

Indirekte Nutkühlung von Synchronmaschinen mit konzentrierter Wicklung

Dipl.-Ing. Markus Schiefer

Bei der Konzeption der E-Maschine für REM2030 wurde konsequent auf aufwendige Bauteile und Fertigungsschritte verzichtet, um die Fertigung sowohl bei kleinen als auch bei sehr hohen Stückzahlen kostengünstig gestalten zu können. Trotzdem zeichnet sich das dabei entstandene Motordesign durch eine hohe Leistungsdichte und Effizienz aus. Eine hohe Leistungsdichte ist gleichzeitig der Schlüssel, um Materialkosten zu sparen. Bei hohen Stückzahlen können die Materialkosten bis zu 60% der Gesamtkosten ausmachen

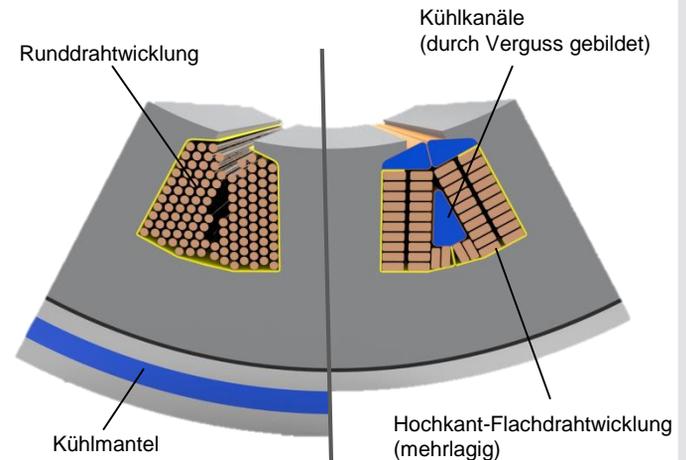


Abb.1: Konventionelles Kühlkonzept (links), indirekte Nutkühlung (rechts).

Das Kernstück des Motor bildet ein Stator aus zwölf segmentierten Einzelzähnen, welche mit einem Flachdraht hochkant bewickelt sind. Der Wickelprozess und die Kontaktierung kann automatisiert werden. Durch die parallelfankigen Zähne entsteht zwischen den Wicklungen zweier benachbarter Zähne ein Freiraum, welcher für die Kühlkanäle genutzt wird. Die Kühlkanäle bestehen aus dünnwandigen Kaptonschläuchen. Massivleiter in den Nuten von elektrischen Maschinen erzeugen in Folge von Stromverdrängungseffekten deutlich höhere Verluste als Litzenleiter. Gerade bei Leitern nahe am Zahnkopf kommt es zu hohen frequenzabhängigen Verlusten. Die Verluste der einzelnen Leiter über eine elektrische Periode sind in Abb.2 dargestellt.

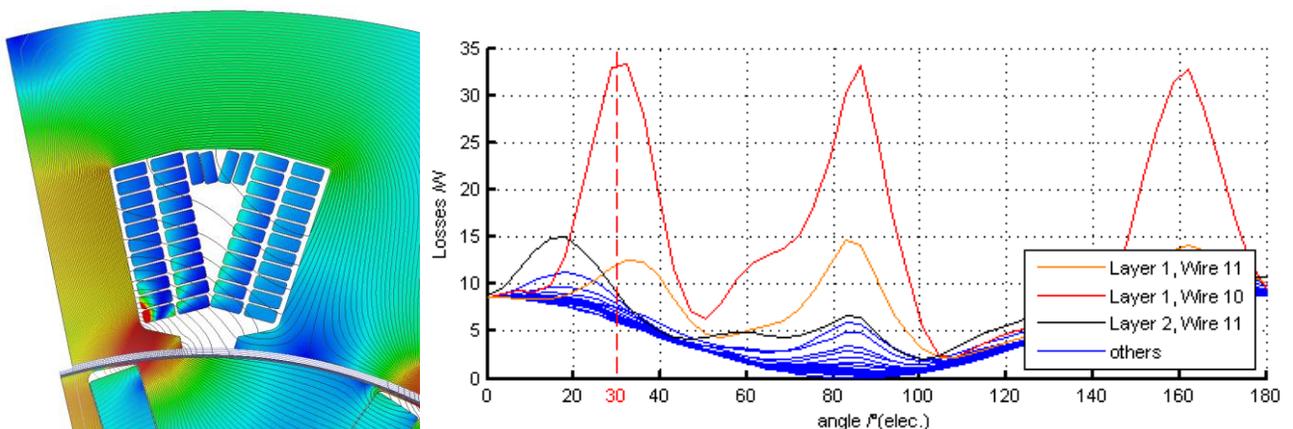


Abb.2: Magnetische Flusslinien in Sator und Nut. Die lokalen ohmschen Verluste der Wicklung sind farbig eingezeichnet (links). Verluste der einzelnen Leiter über eine elektrische Periode (rechts).

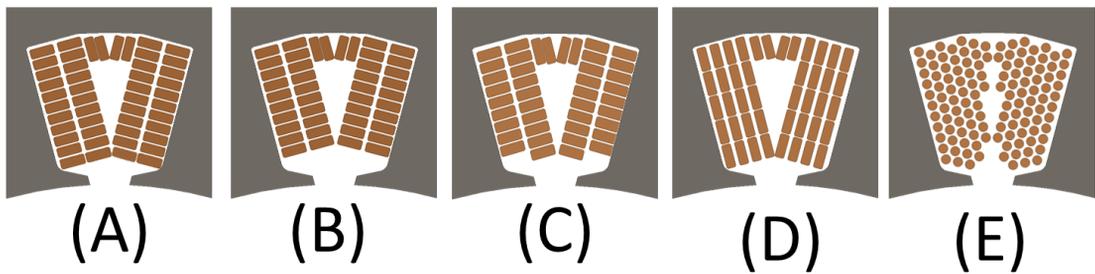


Abb.3: Verschiedene Wickeltopologien (A)-(E).

Um diese Verluste zu reduzieren und trotzdem einen hohen Füllfaktor zu erhalten wurden zunächst verschiedene Wickeltopologien untersucht. Eine nähere Auswahl ist in Abb. 3 dargestellt. Vorteilhafterweise wird ein flacher Rechteckdraht in zwei Lagen gewickelt. Die Wicklung muss hochkant erfolgen, da das Streufeld in der Nut hauptsächlich in Querrichtung verläuft und sonst hohe Verluste in Folge der Stromverdrängung entstehen (E). Als bester Kompromiss wird Variante (B) ausgewählt.

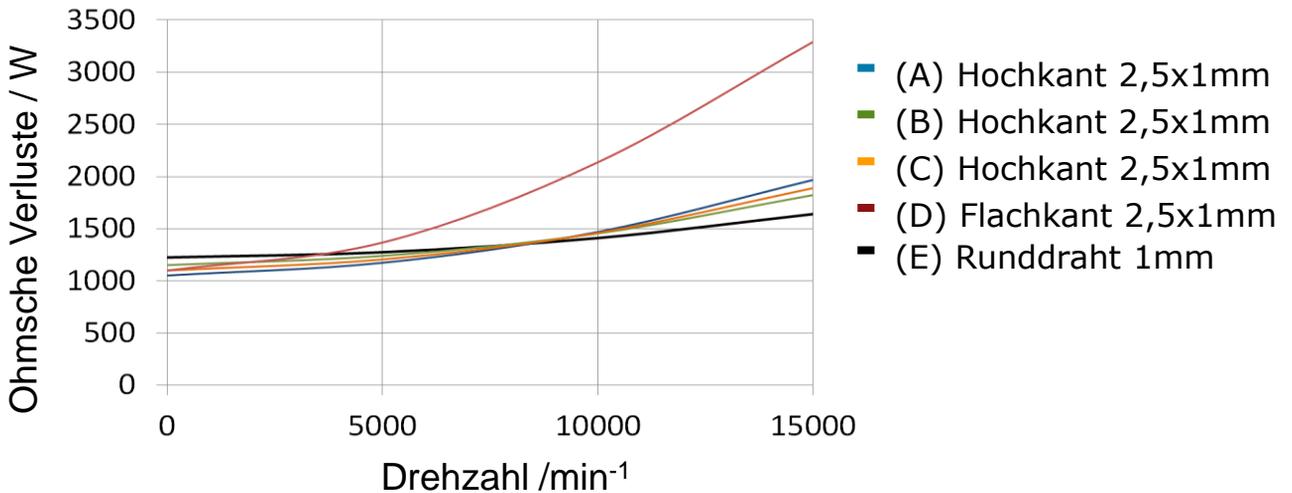
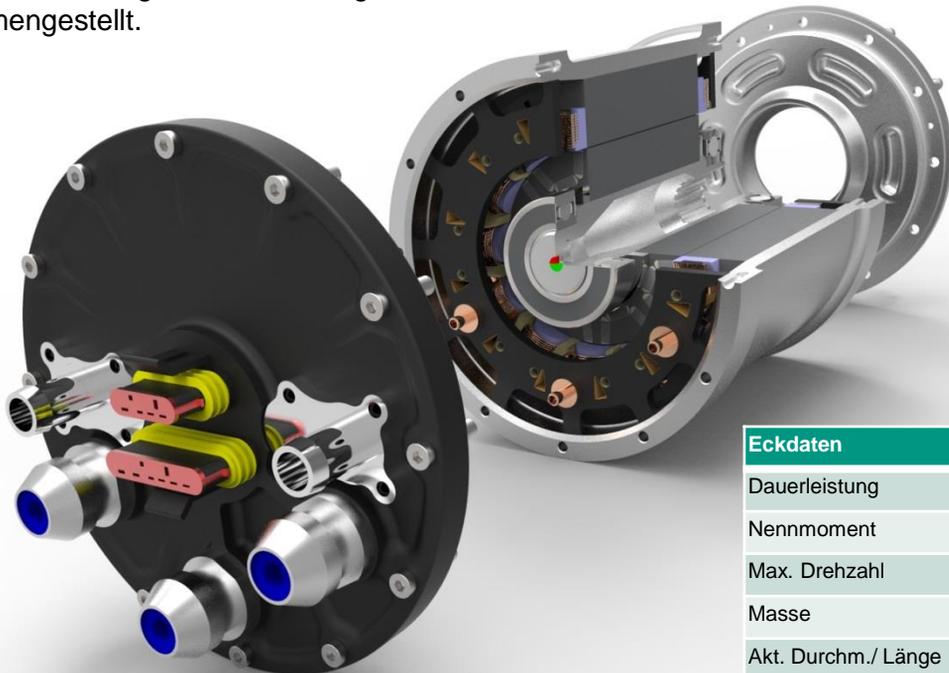


Abb.4: Ohmsche Verluste über der Drehzahl bei Nennstrom für verschiedene Wickeltopologien.

Der im Projekt REM2030 entworfene Elektromotor ist eine permanenterregte Synchronmaschine mit Einzelzahnwicklung. Die wichtigsten Kenndaten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.



Eckdaten		
Dauerleistung	P_{dauer}	70kW @450V
Nennmoment	M_{dauer}	80Nm
Max. Drehzahl	n_{max}	15.000 1/min
Masse	m	13kg
Akt. Durchm./ Länge	$d_{\text{Rotor}}/L_{\text{FE}}$	80mm /100mm
Nuten/Pole		12 / 8