



# Smart Blades

## Entwicklung und Konstruktion intelligenter Rotorblätter

**Deliverable Nr.:** 3.2.2.1

**Deliverable Name:** Berechnung der Aerodynamische Daten  
(Druckverteilung, Zielshapes vor Verformung und Ausgangsgeometrie  
bezogen auf den Vorflügel)

**Technologie 3**

**Del. Typ:** Report

**Lieferdatum:** 01.07.14

**Deliverable Verantwortliche/r:** Dr. -Ing. J. Wild

**Partner / Institut:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Institut für  
Aeodynamik und Strömungstechnik

**Beteiligte Institute & Einrichtungen:**

### Zusammenfassung

**Zielsetzung/-erreichung:** planmäßig

**Übergeordneter Handlungsbedarf:** nein

**Bericht des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik**  
**Report of the Institute of Aerodynamics and Flow Technology**

**IB 124-2014/7**

**Entwurf eines Vorflügels in integrierter  
sowie aufgesetzter Bauweise an dem DU 91-W2-250  
Profil des Smart Blades Referenzblattes**

**A. Manso Jaume, J. Wild**

SmartBlades wird gefördert durch das Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie unter Projektnummer: 103020

**Herausgeber:**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

**ISSN 1614-7790**

Stufe der Zugänglichkeit: 1  
Braunschweig, im Juni 2014

Institutsdirektor:

Prof. Dr.-Ing. habil. C.-C. Rossow

Verfasser:

MSc Ana Manso Jaume  
Dr.-Ing. J. Wild

Abteilung: Transportflugzeuge  
Abteilungsleiter:  
Dr.-Ing. R. Rudnik

Dieser Bericht enthält:  
16 Seiten  
4 Referenzen  
23 Abbildungen  
3 Tabellen

## Inhalt

Inhalt .....	1
Abbildungen .....	1
Tabellen .....	2
1 Einleitung.....	3
2 Geometrie.....	3
3 Anströmbedingungen .....	3
4 Integrierter Vorflügel.....	4
4.1 Geometrie und Parametrisierung .....	4
4.2 2D Optimierung .....	5
4.3 Optimale Geometrie .....	6
5 Aufgesetzter Vorflügel .....	8
5.1 Geometrie und Parametrisierung .....	8
5.2 2D Optimierung .....	9
5.3 Optimale Geometrie .....	10
6 Vergleich integrierte und aufgesetzte Konfiguration .....	12
7 Zusammenfassung .....	13
8 Referenzen.....	13
A CFD-Simulation .....	14

## Abbildungen

Abbildung 1: Aufbauprofile des Smart Blades Referenzblattes .....	3
Abbildung 2: Teilung des originalen Profils in Vorflügel und Hauptprofil .....	4
Abbildung 3: Parametrisierung der Geometrie des integrierten Vorflügels und Hauptprofils .....	4
Abbildung 4: Auftriebsbeiwerte der initialen Konfiguration des integrierten Vorflügels .	5
Abbildung 5: Widerstandsbeiwerte der initialen Konfiguration des integrierten Vorflügels .....	5
Abbildung 6: Initiale und optimale Geometrie des integrierten Vorflügels .....	6
Abbildung 7: Auftriebsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels.....	6
Abbildung 8: Widerstandsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels.....	6
Abbildung 9: Steigzahl über Auftriebsbeiwert für die initiale und optimale Geometrie des integrierten Vorflügels.....	6
Abbildung 10: Druckverteilungen der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels für verschiedene Anstellwinkel .....	7
Abbildung 11: Originales Profil mit aufgesetztem Vorflügel .....	8
Abbildung 12: Parametrisierung der Geometrie des aufgesetzten Vorflügels.....	9
Abbildung 13: Auftriebsbeiwerte der initialen Konfiguration des aufgesetzten Vorflügels .....	9
Abbildung 14: Widerstandsbeiwerte der initialen Konfiguration des aufgesetzten Vorflügels.....	9
Abbildung 15: Initiale und optimale Geometrie des aufgesetzten Vorflügels .....	10
Abbildung 16: Auftriebsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels .....	10

Abbildung 17: Widerstandsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels .....	10
Abbildung 18: Steigzahl über Auftriebsbeiwert für die initiale und optimale Geometrie des aufgesetzten Vorflügels .....	10
Abbildung 19: Druckverteilungen der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels für verschiedene Anstellwinkel .....	11
Abbildung 20: Auftriebsbeiwerte der integrierten und aufgesetzten Vorflügel .....	12
Abbildung 21: Widerstandsbeiwerte der integrierten und aufgesetzten Vorflügel .....	12
Abbildung 22: Steigzahl über Auftriebsbeiwert für den integrierten und aufgesetzten Vorflügel .....	13
Abbildung 23: Gleitzahl über Auftriebsbeiwert für den integrierten und aufgesetzten Vorflügel .....	13

## **Tabellen**

Tabelle 1: Anströmbedingungen an das Aufbauprofil bei Nennbetrieb .....	3
Tabelle 2: Vergleich charakteristischer Beiwerte zwischen originalem Profil und Profil mit integriertem Vorflügel .....	8
Tabelle 3: Vergleich charakteristischer Beiwerte zwischen originalem Profil und Profil mit aufgesetztem Vorflügel .....	12

## 1 Einleitung

Der vorliegende Bericht stellt den Entwurf und Optimierung von einem integrierten sowie einem aufgesetzten Vorflügel an das Aufbauprofil DU 91-W2-250 des in dem vom BMWi geförderten Projekt Smart Blades verwendeten Referenzblattes [1] vor. Die Berechnungen erfolgten mittels CFD-Simulationen am zweidimensionalen Profilschnitt mit dem strukturierten DLR-Verfahren FLOWer [2]. Die Optimierung wurde mittels der DLR-Optimierungsumgebung CHAeOPS [3] durchgeführt. Details zu der verwendeten CFD-Simulation und des Optimierungsverfahrens finden sich in Anhang A.

## 2 Geometrie

Das verwendete Profil entspricht dem Profil DU 91-W2-250, dargestellt in Abbildung 1. Am Windkraftanlagenblatt befindet sich der Aufbauschnitt bei einer radialen Position von  $R=34,5$  m. Seine lokale Profiltiefe ist 3,442 m.

Der spannweite Einsatzbereich des Profils wurde in einer weiteren Version des Referenzblattes stark gegen die Blattspitze verschoben. Trotzdem sind, bis zur Definition der endgültigen Geometrie des Referenzblattes, die Eigenschaften des Profils wie in [1] beschreibt benutzt worden.

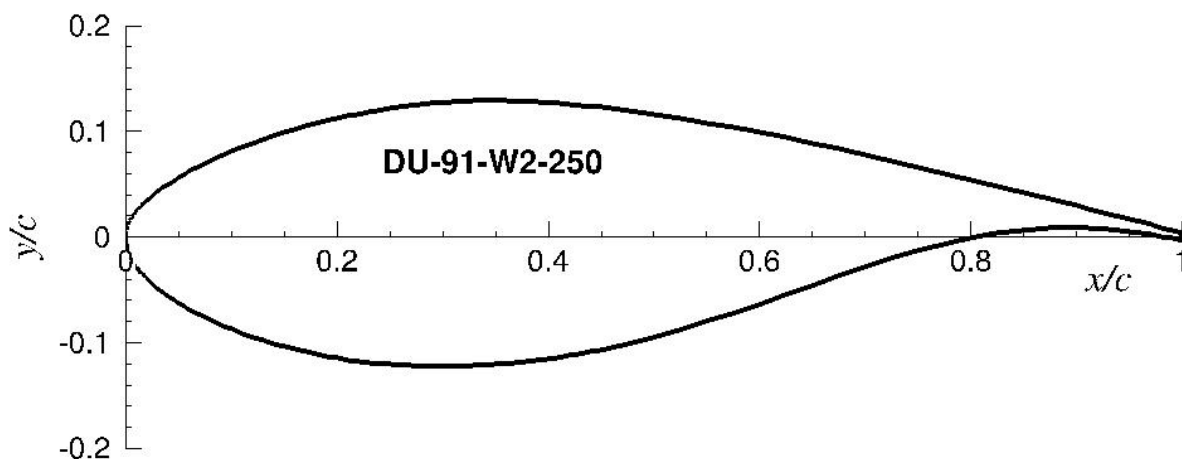


Abbildung 1: Aufbauprofile des Smart Blades Referenzblattes

## 3 Anströmbedingungen

Für die Strömungsberechnung wurden die Profile in dimensionslose Koordinaten umgerechnet, was durch eine Normierung auf die Länge 1 erreicht wird. Diese Länge entspricht dem originalen Profil. Unter Zugrundelegung der für das Referenzblatt vorgesehenen Normbetriebsbedingung mit einer Schnelllaufzahl von 8.5 ergeben sich die in Tabelle 1 angegebenen dimensionslosen Anströmparameter.

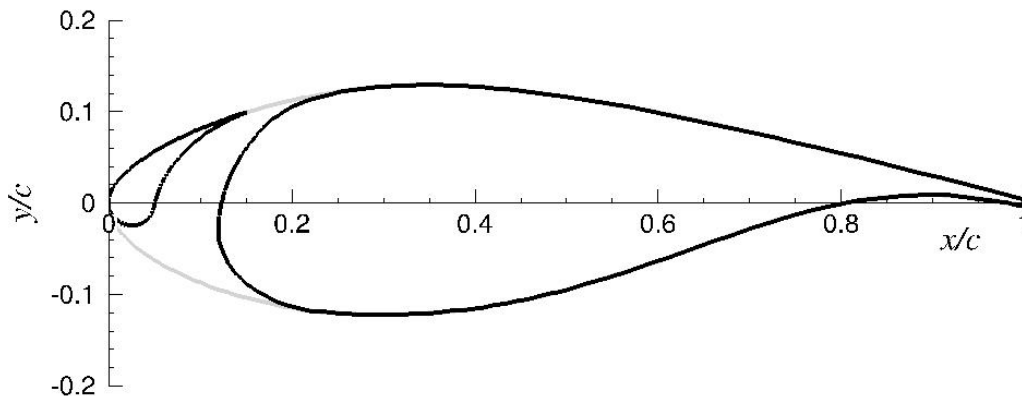
Tabelle 1: Anströmbedingungen an das Aufbauprofil bei Nennbetrieb

	Radiale Position [m]	Machzahl [-]	Reynoldszahl [ $10^6$ ]
DU 91-W2-250	34,5	0,1077	7,89

## 4 Integrierter Vorflügel

### 4.1 Geometrie und Parametrisierung

Um den integrierten Vorflügel zu definieren, wurde das originale Profil in dem vorderen Bereich ausgeschnitten. Die Oberseite des Vorflügels wurde von der ursprünglichen oberen Kontur bestimmt, während die Unterseite durch Spline-Kurven definiert wurde. Für das Hauptprofil wurde die ursprüngliche Kontur bis zur Hinterkante beibehalten und die Vorderkante wurde ebenfalls durch Spline-Kurven geschlossen. Eine Skizze dieser Geometrie findet sich in Abbildung 2.

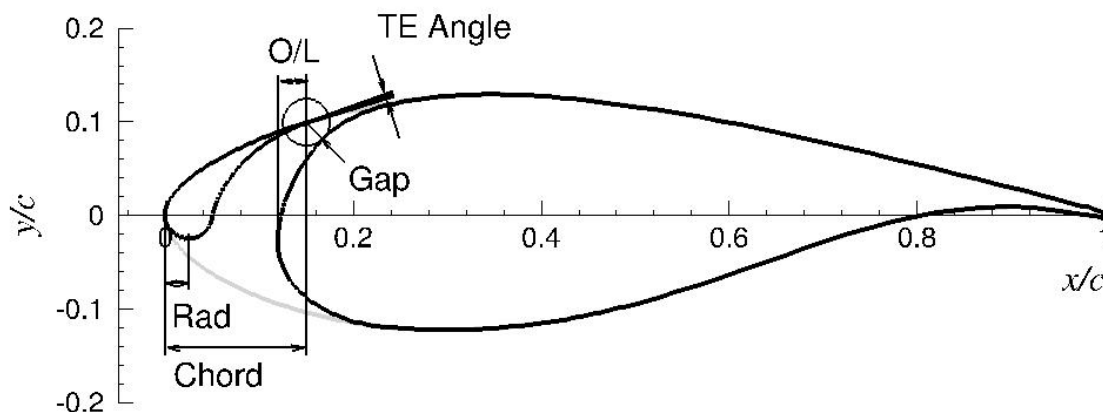


**Abbildung 2: Teilung des originalen Profils in Vorflügel und Hauptprofil**

Um die oben aufgeführten Geometrie geometrisch zu bestimmen, wurden folgende Parameter definiert:

- Profiltiefe des Vorflügels (Chord)
- Überlappung zwischen Vorflügel und Hauptprofil (O/L)
- Spalt zwischen Vorflügel und Hauptprofil (Gap)
- Winkel der Hinterkante des Vorflügels (TE Angle)
- Radius der Vorderkante des Vorflügels (Rad),

wie in Abbildung 3 skizziert. Die Dicke der Hinterkante des Vorflügels wurde mittels der für das Windkanalmodell minimalen machbaren Dicke festgelegt. Die Grenzen der für das Hauptprofil beizubehaltenden originalen Kontur wurden ebenfalls durch die bestehende Teilung des Windkanalmodells festgesetzt.

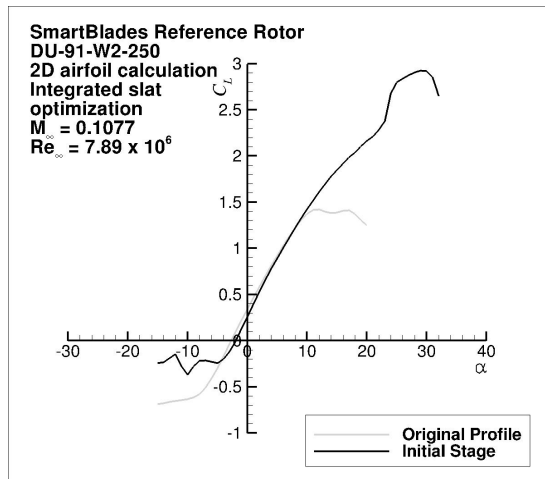


**Abbildung 3: Parametrisierung der Geometrie des integrierten Vorflügels und Hauptprofils**

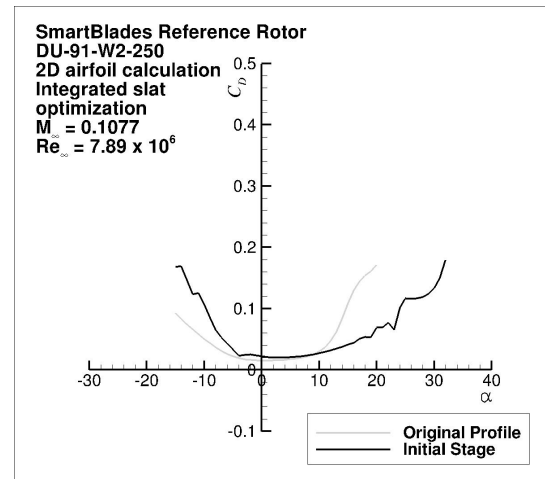
Die Parameter wurden systematisch vom Optimierungsverfahren geändert und jede unterschiedliche Geometrie wurde mittels Strömungsberechnungen analysiert. Die aerodynamischen Beiwerte wurden durch die gewählte Zielfunktion der Optimierung, die minimisiert werden soll, ausgewertet.

## 4.2 2D Optimierung

Die Geometrie von Abbildung 3 entspricht der initialen Konfiguration, die optimiert werden muss. Ihre Profilbeiwerte für Auftrieb und Widerstand im Vergleich zu den vom originalen Profil finden sich in Abbildung 4 und Abbildung 5.



**Abbildung 4: Auftriebsbeiwerte der initialen Konfiguration des integrierten Vorflügels**



**Abbildung 5: Widerstandsbeiwerte der initialen Konfiguration des integrierten Vorflügels**

Bei diesem ersten Entwurf lässt sich schon die übliche Wirkungsweise eines Vorflügels erkennen. Der Anstellwinkel bei dem der Maximalauftrieb eintritt, sowie der maximale Auftriebsbeiwert sind stark erhöht, ohne Steigerung des Auftriebs bei gleichen Anstellwinkeln vor dem Auftreten der Strömungsablösung. Es ergibt sich auch eine frühere Ablösung bei negativen Anstellwinkeln sowie eine Erhöhung des Widerstandsbeiwerts im Vergleich zum originalen Profil (ohne Ablösung). Bei dieser Konfiguration ergibt sich allerdings eine verspätete Wirkung des Vorflügels, dargestellt durch den Knick der Auftriebskurve um  $\alpha = 20^\circ$ , auch erkennbar in der Widerstandskurve.

Aus den obengenannten Ergebnissen, wurde die Zielfunktion aus zwei Anteilen definiert: der Auftriebsbeiwert bei  $\alpha = 20^\circ$  soll maximiert werden, um die verspätete Wirkung des Vorflügels zu vermeiden; und die Steigzahl bei dem Anstellwinkel bei dem die Steigzahl maximal ist, soll ebenfalls maximiert werden, um den Widerstandsbeiwert bzw. die gesamte Leistung zu berücksichtigen.

$$F_{obj}(\bar{x}) = \sum_{i=1,2} [w_i \cdot F_i(\bar{x})] ; F_1(\bar{x}) = \frac{C_D^2}{C_L^3} \bigg|_{\alpha=13^\circ} ; F_2(\bar{x}) = -C_L|_{\alpha=20^\circ}$$

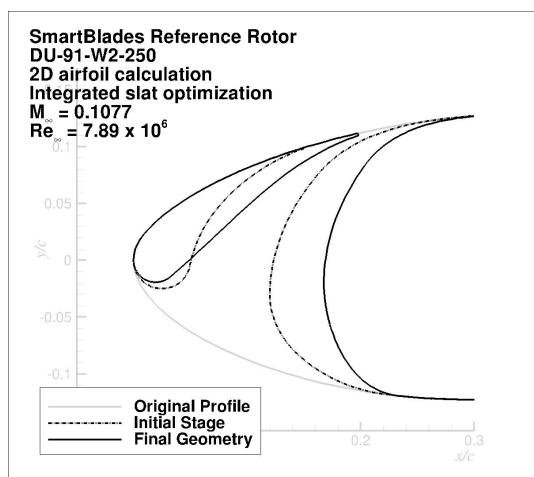
Da die Wirkung des Vorflügels erst eindeutig im mittleren und höheren Anstellwinkelbereich eintritt und der Widerstandsbeiwert des originalen Profils im kleinen Anstellwinkelbereich deutlich geringer ist, ist die Möglichkeit der Schließung des Spalts zwischen Vorflügel und Hauptprofil im kleinen Anstellwinkelbereich von

Bedeutung. Aus diesem Grund, wurden dickere Vorflügel-Profile bevorzugt, um den notwendigen Bauraum für einen adaptiven Vorflügel vorzusehen.

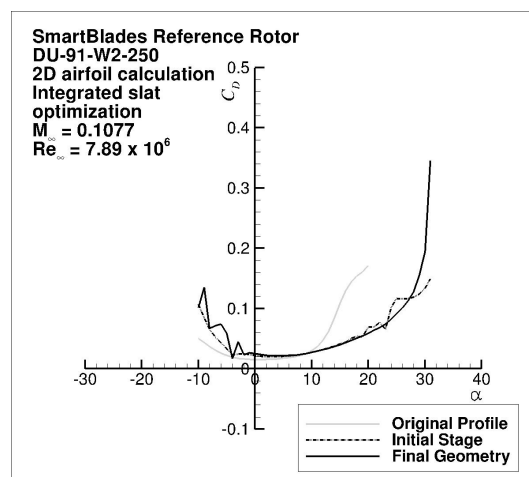
Für den gesamten Optimierungsprozess wurden vier verschiedene Optimierungen durchgeführt. Insgesamt sind 1094 Zielfunktionsberechnungen mit jeweils zwei Strömungsberechnungen durchgeführt worden.

### 4.3 Optimale Geometrie

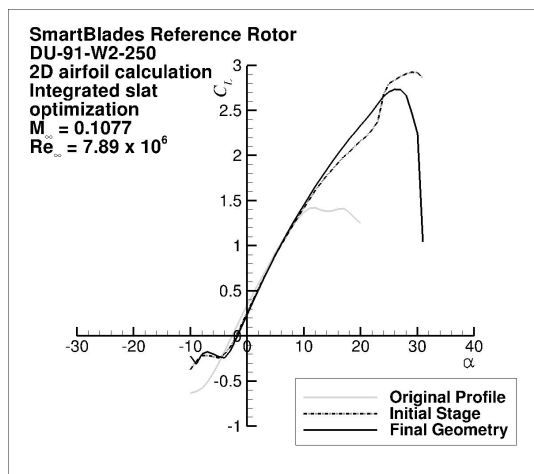
Die finale Geometrie und ihre Profilkennwerte für Auftrieb, Widerstand und Steigzahl sind im Vergleich zur initialen Konfiguration und dem originalen Profil in Abbildung 6 bis Abbildung 9 dargestellt. Die Druckverteilungen der beiden Konfigurationen sind für bestimmte Anstellwinkel in Abbildung 10 verglichen.



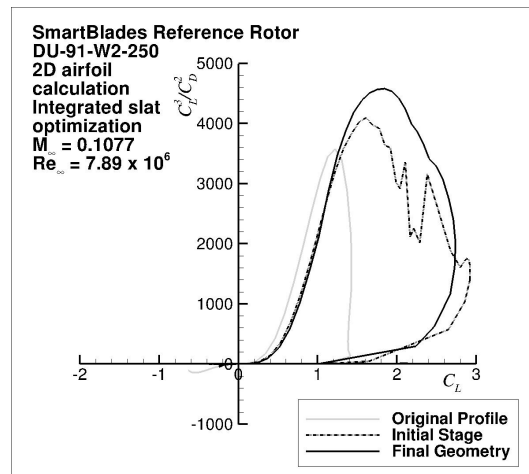
**Abbildung 6: Initiale und optimale Geometrie des integrierten Vorflügels**



**Abbildung 8: Widerstandsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels**



**Abbildung 7: Auftriebsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels**



**Abbildung 9: Steigzahl über Auftriebsbeiwert für die initiale und optimale Geometrie des integrierten Vorflügels**



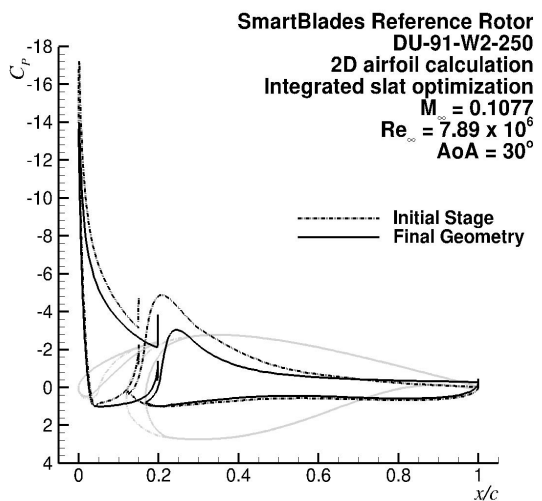
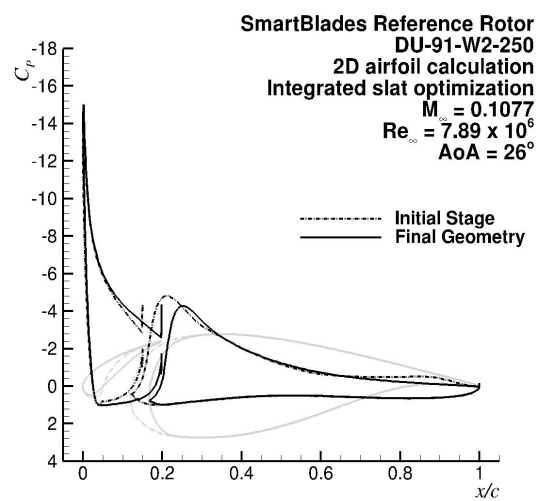
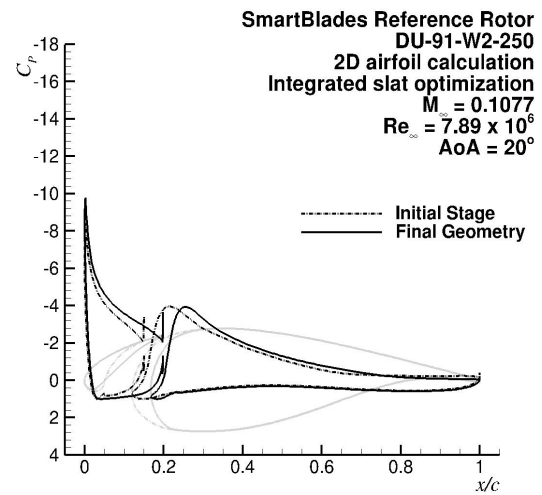
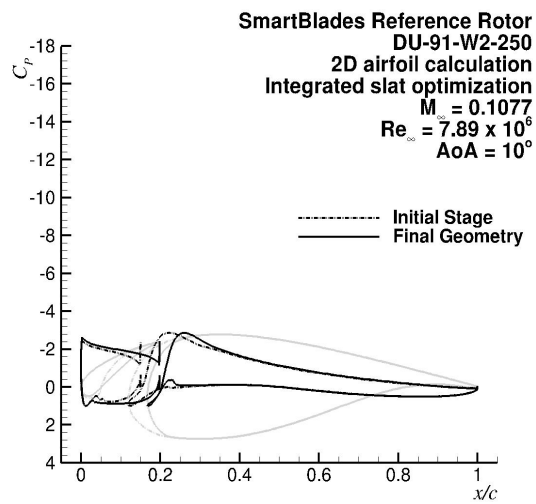
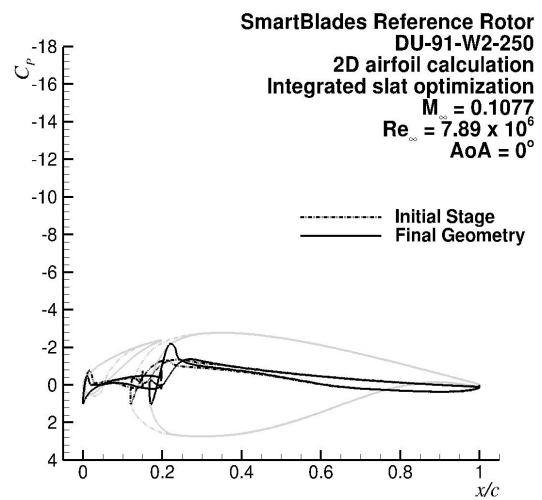
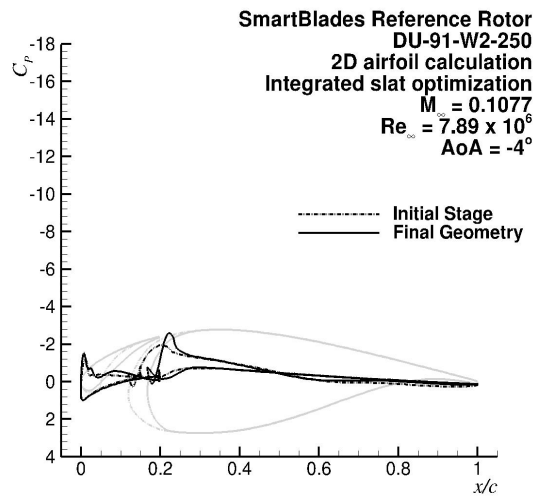


Abbildung 10: Druckverteilungen der initialen und optimalen Geometrie des integrierten Vorflügels für verschiedene Anstellwinkel

Die relative Position der Hinterkante des Vorflügels über dem Hauptprofil (Überlappung und Spalt) wurde beibehalten. Aufgrund der Verlängerung der Vorflügelprofiltiefe wurde sein relativer Ausschlagwinkel verringert, und somit wurde die verspätete Wirkung vermieden. Die optimale Kombination dieser drei Parameter bestimmt den max. Auftriebsbeiwert. Die untere Seite des Vorflügels und die Vorderkante des Hauptprofils wurden mittels der anderen Parameter angepasst, um die Leistung zu maximieren. Durch die Optimierung wurde eine Verbesserung der Zielfunktion von 23,35 % erreicht.

Im Vergleich zu dem originalen Profil, ist durch den Einsatz des integrierten Vorflügels eine Erhöhung des max. Auftriebsbeiwerts um 92.28 % erreicht und der Anstellwinkelbereich des Profils ist um  $14^\circ$  vergrößert. Der Widerstand ist jedoch im kleinen Anstellwinkelbereich stark erhöht. Eine Erfassung dieser signifikanten Beiwerte erfolgt in Tabelle 2.

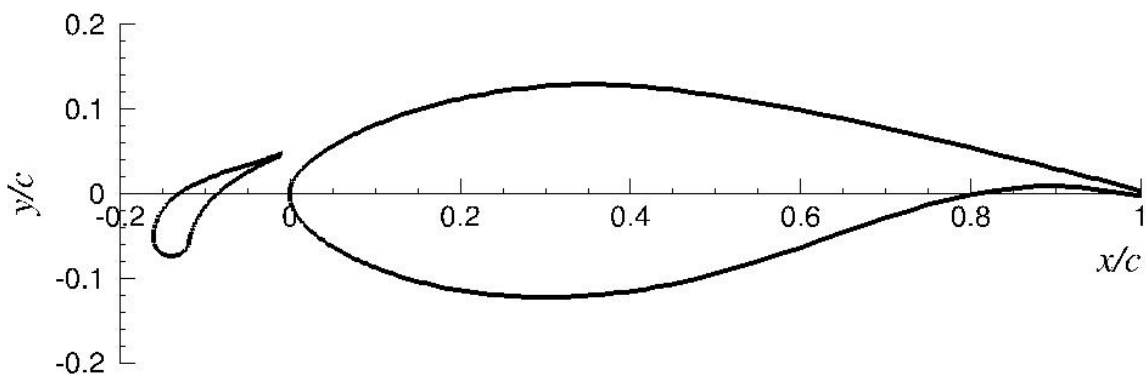
**Tabelle 2: Vergleich charakteristischer Beiwerte zwischen originalem Profil und Profil mit integriertem Vorflügel**

Konfiguration	$C_{Lmax}$ [-]	$\alpha_{CLmax}$ [°]	$C_D (\alpha=0^\circ)$ [ $10^{-4}$ ]	max. $C_L^3/C_D^2$ [-]
Originales Profil	1,423	12	152,3	3201,94
Integrierter Vorflügel	2,736	26	249,7	4583,41

## 5 Aufgesetzter Vorflügel

### 5.1 Geometrie und Parametrisierung

Im Unterschied zur integrierten Konfiguration, wurde die ganze Geometrie des originalen Profils beibehalten und der Vorflügel auf das Profil aufgesetzt. Die Vorderkante des aufgesetzten Vorflügels wurde durch einen Kreisabschnitt festgelegt und die restliche Kontur wurde durch Spline-Kurven definiert. In Abbildung 11 ist eine Skizze dieser Geometrie dargestellt.



**Abbildung 11: Originales Profil mit aufgesetztem Vorflügel**

Die Parameter, die die Geometrie beschreiben, sind ähnlich denen der integrierten Variante:

- Profiltiefe des Vorflügels
- Überlappung zwischen Vorflügel und Hauptprofil
- Spalt zwischen Vorflügel und Hauptprofil
- Winkel der Hinterkante des Vorflügels
- Radius der Vorderkante des Vorflügels

• Neigung des Vorflügels,  
in Abbildung 12 dargestellt, wobei die Neigung des Vorflügels nun hinzukommt, gesteuert über die Tieflage des Nasenpunktes. Die Dicke der Hinterkante des Vorflügels wurde ebenso mit der für das Windkanalmodell minimalen machbaren Dicke festgesetzt.

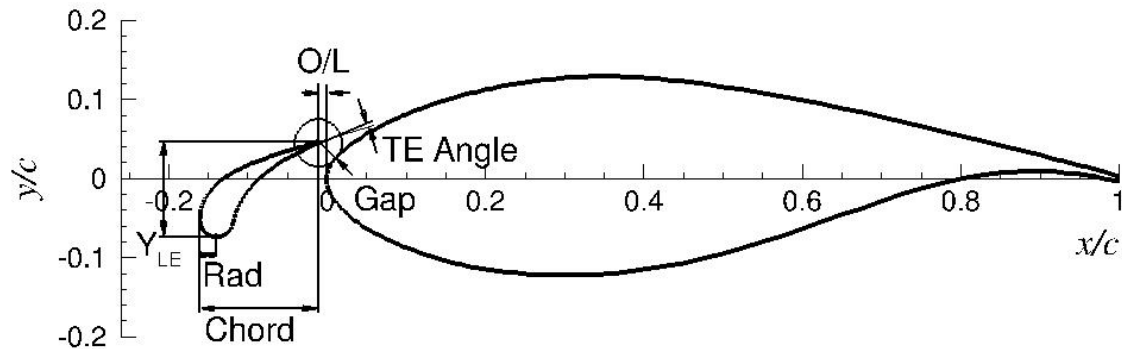


Abbildung 12: Parametrisierung der Geometrie des aufgesetzten Vorflügels

## 5.2 2D Optimierung

Die Profilbeiwerte für Auftrieb und Widerstand der initialen Konfiguration, die der Abbildung 12 entspricht, sind im Vergleich zu denen des originalen Profils in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

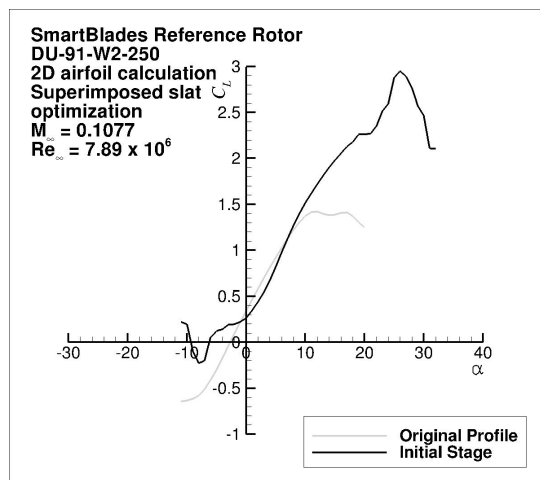


Abbildung 13: Auftriebsbeiwerte der initialen Konfiguration des aufgesetzten Vorflügels

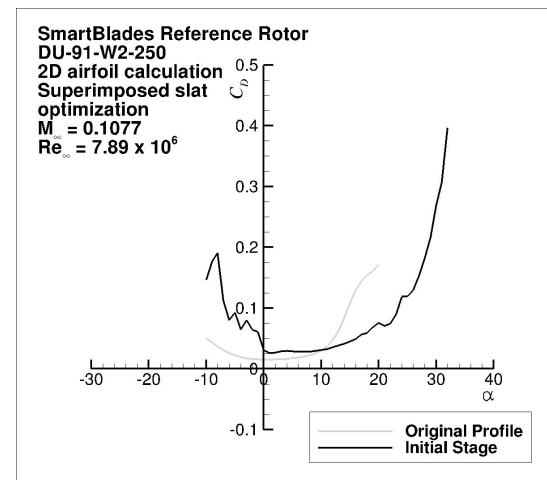


Abbildung 14: Widerstandsbeiwerte der initialen Konfiguration des aufgesetzten Vorflügels

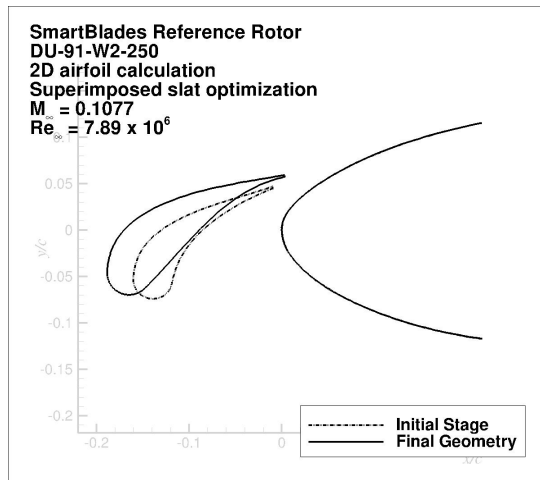
Die typische Wirkungsweise des Vorflügels ist wieder deutlich identifizierbar. Die verspätete Wirkung des Vorflügels ist in diesem Fall ebenfalls zu erkennen, jetzt aber bei höheren Anstellwinkeln. Deswegen wurde die Zielfunktion der Optimierung analog zum integrierten Vorflügel in zwei Anteilen definiert, der Auftriebsbeiwert wurde aber in diesem Fall bei  $\alpha = 22^\circ$  maximiert.

$$F_{obj}(\bar{x}) = \sum_{i=1,2} [w_i \cdot F_i(\bar{x})] ; F_1(\bar{x}) = \left. \frac{C_D^2}{C_L^3} \right|_{\alpha=13^\circ} ; F_2(\bar{x}) = -C_L|_{\alpha=22^\circ}$$

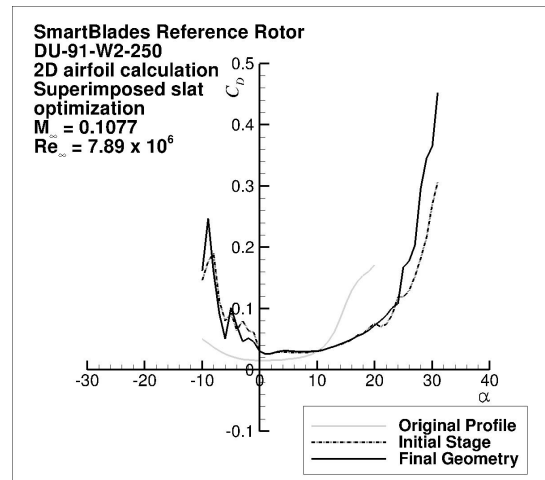
Für das Schließen des Spalts wurde auch hier ein dickes Profil bevorzugt.  
 Der gesamte Optimierungsprozess des aufgesetzten Vorflügels hat vier verschiedene Optimierungen benötigt und insgesamt wurden 914 Zielfunktionsberechnungen durchgeführt.

### 5.3 Optimale Geometrie

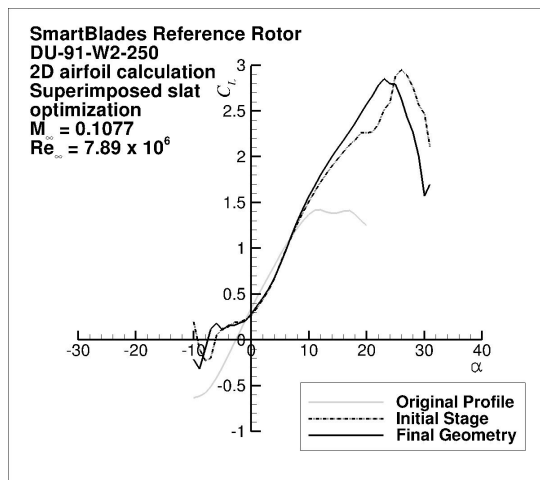
Die Geometrie, Profilbeiwerte und Druckverteilungen der initialen und optimalen Konfigurationen sind in Abbildung 15 bis Abbildung 19 dargestellt.



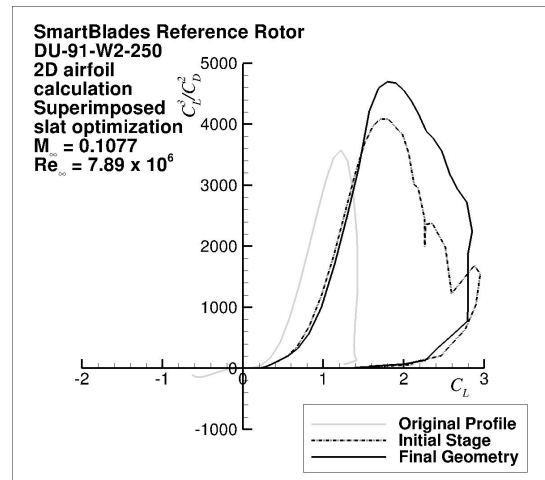
**Abbildung 15: Initiale und optimale Geometrie des aufgesetzten Vorflügels**



**Abbildung 17: Widerstandsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels**



**Abbildung 16: Auftriebsbeiwerte der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels**



**Abbildung 18: Steigzahl über Auftriebsbeiwert für die initiale und optimale Geometrie des aufgesetzten Vorflügels**

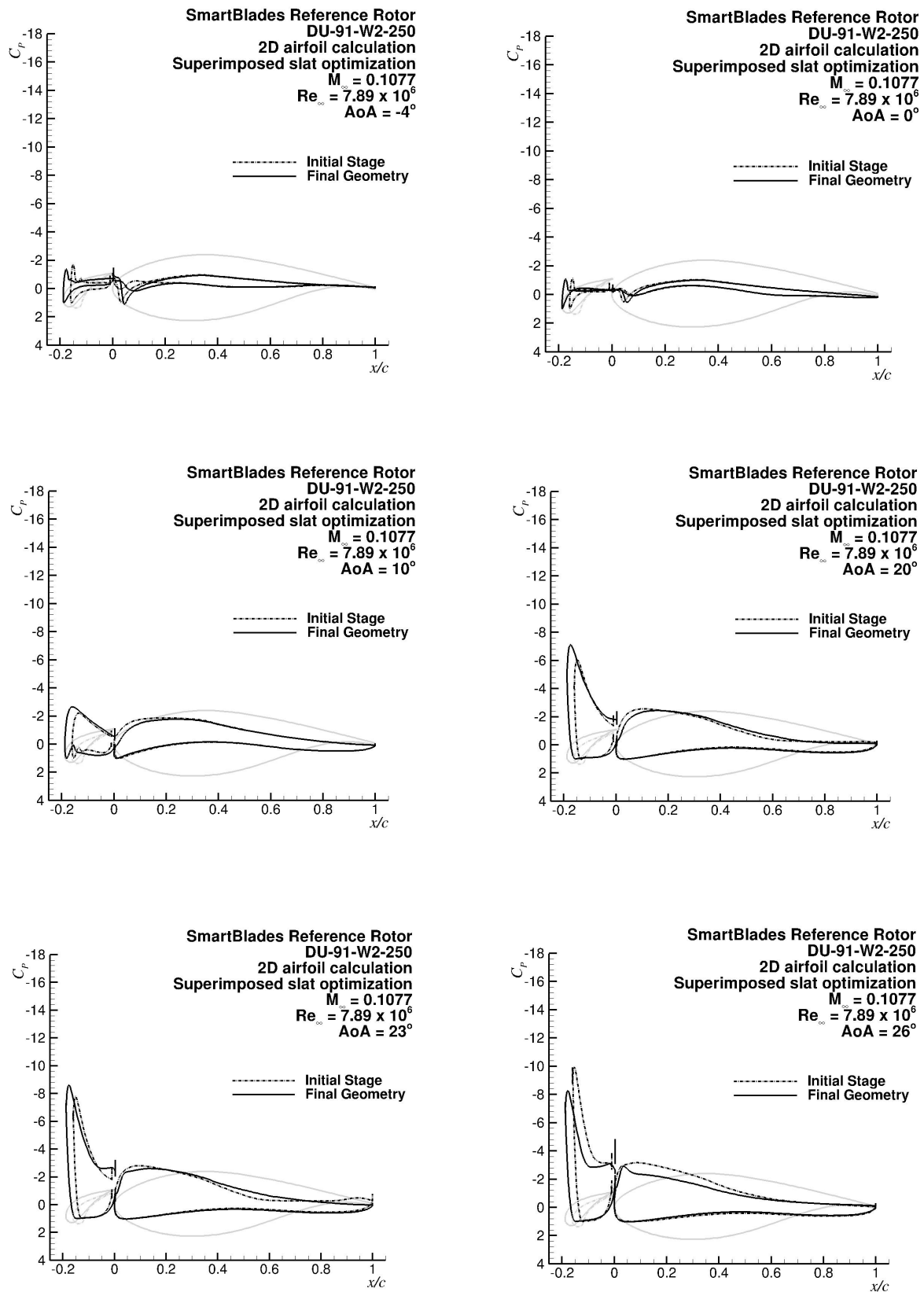


Abbildung 19: Druckverteilungen der initialen und optimalen Geometrie des aufgesetzten Vorflügels für verschiedene Anstellwinkel

Mittels einer kleinen Reduzierung des Spalts und einer positiven Überlappung sowie einer geringeren Neigung, wurde der Vorflügel optimal positioniert, so dass die Saugspitze des Hauptprofils verringert und die frühe Ablösung vermieden wird. Auch die Verlängerung der Profiltiefe hat durch die Verlängerung der gesamten Profiltiefe eine positive Auswirkung auf den Auftrieb. Die Steigzahl wurde durch die optimale Positionierung und Kontur des Vorflügels im mittleren und höheren Anstellwinkelbereiche stark erhöht. Hier wurde die Zielfunktion um 28,05 % verbessert.

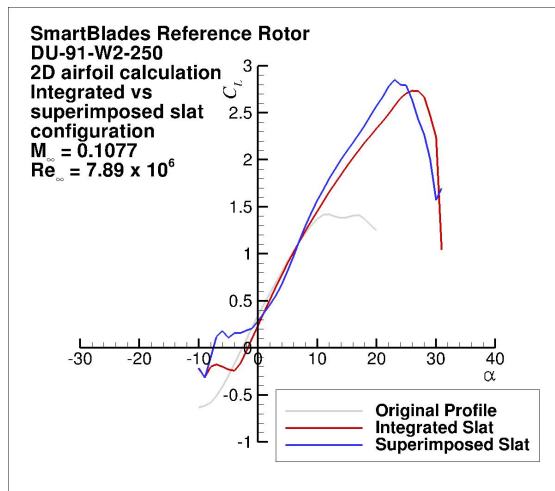
Der max. Auftriebsbeiwert wird bei der optimalen Konfiguration des aufgesetzten Vorflügels im Vergleich mit dem originalen Profil verdoppelt, aber der Widerstandsbeiwert wird bei kleinen Anstellwinkeln auf die gleiche Weise erhöht. Der Anstellwinkelbereich wird um  $11^\circ$  vergrößert. Die genauen Werte sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3: Vergleich charakteristischer Beiwerte zwischen originalem Profil und Profil mit aufgesetztem Vorflügel**

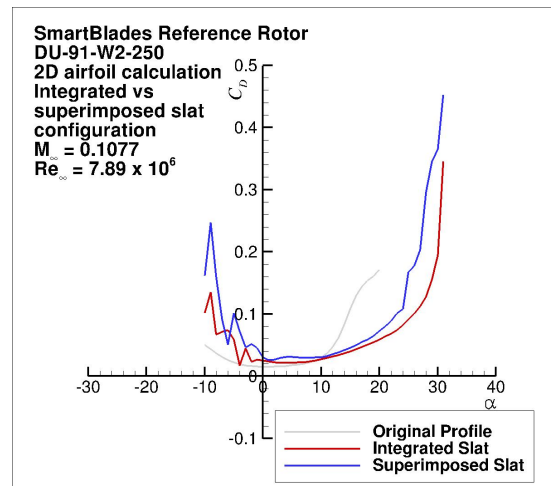
Konfiguration	$C_{Lmax}$ [-]	$\alpha_{CLmax}$ [ $^\circ$ ]	$C_D (\alpha=0^\circ)$ [ $10^{-4}$ ]	max. $C_L^3/C_D^2$ [-]
Originales Profil	1,423	12	152,3	3201,94
Aufgesetzter Vorflügel	2,85	23	301,2	4695,78

## 6 Vergleich integrierte und aufgesetzte Konfiguration

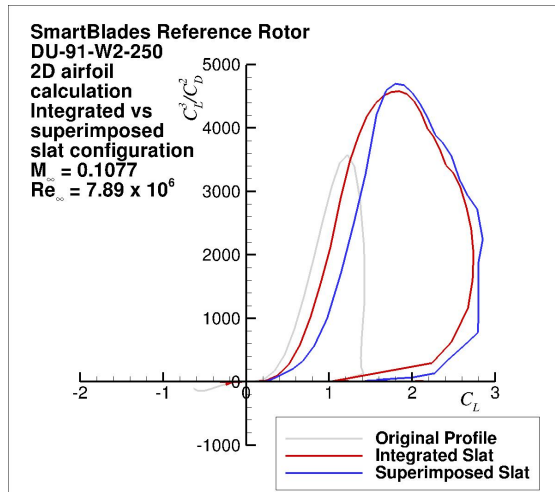
Die Profilbeiwerte für Auftrieb, Widerstand, Gleitzahl und Steigzahl der optimalen integrierten sowie aufgesetzten Vorflügel sind in Abbildung 20 bis Abbildung 23 miteinander verglichen.



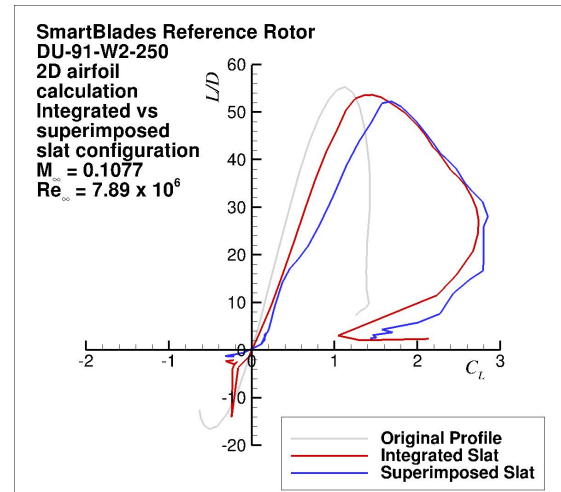
**Abbildung 20: Auftriebsbeiwerte der integrierten und aufgesetzten Vorflügel**



**Abbildung 21: Widerstandsbeiwerte der integrierten und aufgesetzten Vorflügel**



**Abbildung 22:** Steigzahl über Auftriebsbeiwert für den integrierten und aufgesetzten Vorflügel



**Abbildung 23:** Gleitzahl über Auftriebsbeiwert für den integrierten und aufgesetzten Vorflügel

Der höhere maximale Auftriebsbeiwert wird mittels des aufgesetzten Vorflügels erzeugt, mutmaßlich wegen der Verlängerung der gesamten Profiltiefe. Trotzdem ist die Effizienz des integrierten Vorflügels besonders im mittleren Anstellwinkelbereich sowohl hinsichtlich des Drehmoments ( $C_L/C_D$ ) als auch der Leistung ( $C_L^{3/2}/C_D$ ) deutlich besser. Deswegen wird diese letzte Konfiguration für den weiteren Entwurf des Vorflügels an dem DU 91-W2-250 Profil bevorzugt.

## 7 Zusammenfassung

Für den Entwurf eines Vorflügels an dem DU 91-W2-250 Profil des Smart Blades Referenzblattes wurden zwei verschiedene Bauweisen, eine integrierte und eine aufgesetzte, untersucht. Für die beiden Konzepte wurden initiale Konfigurationen definiert und optimiert. Bei den vorliegenden Rechnungen handelt es sich um rein zweidimensionale Betrachtungen.

Die entsprechenden optimalen Vorflügel führen zu einer Vergrößerung des Anstellwinkelbereichs sowie einer starken Erhöhung des Maximalauftriebs im Vergleich zu dem originalen Profil. Im kleinen Anstellwinkelbereich ergibt sich eine signifikante Steigerung des Widerstandsbeiwerts.

Obwohl der aufgesetzte Vorflügel zu einem höheren max. Auftrieb führt, ist die Effizienz des integrierten Vorflügels über einen großen Anstellwinkelbereich deutlich besser. Die integrierte Bauweise wird für den weiteren Entwurf bevorzugt.

## 8 Referenzen

- [1] Braun, R. (2013) Vorläufige Geometrie des Referenzblattes – Projekt SmartBlades, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES).
- [2] Raddatz, J. und Fassbender, J.K. (2005) Block Structured Navier-Stokes Solver FLOWer. In: MEGAFLOW - Numerical Flow Simulation for Aircraft Design, 89, Seiten 27-44. Springer Verlag. ISBN 3-540-24383-6.
- [3] Wild, J. (2002) Validation of Numerical Optimization of High Lift Multi-Element Airfoils based on Navier-Stokes Equations. Paper 2000-2939, AIAA.
- [4] Rowan, T. (1990) Functional Stability Analysis of Numerical Algorithms. Ph.D. thesis, Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin, USA.

## A CFD-Simulation

<b>Räumliche Diskretisierung</b>	
Netztyp	strukturiert
Netztopologie	C-Netz
Netzauflösung	
Hauptprofilumfang	368
Vorflügelumfang	184
Wandnormal	96
Nachlauf	96
Erster Wandabstand	$3 \times 10^{-6}$ Profiltiefen
Netzgröße	25 Profiltiefen
<b>Strömungslösung</b>	
CFD-Löser	FLOWer
Version	116.18
Strömungstyp	kompressibel
	2D
	stationär
	viskos
	voll-turbulent
Turbulenzmodell	Spalart-Almaras, Edwards-Modifikation
Raumdiskretisierung	Zellenpunktzentriert
Zeitintegration	5-stufiges Runge-Kutta
Konvergenzbeschleunigung	3-stufiges Mehrgitter (V)
	lokale Zeitschritte
	implizites Residuenglätten
<b>Optimierung</b>	
Optimierer	CHAEOPS
Optimierungsverfahren	SubPlex [4]
Stufen	5



## IB 124-2014/

### Entwurf eines Vorflügels in integrierter sowie aufgesetzter Bauweise an dem DU 91-W2-250 Profil des Smart Blades Referenzblattes

**A. Manso Jaume, J. Wild**

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Braunschweig

#### Verteiler:

Institutsleitung DLR-AS (Prof. C.-C. Rossow)	1
Dr.-Ing. R. Rudnik	1
Dr.-Ing. T. Schwarz	1
Dr.-Ing. J. Teßmer (PD-E)	1
C. Icpinar (PD-E)	1
O. Huxdorf (DLR-FA)	1
M. Pohl (DLR-FA)	1
Prof. J. Peinke (Uni-Oldenburg)	1
Dr. M. Hölling (Uni-Oldenburg)	1
T. Homeyer (Uni-Oldenburg)	1
Niedersächsische Landesbibliothek Hannover	1
Techn. Informationsbibliothek Hannover	1
Institutsbibliothek	1
Deutsche Bibliothek in Frankfurt am Main	2
Zentralbibliothek BS	2
Autoren	2
Reserve	3
 Exemplare	 22