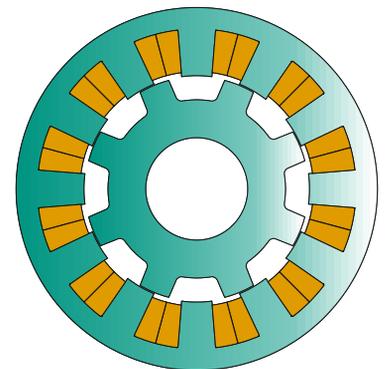


## Hochdrehende geschaltete Reluktanzmaschine als Traktionsantrieb für Elektrofahrzeuge

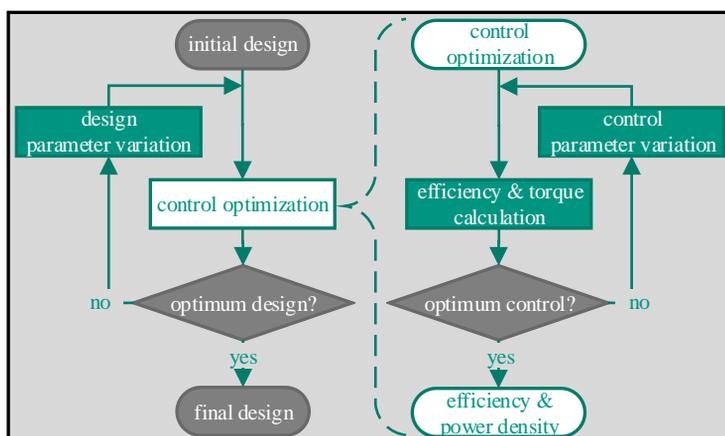
Mario Greule, M.Sc.

Elektrische Antriebe in Elektrofahrzeugen müssen eine Vielzahl von anspruchsvollen Anforderungen erfüllen. Neben einem robusten Aufbau und guten akustischen Eigenschaften, sollen die Motoren vor allem eine hohe Leistungsdichte, eine hohe Effizienz und geringe Kosten aufweisen. Abgesehen von den Kosten, werden diese Anforderungen derzeit am besten durch die permanenterregte Synchronmaschine (PSM) erfüllt.

Allerdings sind die Kosten ein entscheidendes Kriterium und daher stellt die geschaltete Reluktanzmaschine (SRM) eine interessante Alternative dar. Dieser Maschinentyp besitzt üblicherweise eine konzentrierte Wicklung, was eine günstige Fertigung ermöglicht und weder Magnete, noch Kupfer im Rotor, was sich positiv auf die Materialkosten auswirkt. Wesentliche Kritikpunkte gegenüber der PSM sind ein ungünstigeres Geräuschverhalten, eine etwas geringere Effizienz und eine verringerte Leistungsdichte. Die Beschreibung und Verbesserung dieser drei Eigenschaften stehen derzeit im Fokus der Forschung.

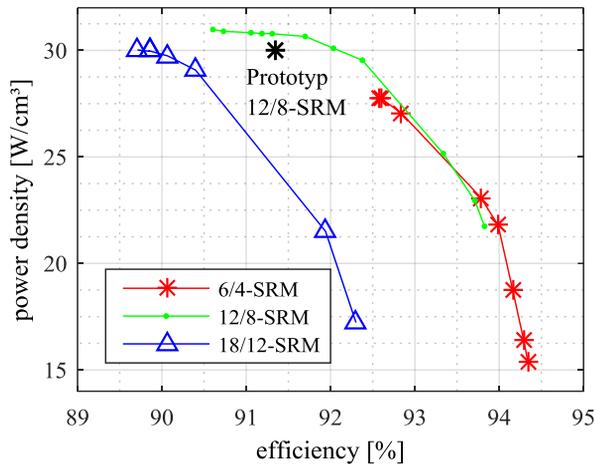


Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt im Wesentlichen auf den beiden letzteren Eigenschaften – die Steigerung der Leistungsdichte unter Berücksichtigung der Effizienz. Um die Leistungsdichte zu steigern wird eine SRM mit einer sehr hohen Drehzahl von  $30.000 \text{ min}^{-1}$ , einer guten Wassermantelkühlung, einem hohen Nutzfällfaktor sowie einer hohen magnetischen Ausnutzung ausgelegt und prototypisch umgesetzt. Dabei treten Effekte in Erscheinung, die bisher stärker vernachlässigbar waren, wie zunehmende Eisen- und Wirbelstromverluste in den Leitern, aufgrund der hohen Drehzahl und des hohen Nutzfällfaktors. Weiterhin treten mit zunehmender Steigerung der magnetischen Ausnutzung Koppelwirkungen zwischen den einzelnen Motorphasen in Erscheinung, die unter moderater Ausnutzung vernachlässigbar sind. Die Analyse und Beschreibung dieser Effekte sowie der Design Optimierungsprozess liefern einen wissenschaftlichen Beitrag über den Stand der Forschung hinaus.



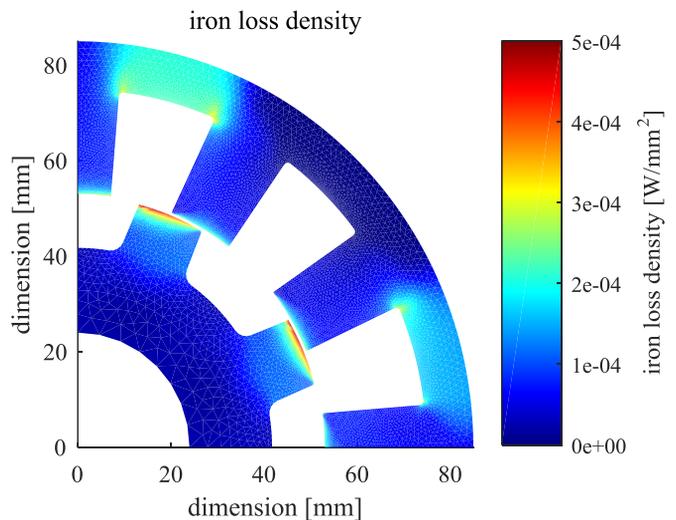
Die Design Optimierung erfolgt weitestgehend analytisch mit Hilfe der Maschinenberechnungssoftware *Speed*. Allerdings wird das Modell mehrfach durch numerische Rechnungen getuned. Die Besonderheit des Optimierungsprozesses stellt die Design Optimierung mit unterlagerter Ansteueroptimierung dar. Denn nur auf Basis einer optimierten Ansteuerung kann die Performance eines Designs bewertet werden.

Mit Hilfe des Optimierungs-Prozesses ist eine Bewertung der optimalen Polkonfiguration möglich. Unter den gegebenen Anforderungen einer maximalen Leistungsdichte bei hoher Effizienz im Fahrzyklus, ist die 12/8-Konfiguration am geeignetsten und wird daher prototypisch umgesetzt.



Daten des Prototypen	
Maximale Leistung	150 kW
Maximale Drehzahl	30.000 min <sup>-1</sup>
Betriebsspannung	780 V
Maximalstrom	300 A
Leistungsdichte	30 kW / l
Effizienz (Fahrzyklus)	91,3 %

Da geschaltete Reluktanzmaschinen keine sinusförmige Ansteuerung besitzen, ist die korrekte numerische Analyse eine Herausforderung. Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde eine Toolchain entwickelt, um die SRM unter realen Betriebsbedingungen analysieren zu können. Damit ist es möglich, die Eisenverluste und Wirbelstromverluste in den Leitern zu berechnen. Im Bild rechts ist exemplarisch die Eisenverlustverteilung bei 9000 min<sup>-1</sup> und 60 Nm zu sehen. Dabei kommt das Regelungsverfahren *Direct Instataneous Torque Control* zum Einsatz und zur Berechnung der Eisenverluste wird ein speziell angepasstes Eisenverlustmodell herangezogen.



Um die Ergebnisse der Design Optimierung und der Verlustberechnung zu validieren, wurde ein Prototyp am Institut gefertigt und derzeit in Betrieb genommen. Ziel ist es anhand des Prototypen weitere Erkenntnisse bezüglich der frequenzabhängigen Verluste zu sammeln und damit die bestehenden Modellierungsmethoden weiter zu verbessern.

