CoolingGen

Eine Software zur Erstellung von Kühlungsgeometrien

Julian Lüken

13. Oktober 2022





Einleitung/Motivation

Was ist CoolingGen?

- Programm, welches mithilfe von CAD-Methoden eine Schaufel aus BladeGen mit Kühlungsgeometrien ausstattet
- Basiert auf BasicTools (Bibiliothek vom DLR für B-Spline Kurven/Flächen)
- Entwicklung startete 2013 (Autoren: C. Voß, T. Schumacher)
- 3D Pendant zu PICCOOLO von Robin Schöffler

Warum CoolingGen?

- Erzeugung von Kühlungsgeometrien innerhalb einer Schaufel mithilfe herkömmlicher CAD-Tools ist mühsam und langwierig
- Laufzeit von CoolingGen, zirka 20 Sekunden auf 8 · 4 GHz
- Grundlage für die Optimierung von Kühlungsgeometrien durch Phasenraumsuche gekoppelt mit CFD-Simulationen



Einleitung/Motivation

Input:

- Schaufelgeometrie aus BladeGen
- Parameter f
 ür die K
 ühlungsgeometrien (als XML)

Output:

Kühlungsgeometrien (als STEP, für CENTAUR und für Tecplot)

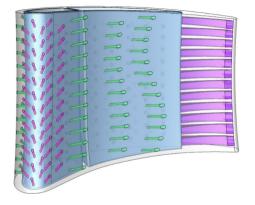
Welche Geometrien kann CoolingGen erzeugen? Derzeit unterstützt:

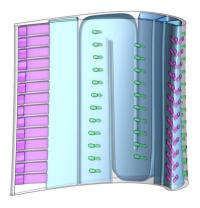
- Kühlkanäle (mit Umkehrungen)
- Prallbleche (mit Bohrungen)
- Filmkühlung

To-do:

- Ausblasungsschlitze
- ▶ Pin-fins

Ergebnisse





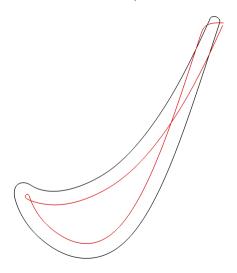


Um die Kanäle zu erzeugen, werden k-1 Kanalwände (in Relation zur Skelettlinie) als Input spezifiziert. Es wird folgende Strategie verwendet:

- 1. Schaufeloberfläche in radialer Höhe n mal samplen $\rightarrow n$ Profilkurven
- 2. Koordinatentransformation $(x, y, z) \rightarrow (x, r) \rightarrow (m, r\theta)$
- 3. Schrumpfen der Profilkurven
- 4. Unterteilung jeder Profilkurve an den Kanalwänden $\rightarrow k$ Kammerschnitte pro Profilkurve
- 5. Schrumpfen der Kammerschnitte
- 6. Einpassung von Fillets an Knicken/Ecken
- 7. Rücktransformation nach (x, y, z), und Lifting, um k Oberflächen zu erhalten

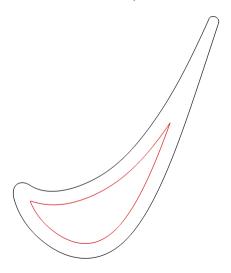
DLR.de • Folie 5

Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven





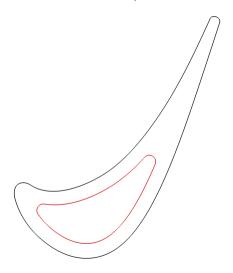
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven





DLR.de • Folie 7

Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven





Methoden / Kanäle und Prallbleche / Offset-Kurven

Eine Offset-Kurve von γ mit Abstand d ist gegeben durch

$$O_d^{\gamma}(t) := \gamma(t) + dN^{\gamma}(t)$$

wobei $N^{\gamma}(t)$ der Normalenvektor von $\gamma(t)$ ist.

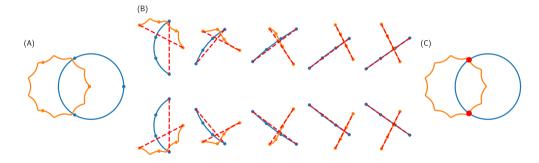


Wir hätten die Kurve O_d^{γ} gerne injektiv. Das gilt jedoch nur stückweise \to Trimming an Selbstschnittpunkten. Das Trimming hinterlässt nicht diff'bare Stellen (Knicke) \to Fillets!



Methoden / Kanäle und Prallbleche / (Selbst-)Schnittpunkte von Kurven

Lineare Approximation der Kurven schneiden ist relativ einfach \rightarrow Teile und herrsche.



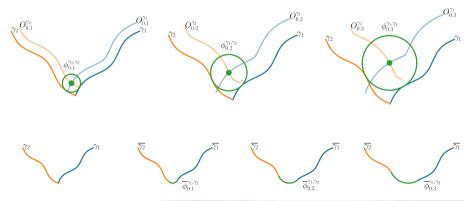


Methoden / Kanäle und Prallbleche / Fillets

Gegeben: Radius r, Kurven γ_1, γ_2 . Man kann zeigen: Falls ein Filletkreis existiert, dann beschreibt

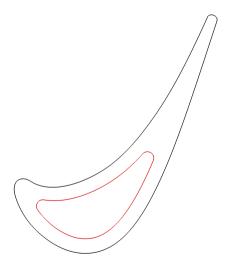
$$O_r^{\gamma_1}(t) = O_r^{\gamma_2}(s)$$

den Mittelpunkt (bzw. die Mittelpunkte). Beweis gibt es in meiner Masterarbeit.



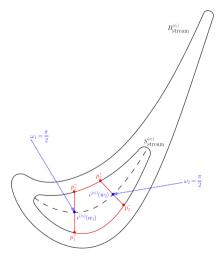


Methoden / Kanäle und Prallbleche / Unterteilung





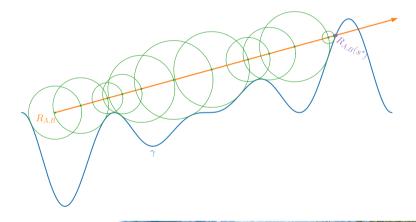
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Unterteilung





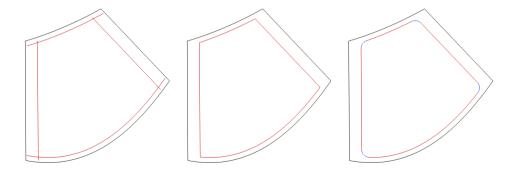
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Ray-Marching

Gegeben Kurve γ und Halberade mit Startpunkt A und normiertem Richtungsvektor B. Schnittpunktsuche durch folgenden Algorithmus:





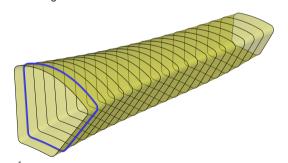
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen

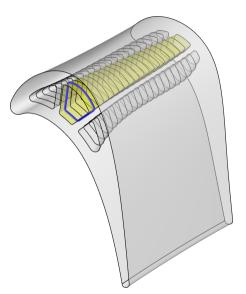




Methoden / Kanäle und Prallbleche / Lifting

Zurück zu $(m, r\theta)$, dann miteinander verbinden \rightarrow Lifting







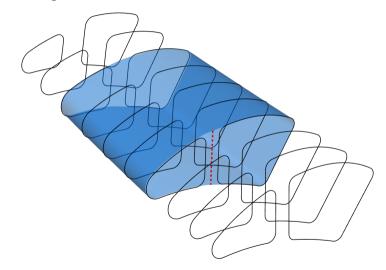
Methoden / Umkehrungen

Strategie:

- 1. Berechnung einer Kombination aus den zwei Kanälen, die sich zur Umkehrung verbinden
- 2. Schneiden der kombinierten Kanäle mit n Ebenen $\rightarrow n$ planare Profilkurven
- 3. Verformen der n Kurven
- 4. Lifting

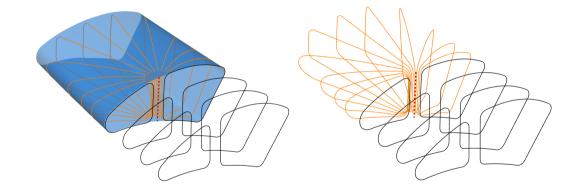


Methoden / Umkehrungen / Kombination



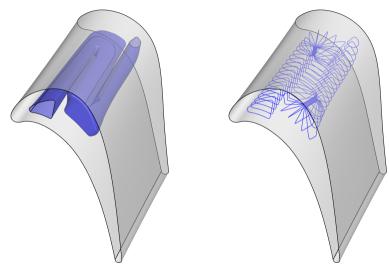


Methoden / Umkehrungen / Verschneiden





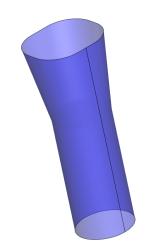
Methoden / Kanäle

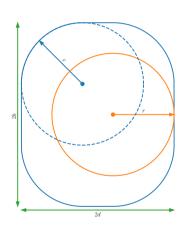




Ergebnisse / Bohrungen

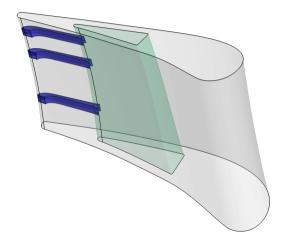








Ausblasungsschlitze - Ein Prototyp





Methoden / Fazit

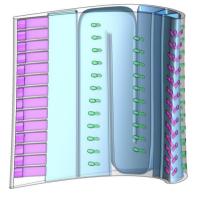
Größte Herausforderung? Robuste und performante Verschnittalgorithmen!

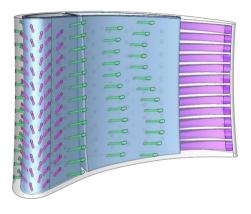
"The single greatest cause of poor reliability of CAD systems is lack of topologically consistent surface intersection algorithms."

- R. Farouki in "Closing the Gap Between CAD Model and Downstream Applications"



Ergebnisse





Fragen/Anmerkungen?

