

Verfahren zur Geometrieoptimierung von radialen Verdichterlaufrädern

Problematik:

Die Strömung in radialen Verdichterlaufrädern verhält sich hochgradig komplex. Aufgrund der Grenzschichten und der bei der Umlenkung der Strömung wirkenden Zentrifugal- und Coriolis-Kräfte entsteht eine von der Hauptstromrichtung abweichende Sekundärströmung. Die kinetische Energie der Sekundärströmung kann nicht für den Druckaufbau in einem nachgeschaltetem Diffusor genutzt werden. Deswegen ist man neben der Minimierung des Reibungswiderstandes auch an der Unterdrückung der Sekundärströmung interessiert.

Ziel:

Es soll ein Rechenverfahren zur Optimierung der Laufradgeometrie entwickelt werden. Das Verfahren soll bei Vorgabe sowohl physikalischer als auch geometrischer Randbedingungen die Geometrie mit dem größten Wirkungsgrad bestimmen. Physikalische Randbedingungen können z. B. der Massenstrom und das Druckverhältnis sein.

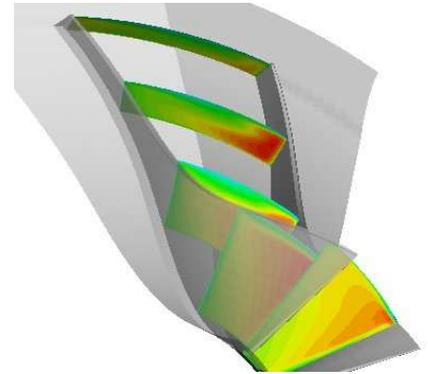


Abbildung 1: Meridiangeschwindigkeit in verschiedenen Schnitten eines radialen Verdichterlaufrades. CFD Rechnung der RWTH-Aachen.

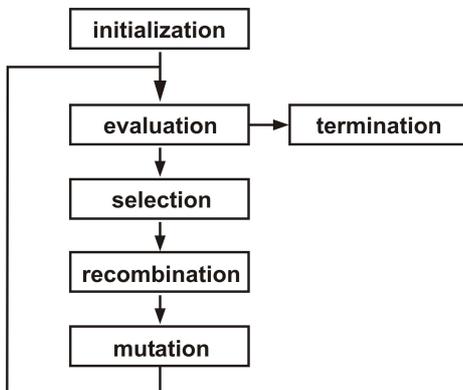


Abbildung 2: Flussdiagramm eines typischen Evolutionären Algorithmus

Verfahren:

Zur Beschreibung der Geometrie muss eine zweckmäßige Parametrisierung gefunden werden. Bei der Wahl der Parameter ist darauf zu achten, dass alle potentiellen Randflächen des Strömungskanals möglichst gut approximiert werden.

Der zu maximierende Wirkungsgrad ist eine Funktion der Geometrieparametern und wird mit konventionellen Navier-Stokes-Lösern berechnet. Dabei stellt sich heraus, dass diese Funktion viele lokale Maxima besitzt. Um ein globales Maximum aufzufinden bieten sich die genetischen Algorithmen an (Abbildung 2), die sich an die Prinzipien der Evolutionstheorie anlehnen. Die zu maximierende Funktion wird in dieser Terminologie als Fitness bezeichnet.

In Analogie zur Natur werden die verschiedenen Geometrien als Individuen einer Population, ihre zugehörigen Parameter als Gene und die jeweiligen Parametereinstellungen als Allele betrachtet. Mit mathematischen Operatoren werden die Individuen einem Selektions-, Rekombinations- und Mutationsprozess unterzogen (Abbildung 2). Die Selektion der Eltern einer Nachfolgeneration erfolgt durch eine Bewertung der Fitness (Abbildung 3). Die Rekombination überträgt Parametereinstellungen (Abbildung 4) beider Elternteile in veränderter Kombination auf die Kinder. Die Mutation entspricht einer rein zufälligen kleinen Änderung der Parametereinstellung. Um ein sinnvolles Wechselspiel zwischen den Operatoren zu erreichen müssen diese während der Optimierung aneinander angepasst werden.

individual	fitness	selection probability
I-1	4	0.4
I-2	3	0.3
I-3	2	0.2
I-4	1	0.1

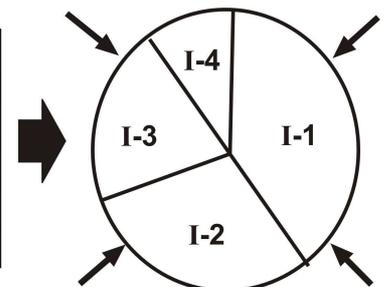


Abbildung 3: Prinzip der Funktionsweise eines Selektionsoperators. Den Individuen werden Auswahlwahrscheinlichkeiten zugeordnet, die sich proportional zur Fitness verhalten. Es wird dann eine Stichprobe völlig Gleichverteilt über dem Kreisumfang entnommen. Diese Stichprobe bildet die neue Elternpopulation.

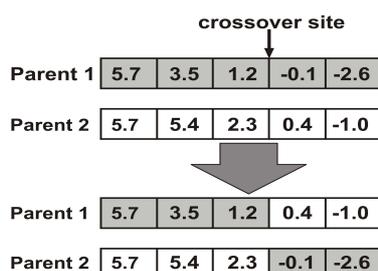


Abbildung 4: Beispiel eines Crossover-Rekombinationsoperators. Die Kästchen stellen die Parameter dar.

Einige Parameter müssen abhängig voneinander variiert werden, um das Maximum der Fitness zu erreichen. Deswegen wird versucht diese Abhängigkeiten mit Methoden des „Experimental Designs“ aufzuspüren und aus diesen zusätzlichen Kenntnissen geeignete konvergenzbeschleunigende Rekombinationsoperatoren zu konstruieren. Bei der Rekombination werden Werte von abhängigen Parametern als ein zusammengehöriger Block an die Kinder vererbt. Die voneinander abhängigen Parameterwerte werden immer zusammen vererbt, da bei getrennter Vererbung die Wahrscheinlichkeit für eine schlechtere Parameterwertkombination höher ist.

Parameter, die keinen signifikanten Einfluss auf die Fitnessfunktion haben, können ebenfalls mit den „Experimental Design“ Methoden aufgespürt werden und aus dem Suchraum ausgeschlossen werden.