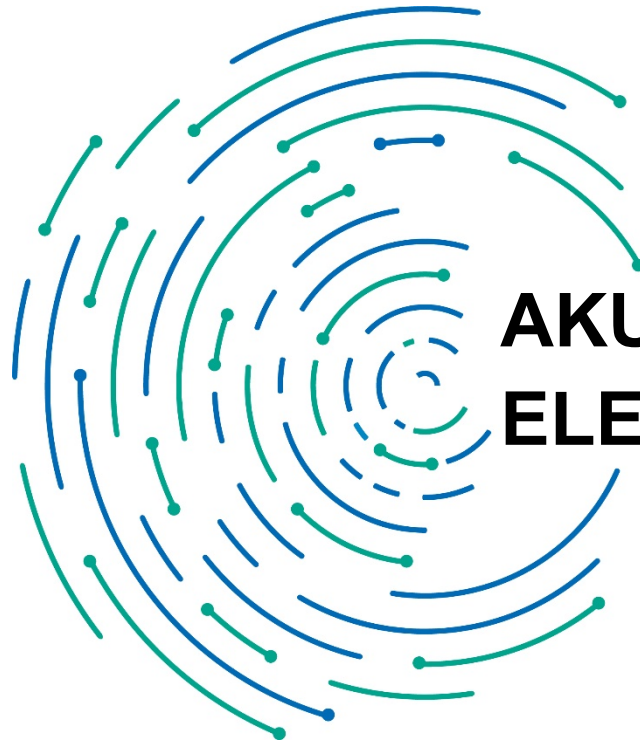


 **Fraunhofer**  
IWU

---

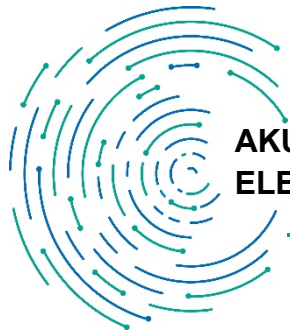
**MÜLLER-BBM**  
VibroAkustik Systeme



**AKUSTIK**  
**ELEKTRISCHER ANTRIEBE**

Leseprobe der Schulung

# Schulungsinhalte



AKUSTIK  
ELEKTRISCHER ANTRIEBE

Phänomen  
tonale Geräuschanteile

Prüfling  
E-Antrieb inkl. Ansteuerung

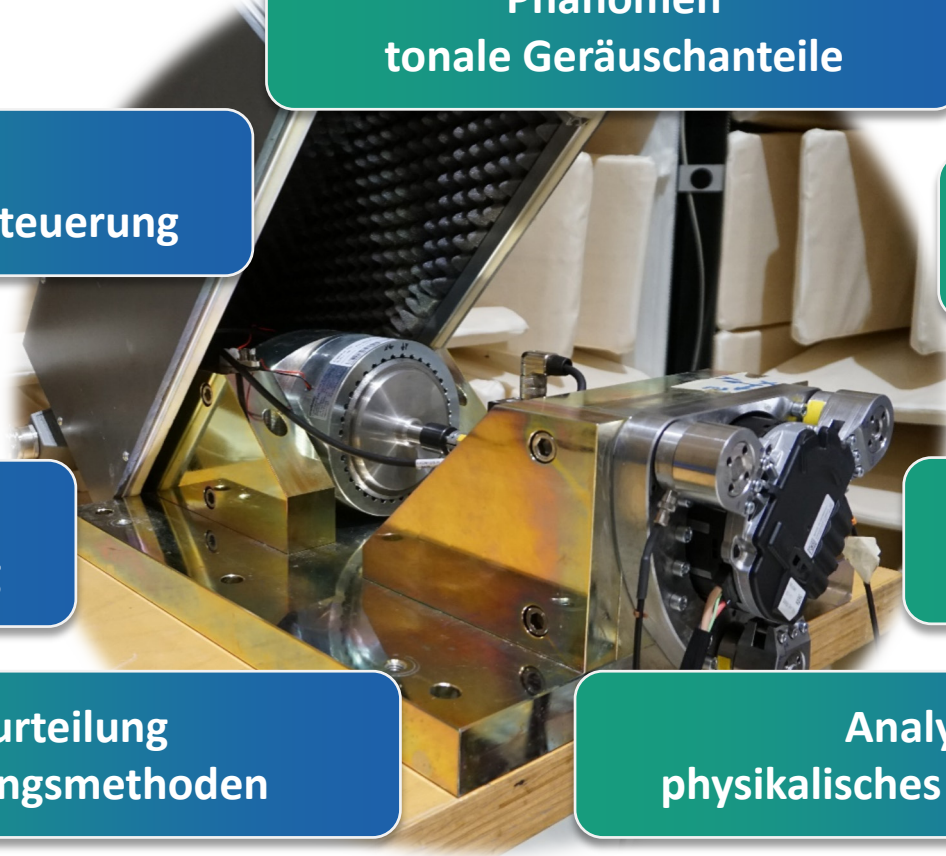
Messung  
elektrische / akustische Größen

Ergebnisnutzung  
Simulation und Engineering

Datenauswertung  
drehzahlabhängige Ordnungen

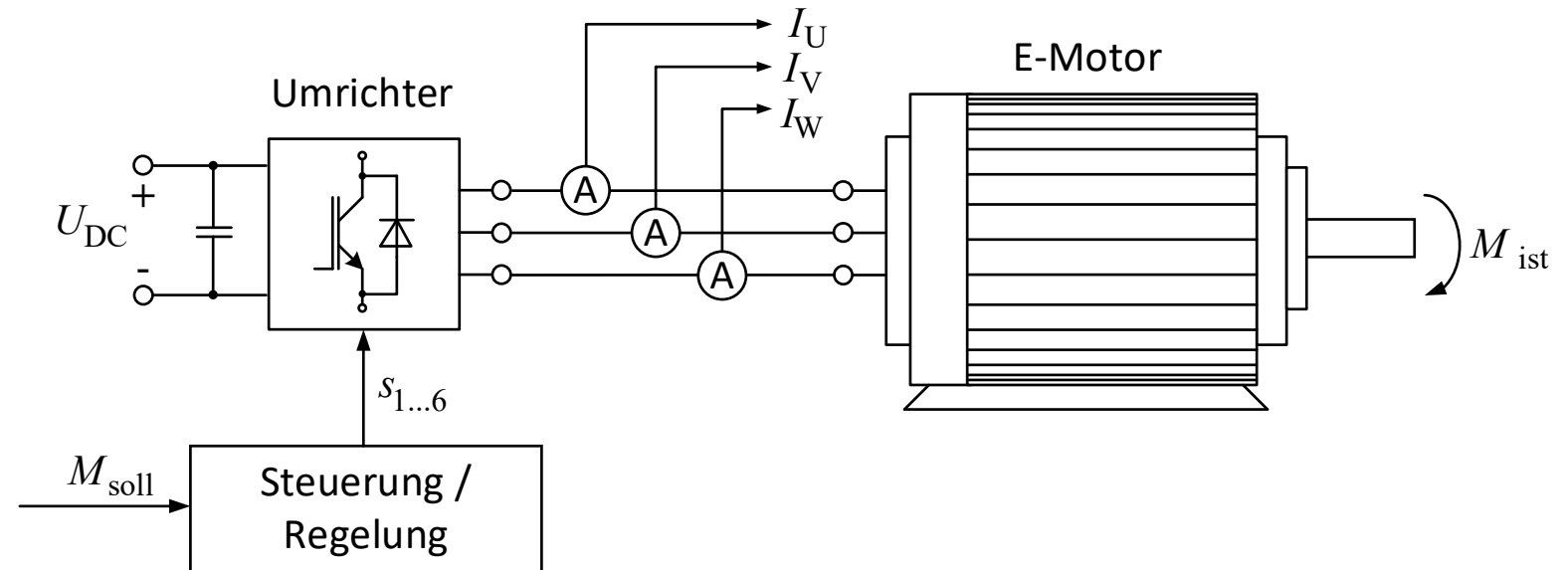
Beurteilung  
Verzielungsmethoden

Analyse  
physikalisches Verständnis

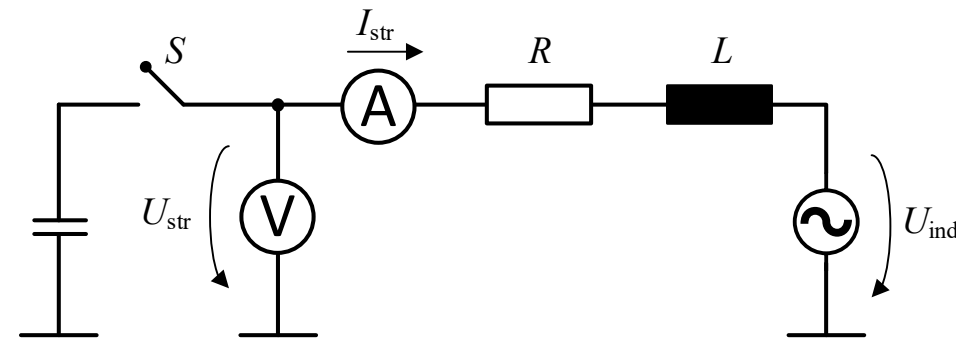


- E-Motor enthält drei um  $120^\circ$  räumlich versetzte Wicklungen (3~ System)
- Statorwicklung UVW ist ohm'sch-induktiv
- Umrichter speist die Wicklungen im Pulsbetrieb
- Es entstehen drei um  $120^\circ$  zeitlich versetzte pulsförmige Spannungen
- Drei annähernd sinusförmige Ströme fließen durch die Wicklungen
- Die Ströme sind um  $120^\circ$  phasenversetzt und weisen Oberschwingungen auf

## Beispiel: Dreiphasige Strommessung an einem E-Antrieb



## Einphasiges Ersatzschaltbild

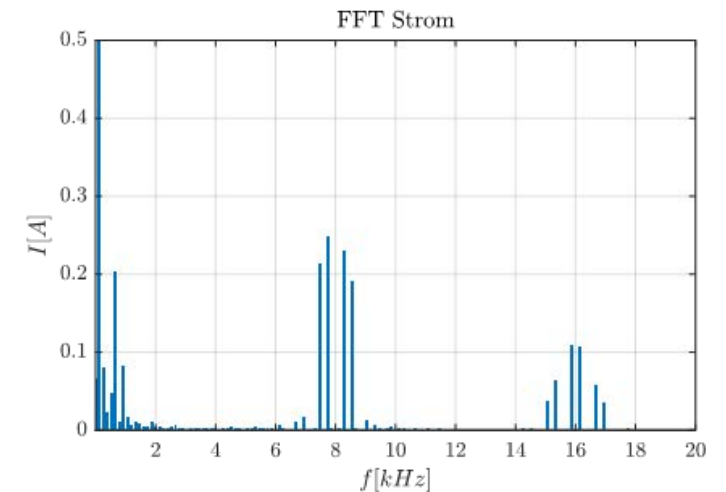
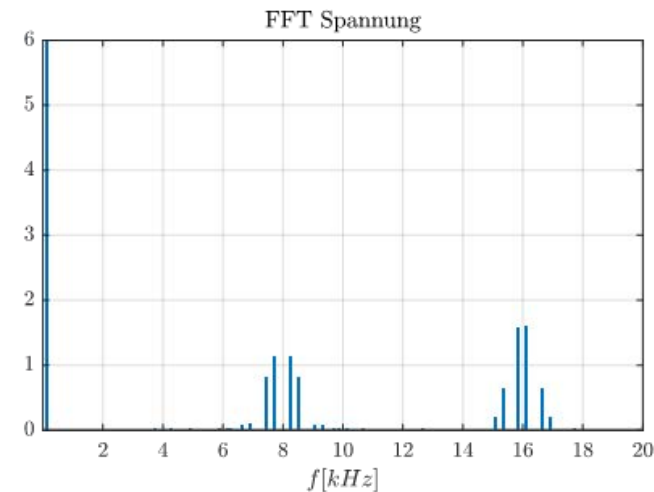
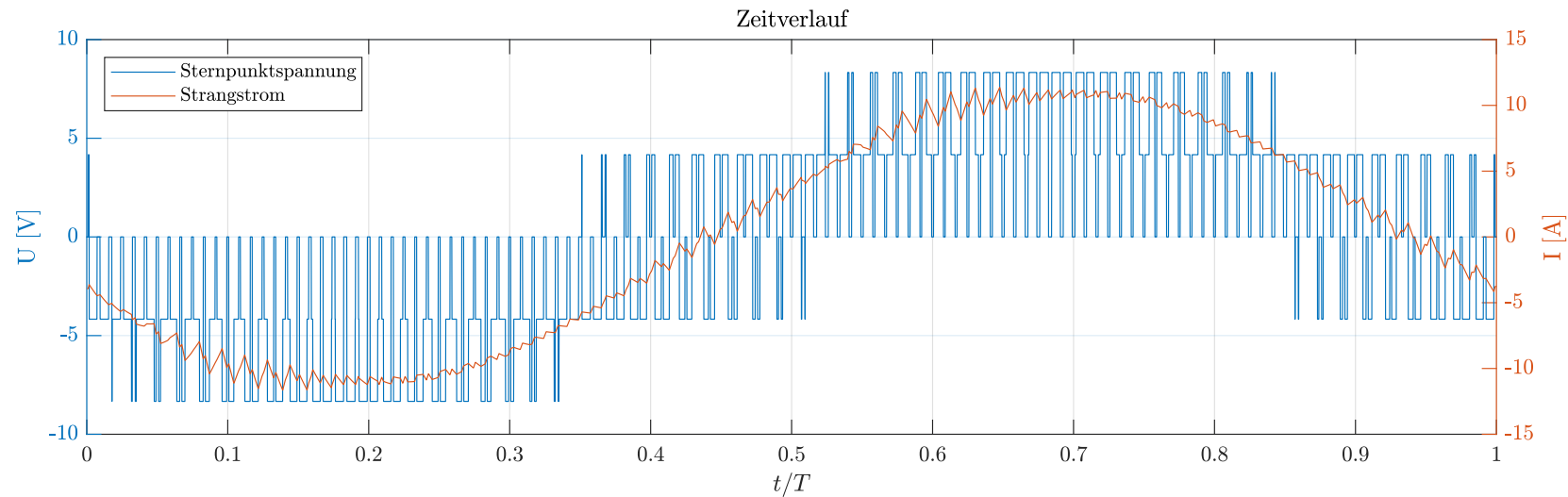


## Strommessung an einem E-Antrieb – Simulation

- Ausgangsspannung des Umrichters mit Pulsmuster abhängig von der Ansteuerungsart
- Unterschiedliche Spannungslevel je nach Verschaltungsart ( $\Delta, Y$ )
- Aus einphasigem ESB folgt:

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + U_{\text{ind}}$$

- Strom kann nicht springen
- Strom enthält Oberschwingungen durch Pulsung und durch Gegeninduktion
- Schulungsinhalt: Gesetzmäßigkeit entstehender Frequenzen



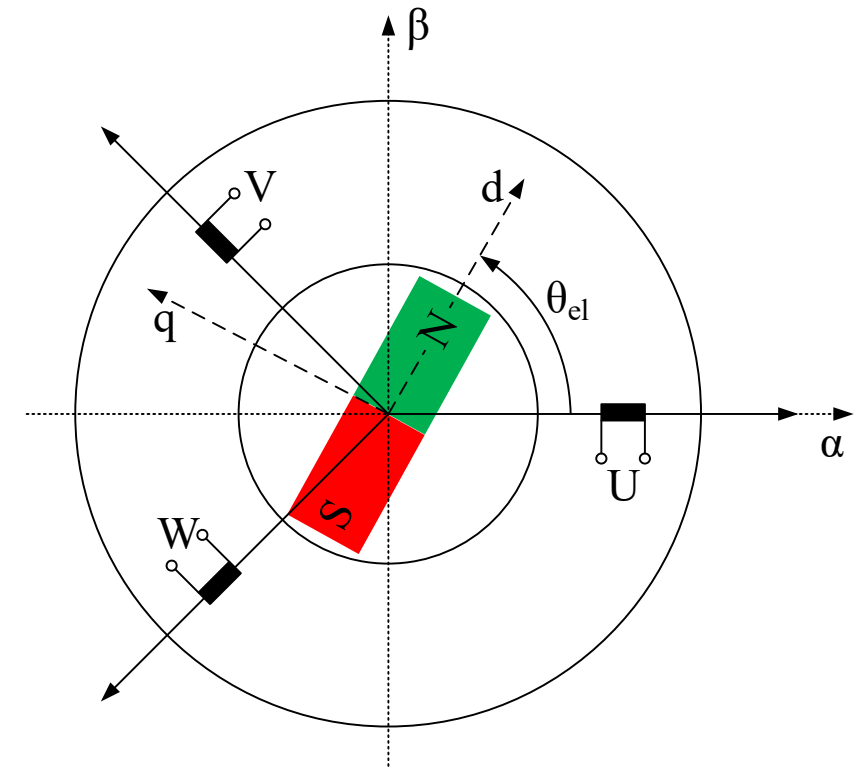
- Beschreibung der rotierenden Größen in einem Koordinatensystem
- Dreiphasensystem lässt sich auf zwei orthogonale Komponenten abbilden ( $\alpha, \beta$ ), auch als Clarke-Transformation bezeichnet:

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_U \\ I_V \\ I_W \end{bmatrix}$$

**Clarke**

- Zweckmäßig für die Regelung: feldorientierte Koordinaten ( $d, q$ )
- Bei PMSM: Feldorientierung = Rotorlage
- Transformation in ( $d, q$ ) durch Drehung, auch als Park-Transformation bezeichnet

## Koordinatentransformation, Bsp.: PMSM

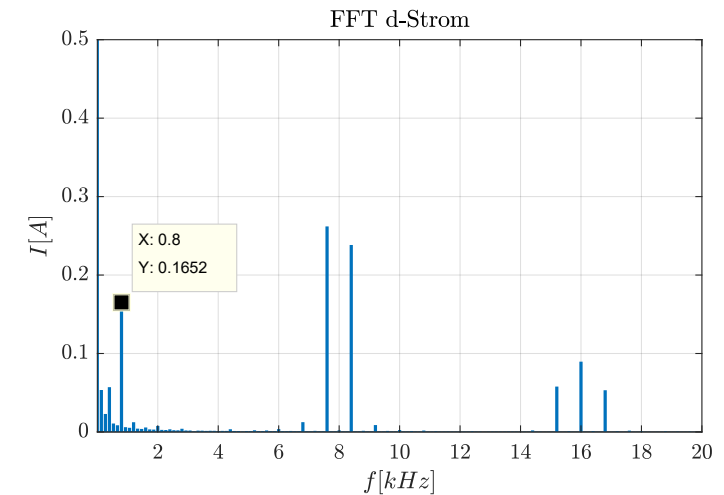
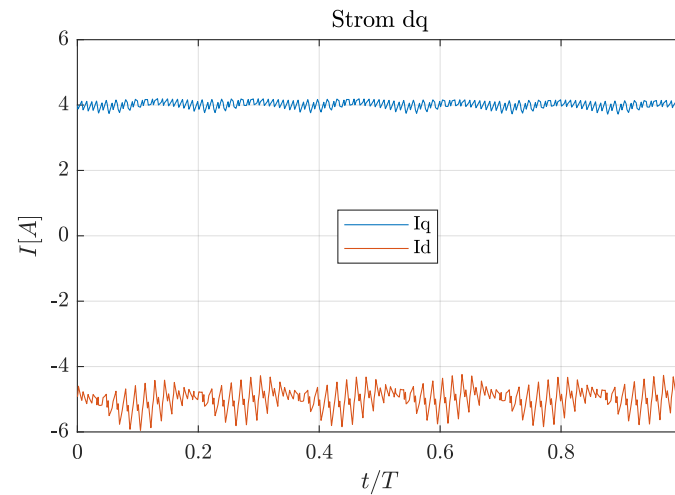
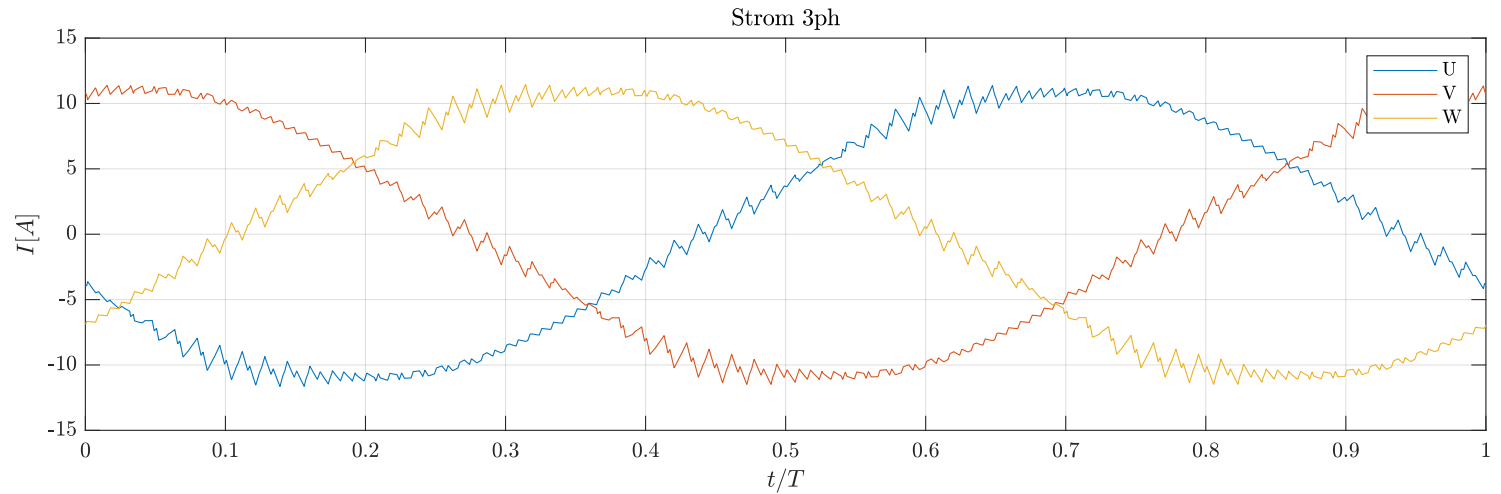


$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{el}) & \sin(\theta_{el}) \\ -\sin(\theta_{el}) & \cos(\theta_{el}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

**Park**

## Koordinatentransformation, Bsp.: PMSM

- Transformation der simulierten Ströme
- Bei korrekter Orientierung sollten annähernd Gleichgrößen in (d,q) resultieren
- Dennoch durch Pulsung und Gegeninduktion beobachtbare Oberschwingungen auch in (d,q)
- Bei PMSM: motorischer Betrieb:
 
$$I_q > 0, I_d \leq 0$$
- Bei PMSM: generatorischer Betrieb:
 
$$I_q < 0, I_d \leq 0$$
- Weitere Schulungsinhalte:
  - Maschinentypen
  - Leistungskenngrößen
  - Steuerung / Regelung

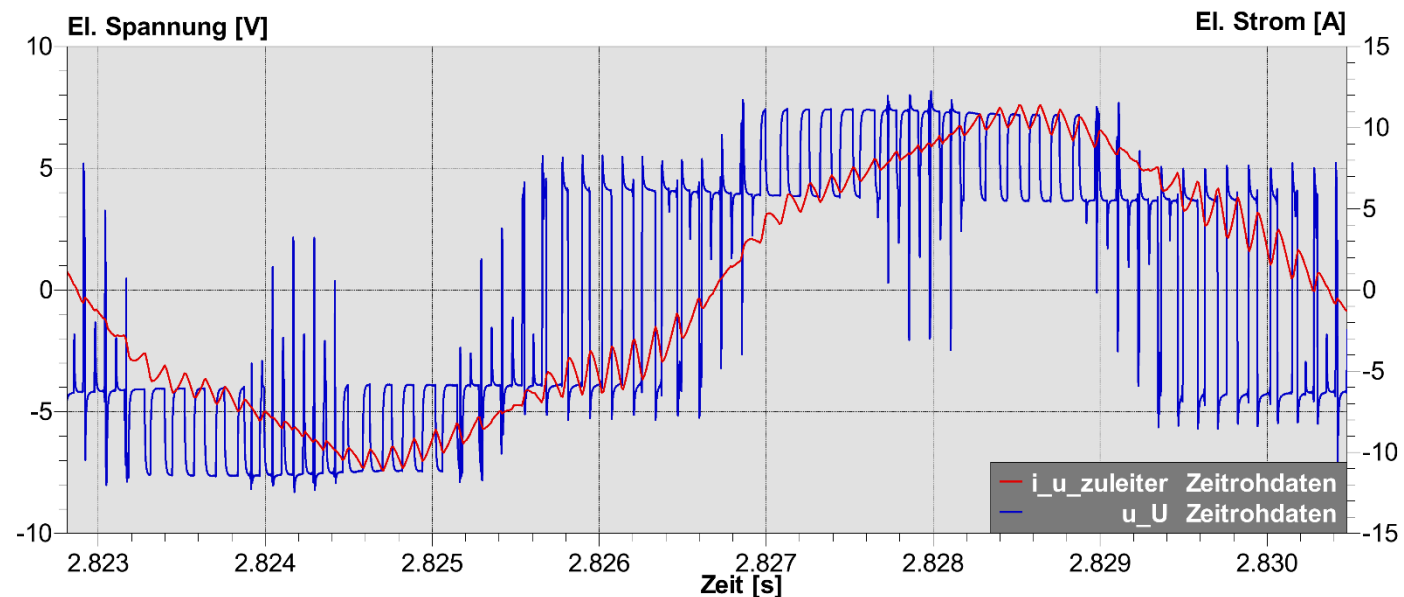


## MBBM VAS

### Transformationen – Analysen im Winkelbereich

- Rotorposition
- Inverterfrequenz

Welchen Nutzen haben  
Koordinaten-Transformationen  
und Analysen im Winkelbereich?

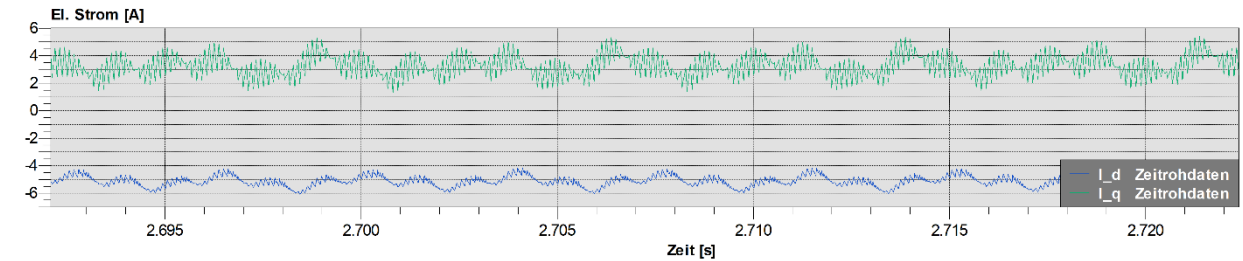
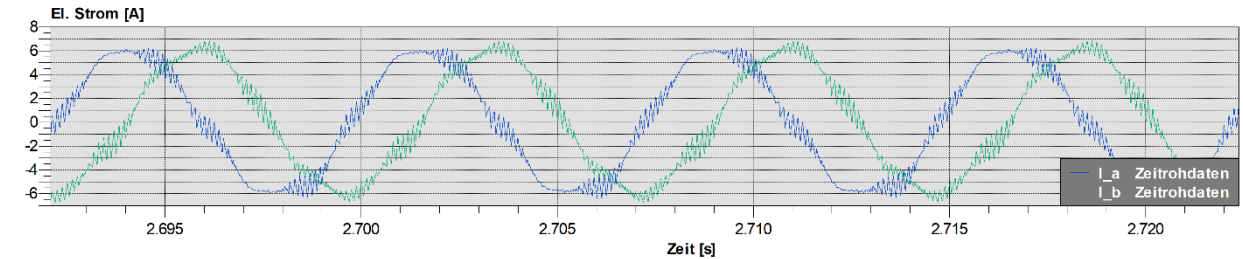
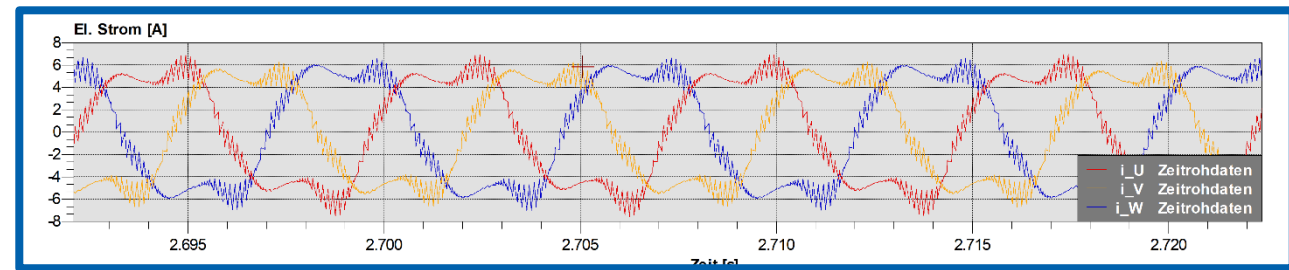
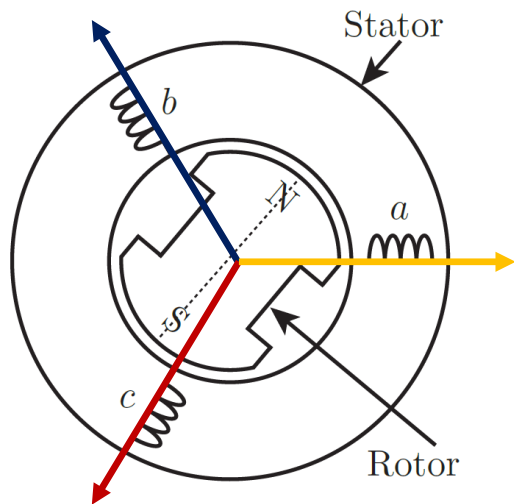


### Seminarinhalte

- Drehfeldparameter
- Clarke- / Park-Transformation
- Orbit-Darstellung, Zyklen-Statistik
- Korrelation im Winkelbereich

## Drehfeldparameter

- Strom-Raumzeiger (Vektorsumme Phasenströme)
- Elektrisches Arbeitsspiel

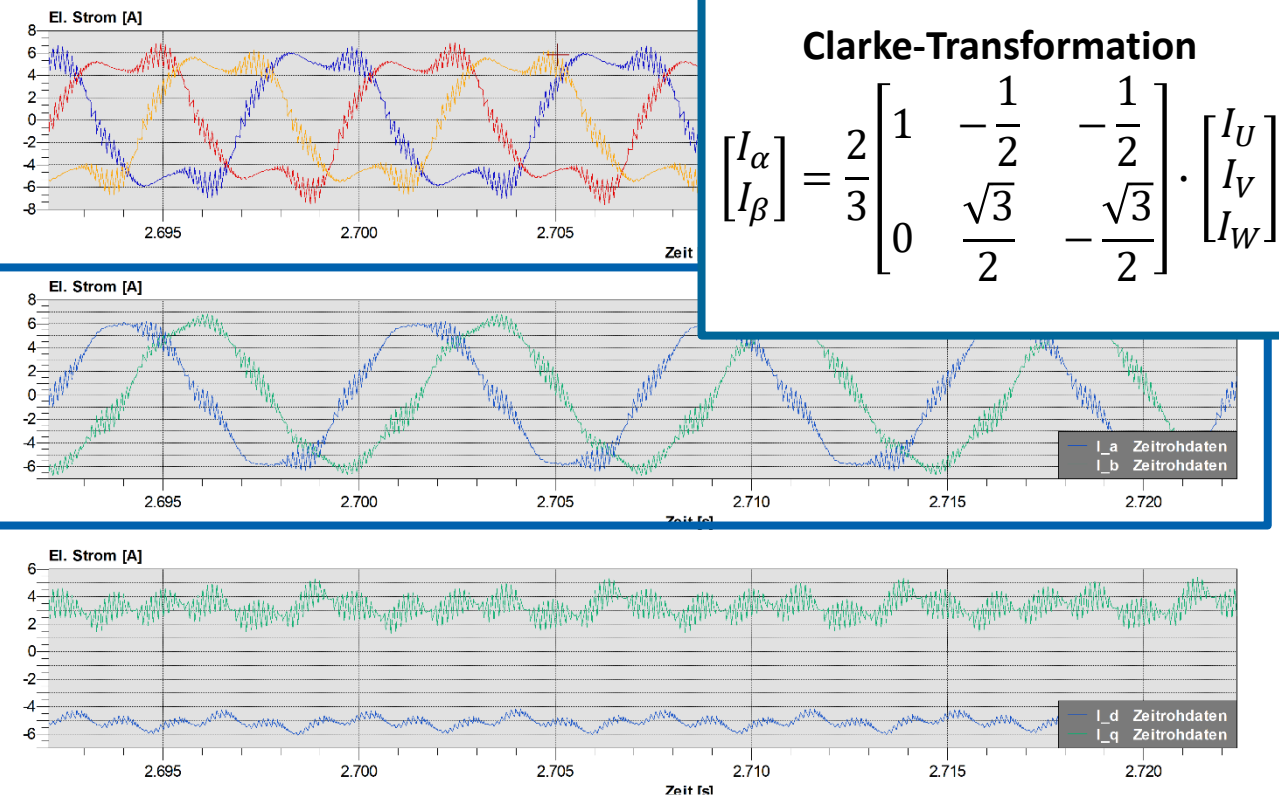
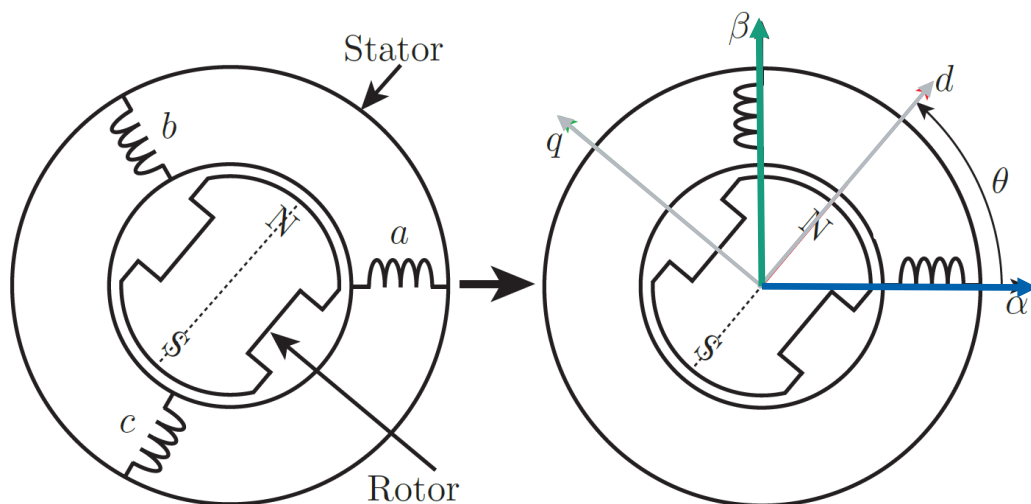


- Ströme sind annähernd sinusförmig
- Ströme sind um  $120^\circ$  phasenverschoben
- Ströme weisen Oberschwingungen auf



## Clarke-Transformation

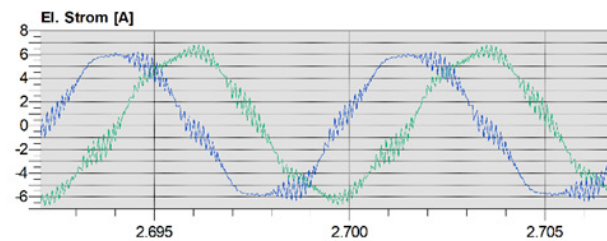
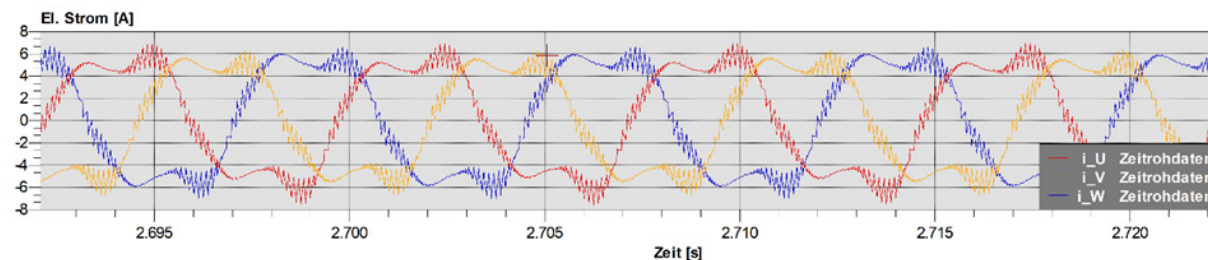
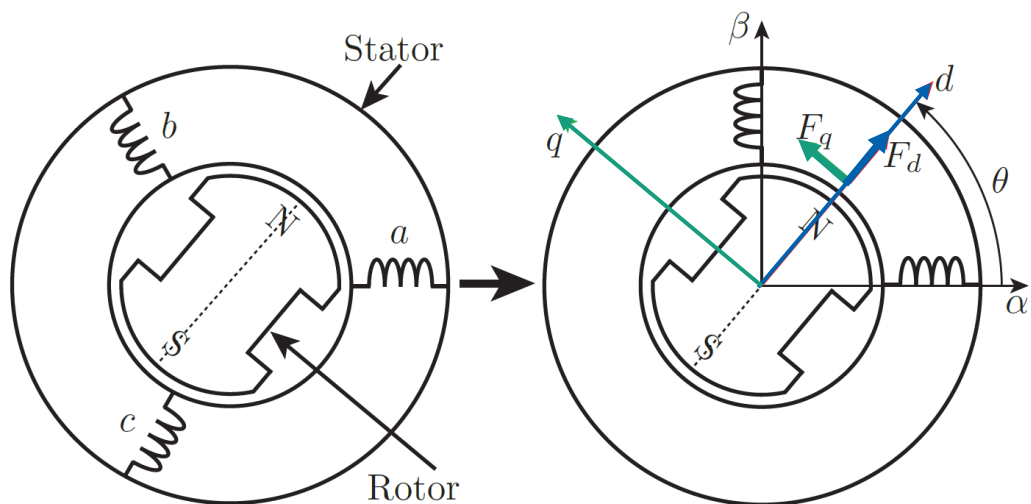
- Orbit-Darstellung  
→ Zyklen-Statistik
- Leistungsberechnung



- Statorfestes Koordinatensystem
- Orthogonale  $\alpha/\beta$ -Koordinatenachsen
- Strom-Raumzeiger als Vektorsumme von  $\alpha/\beta$ -Strömen

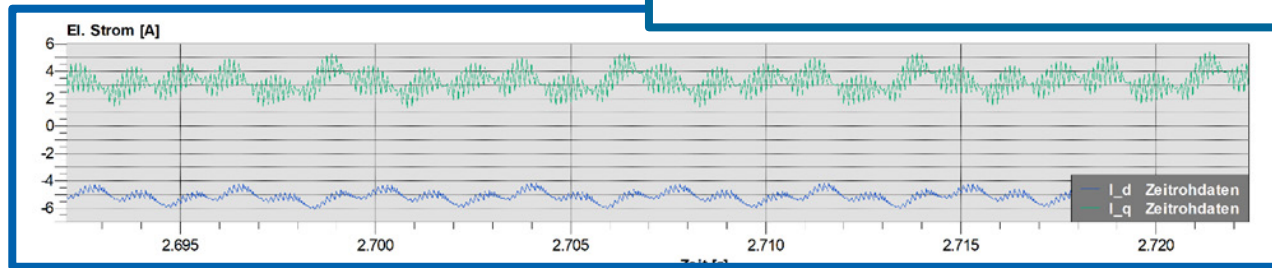
## Park-Transformation

- Radiale Kraft → mech. Anregung
- Tangentiale Kraft → Drehmoment
- Regelungsvalidierung



**Park-Transformation**

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{el}) & \sin(\theta_{el}) \\ -\sin(\theta_{el}) & \cos(\theta_{el}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

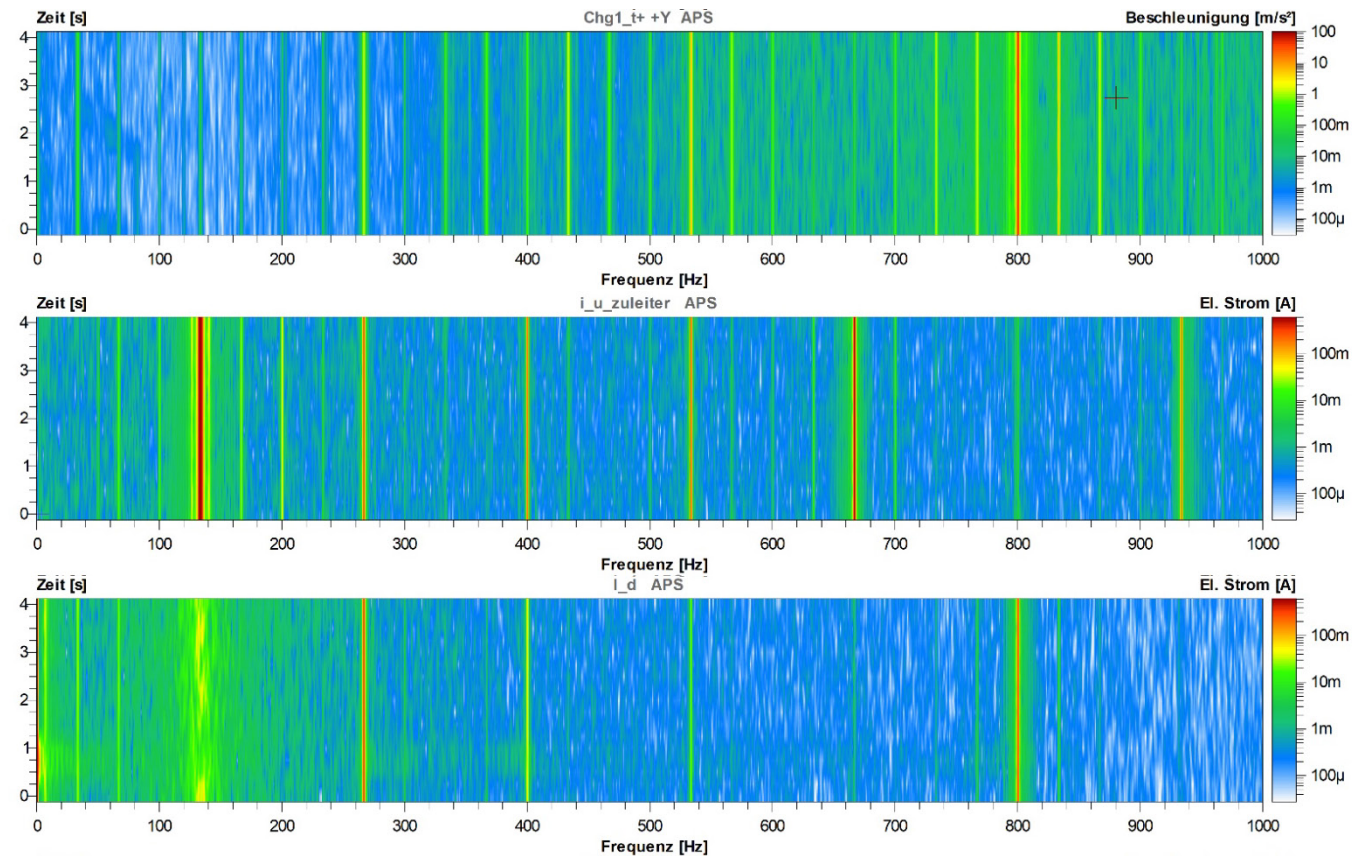
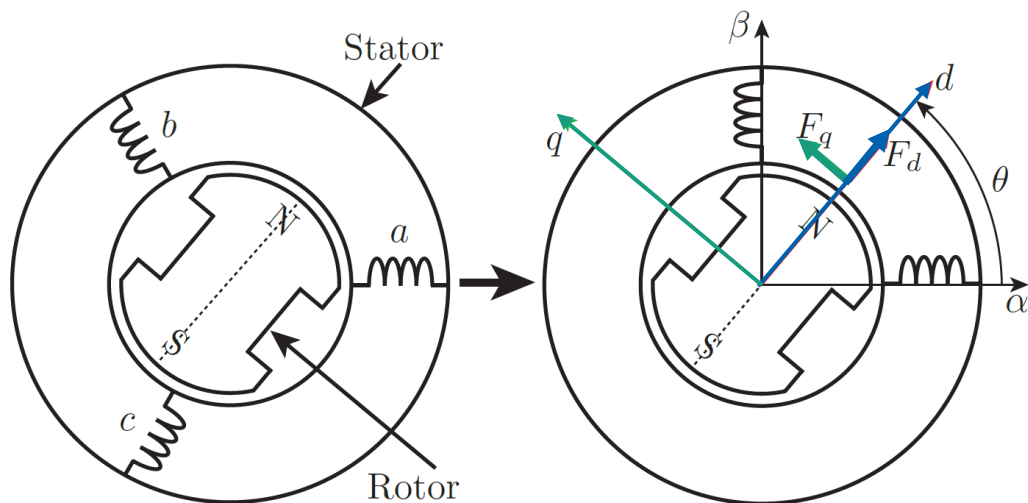


- Rotorfestes Koordinatensystem
- Orthogonale d/q-Koordinatenachsen
- Strom-Raumzeiger als Vektorsumme von d/q-Strömen in rotierendem Koordinatensystem

# MBBM VAS

## Park-Transformation

- Radiale Kraft → mech. Anregung
- Tangentiale Kraft → Drehmoment
- Regelungsvalidierung



- Rotorfestes Koordinatensystem
- Orthogonale d/q-Koordinatenachsen
- Strom-Raumzeiger als Vektorsumme von d/q-Strömen in rotierendem Koordinatensystem