

# Fahrzeugmechatronik I

## Aktoren



**Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller**

**M. Sc. Osama Al-Saidi**

**Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin**

---

# Asynchronmaschine

## Allgemein

**1885:** Erfindung des Drehfeldes und der mehrsträngigen Wicklung durch den Italiener Galileo Ferraris und den Jugoslawen Nicola Tesla.

**1889:** Michael von Dolivo Dobrowolsky, Mitarbeiter der AEG erbaut den ersten dreisträngigen Asynchronmotor mit Käfigläufer.  
(ca. 25 Jahre nach dem Gleichstrommotor von Siemens).

80% aller elektrischen Maschinen sind heute Asynchronmaschinen.  
95% davon besitzen sogenannte Käfigläufer.

### **Vorteile:**

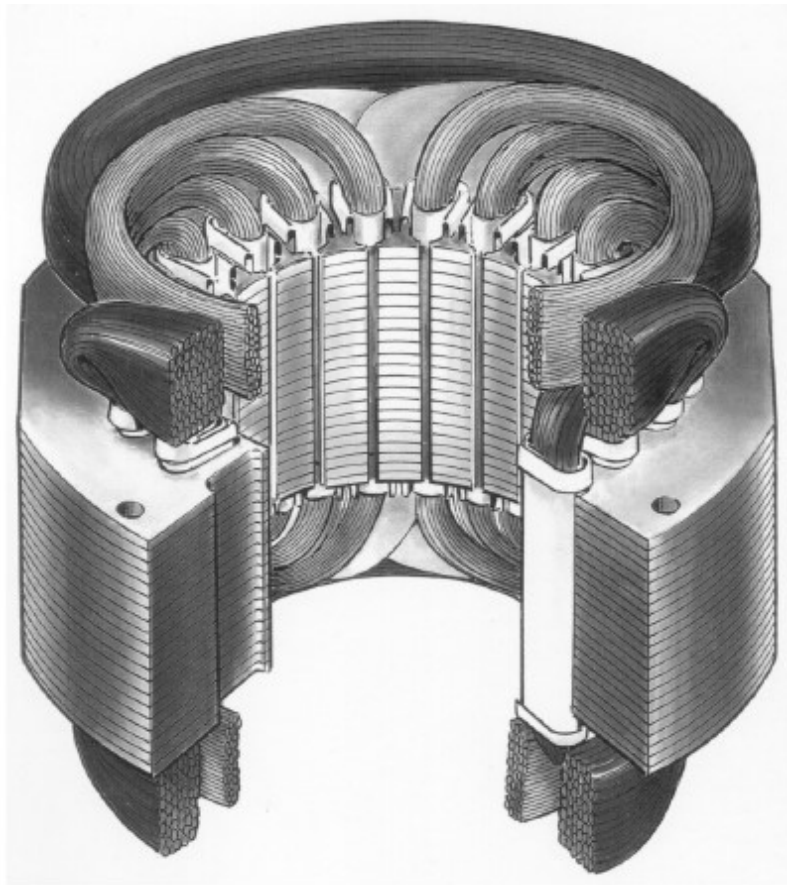
- Einfacher und robuster Aufbau,
- sehr preiswert wegen weitgehender Normung,
- kein Bürstenverschleiß

### **Nachteile:**

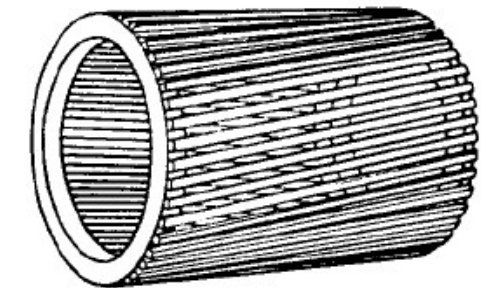
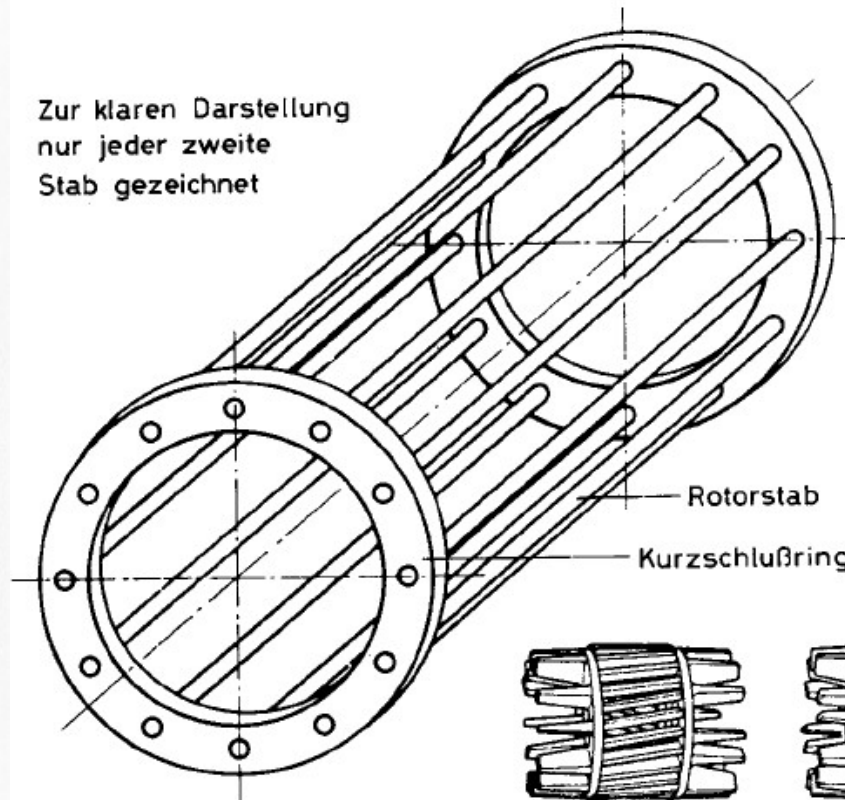
- Drehzahl an Netzfrequenz gebunden und lastabhängig (gilt auch für GM)  
(Drehzahlregelung notwendig)
- mäßiger bis schlechter Wirkungsgrad im Vergleich zur GM.

# Asynchronmaschine

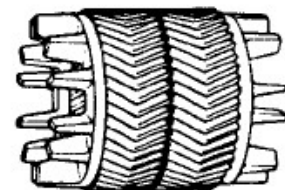
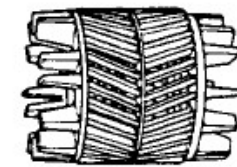
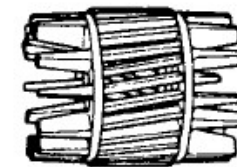
## Bauarten – Käfig- bzw. Kurzschlussläufer



Zur klaren Darstellung  
nur jeder zweite  
Stab gezeichnet



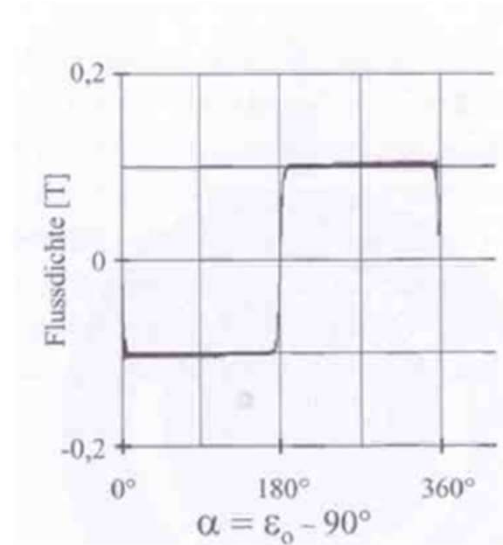
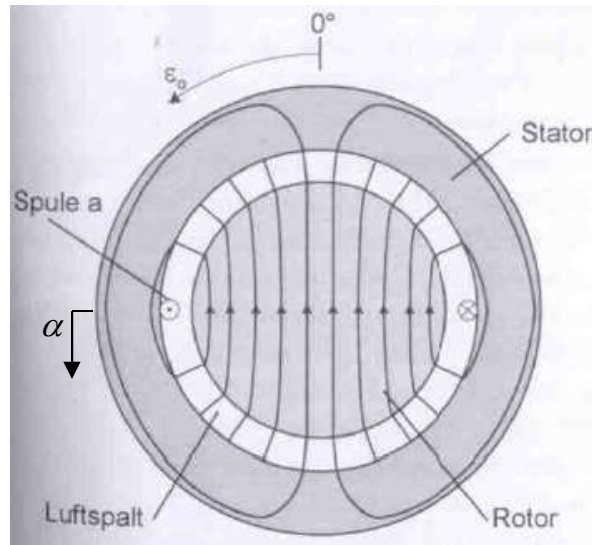
Hartgelöteter oder geschweißter  
Kupferkäfig



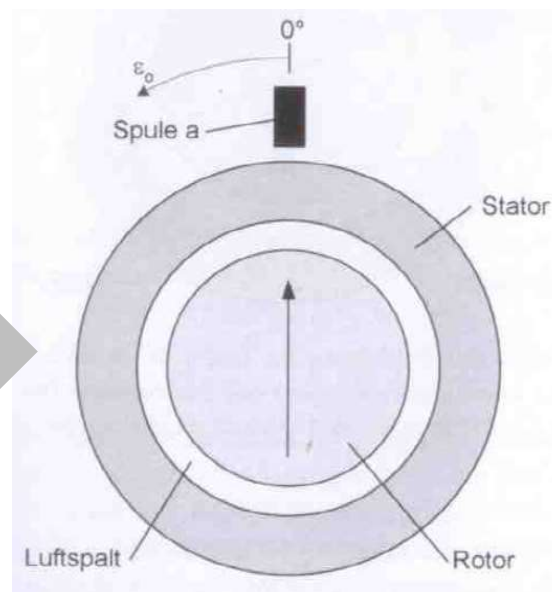
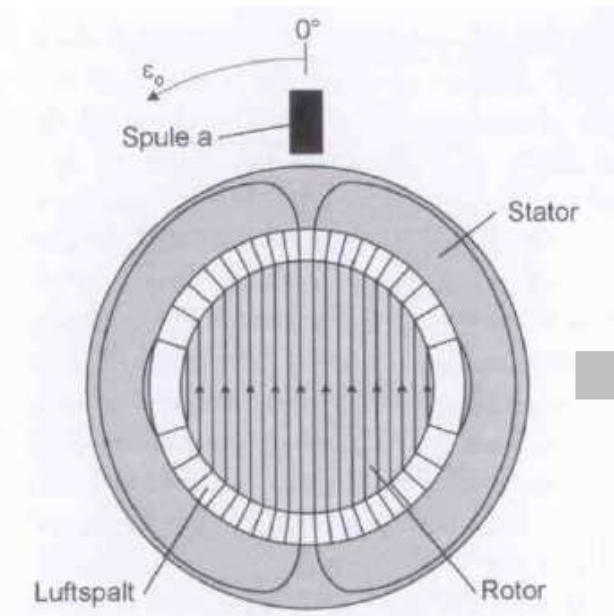
Aluminium – Druckgußkäfige

# Asynchronmaschine

## B-Feld bei konstantem Spulenstrom



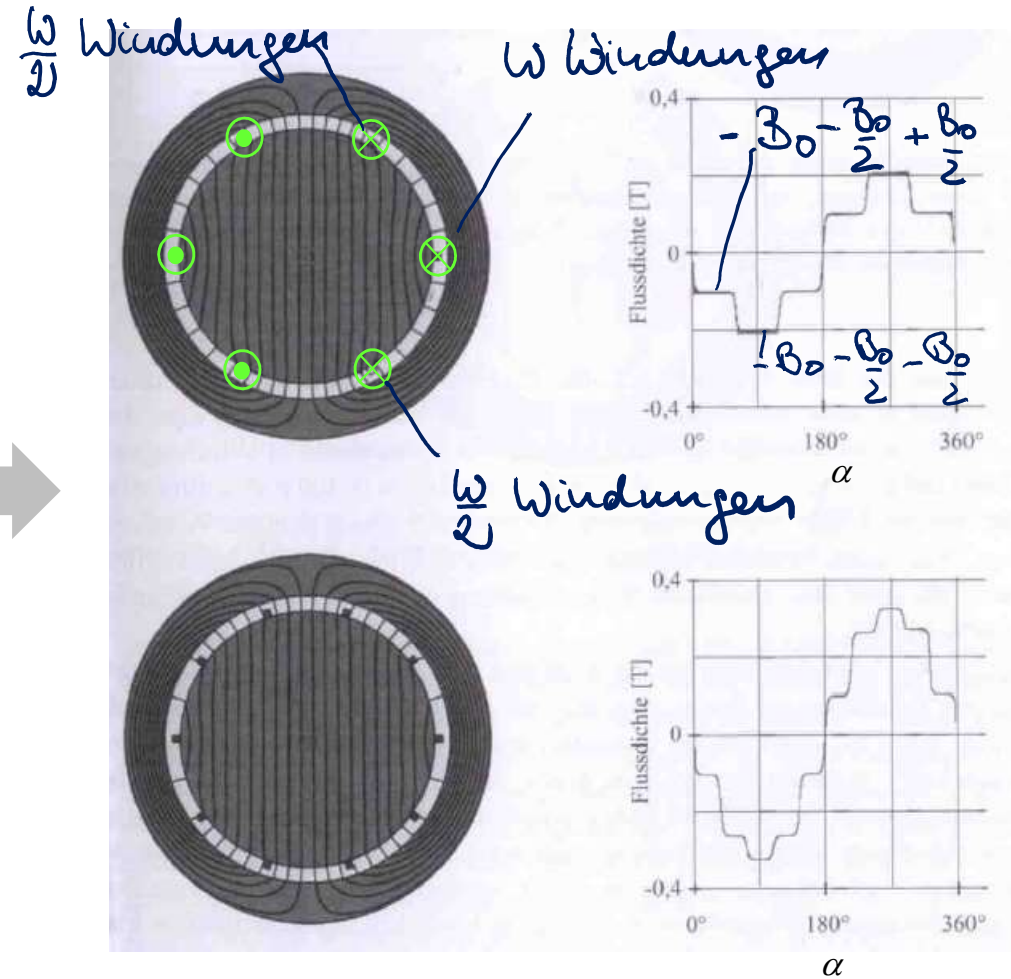
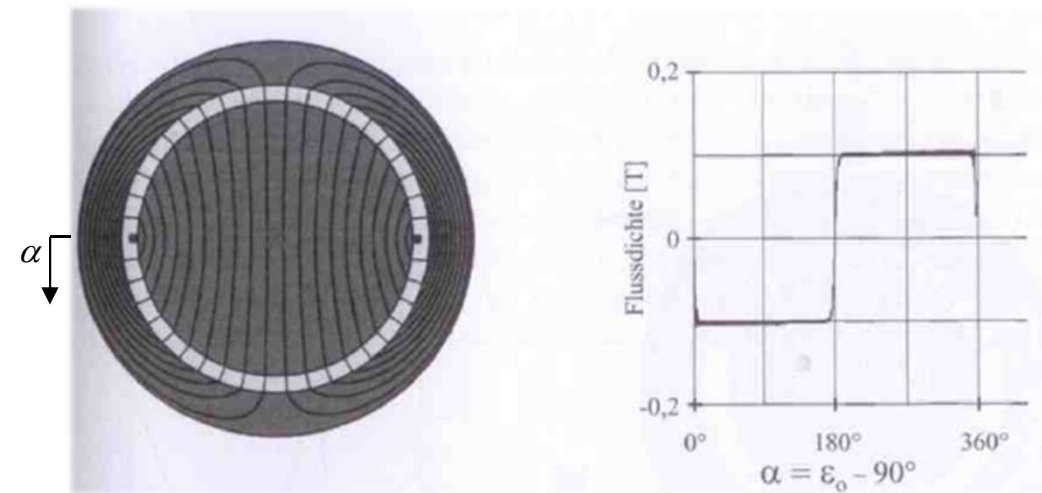
Flussdichte  $\vec{B}$   
sei negativ, wenn  
sie „in den Rotor  
hinein“ zeigt.





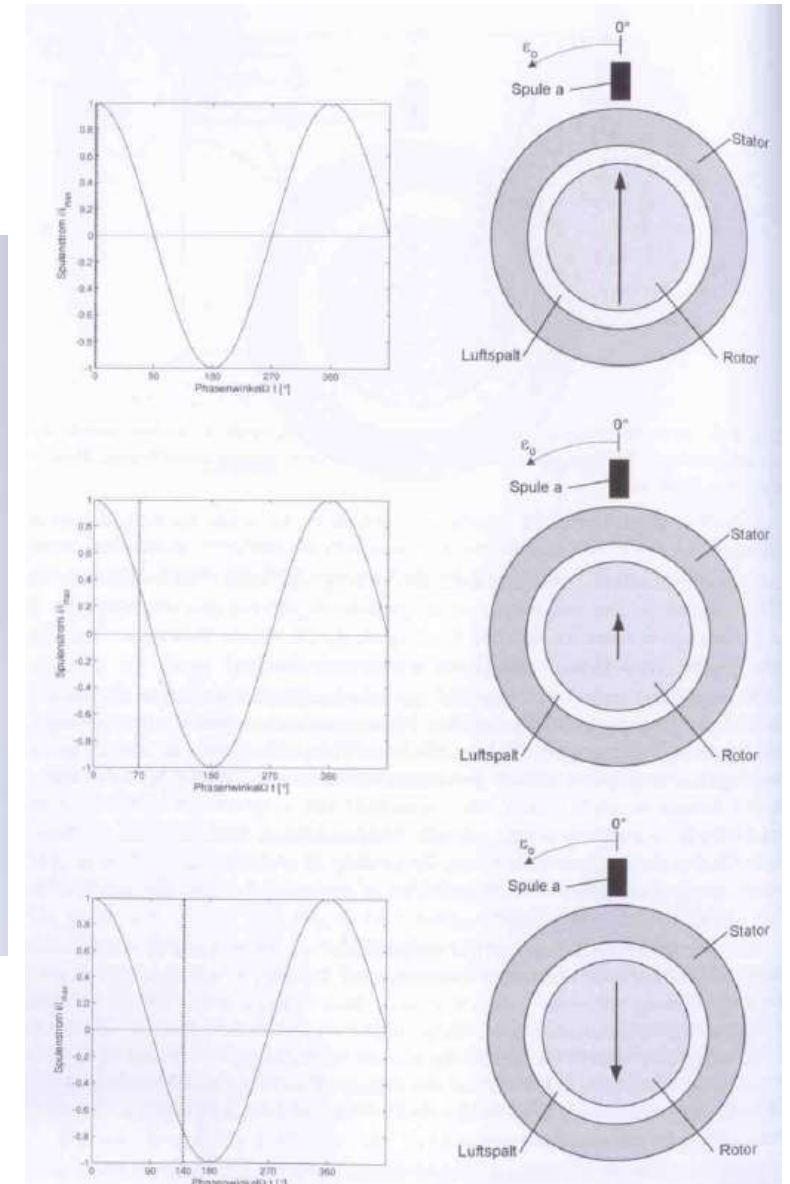
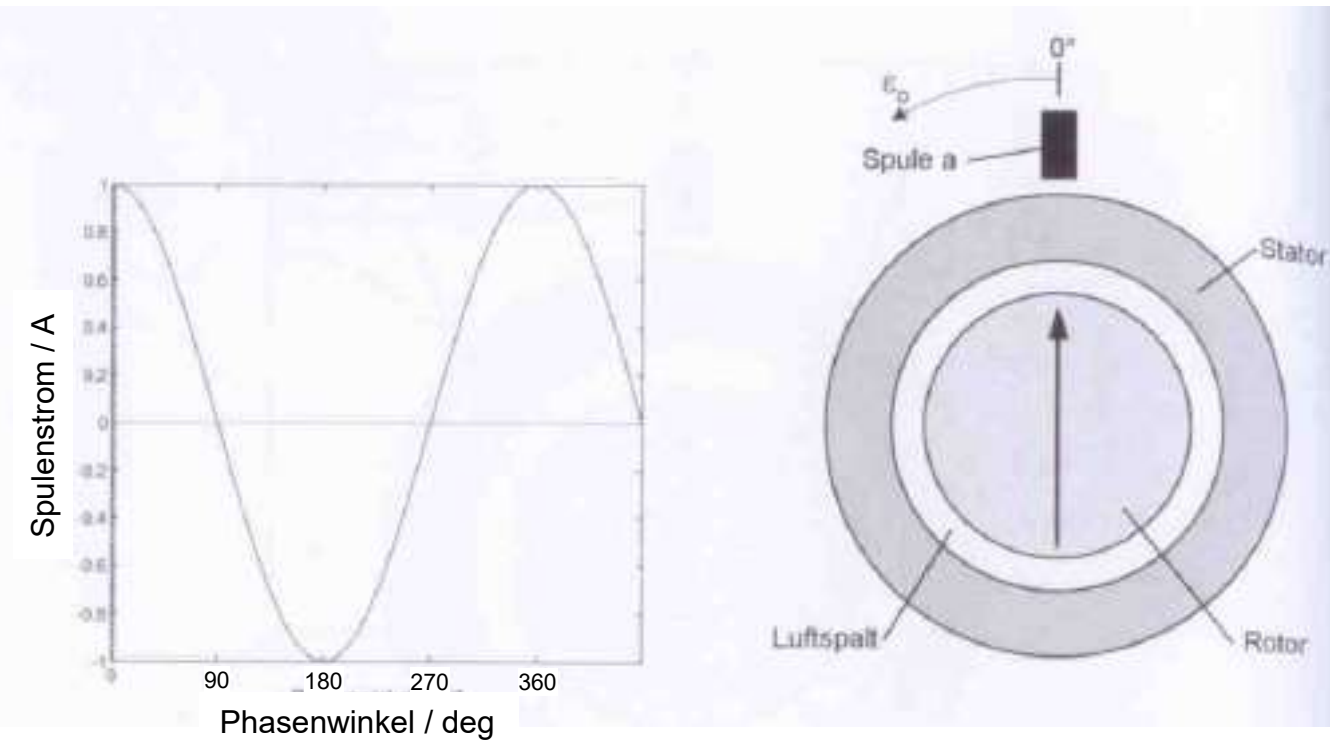
# Asynchronmaschine

## B-Feld bei konstantem Spulenstrom – Über den Umfang verteilte Strangwicklung



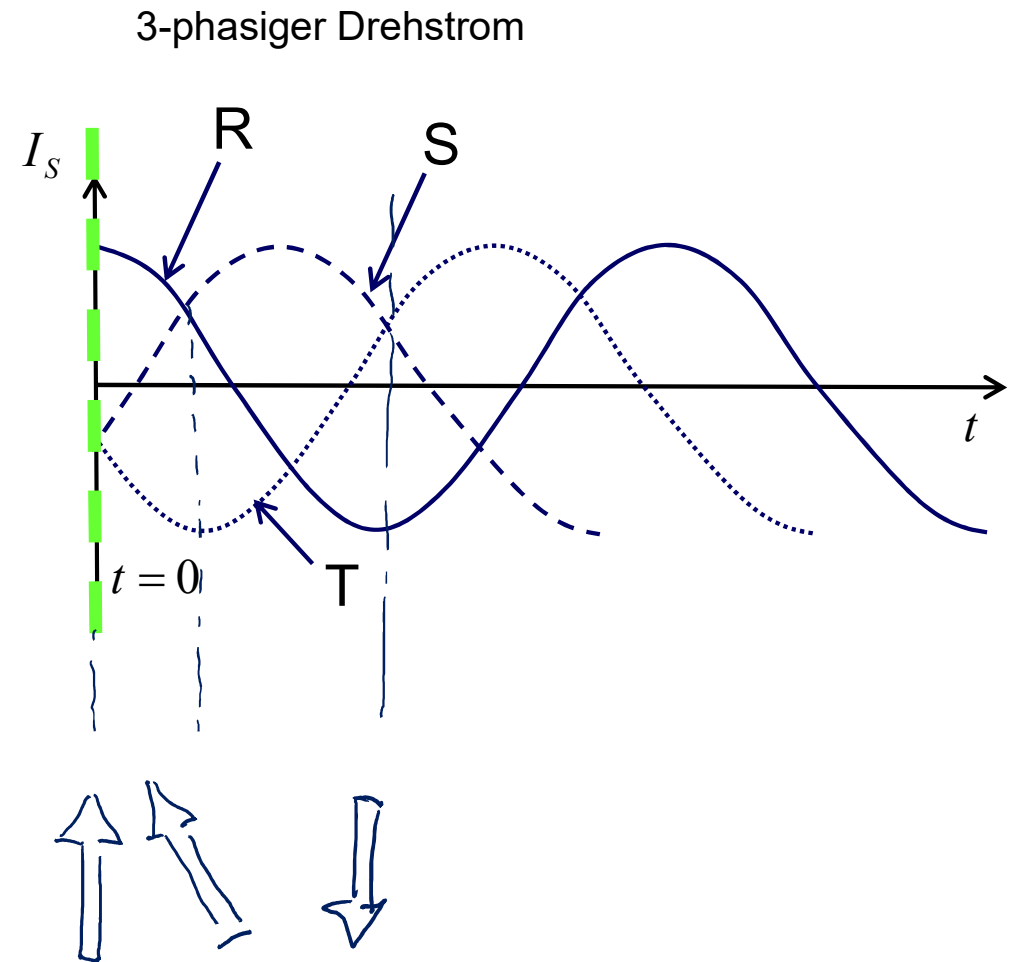
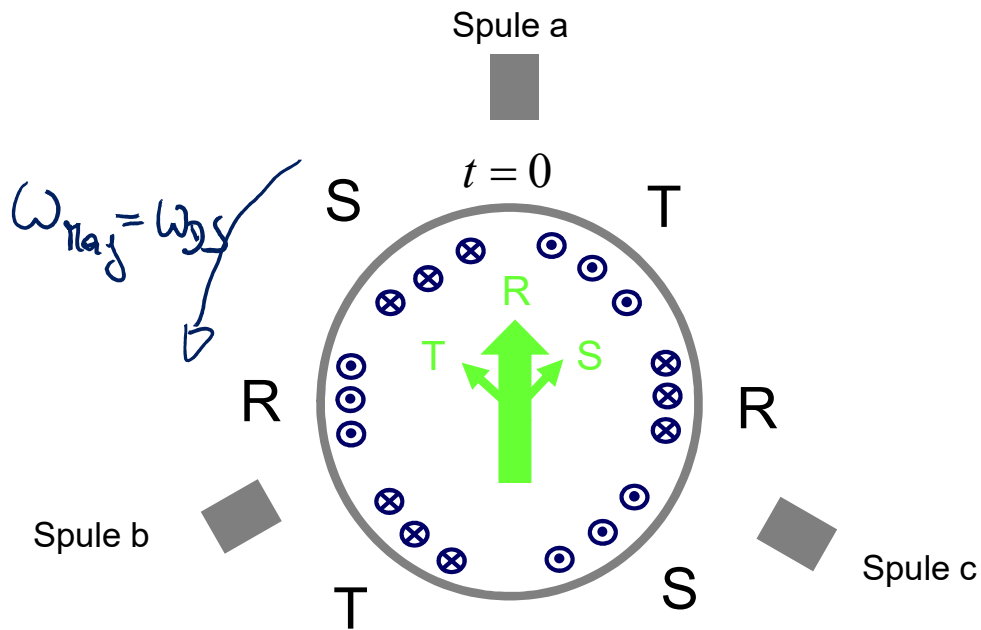
# Asynchronmaschine

## B-Feld bei harmonischem Spulenstrom



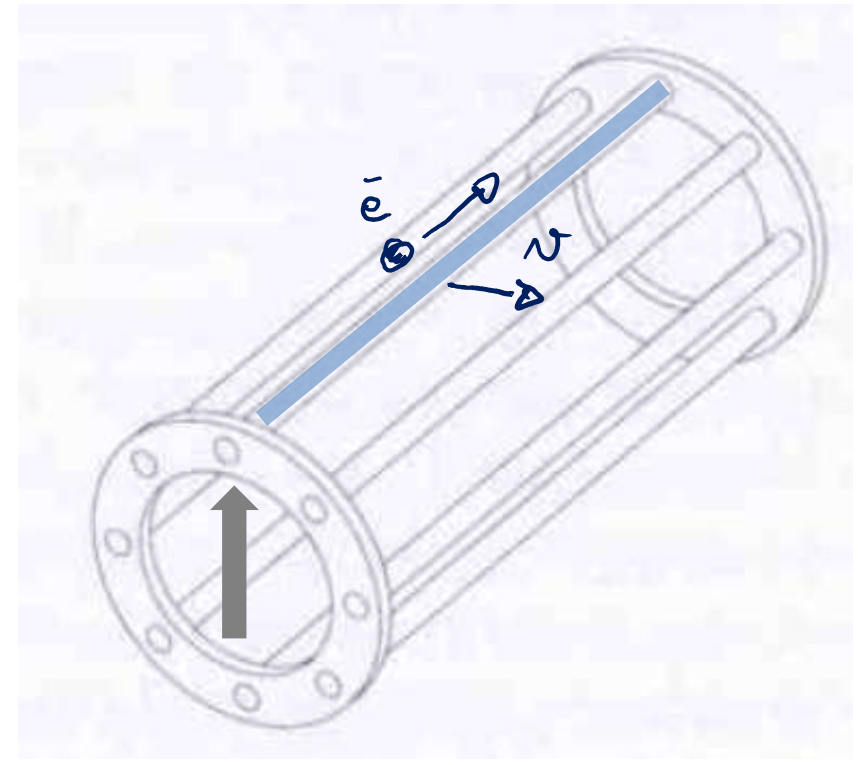
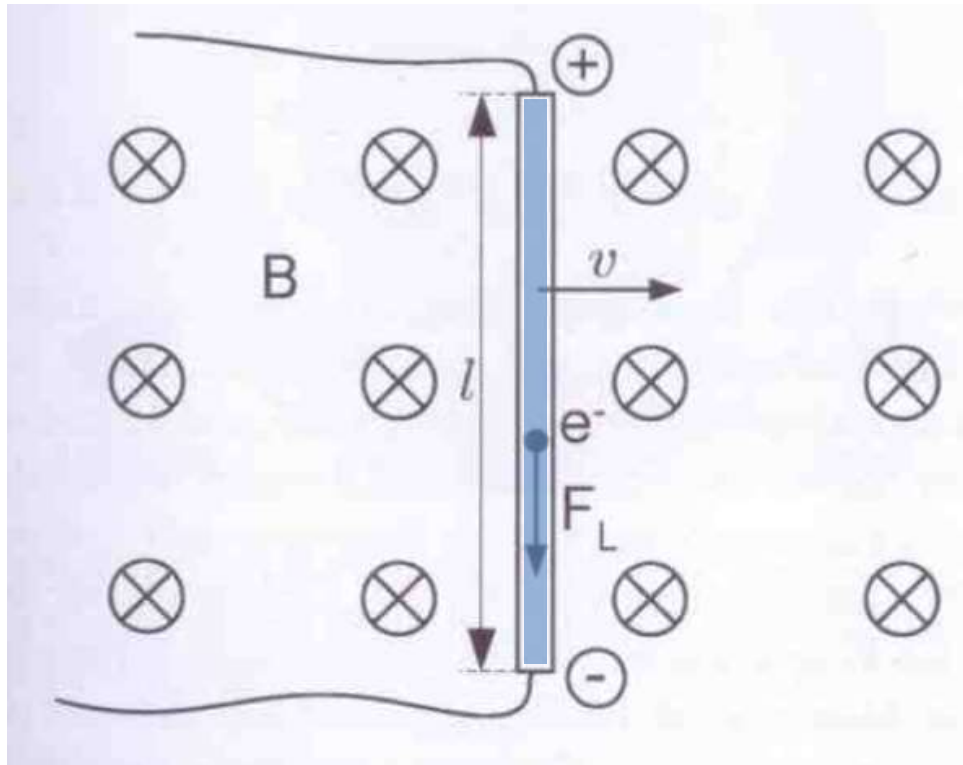
# Asynchronmaschine

## Erzeugung eines Drehfeldes durch den Stator



# Asynchronmaschine

## Spannungsinduktion im Käfig (Rotor)

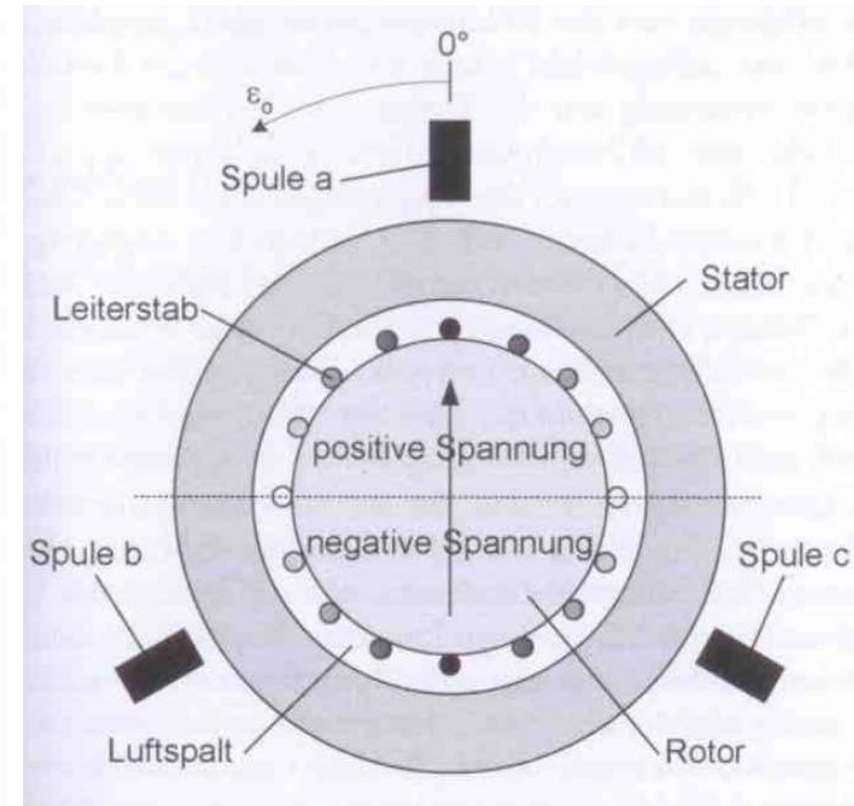
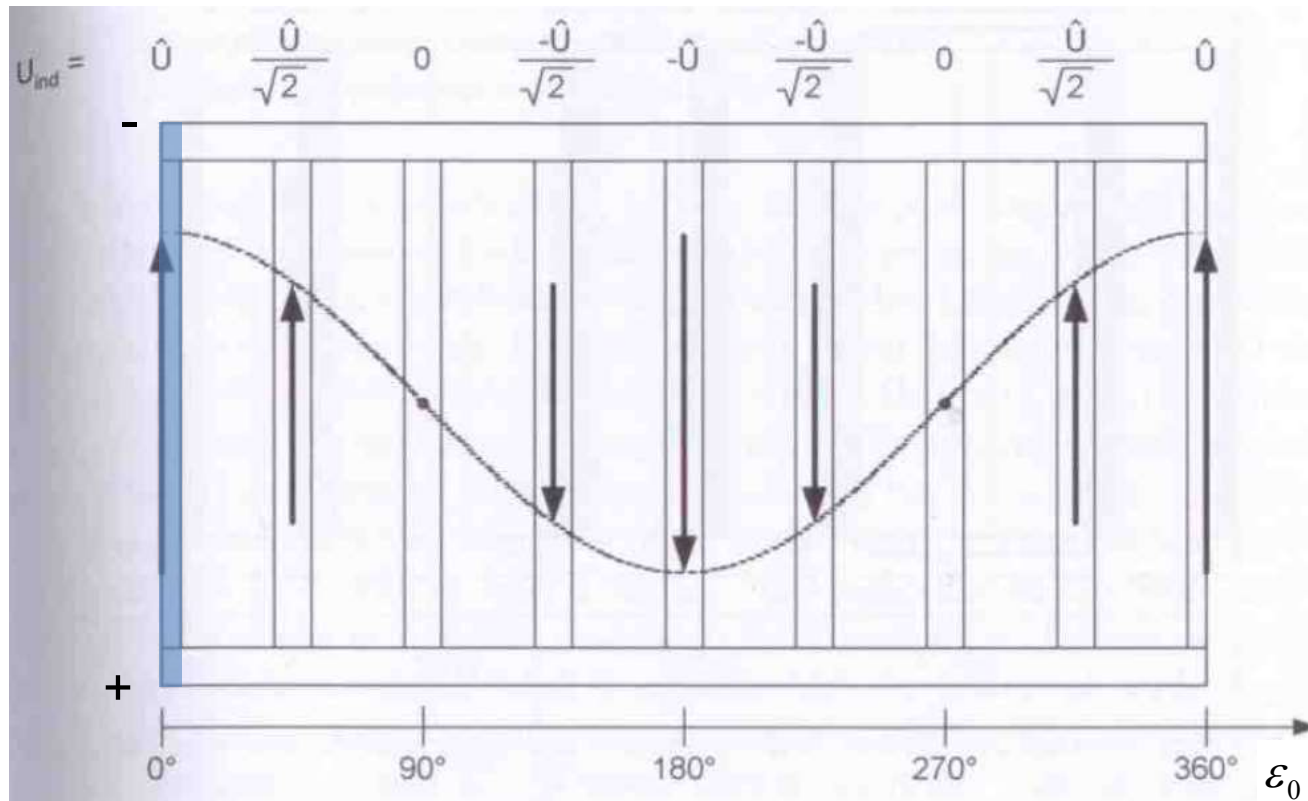


$v$  ist dabei die Geschwindigkeit des Leiters relativ zum  $B$ -Feld.



# Asynchronmaschine

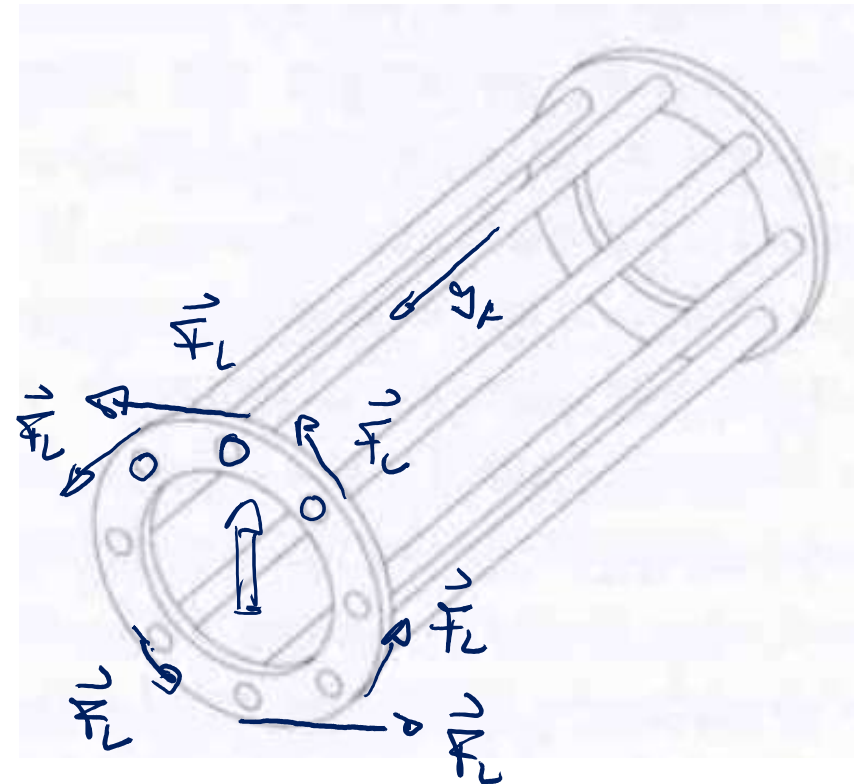
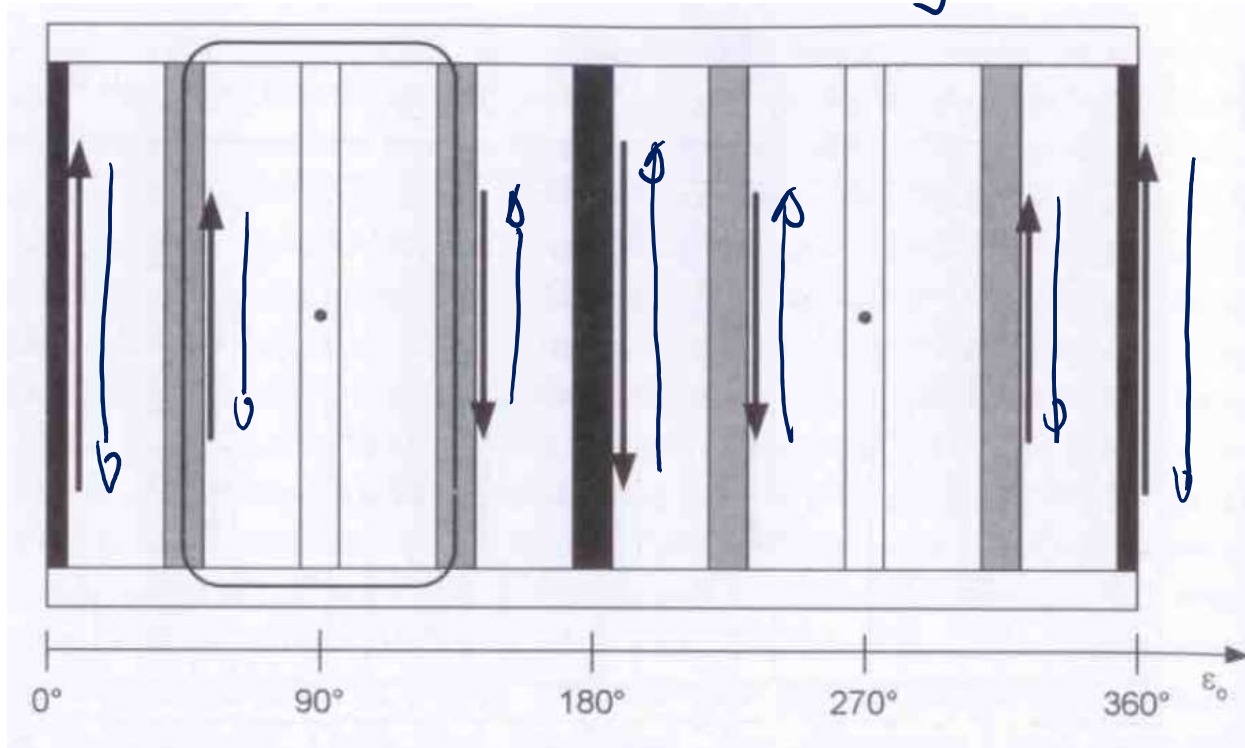
## Spannungsinduktion im Käfig (Rotor)



# Asynchronmaschine

## Stromfluss und Lorentzkraft im Käfig (Rotor)

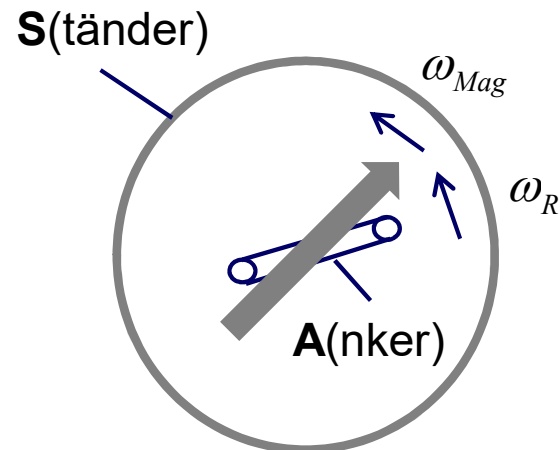
Technische Stromrichtung



Stromamplituden und -phasen werden  
bestimmt durch  $v$  sowie R- und L-Wertung  
des Käfigs.

# Asynchronmaschine

## Entstehung des Drehmomentes



$$\text{Schlupf } s = \frac{\omega_{Mag} - \omega_R}{\omega_{Mag}}$$

$c$  - Maschinenkonstante

$n_{A/S}$  - Anzahl der Windungen

$U_{S0}$  - Amplitude der Wechselspannung

Drehstrom erzeugt umlaufendes Magnetfeld



Relativgeschw. zwischen Rotor/Stator induziert Spannung in kurzgeschlossener Ankerspule (ohne Herleitung)

$$U_{A0} = c \frac{n_A}{n_S} U_{S0} s$$

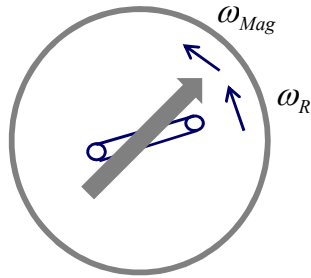


Induzierte Spannung führt zu Stromfluss und hierdurch Lorenzkraft bzw. Drehmoment auf Anker

$$F_L = I l B$$

# Asynchronmaschine

$U_{A0}$  bei verschiedenen Betriebszuständen



$\omega_{Mag} = const.$

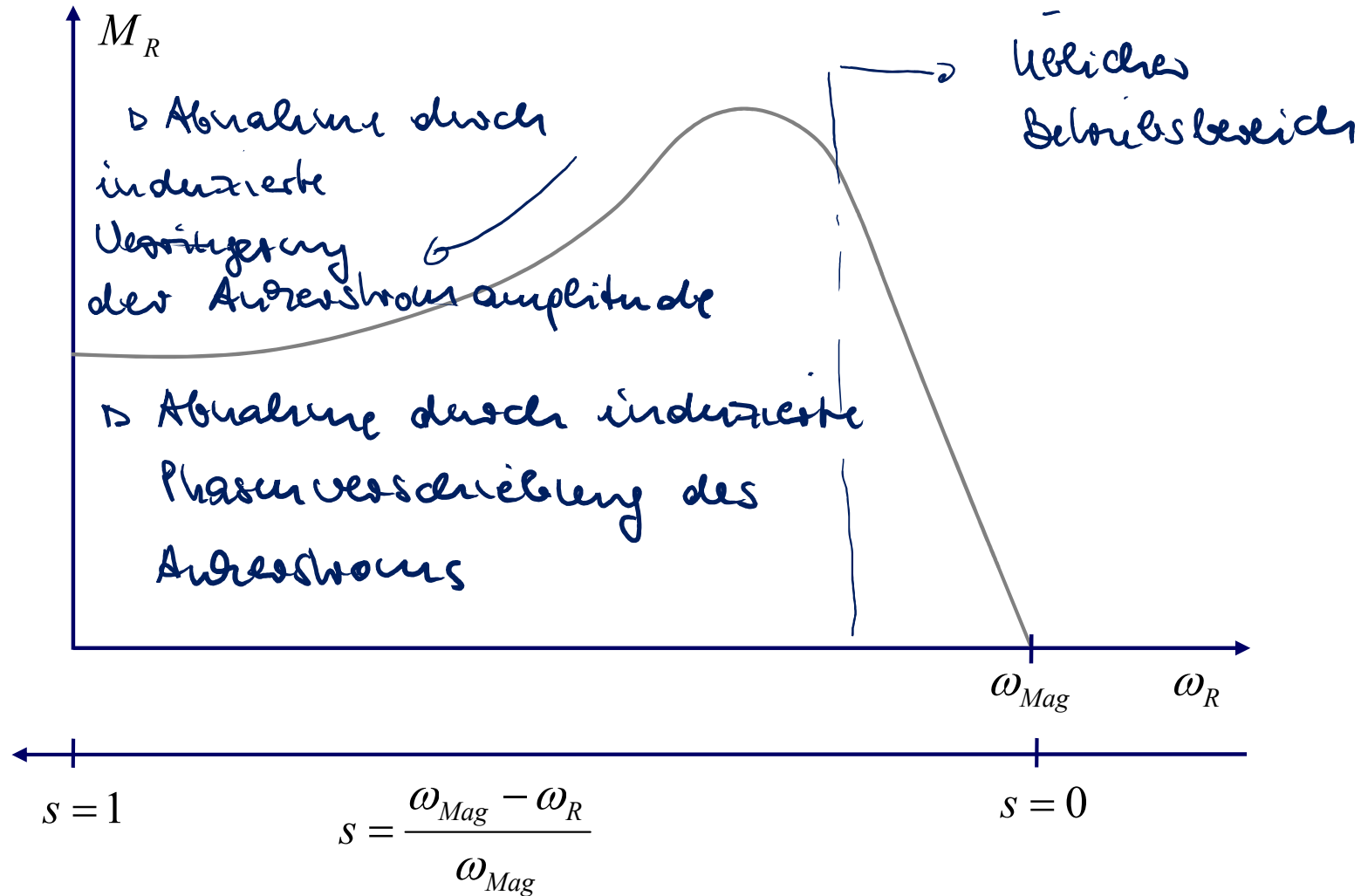
*Schlupf*  $s = \frac{\omega_{Mag} - \omega_R}{\omega_{Mag}}$

Leistungsform	$\omega_R$	$s$	$U_{A0}$	
Stillstand	$\omega_R = 0$	1	$c \frac{U_A}{n_s} U_{S0}$	$M_n \neq 0$
Asynchroner Betrieb	$0 < \omega_R < \omega_{Mag}$	$0 < s < 1$	$c \frac{U_A}{n_s} s U_{S0}$	$M_n \neq 0$
Synchron-drehzahl	$\omega_R = \omega_{Mag}$	0	0	$M_n = 0$



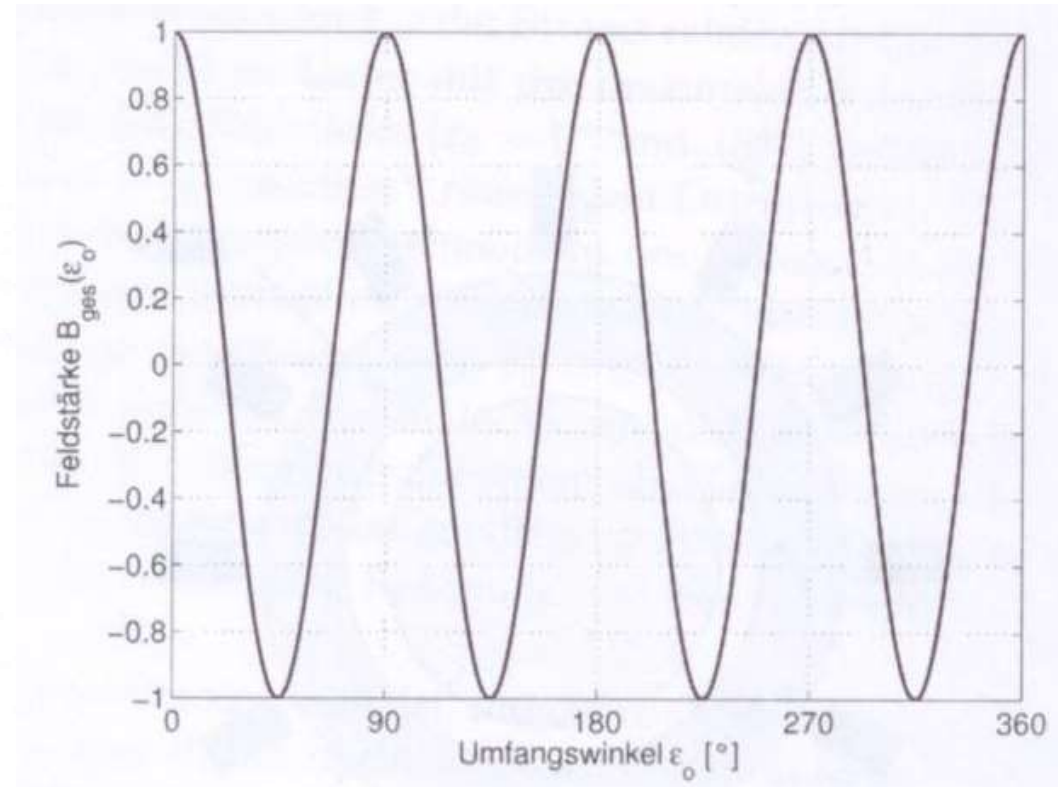
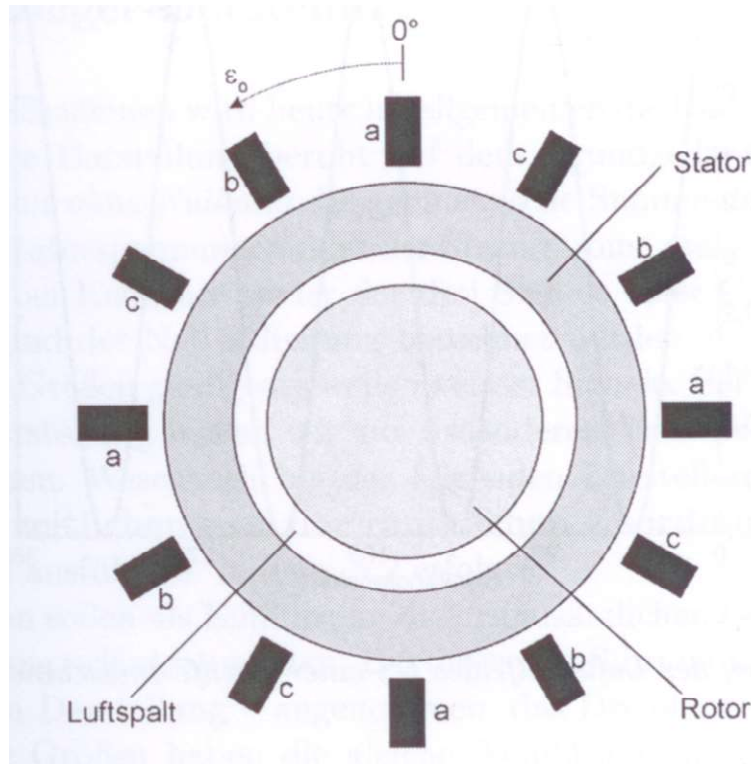
# Asynchronmaschine

## M- $\omega$ Kennlinie des Asynchronmotors



# Asynchronmaschine

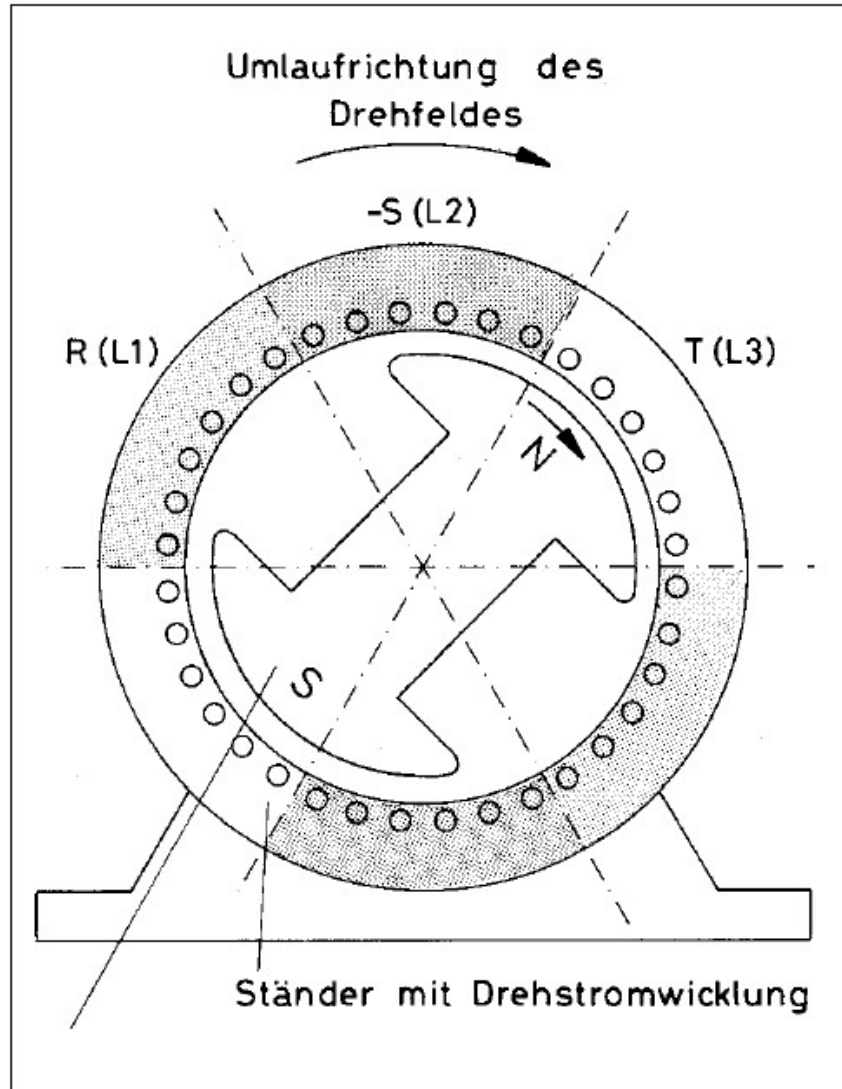
## Einfluss der Polpaarzahl



$n$ -fache Polpaarzahl verringert Drehzahl um den Faktor  $n$   
und erhöht wegen  $P_{\text{mech}} = S n T_M$  das Drehmoment um  
den selben Faktor

# Synchronmaschine (permanentterregt – BLDC)

## Funktionsprinzip



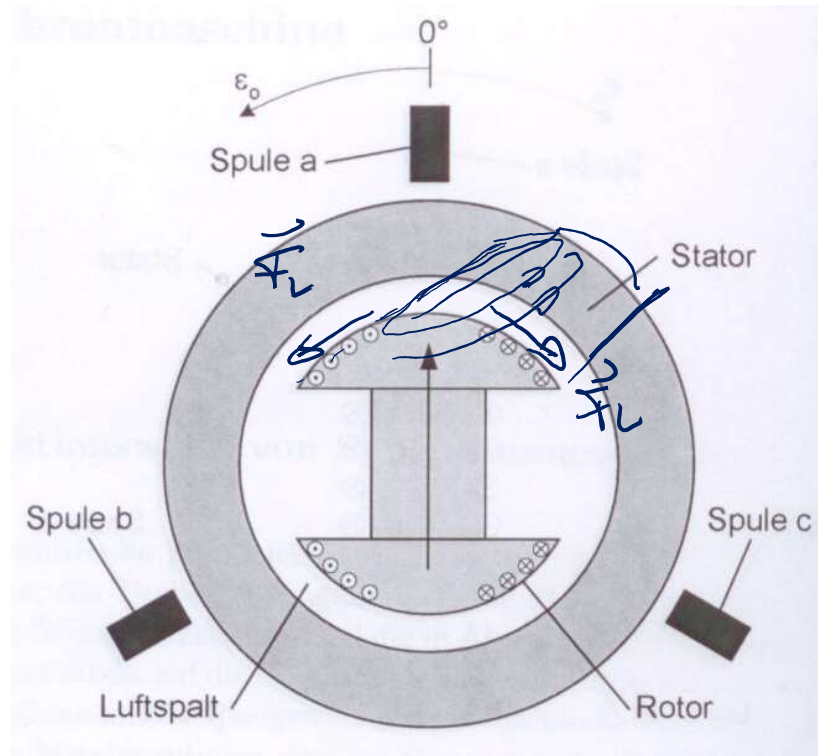
### Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad
- geringes Massenträgheitsmoment
- wartungsarm

### Nachteile:

- Magnetmaterial teuer

# Synchronmaschine (permanentterregt – BLDC) Funktionsprinzip

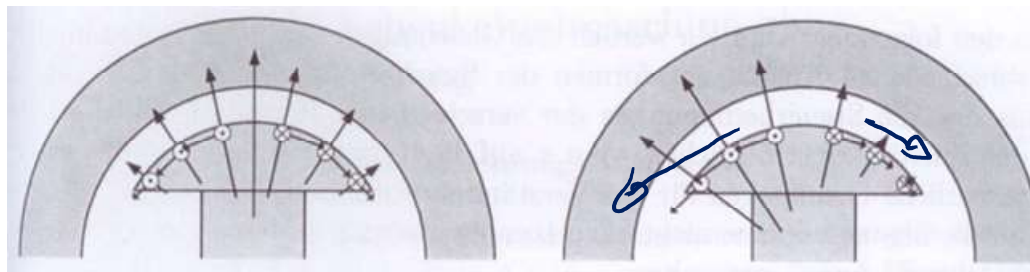


Rotormagnetfeld erzeugt  
umlaufende Oberflächenströme  
(Strombelag)  
auf den Köpfen  
des Schenkelpolrotors



Strombelag und B-Feld des  
Stators ergeben Lorentzkraft

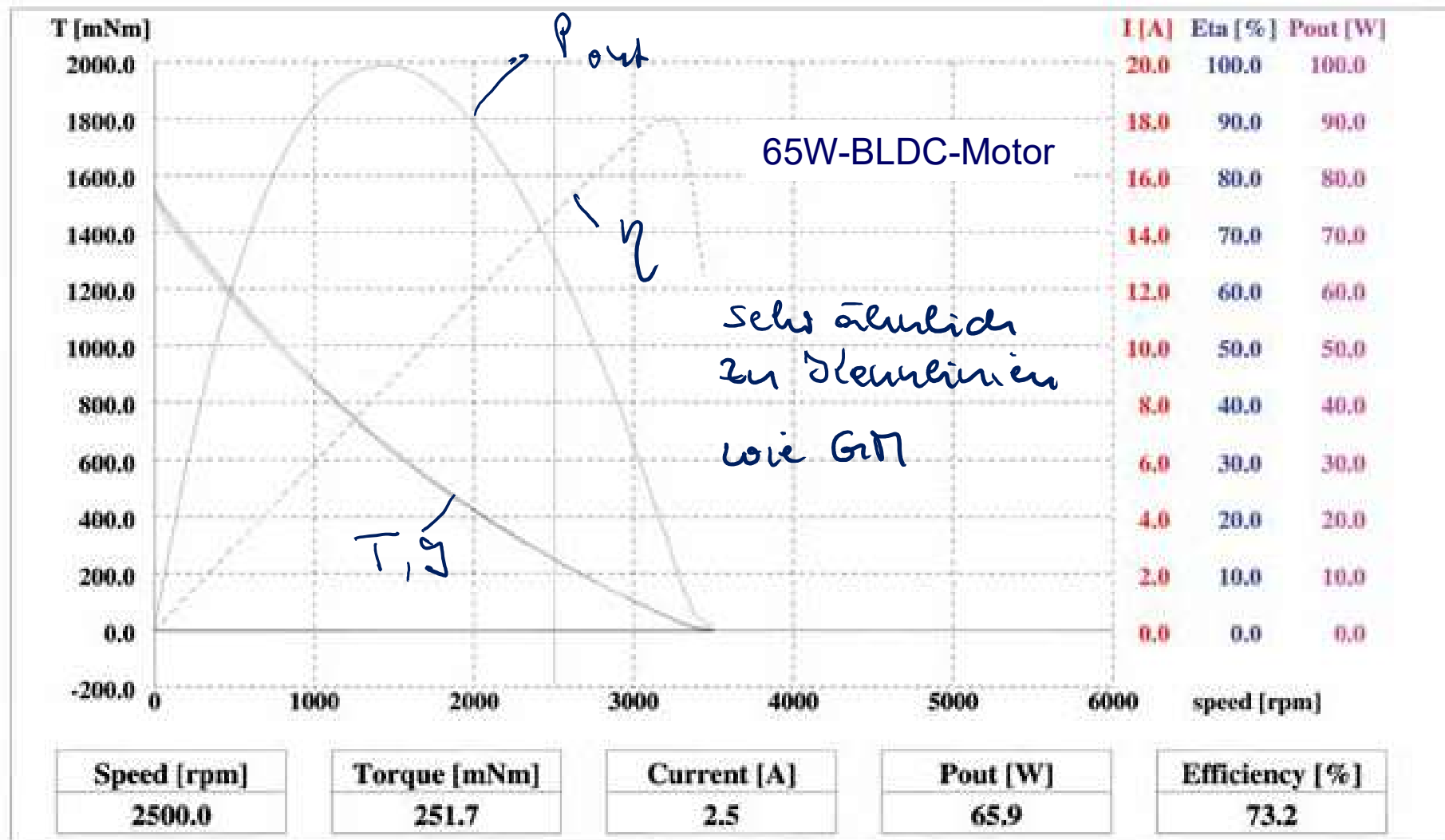
- 0 bei 0° Differenz B-Feld  
Stator-Rotor
- Maximal bei 90° Differenz





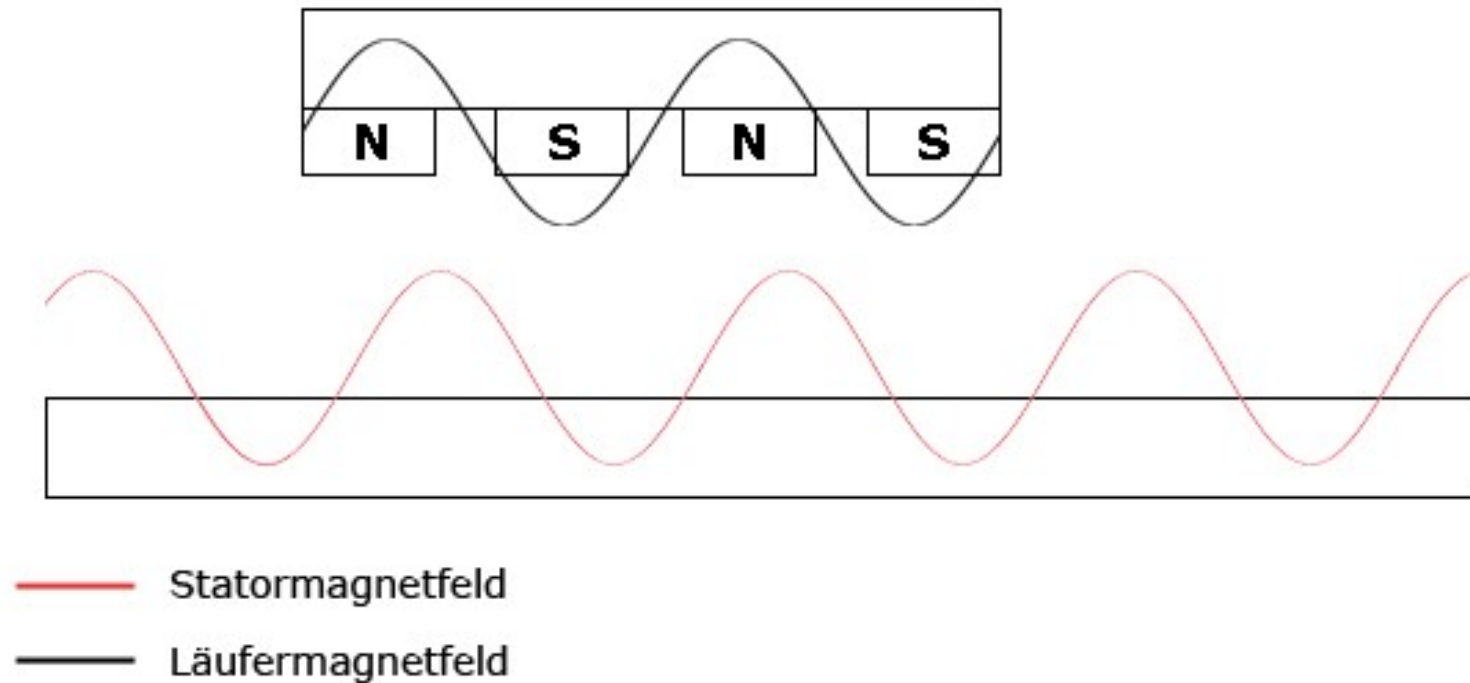
# Synchronmaschine (permanentterregt – BLDC) Kennlinien

Torque / speed - characteristic



# Synchronmaschine (permanentterregt – BLDC)

## Funktionsprinzip (synchron)



# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**