# OPTIMIERUNG ROTIERENDER MASCHINEN AUF BASIS VON EVOLUTIONSSTRATEGIEN

**C. Deeg**

Moderne Berechnungsprogramme und schnelle Rechner bilden heutzutage eine leistungsfähige Grundlage zur Auslegung von rotierenden elektrischen Maschinen. Die Qualität der Ergebnisse ist bemerkenswert hoch, da inzwischen eine Vielzahl von Parametern, wie z. B. nichtlineares Materialverhalten oder Streuflüsse, in der Rechnung berücksichtigt werden können.

Dennoch ist insbesondere die Auslegung einer neuen Maschine oftmals langwierig, da es sich schwierig gestaltet, in dem von den Maschinenparametern aufgespannten Suchraum einen geeigneten Entwurf zu finden, der alle an ihn gestellten Anforderungen erfüllt. In der Regel wird hierzu unter Berücksichtigung von analytischen Zusammenhängen ein Basisentwurf erstellt, der dann durch sukzessive Parameteränderung schrittweise soweit angepaßt wird, bis alle Zielgrößen erreicht sind.

Läßt sich ein solcher Entwurf finden, dann kann anschließend dazu übergegangen werden, ihn mit Hilfe weiterer Berechnungen zu optimieren. Die Bewertung der Qualität eines einzelnen Optimierungsschrittes muß aufgrund vorher festzulegender Kriterien, wie z. B. der Maximierung des Drehmomentes und/oder des Wirkungsgrades, erfolgen. Unter Umständen ist bei der Optimierung zu berücksichtigen, daß einige der zu optimierenden Maschinenparameter miteinander gekoppelt sind. Beispielsweise läßt sich durch Erhöhung der Stromdichte das Drehmoment steigern, allerdings sinkt dann in der Regel auch der Wirkungsgrad der Maschine.

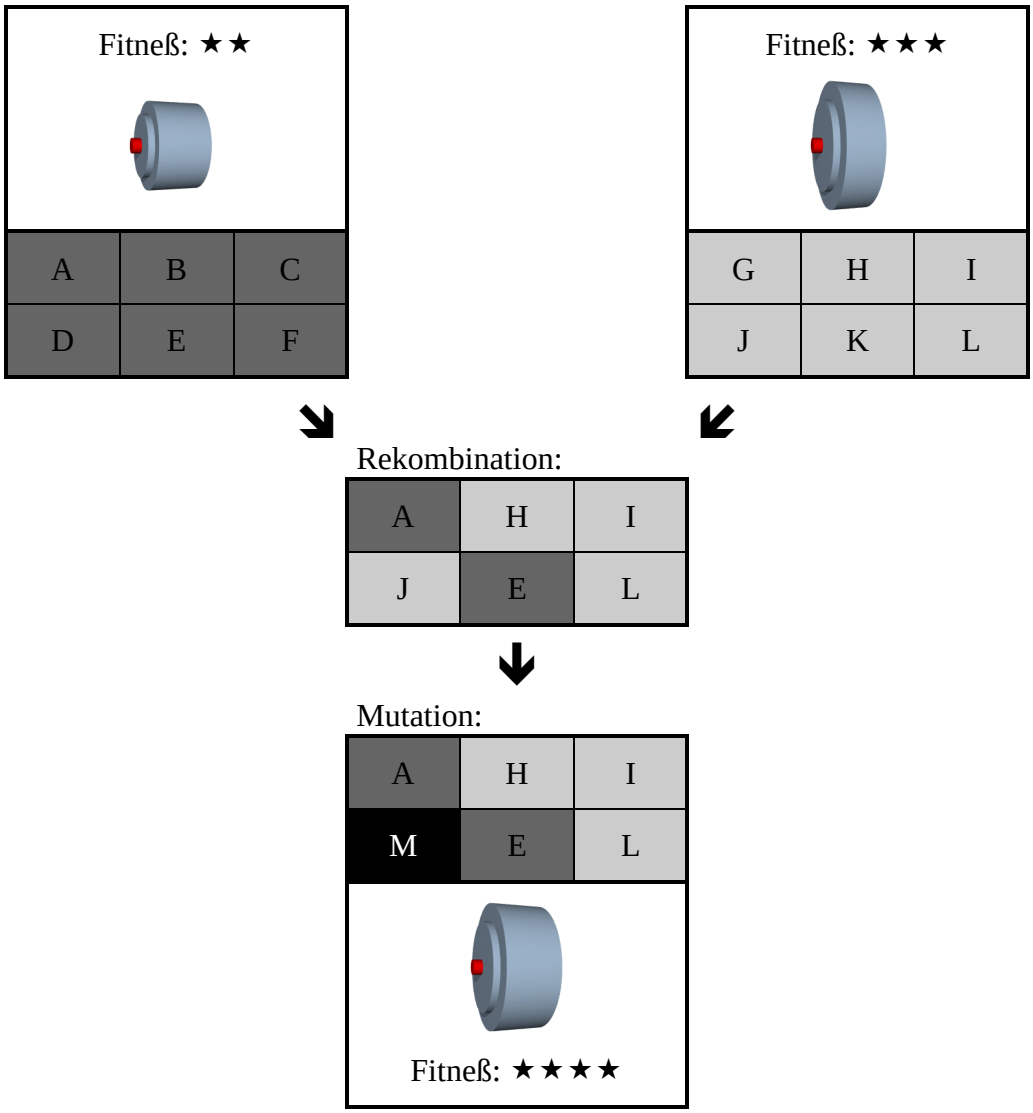
Die Vielzahl der Variationsmöglichkeiten legt eine rechnergestützte Optimierung nahe. Sollen dabei nichtlineare Materialeigenschaften, komplexe Bewertungskriterien und eine große Menge zu variierender Parameter berücksichtigt werden, dann wird sich nur in den seltensten Fällen eine geschlossene analytische Lösung des Problemes anbieten.

Vielmehr wird der Anwender aus der Fülle von numerischen Optimierungsverfahren das ihm am geeignetsten erscheinende auswählen. Besonders interessant sind hierbei Algorithmen auf der Basis von Evolutionsmechanismen, da sie sehr leistungsstark sind und sich dennoch einfach implementieren lassen. Dabei verknüpfen sie in eleganter Weise die Vorteile gängiger Verfahrensweisen, um unter Vermeidung suboptimaler lokaler Extremwerte innerhalb vergleichsweise kurzer Zeit zu konvergieren.

Evolutionsstrategien beruhen im wesentlichen auf drei Prinzipien:

- Rekombination,
- Mutation und
- Selektion
-

Zu Beginn des Evolutionsprozesses wird eine Startpopulation von Maschinen automatisch generiert. Diese Maschinen unterscheiden sich voneinander durch ihre zufällig ausgewählten Parameter, die man in Anlehnung an die Natur auch als Gene bezeichnen könnte. Es ist so eine mehr oder weniger gleichmäßige Anfangsverteilung im Suchraum zu erwarten. Im Vergleich zu Verfahren, die nur von einem Startpunkt ausgehen, erhöht sich hierdurch deutlich die Wahrscheinlichkeit, das globale Optimum auch tatsächlich zu finden. Mit jedem Evolutionsschritt wird nun eine neue Generation von Maschinen gebildet.



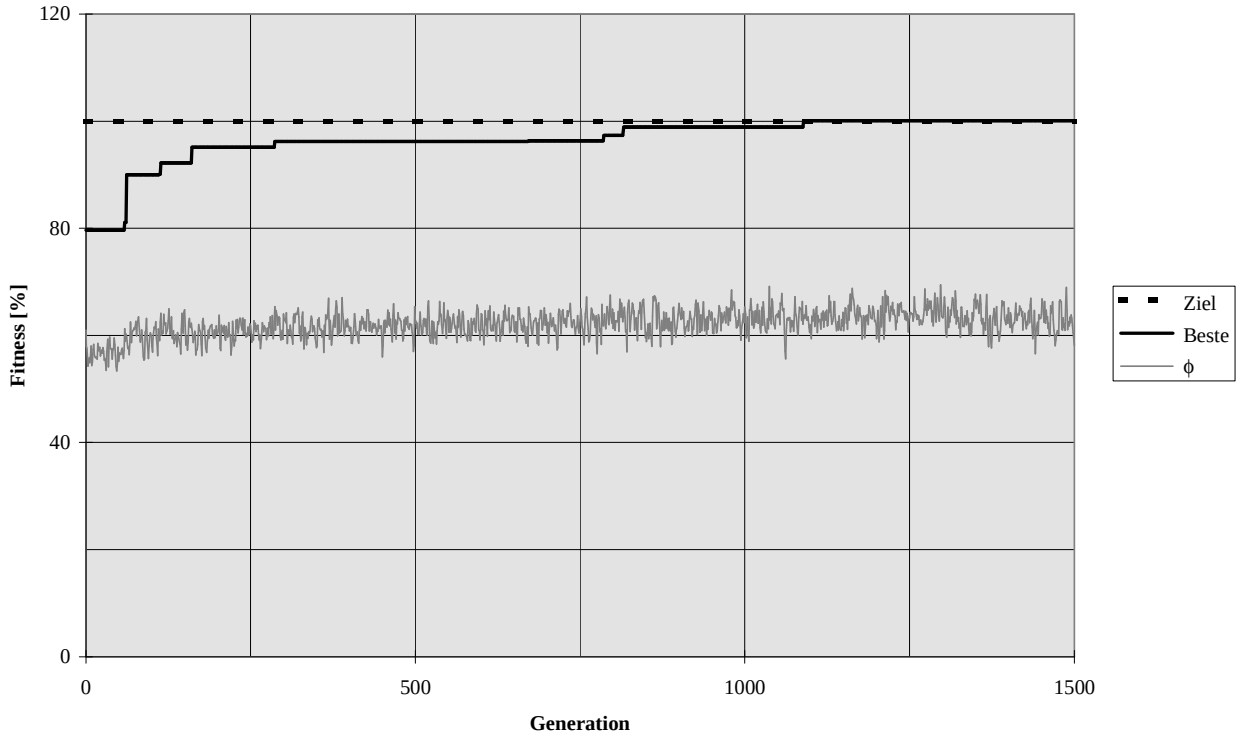

Zunächst werden zwei Maschinen aus der Population ausgewählt, die als Eltern der neuen Maschine betrachtet werden sollen. Die Parameter der neuen Maschine werden aus den Parametern der Eltern gebildet, und zwar werden dabei Gene oder Gengruppen zufällig von dem einen oder dem anderen Elternteil ausgewählt und miteinander zu einer neuen Maschine rekombiniert. Dieser Vorgang wird auch als Cross-Over bezeichnet. Danach wird diese neue Zusammenstellung von Genen mutiert, d. h. einzelne Parameter werden zufällig ausgewählt und dann einer leichten Veränderung unterworfen. Anschließend wird dieser Vorgang mit anderen Eltern mehrfach wiederholt, bis die gewünschte Anzahl von Nachkommen generiert wurde. Die neu entstandenen Maschinen werden dann mittels einer geeigneten Fitneßfunktion bewertet und in eine Rangliste eingeordnet. Die Rangliste kann z. B. darüber entscheiden, ob ein Maschinenentwurf gut genug ist, um in die nächste Generation übernommen zu werden oder mit welcher Wahrscheinlichkeit er dort selbst als ein Elternteil für eine neue Maschine in der nachfolgenden Generation ausgewählt wird. Diese Selektion stellt im Gegensatz zur eher zufallsbasierten Mutation und Rekombination eine zielgerichtete Komponente im Optimierungsprozeß dar. Der Erfolg der Evolutionsstrategien ist nicht zuletzt auf die geschickte Kombination dieser beiden gegensätzlichen Verfahrensweisen zurückzuführen.

Der Anwender hat die Aufgabe, die Randbedingungen für die evolutionäre Optimierung zu setzen:

- Grenzen des Suchraumes,
- Größe der Population,
- Anzahl der Evolutionsschritte,
- Cross-Over-/Mutations-Faktor,
- Bewertungsfunktion, etc.

Eine gute Konvergenz des Verfahrens ist in hohem Maße an die geschickte Wahl dieser Faktoren geknüpft.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf einer Maschinenoptimierung über 1500 Generationen. Dargestellt sind die durchschnittliche Fitneß der Gesamtpopulation ("ϕ"), die Fitneß der besten Maschine ("Beste") und die Fitneß, die sich bei Erreichen aller Zielforderungen einstellt ("Ziel").




Am Institut für Elektrischen Maschinen, Antriebe und Bahnen der TU Braunschweig wurden Evolutionsstrategien in der Vergangenheit bereits erfolgreich zur Optimierung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (SPARK) eingesetzt.