

# ESM

Bilder: BMW, dle

ESM oder auch EESM bedeutet Elektrisch Erregte Synchron-Maschinen. Diese werden für Fahrzeugantriebe in der Zwischenzeit ebenso häufig eingesetzt wie permanent erregte Synchronmaschinen (PSM), Asynchronmaschinen (ASM), Reluktanzmaschinen (RM) oder Axialflussmotoren.

Um verschiedene Antriebsarten einbauen zu können, hat BMW die 7er-Reihe, welche 2022 auf den Markt gebracht wurde, mit einer flexiblen Fahrzeugarchitektur versehen. Damit wird es möglich, eine 48-Volt-Mild-Hybrid-Technologie, einen Plug-in-Hybrid oder einen vollelektrischen Antrieb auf dem gleichen Band im BMW-Group-Werk Dingolfing zu verbauen.

Die ESM werden elektrisch erregt. Das heisst, im Rotor sind nicht Permanentmagnete vergraben, sondern elektrische Wicklungen. Durch eine fein geregelte Zufuhr von elektrischer Energie bauen diese Wicklungen ein Magnetfeld auf, welches mit dem rotierenden Stator-drehfeld reagiert. Ökologisch und ökonomisch ist es sicher sinnvoll, nicht unbedingt auf die Permanentmagnete zu setzen, da die Förderung und Herstellung von Kupfer unproblematischer ist als jene mancher Selten-Erde-Metalle.

## Stator

Der Stator wird bei BMW im Hair-Pin-Verfahren hergestellt. Das bedeutet, dass die einzelnen Wicklungen durch den Stator hindurchgestossen werden (siehe Beitrag: E-Maschinen, Stator). Mit dieser Technik wird das Kupfer besser ausgenutzt und es kann mit weniger Volumen mehr elektrische Leitfähigkeit bzw. Magnetismus untergebracht werden. Als Nachteil dieser Technik müssen die vermehrten Schweißpunkte gelten, welche nötig sind. Da die Wicklungen im Stator von dreiphasigem Wechselstrom (Drehstrom) durchflossen werden, müssen auch mindestens drei Stromkreise geschaltet sein. In der Regel sind es nicht drei Stromkreise, sondern ein Vielfaches davon.

## Rotor

Über den Rotor hält sich BMW bedeckt und im Bild ist nicht viel zu erkennen. Es handelt sich um einen Vollpolläufer und nicht um einen Schenkelpolläufer, wie er in vereinfachter Darstellung in Bild 4

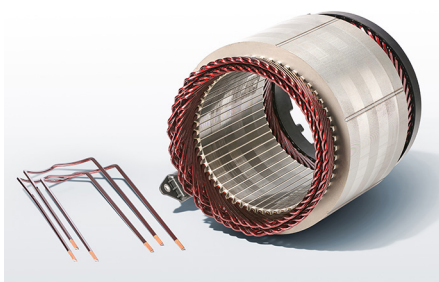


Bild 2: Der Stator wird von BMW in der Hair-Pin-Technologie gefertigt.

# E-Maschinen

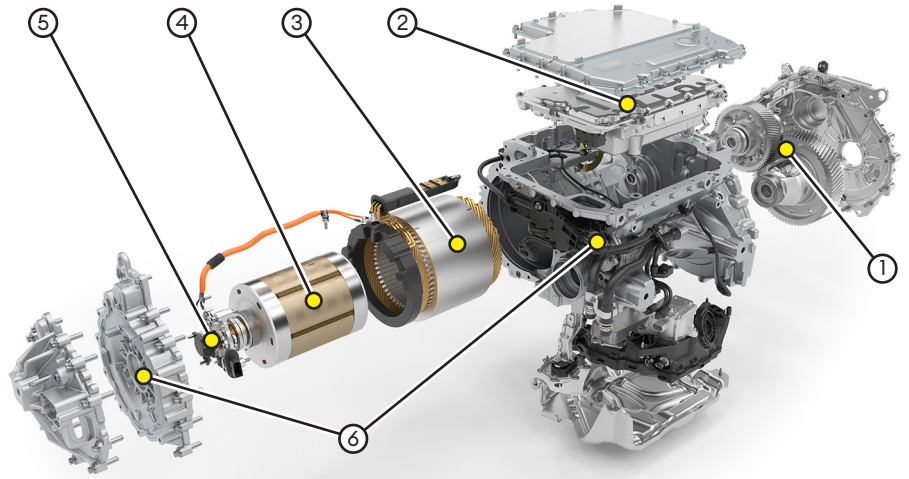


Bild 1: Der elektrische Antrieb der BMW 7er-Reihe. 1 Getriebe - 2 Leistungselektronik - 3 Stator - 4 Rotor - 5 Schleifring und Positionsgeber - 6 Gehäuse.

dargestellt ist. Vollpolläufer werden grundsätzlich für hohe Drehzahlen verwendet. Die Wicklungen liegen nicht an der Oberfläche, sondern sind – wie die Permanentmagnete bei der PSM – vergraben und ermöglichen so eine Kombination zwischen der Lorentz- und der Reluktanzkraftwirkung.

Da die magnetische Polarität bei der elektrisch erregten und bei der permanent erregten Synchronmaschine nicht verändert werden darf (das Drehfeld ist im Stator), muss der Rotor mit Gleichstrom versorgt werden. Somit müssen die Rotoren von elektrisch erregten Synchronmaschinen nicht unbedingt geblecht sein, weil das Rotorfeld eingermassen konstant bleibt und so die Wirbelstromverluste kaum zu Buche schlagen.

Die Wicklungen des Rotors werden über Kohlebürsten und Schleifringe mit Strom versorgt (Bild 3). Die Kohlebürsten sind gesintert und zur Verminderung der elektrischen Widerstände kann ein gewisser Anteil von Metallpulver eingearbeitet sein. Damit gelingt es, einerseits den Spannungsabfall und andererseits die Temperatur in diesem Bereich im Griff zu behalten. Die Temperatur hängt jedoch nicht nur vom Übergangswiderstand, sondern auch von der mechanischen Reibung zwischen Kohlebürste und Schleifring ab. Da die Oberflächen von beiden Teilen eine gewisse Rauigkeit aufweisen, besteht die eigentliche Kontaktfläche aus viele winzigen Kontaktpunkten.

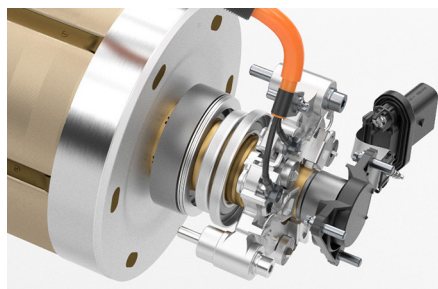


Bild 3: Mit der orangenen Leitung wird der Gleichstrom zu den Kohlebürsten geführt.

Wie viel Strom bei welcher Spannung in welchen Betriebszuständen zum Rotor fliesst, gibt BMW leider nicht an. Auf alle Fälle kann mit der Regelung von Stator- und Rotorstrom die Maschine exakt und wirkungsgradoptimiert geregelt werden. So können bei dieser Maschine auch der Leerlauf und die Rekuperation sehr feinfühlig eingestellt werden, weil eben der Rotor-Gleichstrom auch beeinflusst werden kann. Trotzdem bleibt bei der ESM gegenüber der PSM ein Wirkungsgradnachteil, da bei der PSM kein Erregerstrom fließen muss.

## Funktion

Läuft eine Synchronmaschine ohne Last im Leerlaufbetrieb, steht immer der Nordpol des Stators dem Südpol des Rotors (und umgekehrt) gegenüber (Bild 4a). Der Name Synchron weist darauf hin, dass die Rotordrehzahl immer synchron zum Drehfeld läuft, dass also kein Schlupf anliegt.

Wird Last angelegt und wird über den Rotor Drehmoment an die Räder geliefert, hängt der Rotor etwas hinter dem Stator zurück. Richtigerweise steht einfach der Nordpol des Stators nicht mehr genau dem Südpol des Rotors gegenüber. Der Rotor und damit sein Südpol wird durch die Belastung etwas abgebremst. Es wird vom Polradwinkel gesprochen. Dieser ist last- oder drehmomentabhängig. Wird die Last und damit der Polradwinkel zu gross, fällt der Motor aus dem Takt (Kippmoment) und bleibt stehen.

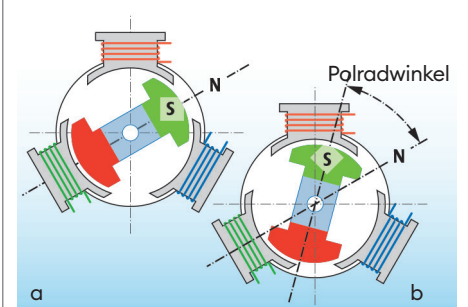


Bild 4: a) der Motor im Leerlauf und b) der Motor unter Last.

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

DERENDINGER

Sponsor: