

# Statorwicklungen

## E-Maschinen

Bilder: Audi, ale

E-Fahrzeuge und auch einige Hybridfahrzeuge mit axial langen Maschinen werden mit Wellenwicklungen ausgerüstet.

### Wickelkopf

Dazu müssen die Statorwicklungen mehrfach und gleichmässig in die Nuten am Stator eingelegt werden und an den axialen Enden der Statorgehäuse ebenfalls regelmässig umgebogen und in der richtigen Nut zurückgeführt werden. In diesen Wickelköpfen ist die Ordnung der lackisolierten Runddrähte sehr wichtig. Sie dürfen nicht scheuern, da sonst die Isolation Schaden nimmt, und sie müssen sauber verlegt werden, damit alle Leitungen Platz finden. Da die elektrischen Leiter im Bereich der Wickelköpfe keinen Kontakt zum Eisen haben, können sie die Wärme nur an die Luft abgeben. Wärme entsteht durch den ohmschen Widerstand und den fließenden Strom in den Leitungen.

### Wicklungsverteilung

Am Statorumfang muss eine Anzahl Nuten gefräst oder gestossen werden, welche mit sechs dividiert werden kann, da der Drehstrom in der Regel dreiphasig ist und die Leitungen einmal von vorne nach hinten und dann von hinten nach vorne führen. Das bedeutet, der Strom

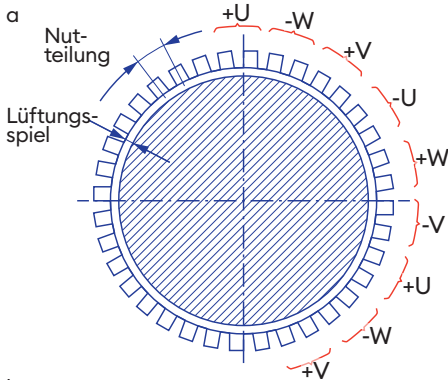
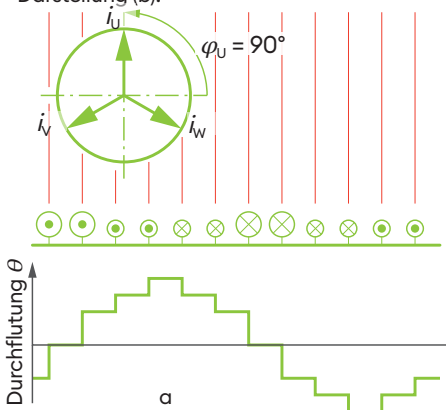


Bild 2: Die Spulenwicklung in der zylinderförmigen (a) und ein Drittel davon in der linearen Darstellung (b).



fließt einmal vom Betrachter weg, was mit einem Kreuz im Leiterquerschnitt symbolisiert wird und einmal auf den Betrachter zufließt. Dieser Zustand wird mit einem Punkt dargestellt (vgl. Beitrag «E-Maschinen», Magnetische Kraft).

Die Statornuten werden mit runden oder rechteckförmigen Kupferdrähten gefüllt. Bei der Hairpinmethode ist der Füllungsgrad besser, dadurch werden der elektrische Widerstand vermindert und der Stromfluss und das Magnetfeld verstärkt.

### Stege

Auch die Stege zwischen den Nuten haben ihre Aufgaben. Sie brauchen eine minimale Breite, um das Magnetfeld möglichst verlustfrei nahe an den Rotor zu leiten. Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator ist für die Grösse des Drehmomentes sehr wichtig. Je kleiner er ist, desto grösser wird das Magnetfeld. Die Konstanz des Luftspaltes ist dagegen wichtig für das Schwingungsverhalten des laufenden Motors.

### Polpaarzahl

Ein Nord- oder ein Südpol erhält das Formelzeichen  $p$ . Da ein Polpaar aus einem Nordpol und einem Südpol besteht, also aus zwei Polen, nennt man dies  $2p$ .

Bei einem Gleichstrommotor (z.B. Startermotor eines Verbrennungsmotors) werden häufig vier Permanentmagnete oder vier elektrische Spulen im Stator befestigt. Dementsprechend weisen die DC-Maschinen vier Pole oder zwei Polpaare auf. Da die Drehstrommotoren mit um  $120^\circ$  phasenverschobenem Wechselstrom arbeiten, wurde definiert, dass eine einpolige Maschine für jede Phase eine Spule aufweist (3 Stränge), während eine zweipolige Maschine sechs Spulen enthält (Polpaarzahl = 2, 3 Stränge). Im Bild 2a ist ein Stator mit 36 Nuten gezeichnet. Damit ergeben sich 18 Spulen. Diese unterteilen sich in drei Stränge. Somit ergeben sich sechs Polpaare. Werden jedoch - wie in den Bildern 2 und 3 - immer zwei nebeneinanderliegende Nuten mit Spulen belegt, welche zur gleichen Phase gehören, ergeben sich bei der gezeichneten Ausführung drei Polpaare, also drei Nord- und drei Südpole (Polpaarzahl = 3, 3 Stränge).

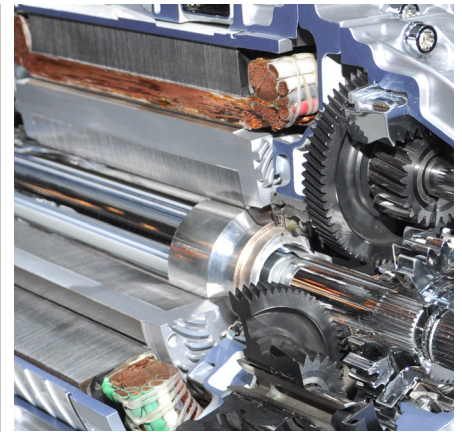
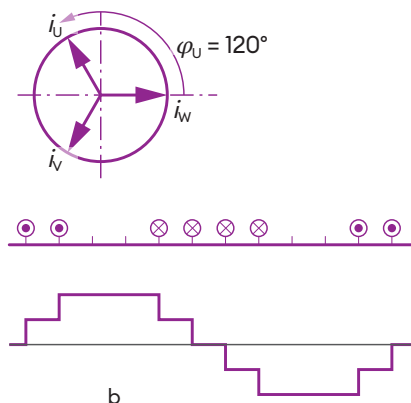


Bild 1: Den Wicklungsköpfen muss im Kühlungskonzept viel Aufmerksamkeit gewidmet werden.

### Polteilung

Die Polteilung  $\tau$  ist als Winkel zwischen zwei nebeneinanderliegenden Spulen (Polen) definiert. Mathematisch wird der Umfang mit der Polpaarzahl dividiert:

$$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{2p}$$

Dabei stellt  $r$  den Radius des Stators und  $2p$  die Polpaarzahl dar.

### Spulenmagnetfeld

Im Bild 3 ist das Zusammenspiel des Drehstromes und des dazu proportionalen magnetischen Drehfeldes dargestellt.

Der Momentanstrom  $i$  entspricht in der Wicklung U im Bild 3a dem Scheitelstrom  $\hat{i}$  zu 100 %, da der Winkel bezogen auf den waagrechten Ursprungspunkt der Sinusfunktion  $\varphi_U = 90^\circ$  beträgt ( $\sin 90^\circ = 1$ ). Im Bild 3b ist der Pfeil um  $30^\circ$  weitergewandert und liegt bei  $\varphi_U = 120^\circ$  und damit beträgt der Strom  $\sin 120^\circ = 0.866$ . Im Bild 3c ist  $\varphi_U = 150^\circ$  und der Sinus davon beträgt 0.5. Für die beiden anderen Phasen verhalten sich die Magnetfelder entsprechend ihrer momentanen Winkel. Wird angenommen, dass die treppenförmigen magnetischen Stufen gegen oben Nordpole und gegen unten Südpole darstellen, wandern die beiden magnetischen Berge mit zunehmenden Drehwinkel nach links.

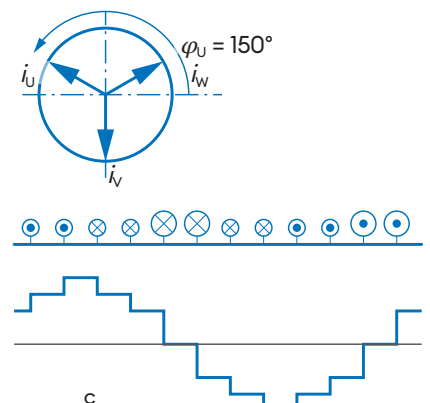


Bild 3: Das Magnetfeld entwickelt sich stufenförmig, weil zeitliche Momente dargestellt sind und nicht die analoge Magnetfeldentwicklung.

Partner: © A&W Verlag AG / SVBA-ASETA-ASITA / AGVS/UPSA / Andreas Lerch