

CoolingGen

Eine Software zur Erstellung von Kühlungsgeometrien

Julian Lüken
13. Oktober 2022



Wissen für Morgen



Einleitung/Motivation

Was ist CoolingGen?

- ▶ Programm, welches mithilfe von CAD-Methoden eine Schaufel aus BladeGen mit Kühlungsgeometrien ausstattet
- ▶ Basiert auf BasicTools (Bibliothek 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 für die Kühlungsgeometrien (als XML)

Output:

- ▶ Kühlungsgeometrien (als STEP, für CENTAUR und für Tecplot)

Welche Geometrien kann CoolingGen erzeugen? Derzeit unterstützt (und hier vorgestellt):

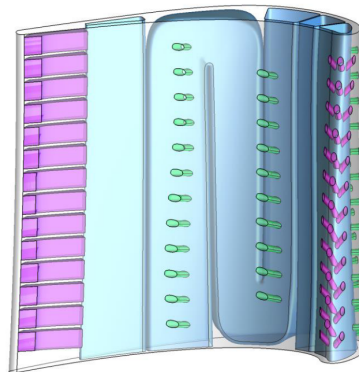
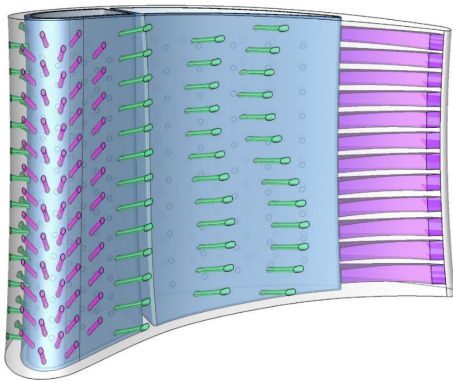
- ▶ Kühlkanäle (mit Umkehrungen)
- ▶ Prallbleche (mit Bohrungen)
- ▶ Filmkühlung

To-do:

- ▶ Ausblasungsschlitze
- ▶ Pin-fins



Ergebnisse



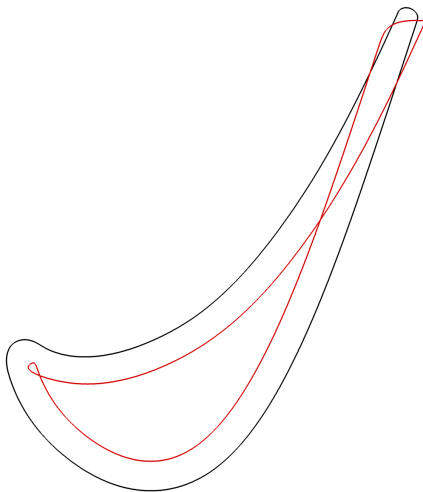
Methoden / Kanäle und Prallbleche

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

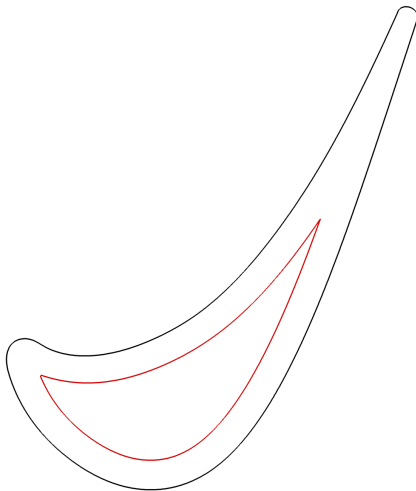
1. Schaufeloberfläche in radialer Höhe n mal sampeln $\rightarrow n$ Profilkurven
2. Koordinatentransformation $(x, y, z) \rightarrow (x, r) \rightarrow (m, r\theta)$
3. *Schrumpfen* der Profilkurven
4. *Unterteilung* der Profilkurven an den Kanalwänden $\rightarrow n(m + 1)$ Kammerschnitte
5. *Schrumpfen*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



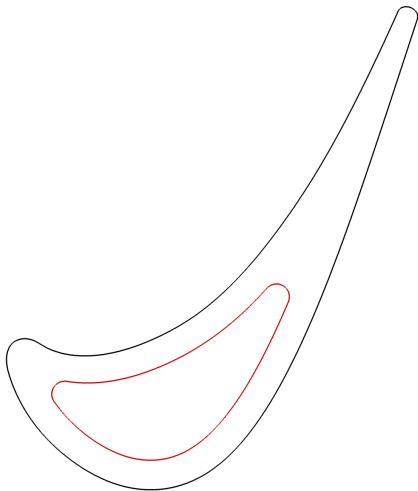
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven



Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven



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.

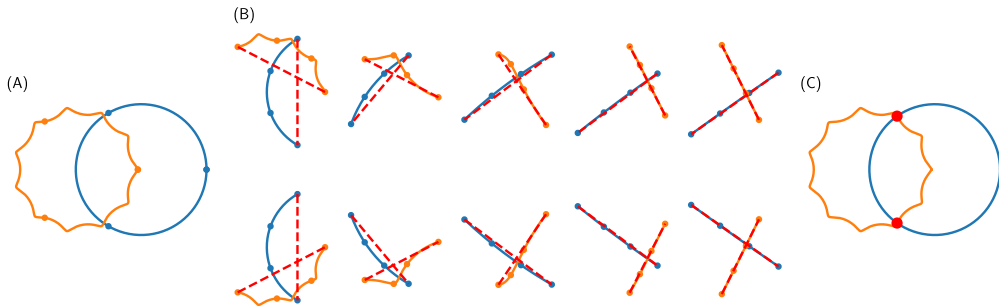


Wir hätten die Kurve O_d^γ gerne injektiv. Das gilt jedoch nur stückweise \rightarrow Trimming an Selbstschnittpunkten. Das Trimming hinterlässt nicht diff'bare Stellen (Knicke) \rightarrow Fillets!



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

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

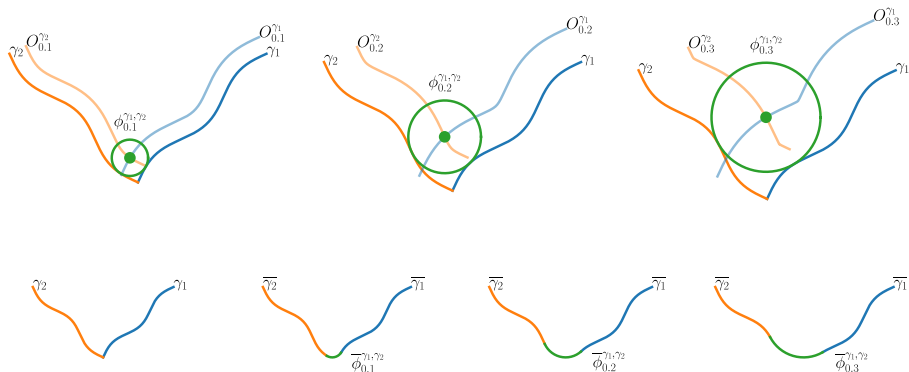


Methoden / Kanäle und Prallbleche / Fillets

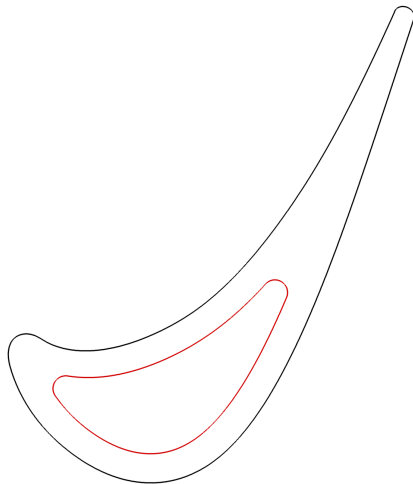
Gegeben: Radius r , Kurven γ_1, γ_2 . Man kann zeigen: Falls ein Filletkreis existiert, dann beschreibt

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

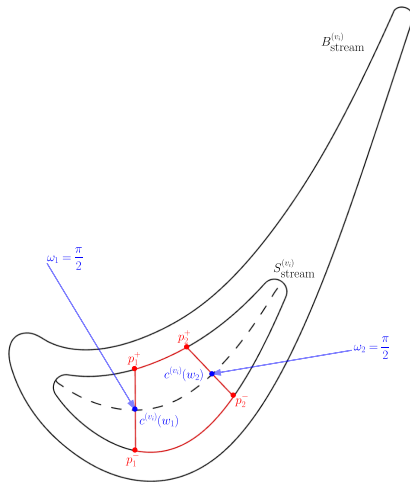
den Mittelpunkt (bzw. die Mittelpunkte). Beweis gibt es in meiner Masterarbeit.



Methoden / Kanäle und Prallbleche / Unterteilung

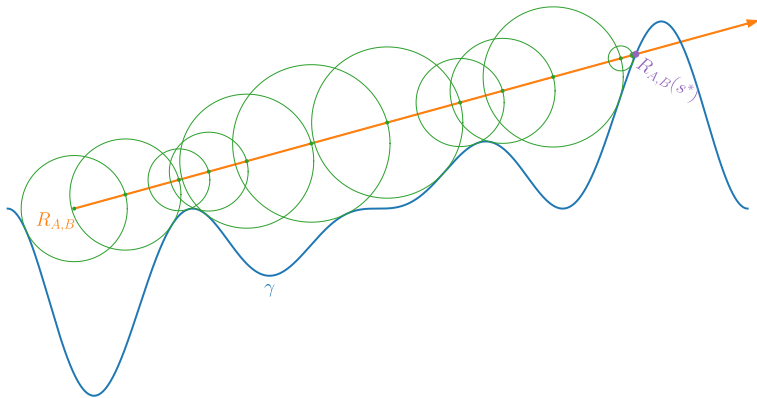


Methoden / Kanäle und Prallbleche / Unterteilung



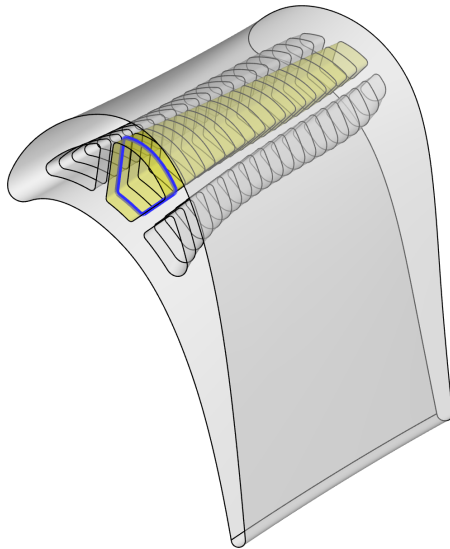
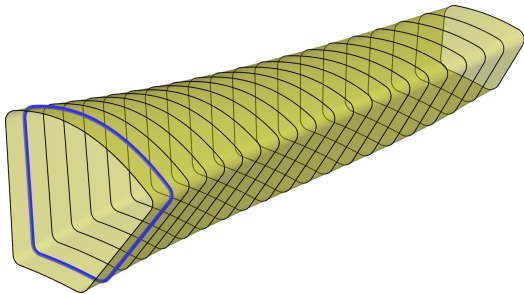
Methoden / Kanäle und Prallbleche / Ray-Marching

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



Methoden / Kanäle und Prallbleche / Lifting

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



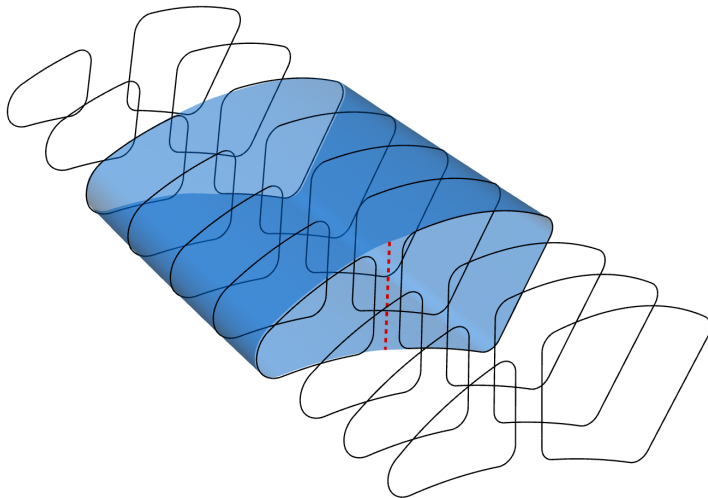
Methoden / Umkehrungen

Strategie:

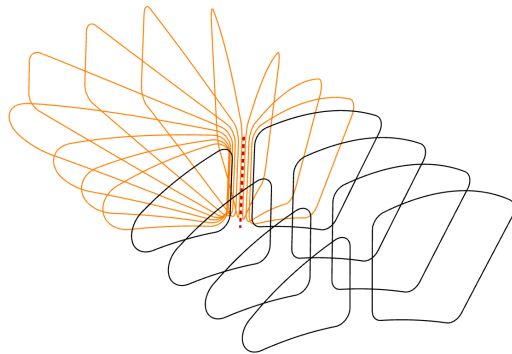
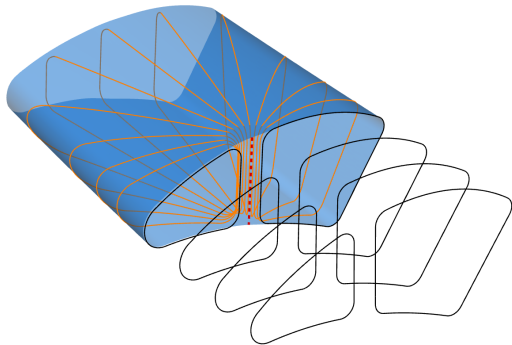
1. Berechnung einer Kombination aus den zwei Kanälen, die sich zur Umkehrung verbinden
2. Schneiden der kombinierten Kanäle mit n Ebenen $\rightarrow n$ planare Profilkurven
3. Verformen der n Kurven
4. Lifting



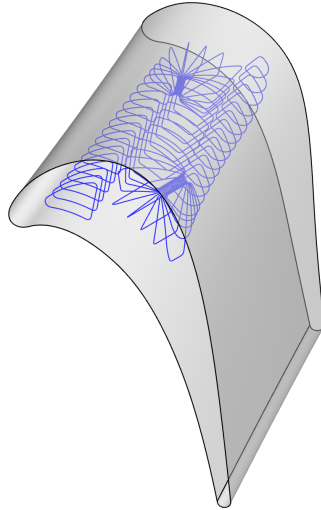
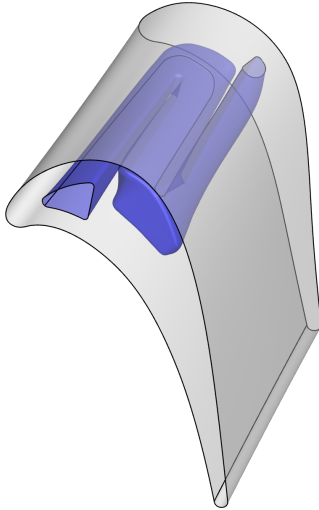
Methoden / Umkehrungen / Kombination



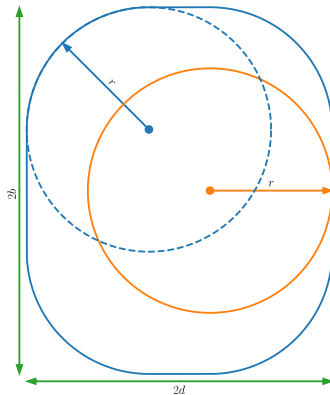
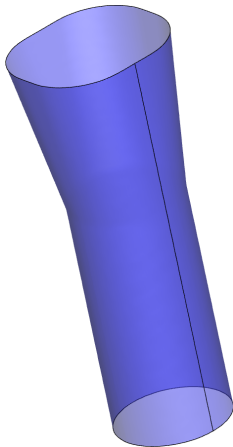
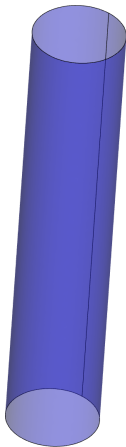
Methoden / Umkehrungen / Verschneiden



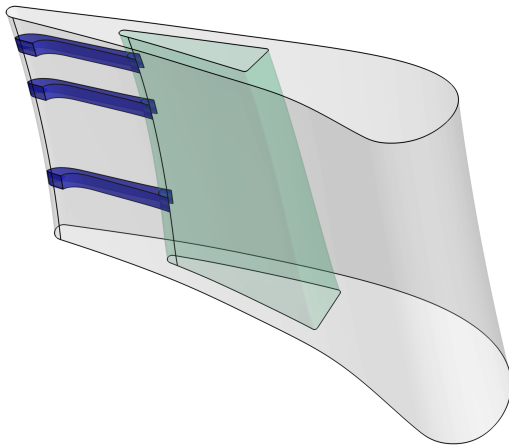
Methoden / Kanäle



Ergebnisse / Bohrungen



Ergebnisse / Ausblasungsschlitz



Methoden / Fazit

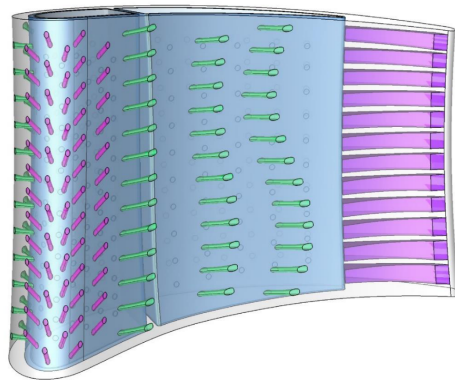
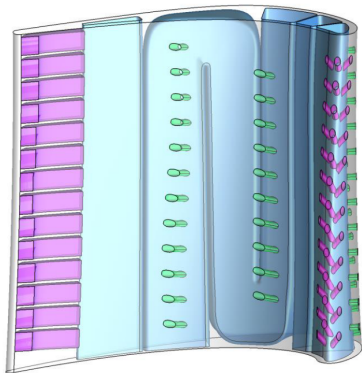
Größte Herausforderung? Robuste und performante Verschnittalgorithmen!

„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?

