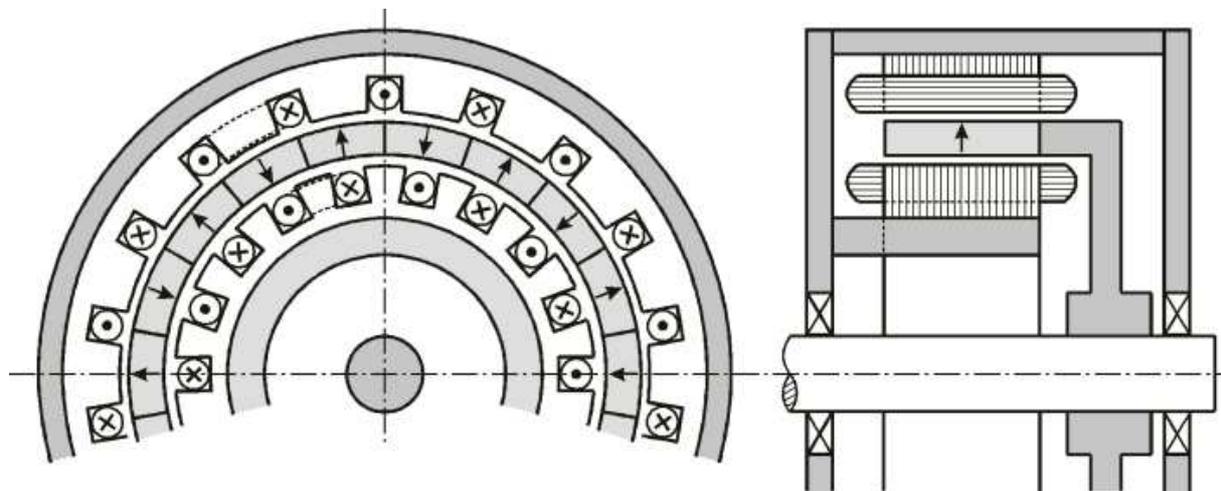


## PERMANENTMAGNETERREGTE SYNCHRONMASCHINE MIT VERRINGERTER ANKERRÜCKWIRKUNG UND EIN- FACHER STATORWICKLUNG

W.-R. Canders, F. Laube, H. Mosebach

(Deutsche Kurzfassung des ELECTROMOTION 2001 – Beitrages: "Permanent magnet excited synchronous machine with reduced armature reaction and a simple stator winding")

Die ausgezeichneten Eigenschaften moderner PM – Materialien erlauben Maschinenkonzepte mit kleinen Abmessungen und günstigen Betriebs-eigenschaften. Bezüglich der Anordnung der Magnete in der Maschine sind viele Konfigurationen bekannt geworden, die jeweils unterschiedlichen An-forderungen entsprechen. Für Anwendungen, die ein großes Drehmoment bei gleichzeitig hoher Überlastbarkeit erfordern ("High Torque"), ist es wichtig, solche Strukturen auszuwählen, die einen kompakten mechanischen Aufbau, eine einfache Statorwicklung und eine sehr niedrige Ankerrückwirkung auf-weisen. Eine solche Struktur ist in Bild 1 skizziert.

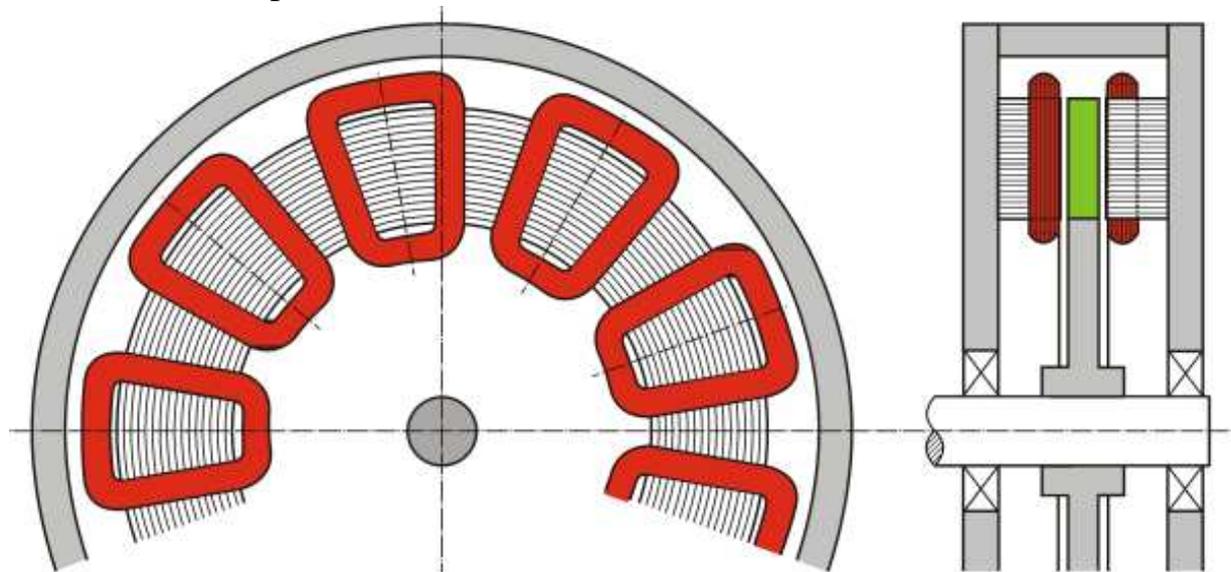


**Bild 1:** Basiskonfiguration

Der glockenförmige und die Permanentmagnete tragende eisenlose Rotor rotiert zwischen zwei Teilstatorn, die jeweils einem Maschinenstrang zugeordnet sind. Die Wicklung besteht aus einfachen Zahnspulen ("race track coils") mit extrem kurzem Wickelkopf. Die Teilstatorn sind gegeneinander um eine halbe

Polteilung versetzt und werden von entsprechend auch zeitlich gegeneinander verschobenen Strömen gespeist, so daß sich in der Wirkung ein Drehfeld und ein weitgehend konstantes Moment ergibt.

Die in **Bild 1** dargestellte Maschine ist der Ursprung einer ganzen Familie von Maschinen, die sich in der Art der Anordnung der Teilstatoren, der Stränge und der Verschiebung der Teilstatoren bzw. Ströme unterscheiden. Gemeinsam sind in jedem Fall die einfachen Zahnspulen. Über die beispielhaft gezeigte und hier vordringlich untersuchte Radialfeldlösung hinaus ist zum Beispiel auch die Ausführung als Axialfeldmaschine (**Bild 2**) denkbar. An anderer Stelle des vorliegenden Jahresberichts 2001 wird auch eine Linearmotorkonfiguration nach demselben Prinzip diskutiert.



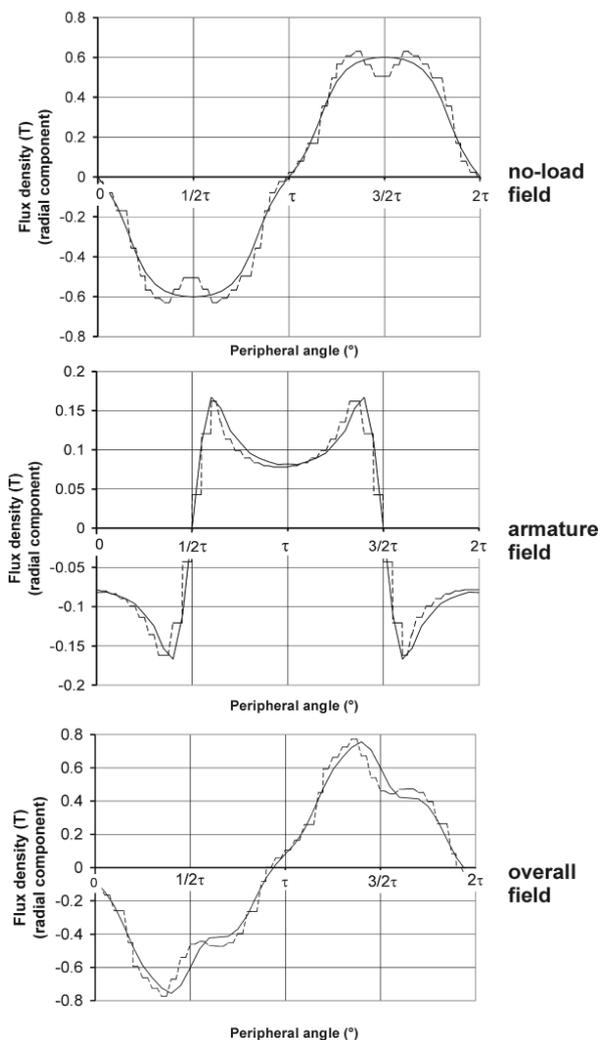
**Bild 2:** Ausführung als Axialfeldmaschine

Durch die kleine Polteilung und den großen aus zweifachem Luftspalt und Magnethöhe zusammengesetzten magnetischen Gesamtpalt erweist sich die Ankerrückwirkung generell als sehr klein. Verglichen mit einer konventionellen dreisträngigen Wicklung gleicher Nutteilung beträgt das Ankerfeld hier lediglich ca. 35 % des sonst erwarteten Wertes. Hierbei sind konstanter Strombelag, gleiche Luftspalte und gleiche Magnethöhe vorausgesetzt. Es liegt damit auf der Hand, daß die vorgeschlagene Maschine große Überströme zur Erzeugung entsprechender Drehmomente verträgt, ehe das Statoreisen gesättigt wird oder die Permanentmagnete Gefahr laufen, entmagnetisiert zu werden.

Die mathematische Behandlung des der Maschine zugrunde liegenden Feldproblems stützt sich vorzugsweise sowohl auf analytische als auch numerische Methoden. Innerhalb des linearen Bereichs ist das analytische Vorgehen inso-

fern vorzuziehen, als Parameteränderungen, zum Beispiel im Sinne eines Grobentwurfs oder einer Optimierung, rasch durchgeführt werden können. Zur endgültigen Absicherung bereits weitgehend festliegender Abmessungen, zur Berücksichtigung von Eisensättigung und besonderer Formgebung von Magneten und Nuten, und zur Bestimmung von Momentschwankungen sind numerische FE – Untersuchungen jedoch unverzichtbar.

Bei der analytischen Behandlung ist wegen der großen Spalte ein zweidimensionaler Ansatz in Polarkoordinaten erforderlich. Besonders vorteilhaft ist die Methode des Vektorpotentials. Im Idealfall - d.h. wenn die rel. Permeabilität des Magnetmaterials zu 1,0 angenommen werden darf - ergeben sich einfache und geschlossene Ausdrücke für das Drehmoment. Im allgemeinen ist jedoch für die in **Bild 1** gezeigte Struktur ein Dreibeereichsmodell mit je zwei Teillösungen pro Bereich anzusetzen, deren Integrationskonstanten über insgesamt 6 geeignete Randbedingungen bestimmt werden müssen (lineares Gleichungssystem). Die Behandlung mit Wellenansätzen erfordert zur Separation der Variablen eine Zerlegung der Wechselstrombeläge der Teilstatoren in vorwärts und invers laufende Drehwellen halber Amplitude, wie bei Einphasenmaschinen allgemein üblich.



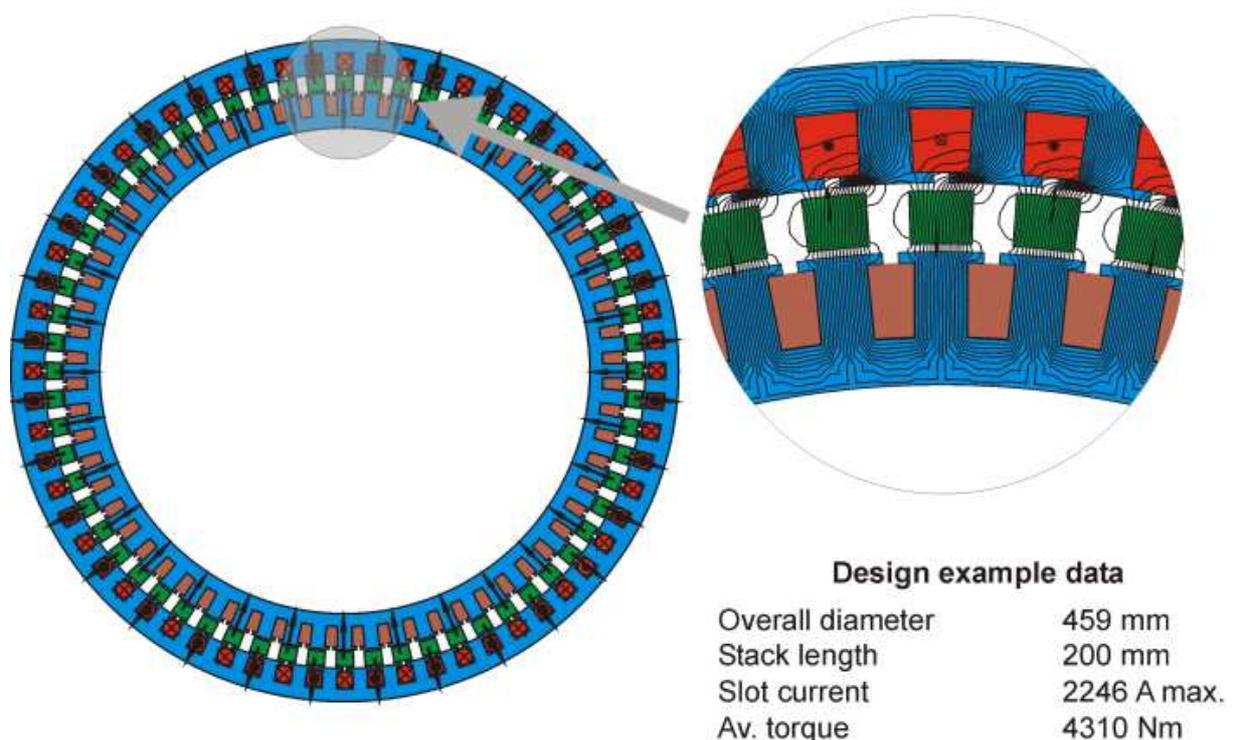
**Bild 3:** Vergleich analytische / numerische Feldberechnung

Es ist an dieser Stelle angebracht, die Ergebnisse der analytischen Rechnung mit entsprechenden FE – Resultaten an Hand eines typischen Beispiels zu vergleichen, **Bild 3**. Nähere Angaben zur Geometrie der Maschine, den Magnet-eigenschaften und zu den Statorströmen sind im Originalaufsatz zu finden. Die

analytischen Kurven wurden mit unendlich großer Eisenpermeabilität, die FE – Ergebnisse mit einer realen Eisenkennlinie ermittelt.

Die Übereinstimmung kann generell als sehr gut bezeichnet werden. Bestehende lokale Abweichungen lassen sich auf die Statornutung zurückführen, die beim analytischen Modell lediglich pauschal über den Carter'schen Faktor einbezogen werden kann. Wie erwartet, ist das Ankerfeld deutlich kleiner als das von den Permanentmagneten erzeugte Leerlauffeld.

Als Auslegungsbeispiel und zum Vergleich mit einer am IMAB in anderem Zusammenhang untersuchten High Torque Maschine wurde ein Entwurf für einen Antrieb für ca. 4000 Nm durchgeführt. Die Geometrie der Maschine wird durch **Bild 4** veranschaulicht. Es enthält auch einige absolute Zahlenangaben.



**Bild 4:** Entwurfsbeispiel High Torque Maschine

Zur Erzielung eines möglichst gleichförmigen Drehmomentes ist es zweckmäßig, die Wicklungen der Teilstatorer mit Sinusströmen zu speisen. Als einflußreicher Parameter in diesem Zusammenhang erweist sich weiter das Polbedeckungsverhältnis, bei dem offenbar - wie **Bild 4** zeigt - eher kleinere als sonst übliche optimale Polbedeckungen angeraten sind. Dieser Umstand kommt der mechanischen Festigkeit insofern entgegen, als es leichter gelingt, die Permanentmagnete in einer Haltestruktur zu befestigen.