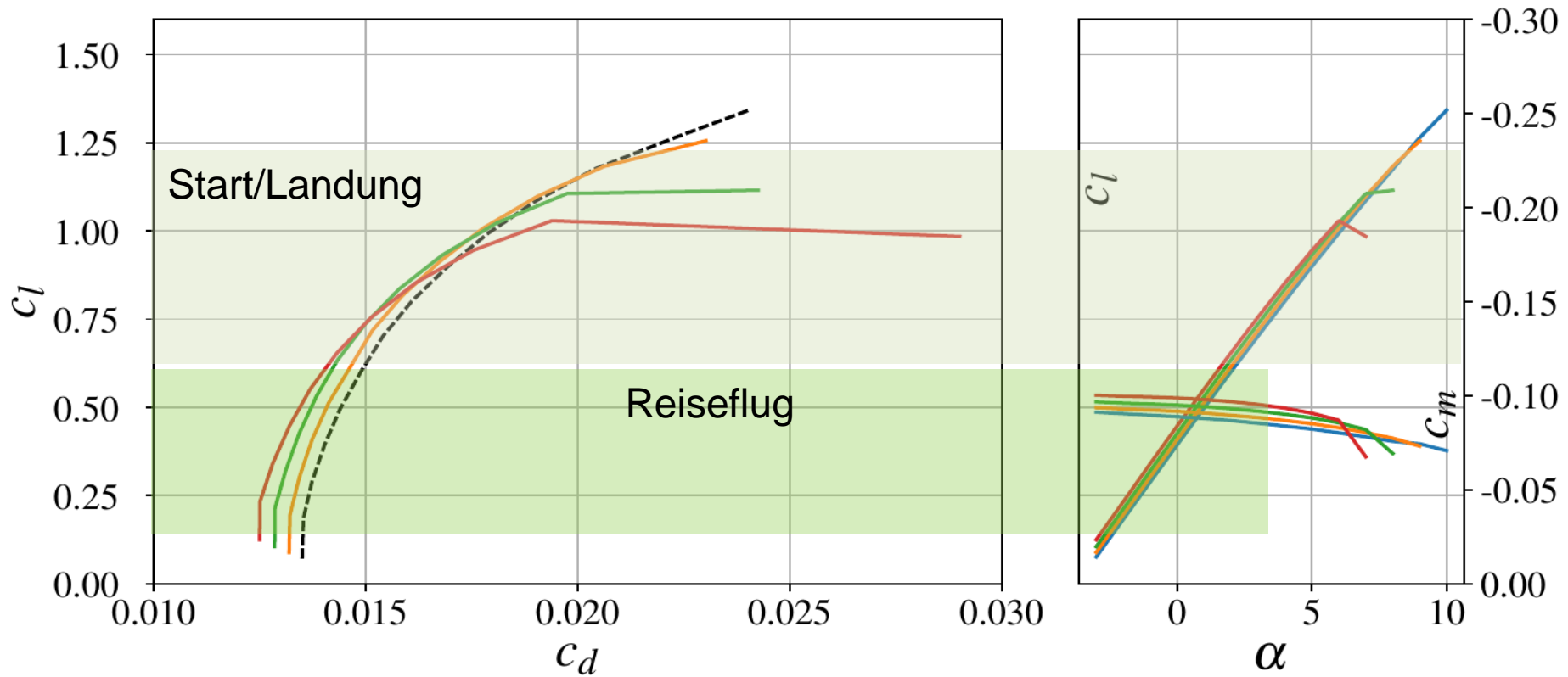
Naca4412, KTH-Konfig., $\alpha = 5^\circ$, $v_{BLC} = 0.1\%U_\infty$



Gleichzeitiges Ausblasen und Einsaugen

Polare: Reder Konfig.

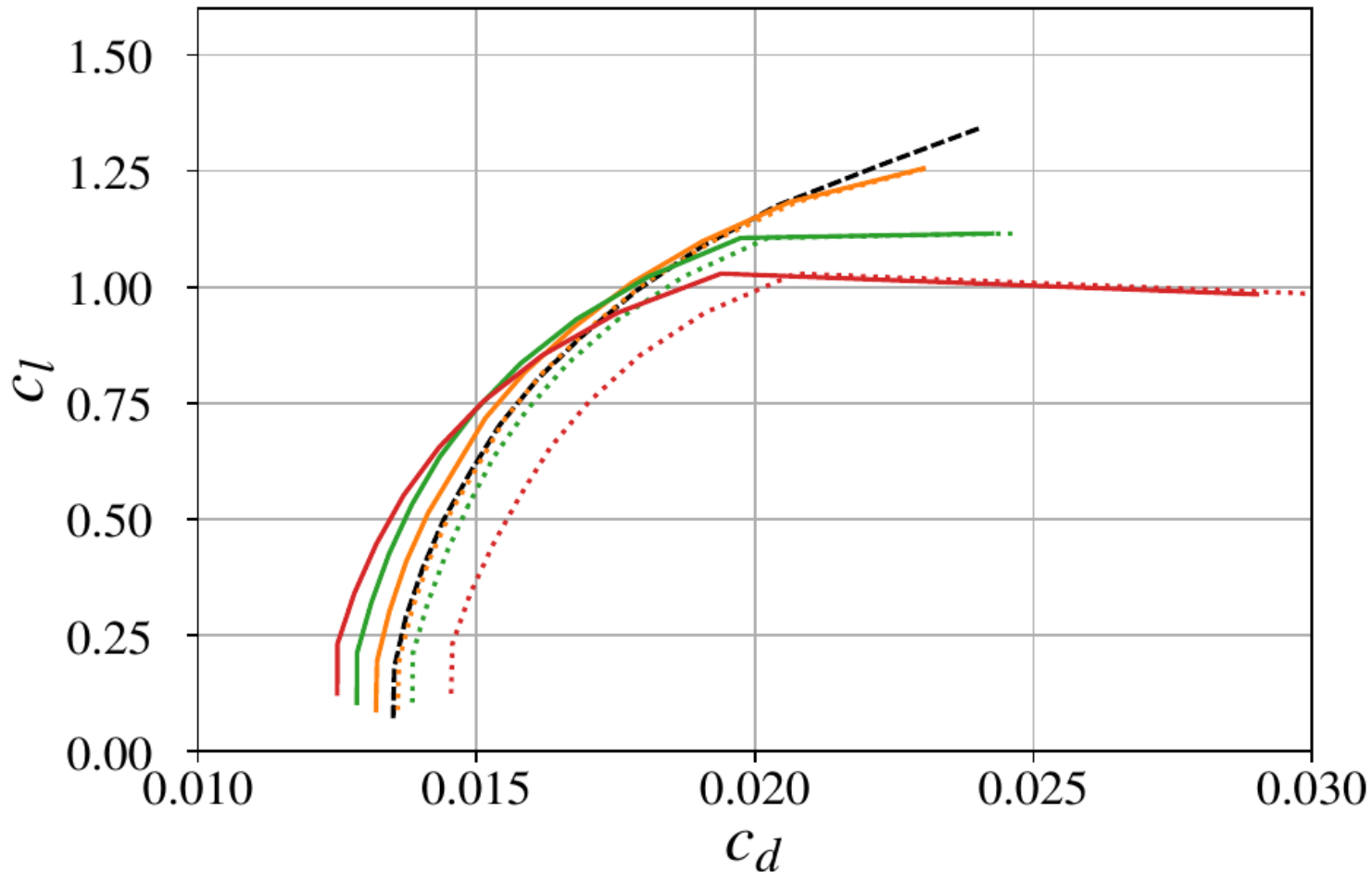
$$v_{BLC} = 1\text{‰} \dots 1\% U_\infty$$



Naca4412, Reder-Konfiguration, $Re = 4 \cdot 10^5$

Polare: Reder Konfig., inkl. Systemwiderstand

$$v_{BLC} = 1\text{‰} \dots 1\% U_\infty$$

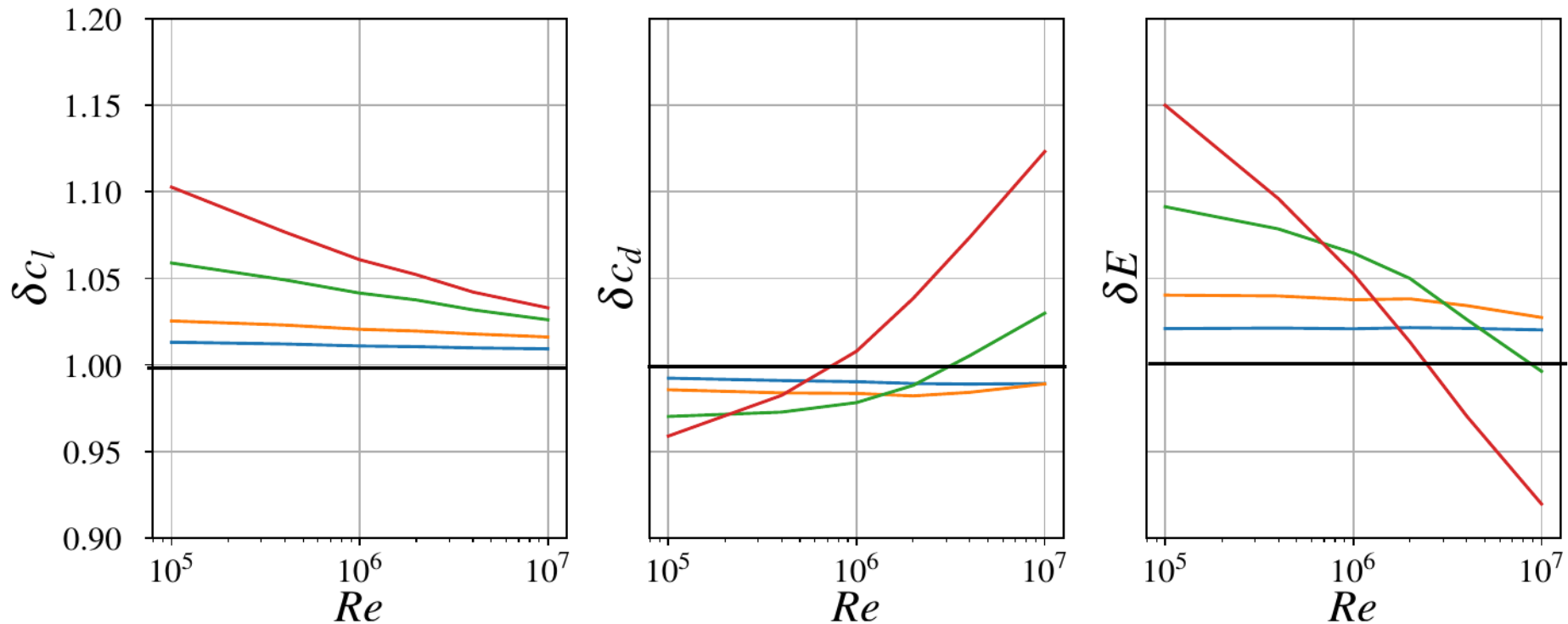


Naca4412, Reder-Konfiguration, $Re = 4 \cdot 10^5$

Re-Abhängigkeit

$$\delta\Phi = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}}$$

$$v_{BLC} = 0.5\% \dots 1\% U_{\infty}$$

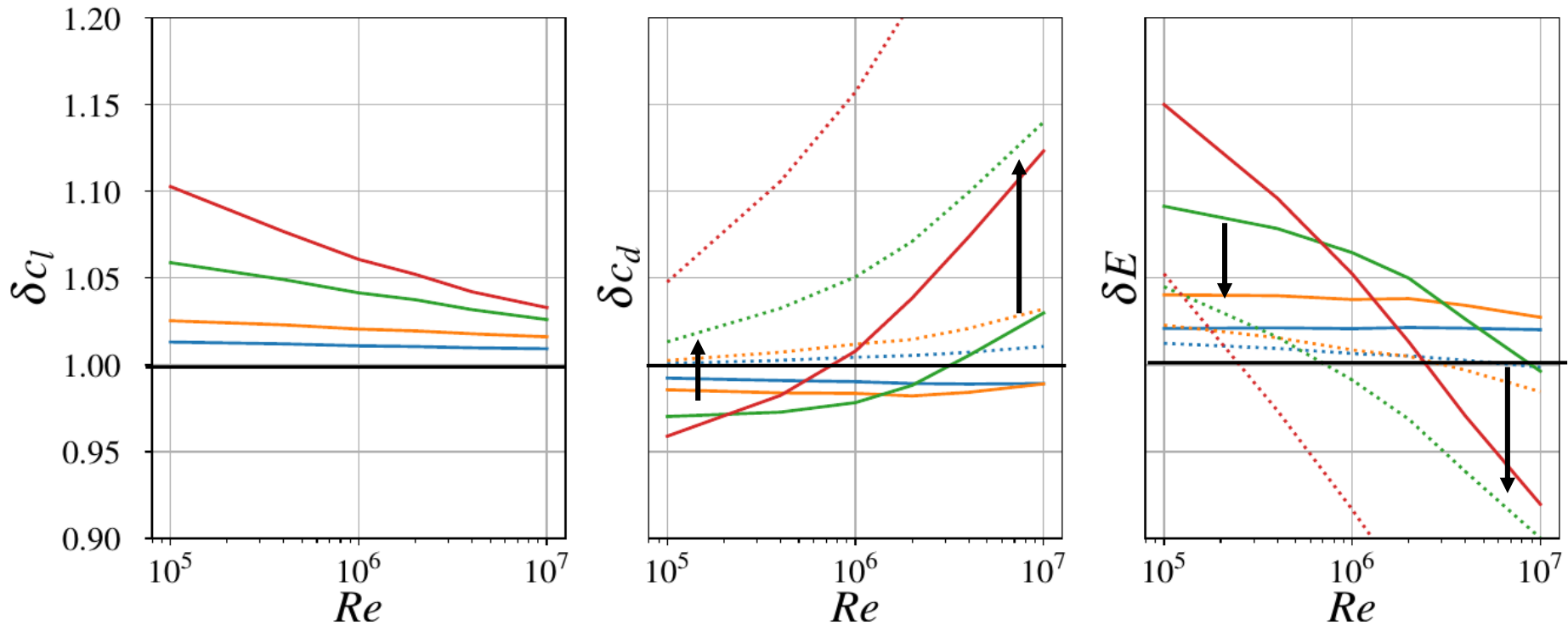


Naca4412, Reder-Konfiguration, $\alpha = 3^\circ$

Re-Abhängigkeit

$$\delta\Phi = \frac{\Phi}{\Phi_{ref}}$$

$$v_{BLC} = 0.5\% \dots 1\% U_{\infty}$$



Naca4412, Reder-Konfiguration, $\alpha = 3^\circ$

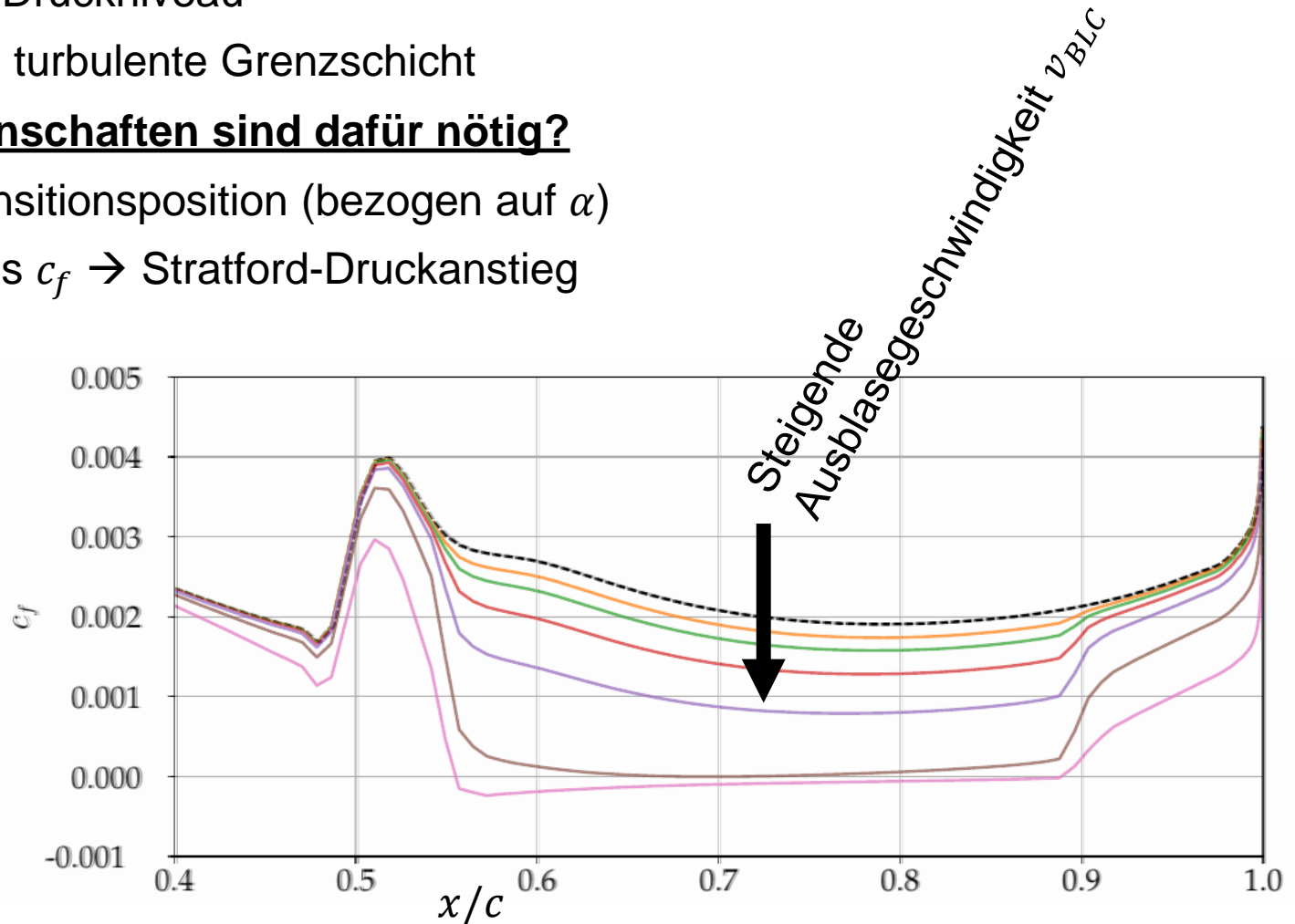
Günstige Ausblasekonfiguration auf der SS?

Warum?

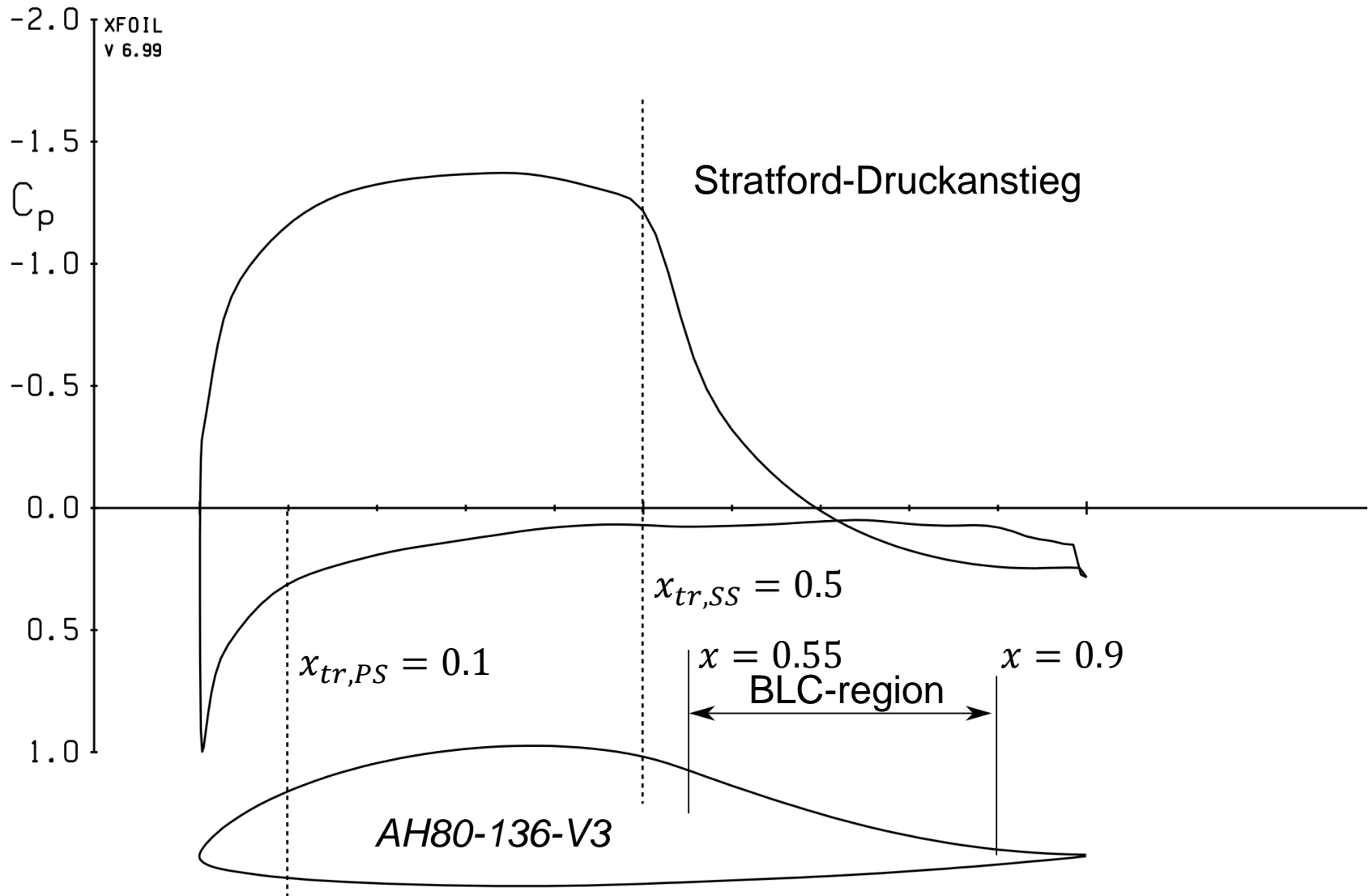
- Niedriges Druckniveau
- Natürliche turbulente Grenzschicht

Welche Eigenschaften sind dafür nötig?

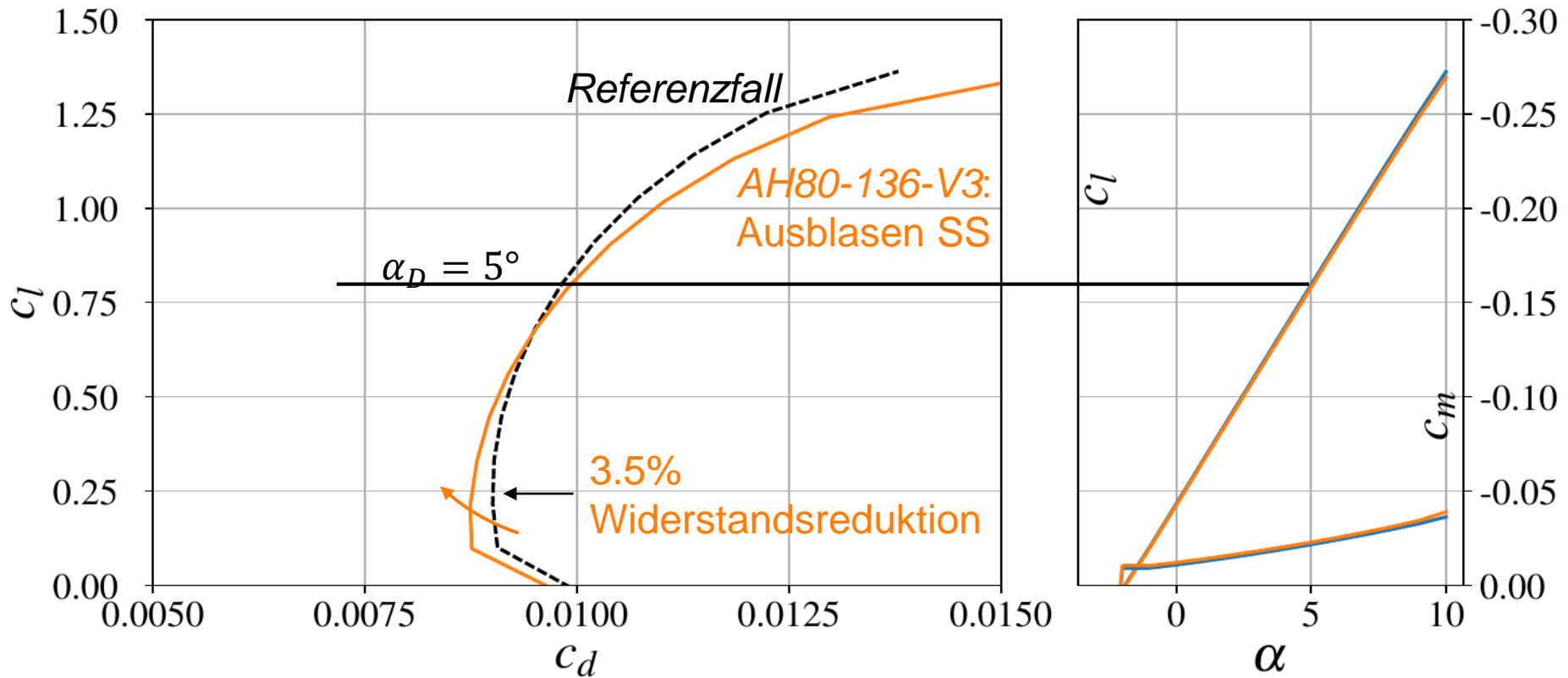
- Feste Transitionsposition (bezogen auf α)
- Konstantes $c_f \rightarrow$ Stratford-Druckanstieg



Günstige Ausblasekonfiguration auf der SS?

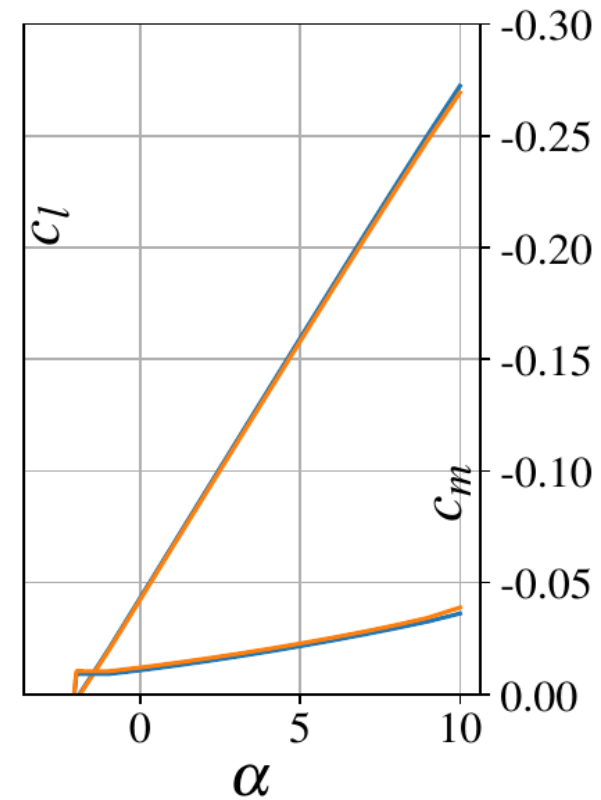
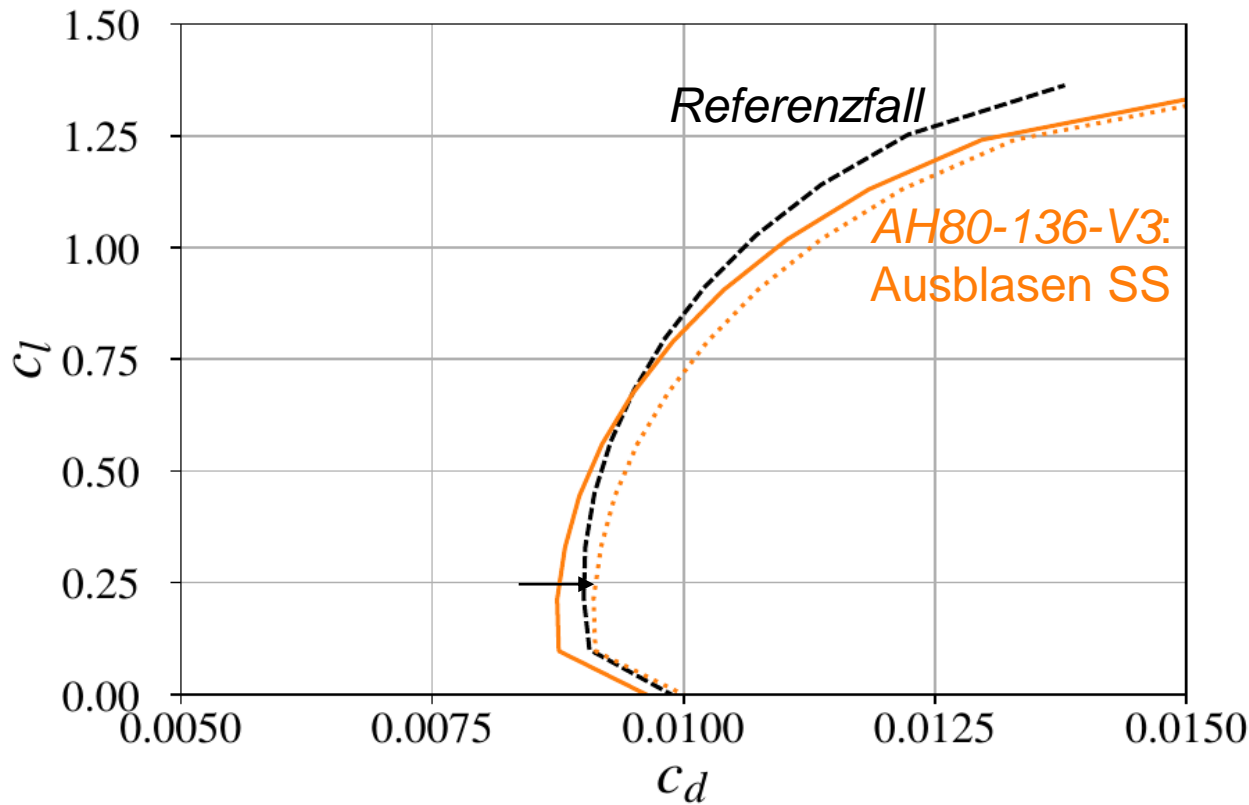


Günstige Ausblasekonfiguration auf der SS?



AH80-136-V3, Ausblasen Stratford-Druckanstieg, $Re = 1Mio$

Günstige Ausblasekonfiguration auf der SS?



AH80-136-V3, Ausblasen Stratford-Druckanstieg, $Re = 1Mio$

Zusammenfassung/Ausblick

Zusammenfassung:

- aerodynamisch günstig:
 - Ausblasen für höhere Re
 - Ausblasen auf PS für niedrige c_l
 - Absaugen auf SS für hohe c_l
 - Ausblasen auf SS in Stratford-Druckanschieg
- insgesamt günstig:
 - Ausblasen PS

Nächste mögliche Schritte

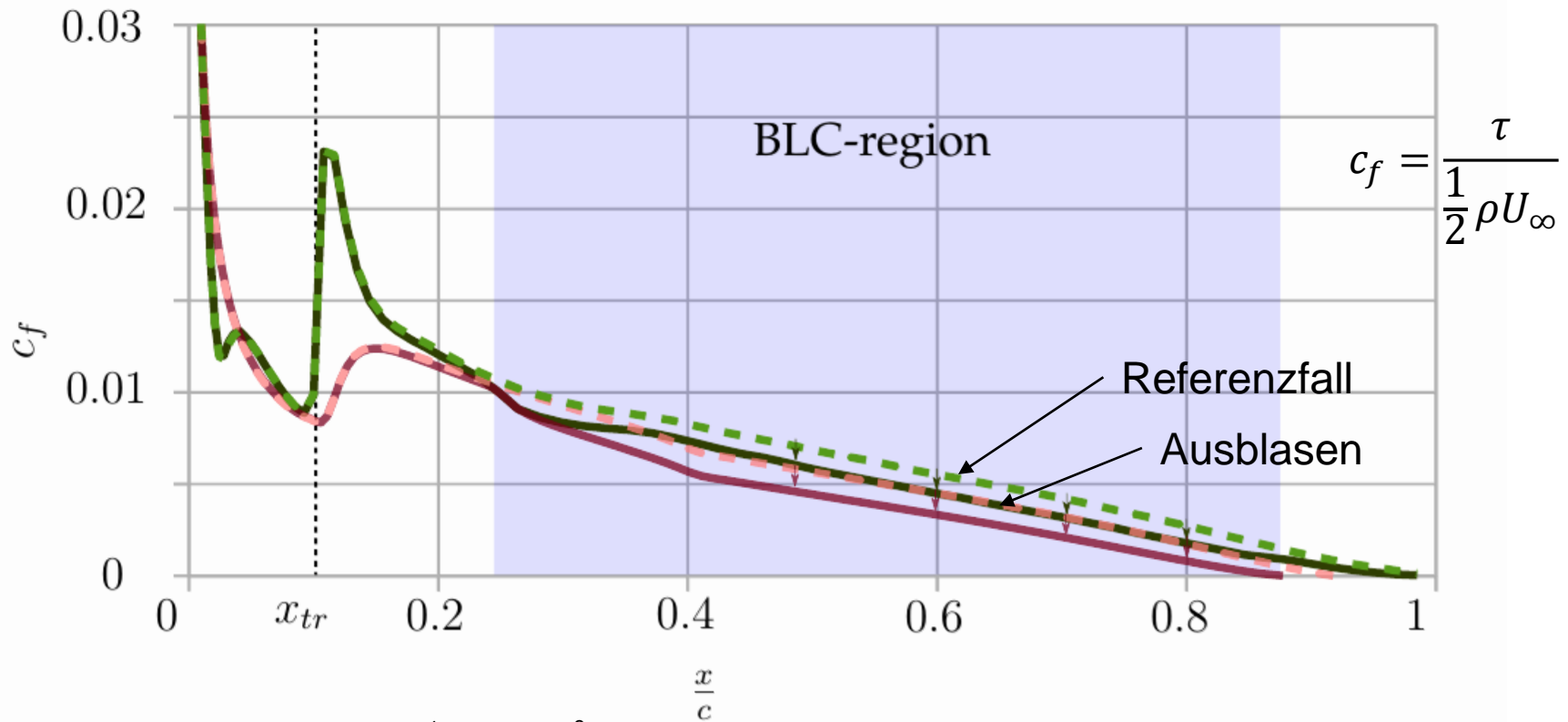
- Höhere Re und $Mach$ -Zahlen
- Weitere Profilklassen
 - Transsonische Profile
 - S-Schlag Profile
 - Profile mit Flaps/Slats
- Profile, die für den Einsatz mit BLC entwickelt sind
- Überzieheigenschaften bestimmen

Varied Parameters

α [°]		-3 .. 12
Re		1e5 .. 2e7
Airfoil		Naca4412, Clark-Y, Naca23012, AH80-136
General Geometry	Camber	Naca5412, Naca6412
	Thickness	Naca4409, Naca4415
Flow Rate v_{BLC} [% u_∞]		0.025 .. 2
Configurations	Literature configurations	KTH
		Reder
		Fukagata
		Gersten
	Enhancements	Stratford Blowing Combined SS-Suction + PS-Blowing

Validation – DNS/LES Daten (KTH, Stockholm)

	c_l	c_d	E	Δ to reference
→ LES (KTH)	0,842	0,0202	41,7	-6,2%
RANS	0,829	0,0204	40,6	-6,6%

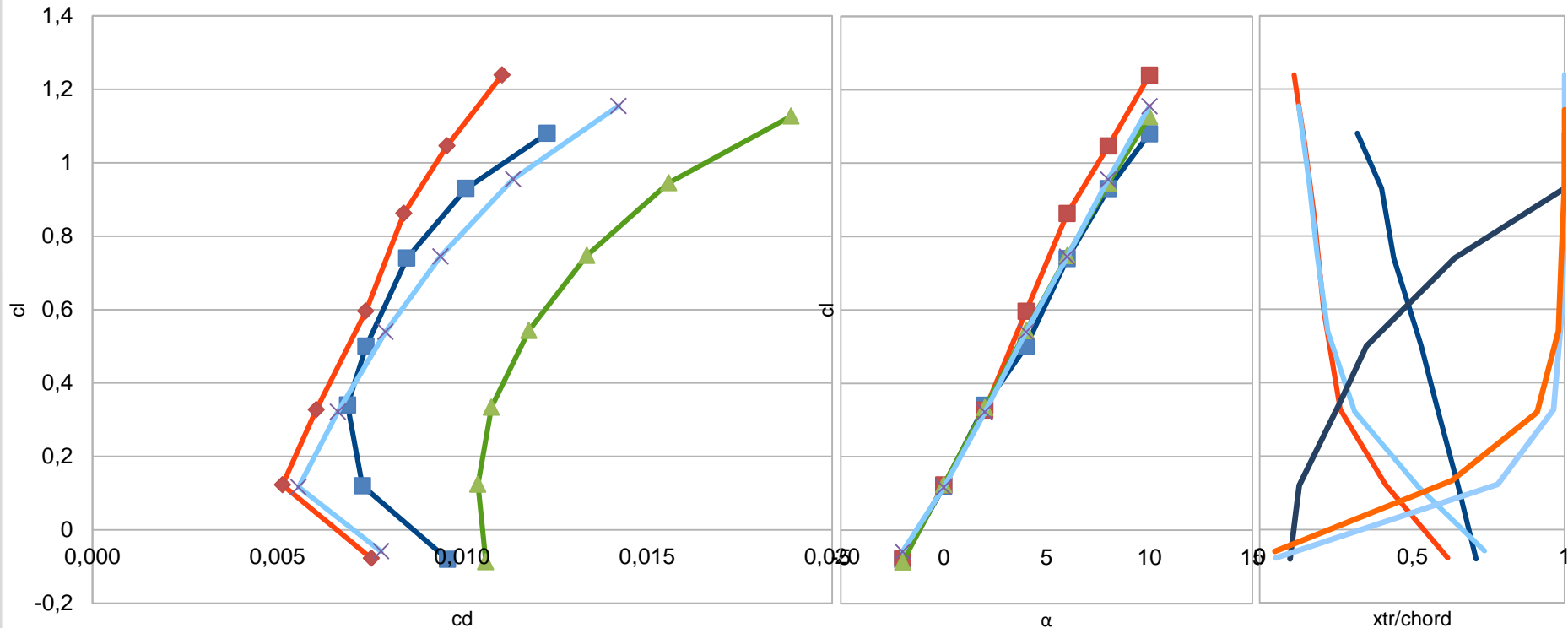


Naca4412, $Re = 2 \cdot 10^5$, $\alpha = 5^\circ$, $v_{BLC} = 0.1\% U_\infty$

Validation – Experimental Data Naca23012

Polarendiagramm $Re = 1.5M$

- Daten Stuttgarter Profilkatalog
- ◆ Daten xfoil $n_{crit}=13$
- ▲ Tripping ohne Turbulenzkontrolle
- × Tripping mit Turbulenzkontrolle



1. Motivation/Objective
2. Methodology and Validation
3. Results:
 - α - dependency
 - Re - dependency
 - intensity- dependency
 - Influence of configurations

