

# CoolingGen

Eine Software zur Erstellung von Kühlungsgeometrien

Julian Lüken  
5. Oktober 2022



Wissen für Morgen



# Einleitung/Motivation

## Was ist CoolingGen?

- ▶ Programm, welches mithilfe von CAD 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)
- ▶ Meine Arbeit daran startete im Juli 2021

## Warum CoolingGen?

- ▶ Erzeugung von Kühlungsgeometrien innerhalb einer Schaufel mit herkömmlichen CAD-Tools ist mühsam und dauert lange
- ▶ Laufzeit von CoolingGen: ca. 20 Sekunden auf 8 · 3GHz
- ▶ 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):

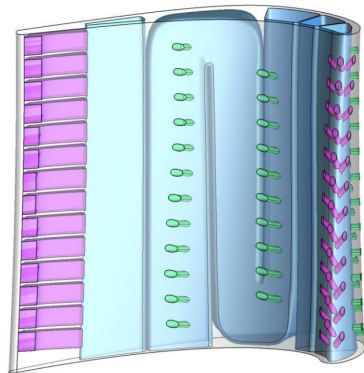
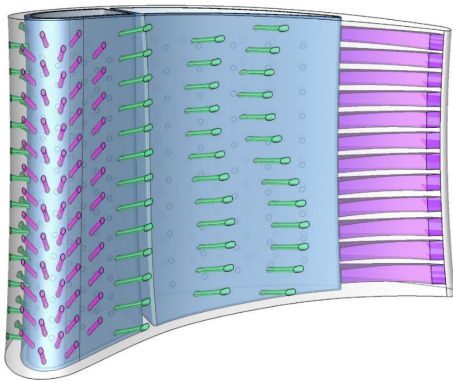
- ▶ Kühlkanäle (mit Umkehrungen)
- ▶ Prallbleche (mit Bohrungen)
- ▶ Filmkühlung

## To-do:

- ▶ Ausblasungsschlitze
- ▶ Pin-fins



# Ergebnisse



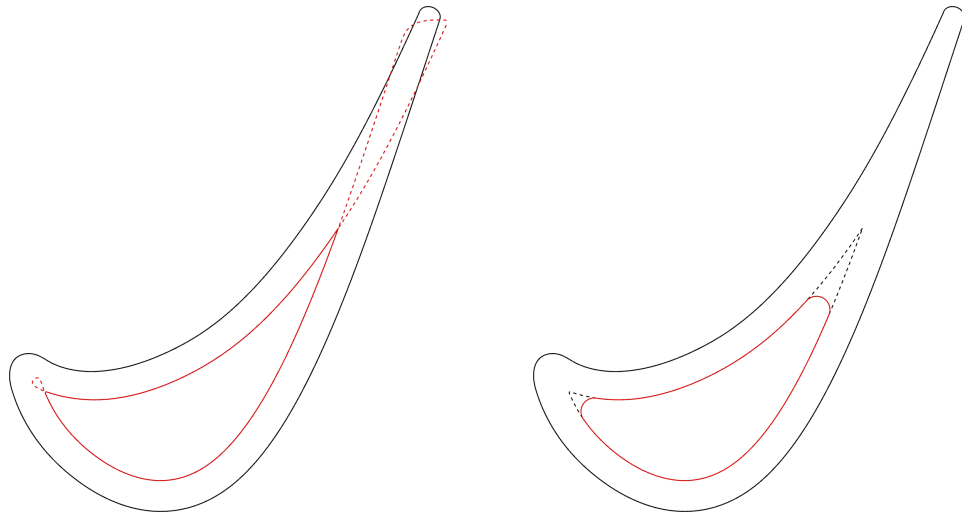
## Methoden / Kanäle und Prallbleche

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  $(x, y, z) \rightarrow (x, r) \rightarrow (m', \theta)$
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  $m + 1$  3D Oberflächen zu erhalten



## Methoden / Kanäle und Prallbleche / Schrumpfen der Profilkurven



# Methoden / Kanäle und Prallbleche / Offset-Kurven

Eine Offset-Kurve von  $\gamma$  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.

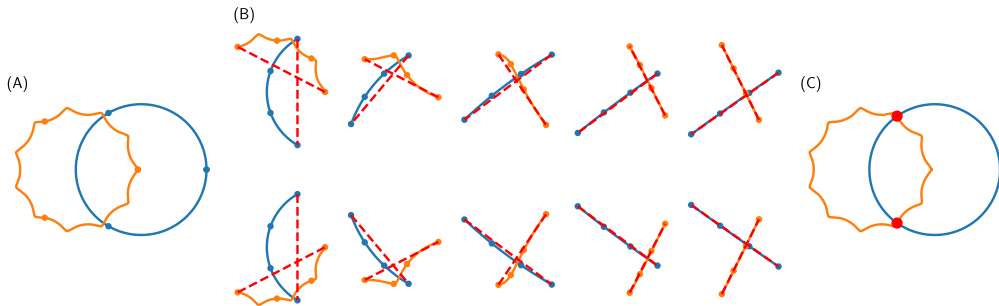


Wir hätten die Kurve  $O_d^\gamma$  gerne injektiv. Das gilt jedoch nur stückweise  $\rightarrow$  Trimming an Selbstschnittpunkten. Das Trimming hinterlässt nicht diff'bare Stellen (Knicke)  $\rightarrow$  Fillets!



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

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



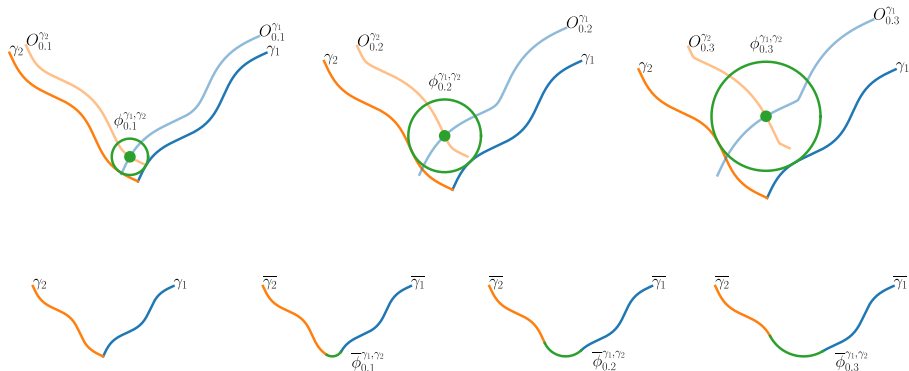


# Methoden / Kanäle und Prallbleche / Fillets

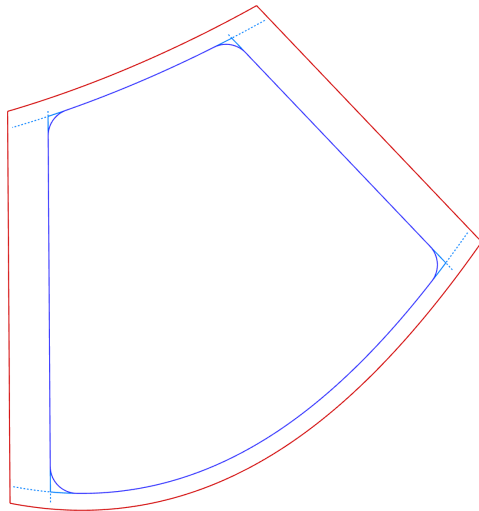
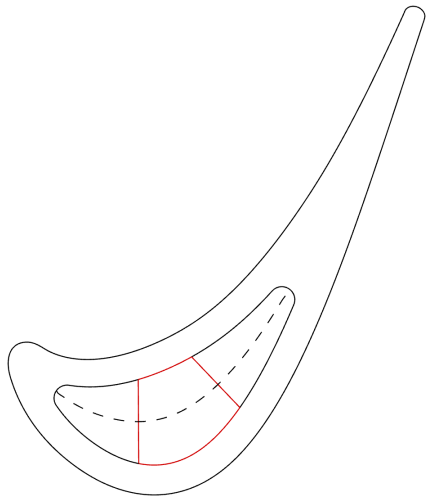
Gegeben: Radius  $r$ , Kurven  $\gamma_1, \gamma_2$ . Man kann zeigen: Falls ein Filletkreis existiert, dann beschreibt

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

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

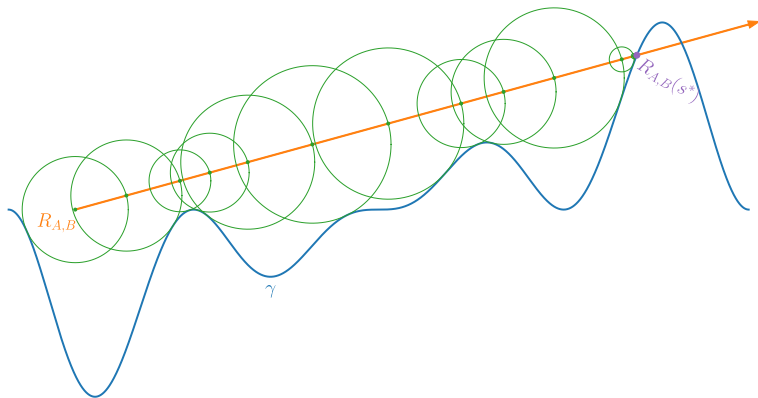


## Methoden / Kanäle und Prallbleche / Unterteilung

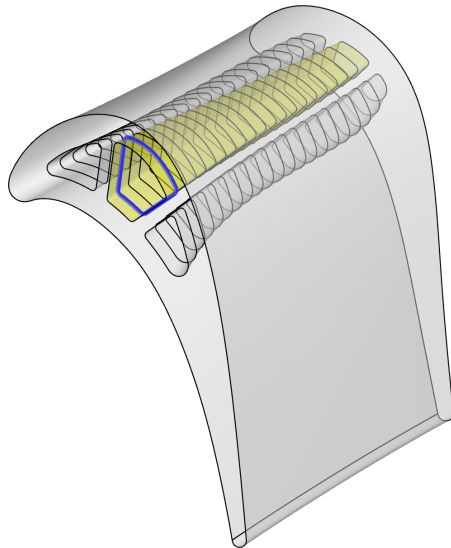
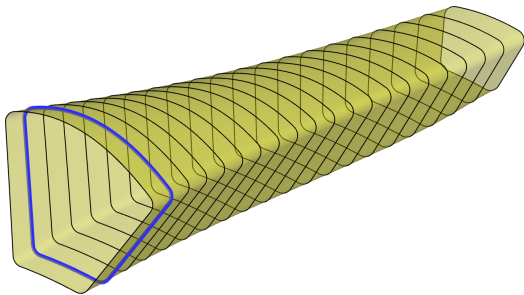


## Methoden / Kanäle und Prallbleche / Ray-Marching

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



## Methoden / Kanäle und Prallbleche / Lifting



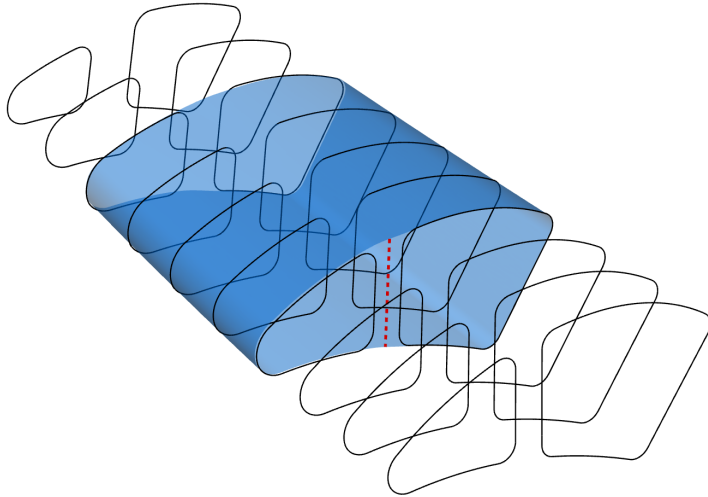
# Methoden / Umkehrungen

## Strategie:

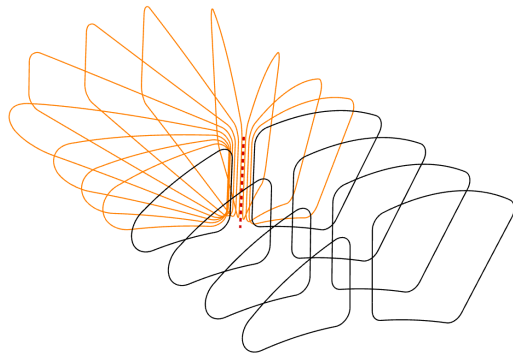
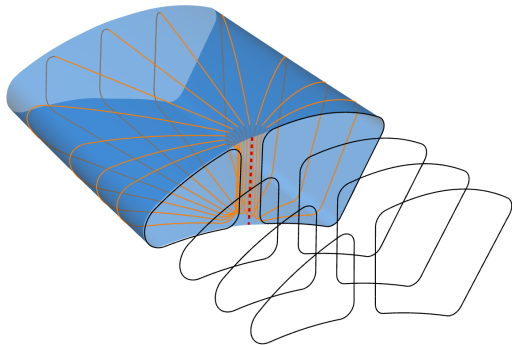
1. Berechnung einer Kombination aus den zwei Kanälen, die sich zur Umkehrung verbinden
2. Schneiden der kombinierten Kanäle mit  $n$  Ebenen  $\rightarrow n$  planare Profilkurven
3. Verformen der  $n$  Kurven
4. Lifting



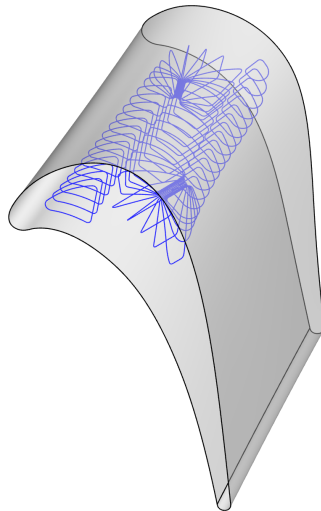
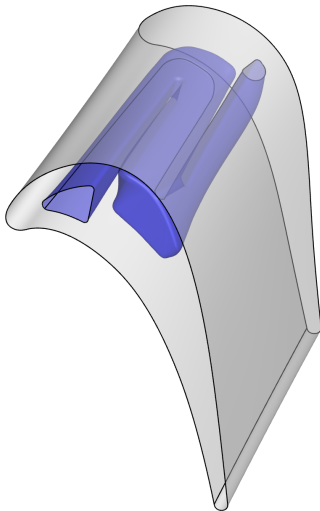
## Methoden / Umkehrungen / Kombination



## Methoden / Umkehrungen / Verschneiden

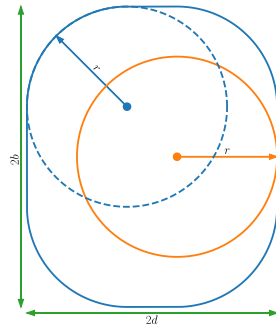
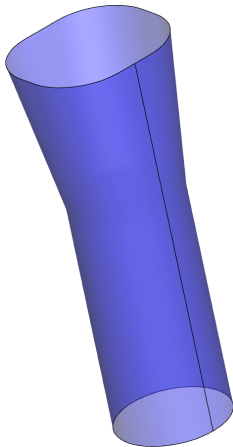


## Methoden / Kanäle





## Methoden / Bohrungen



## Methoden / Fazit

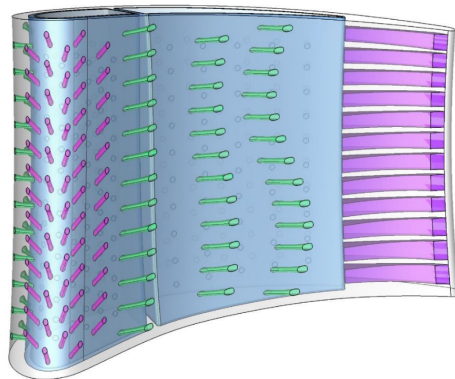
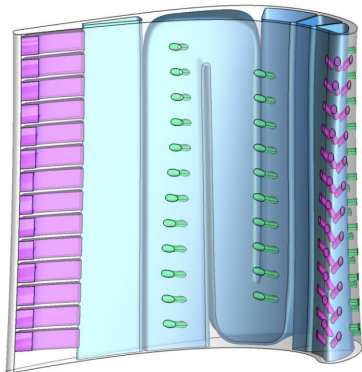
Größte Herausforderung? Robuste und performante Verschnittalgorithmen!

*„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?

