

- 1 Funktionsprinzip der elektrischen Maschinen
- 2 Motorarten und Bauformen
- 3 Beispiel: E-Maschinen als PKW Traktionsmotoren

# Anforderungen an Elektromotoren

Aus der Relevanz für die Automobilindustrie ergeben sich eine Vielzahl von Anforderungen

## Kleiner Bauraum



## Leistungsstark



## Gewichtsarm



## Energieeffizienz



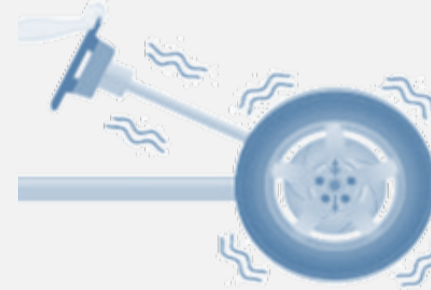
## Langlebig



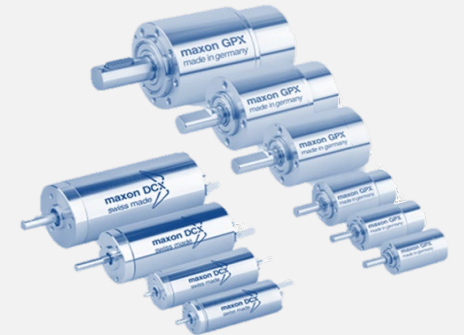
## Kostengünstig



## Geräuscharm

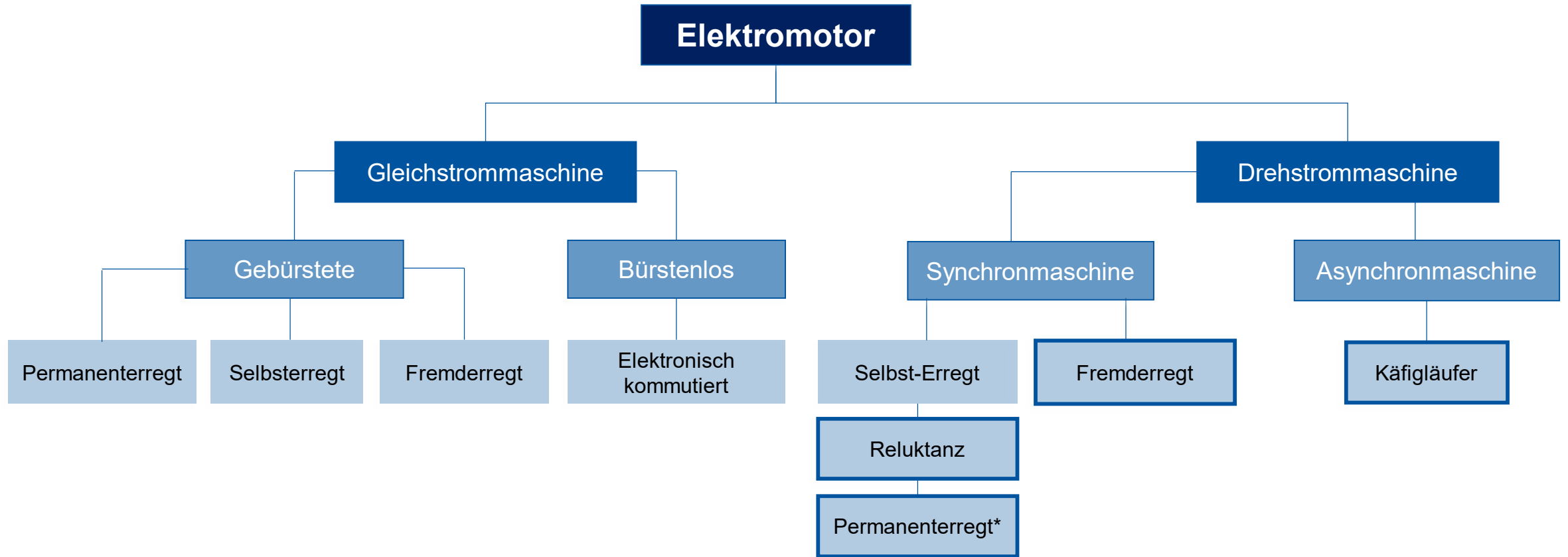


## Universell




Bilderquellen: Siemens; Maxon; drive2; Ship & Shore Environmental; CarKeys

## Übersicht über die für die Elektromobilität relevanten Elektromotorarten



\* Motoren existieren auch in Axialfluss-Bauformen

 Relevant als Traktionsmotor

### Gehäuse

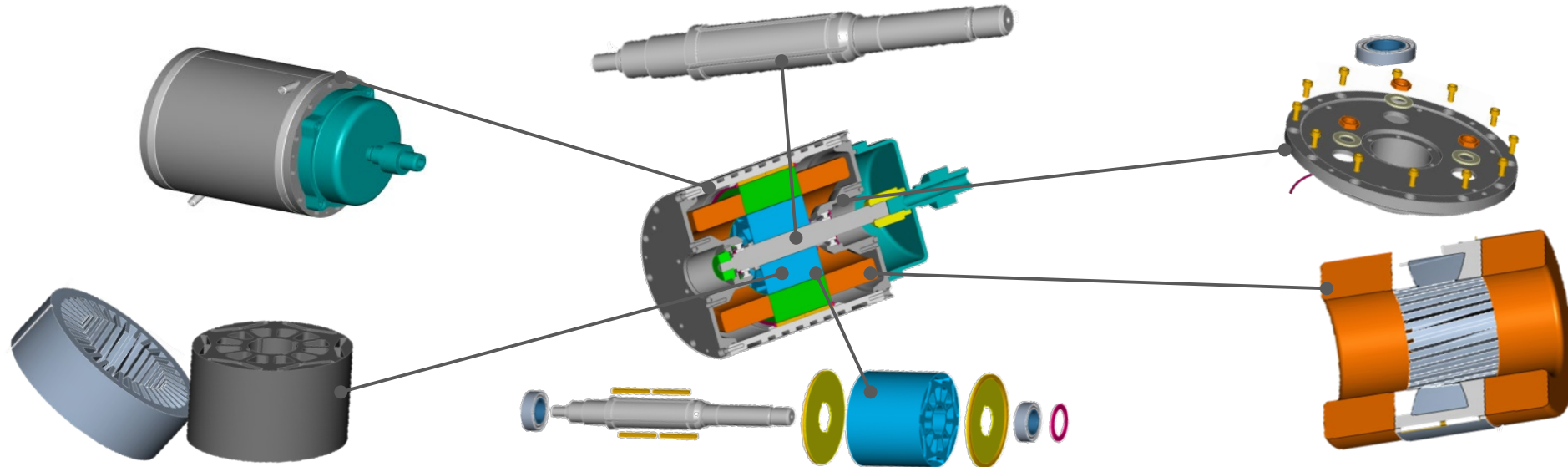
- Schutz
- Aufhängung im Fahrzeug
- Kühlung

### Welle

- Übertragung von Rotation und Drehmoment
- Antriebsstrangchnittstelle

### Lagersystem

- Aufnahme der Welle
- Übertragung radialer Kräfte
- Minimierung von Reibung



### Blechpakete (Rotor, Stator)

- Leitung d. magnetischen Flusses
- Minderung von Verlusten

### Rotorbaugruppe

- Aufbau Magnetfeld
- Erzeugung von Rotation und Drehmoment

### Statorbaugruppe

- Erzeugung eines magnetischen Drehfeldes

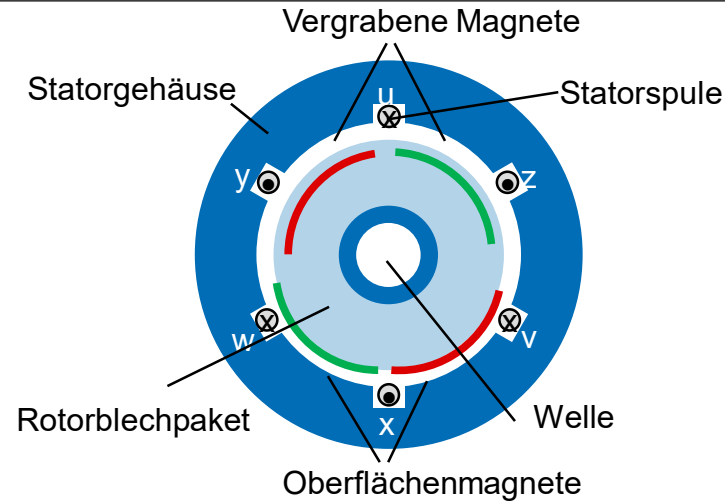
# Technologien von Elektromotoren

## Permanenterregter Synchronmotor (PSM)

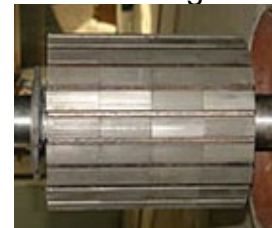
### Funktionsprinzip



- Statorwicklungen werden mit Drehstrom gespeist und verursachen ein rotierendes Magnetfeld.
- Rotor folgt aufgrund seines permanenterregten Magnetfeldes dem Magnetfeld des Stators (ohne Schlupf).
- Drehzahl des Rotors ist proportional zur Drehzahl des magnetischen Feldes und wird deshalb als Synchrondrehzahl bezeichnet.



Toyota Prius Rotor mit vergrabenen Magneten



Rotor mit Oberflächen Magneten

### Automotive Relevanz



- Am weitesten verbreitete Variante (Toyota, Honda, BMW, Mercedes, VW, Hybrid, Tesla Model 3, Porsche)

### Vorteile



- Geringes Gewicht
- Kompakte Bauweise
- Hohe Leistungsdichte
- Hoher Wirkungsgrad

### Nachteile



- Benötigte Magnetwerkstoffe sind als Ressourcen restriktiert → höhere Kosten
- Montage der Magneten aufwändig.

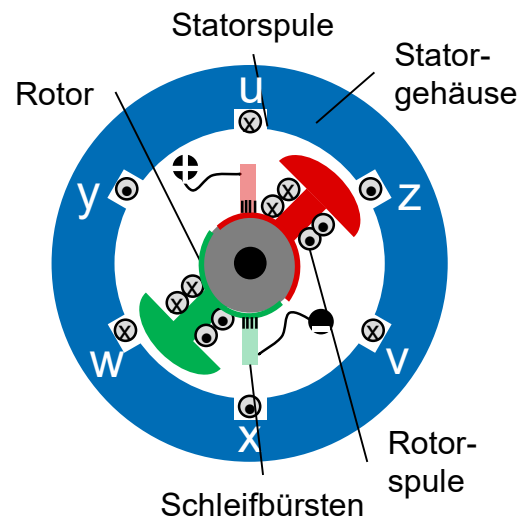
# Technologien von Elektromotoren

## Fremderregter Synchronmotor (FSM)

### Funktionsprinzip



- Statorwicklungen werden mit Drehstrom gespeist und verursachen ein rotierendes Magnetfeld.
- Rotor enthält eine Spule. Schleifringe stellen Gleichstrom für die Erregerwicklung des Rotors bereit.
- Es entsteht ein elektromagnetisches Feld im Rotor, welches dem vom Stator gebildeten Drehfeld synchron folgt.



#### Renault Zoe Powertrain

1. Leistungselektronische Steuerung
2. Stator
3. Rotor
4. Einstufiges Getriebe und Differential

### Automotive Relevanz



- Renault Zoe, Nissan Leaf, Smart, Zhidou EV2

### Vorteile



- Keine Permanentmagnete erforderlich
- Einfache Konstruktion
- Geringere Kosten

### Nachteile



- Mechanischer Verschleiß der Schleifbürsten → Wartung notwendig

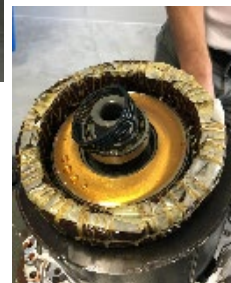
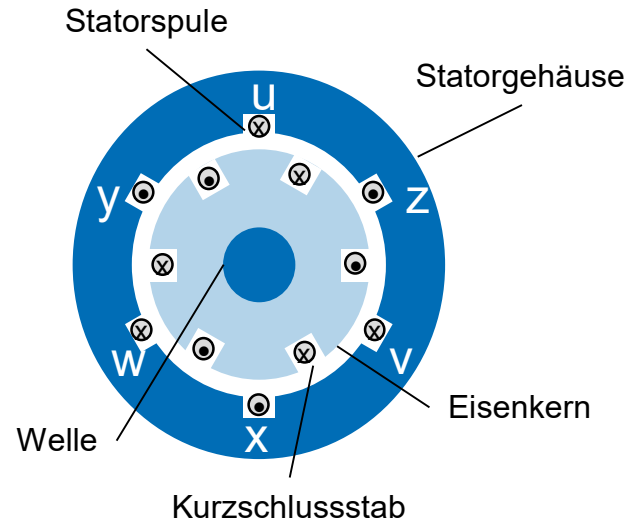
# Technologien von Elektromotoren

## Asynchronmotor (ASM)

### Funktionsprinzip



- Statorwicklungen werden mit Drehstrom gespeist und verursachen ein rotierendes Magnetfeld.
- Rotierendes Magnetfeld induziert Strom in Kurzschlussstäben des Rotors. Dies erzeugt Gegenfeld.
- Wechselwirkung zwischen Stator- und Rotorfeld erzeugt Drehmoment.
- Rotor ist stets langsamer als Stator (Schlupf). Je größer das verlangte Drehmoment, desto größer ist der Schlupf.



Tesla ASM Motor



### Automotive Relevanz



- Durch Kostenvorteile z.T. bevorzugt (Tesla Model S und X, GM, BAIC, AUDI StreetScooter)
- Hochintegrierten eDrive-Systeme von Magna für PKW Anwendungen

### Vorteile



- Geringe Kosten
- Höheres Drehmoment als bei Gleichstrommotoren
- Keine Permanentmagnete erforderlich

### Nachteile



- Geringere Leistungsdichte als PSM
- Geringerer Wirkungsgrad als PSM
- Hohe Anforderungen an das Thermal Management System

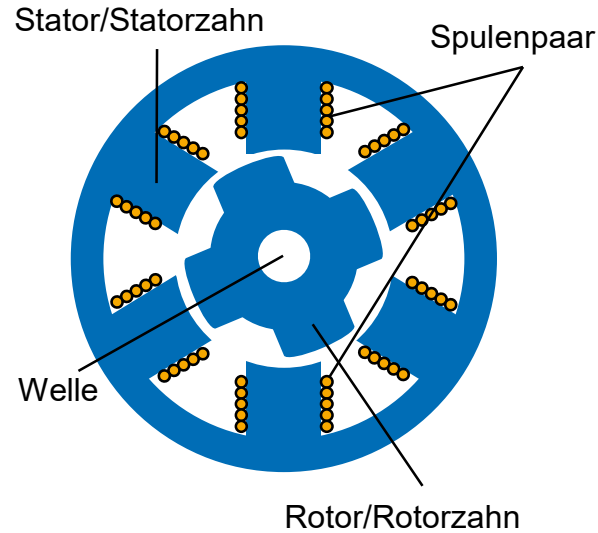
# Technologien von Elektromotoren

## Geschalteter Reluktanzmotor (SRM)

### Funktionsprinzip



- Zahnförmiges Profil von Stator und Rotor (weichmagnetisch). Spulen an den Statorzähnen.
- Wicklungen am Stator gegenüber des Rotors erzeugen Magnetfeld durch abwechselnde Beschaltung (Drehstrom) zusammengefasster Wicklungsstränge.
- „Reluktanz“: Das Bestreben des Rotors nach einem geringeren magnetischen Widerstand sorgt für Rotation bis zum nächsten Spulenpaar.



Nidec SRM auf Dynamometertest

### Automotive Relevanz



- Tesla verwendet PSM-Motoren mit erhöhter Reluktanz

### Vorteile



- Keine Permanentmagnete erforderlich
- Sehr kompakt
- Robuste und einfache Bauart
- Kostengünstig

### Nachteile



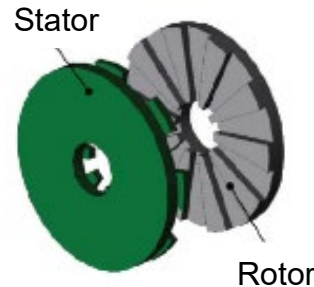
- Hohe Geräusentwicklung bei hoher Drehzahl
- Drehmomentwelligkeit



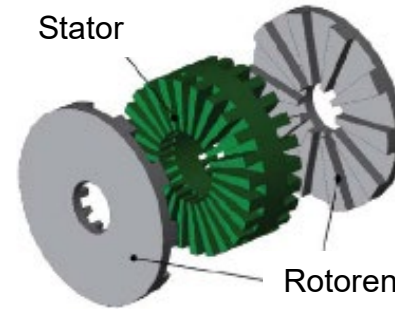
### Funktionsprinzip



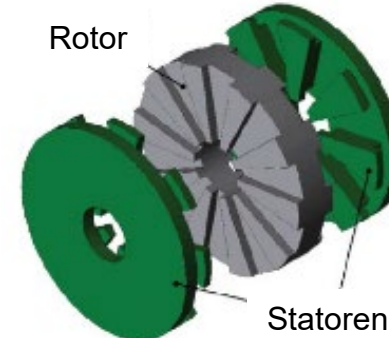
- Das Stator-Rotorsystem ist axial angeordnet und bietet durch den vergrößerten Durchmesser eine höhere Drehmomentdichte.
- Der Stator ist in separate Statorkerne unterteilt, die keinen Wicklungskopf haben.
- Die Statorkerne sind aus einem Blechpaket komplex zu fertigen. SMC-Verbundwerkstoffe sind eine Alternative.
- Aufgrund des hohen Drehmoments gibt es Konzepte ohne Untersetzungsgetriebe.



**Einseitige Axialflussmaschine**



**Axialflussmaschine mit innerem Stator**



**Axialflussmaschine mit innerem Rotor**

### Automotive Relevanz



- Innovativer Ansatz, bis dato keine industrielle Umsetzung im Automotive-Bereich

### Vorteile



- Geringes Gewicht
- Kurze axiale Länge
- Hohes Drehmoment
- Direktantriebsausführung möglich (ohne Untersetzungsgetriebe)

### Nachteile



- Komplexe Auslegung und Entwicklung
- Hohe Lagerbelastung
- Wobbling effect