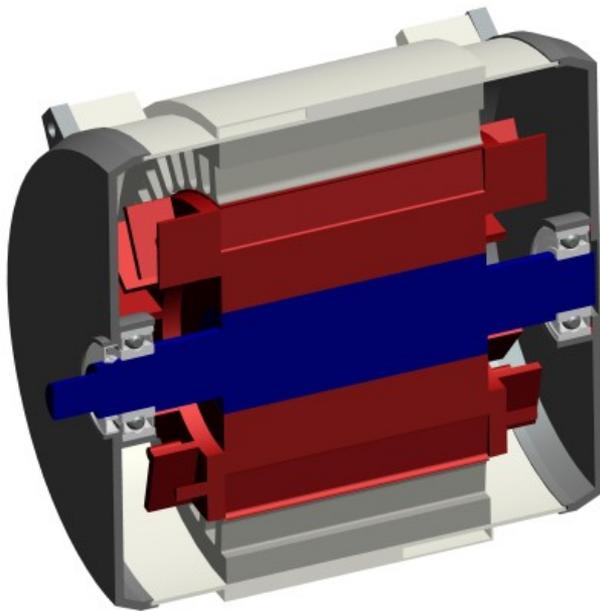
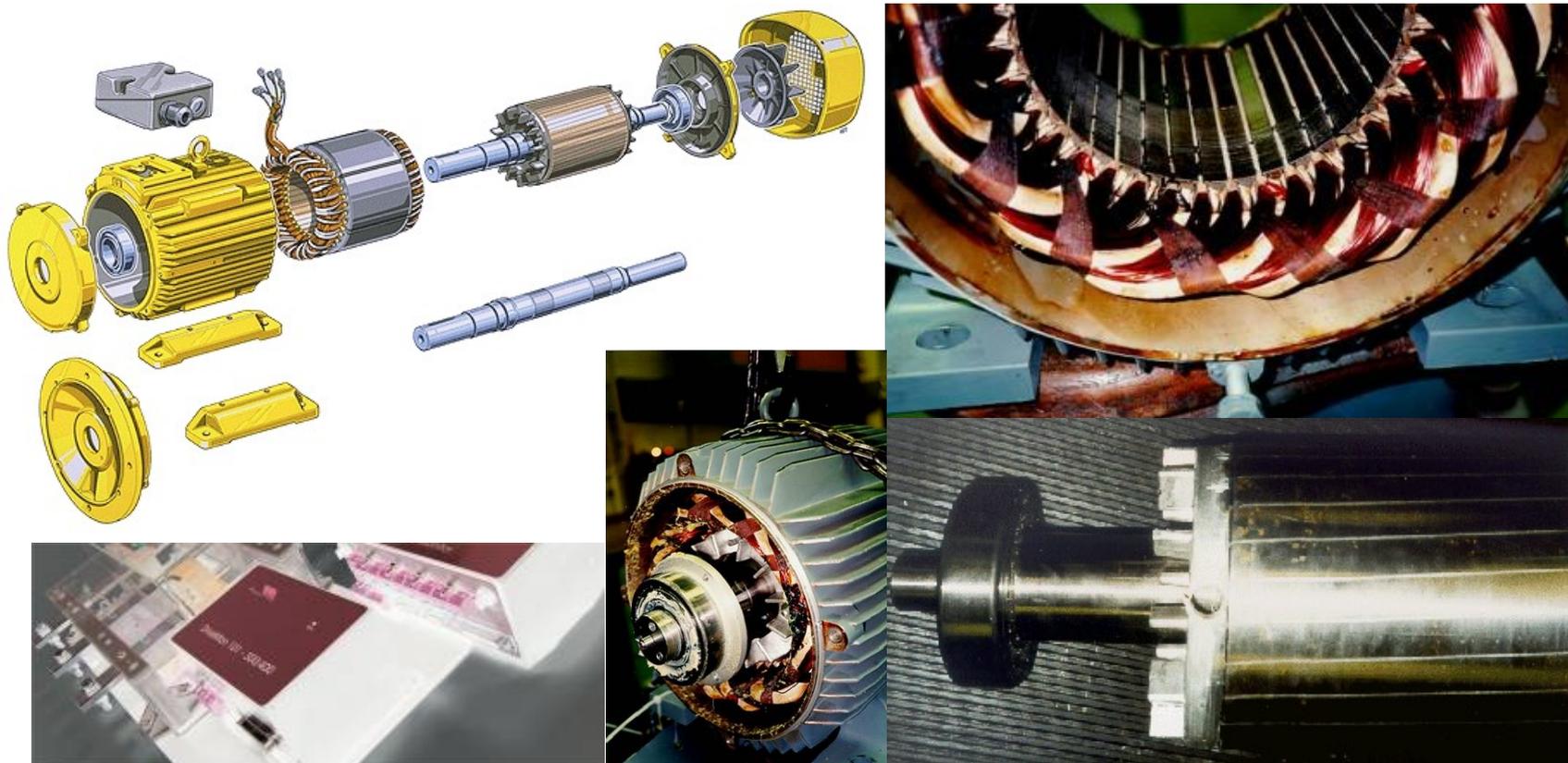


# Monitoring und Diagnose von Asynchronmaschinen



Dr. Christian Kral  
11. April 2008

# Die Entwicklungen der letzten Jahre



# Inhalt

1. Detektion von elektrischen Rotorasymmetrien einschließlich Rotorstabbrüchen -- die Vienna Monitoring Method
2. Innovationen der Vienna Monitoring Method
3. Anwendung der Parameterschätzung zur Schätzung der Rotortemperatur
4. Anwendung der Drehzahlschätzung auf Detektion von Unwuchten und Exzentrizitäten

## Kapitel 1

# Detektion von elektrischen Rotorasymmetrien einschließlich Rotorstabbrüchen -- die Vienna Monitoring Method

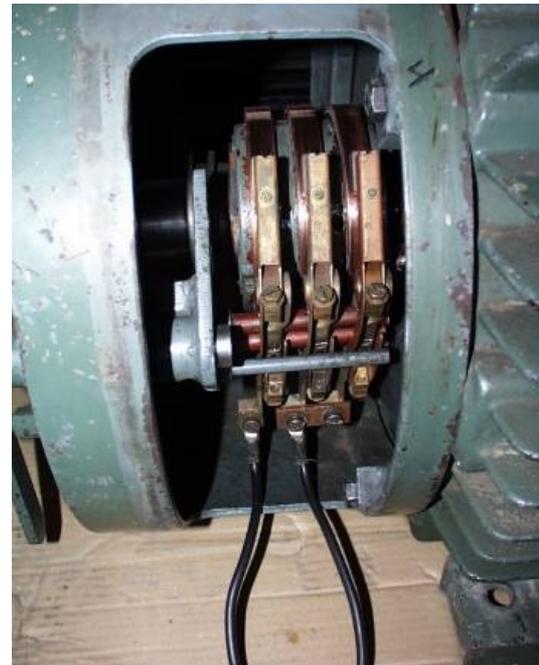
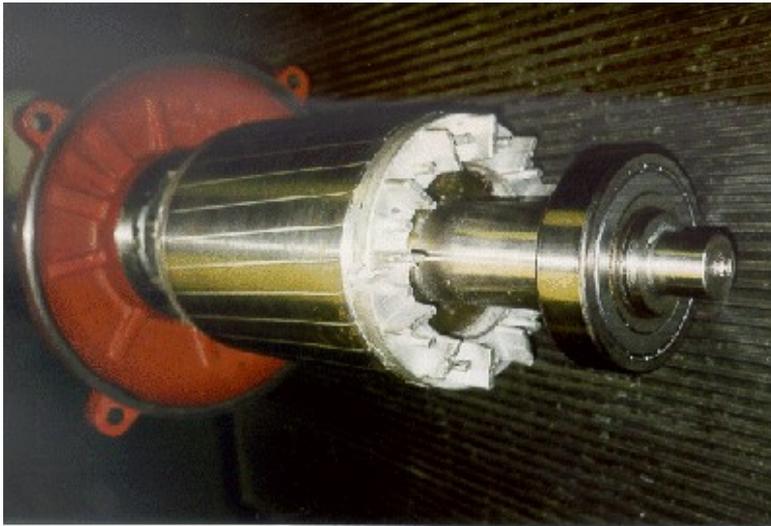
# Wie alles begann

- Detektion von Rotorfehlern in Asynchronmaschinen
- Pendelungen der Strominstrumente
- Diplomarbeiten
  - M. Schagginger
  - F. Pirker
  - C. Kral
  - H. Oberguggenberger
- Dissertation
  - C. Kral



# Detektion von elektrischen Rotorasymmetrien

- Kurzschlussläufer
  - Rotorstäbe
  - Endringe
- Schleifringläufer

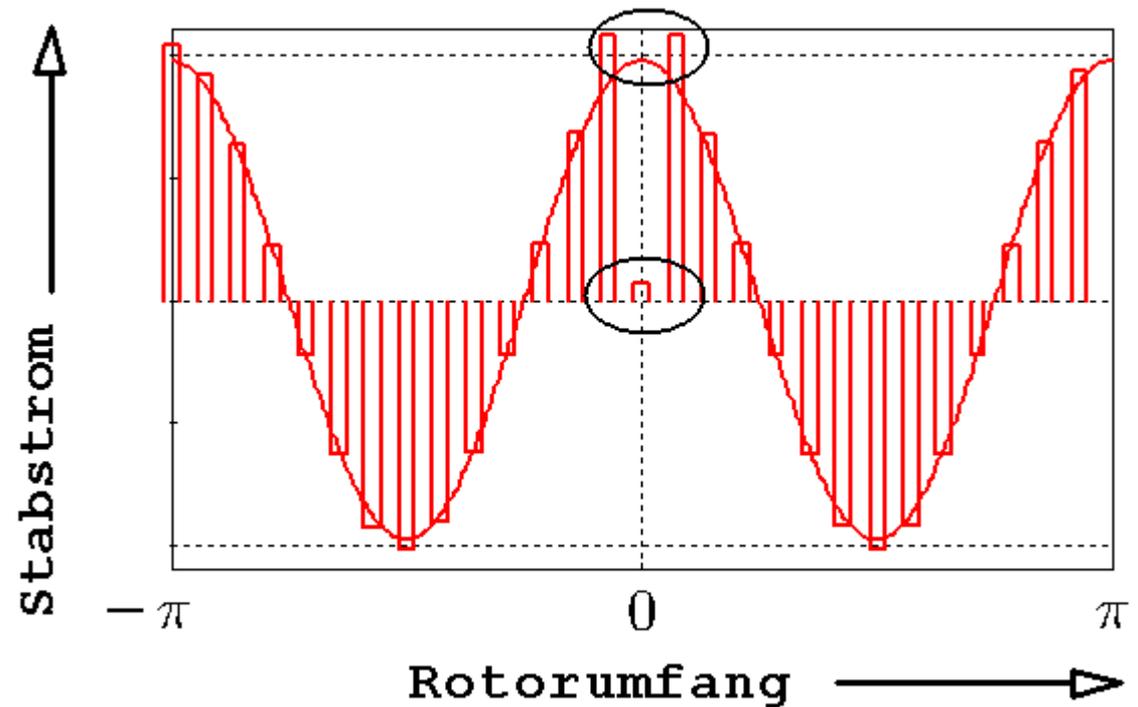
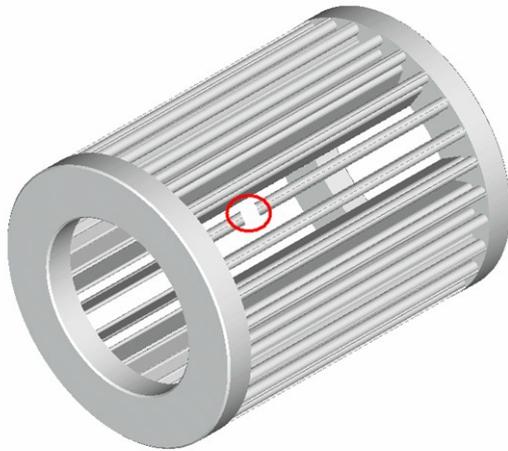


# Ursachen und Auswirkungen

- Ursache von Rotorasymmetrien im Kurzschlussläufer
  - Produktionsfehler
  - Lunker und Gaseinschlüsse
  - (thermische) Überbeanspruchung
- Rotorasymmetrien in Kurzschlussläufern verursachen
  - Erhöhte Strombelastung
  - Erhöhte thermische Belastung
  - Ausweitung des Fehlers
  - Ausfall des Antriebs
  - Ausfallkosten

# Auswirkungen

- Gestörte Stromverteilung im Rotorkäfig



# Auswirkungen

- Auswirkungen von Rotorfehlern
  - Beeinflussung des Luftspaltfeldes
  - Harmonische im Stromspektrum

$$f_{\text{side band}} = (1 \pm 2s) f$$

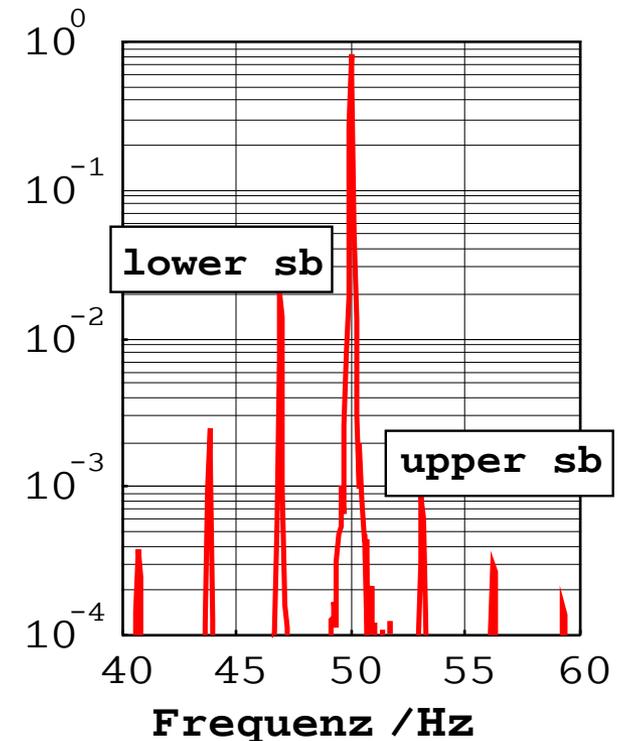
Seitenbänder

- lower side band
- upper side band
- Drehmoment-Pulsationen

$$f_t = 2sf$$

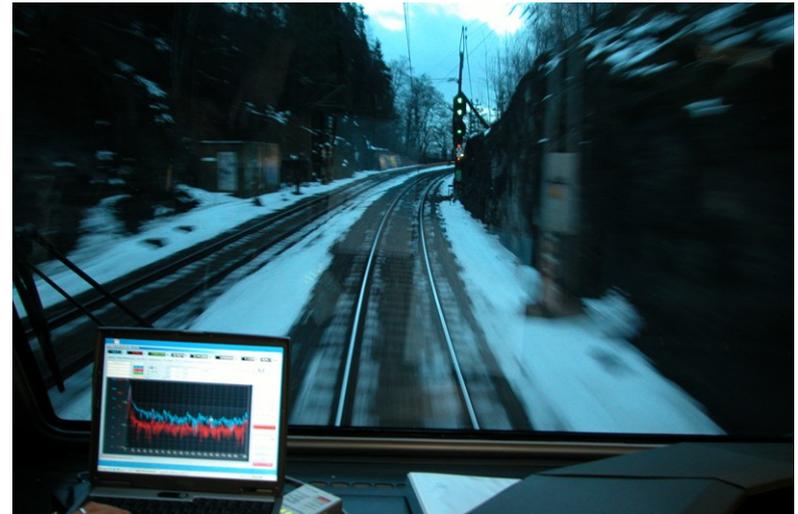
Drehzahl-Pulsationen (speed ripple)

p. u. Stromspektrum



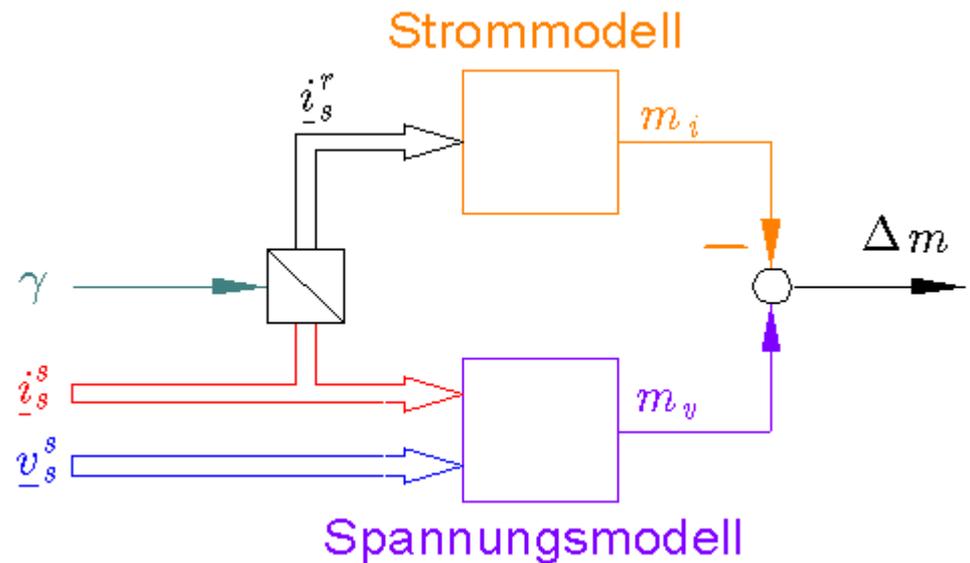
# Methoden zur Detektion

- Fourieranalyse des Stroms = Motor Current Signature Analysis
  - Messspulen im Stator der Maschine
  - Streufeldspulen
  - Vibrationsmessung
  - Modellrechnungen
- Vienna Monitoring Method



# Vienna Monitoring Method

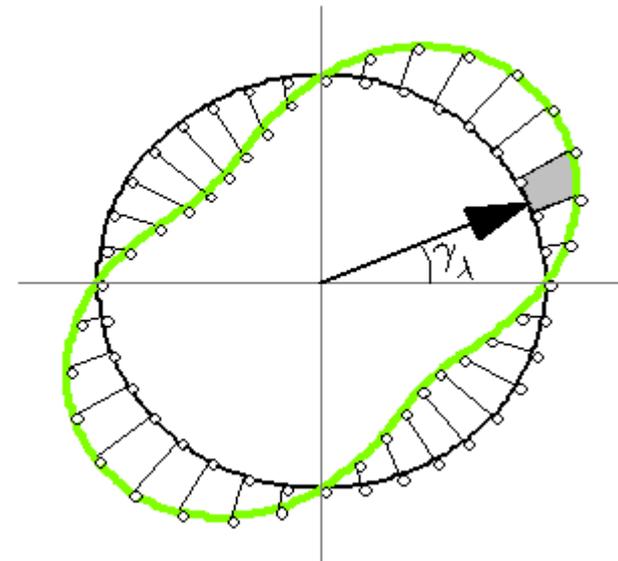
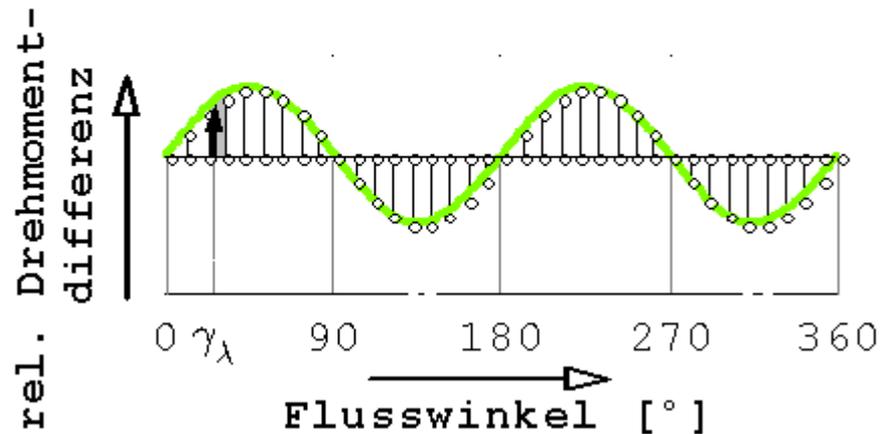
- Berechnung der Drehmomentdifferenz von
  - Strommodell
  - Spannungsmodell
- fehlerfreie Maschine
  - gleiche Drehmomentwerte
- Rotorfehler
  - doppelt schlupffrequente Drehmomentpendelungen



# Vienna Monitoring Method

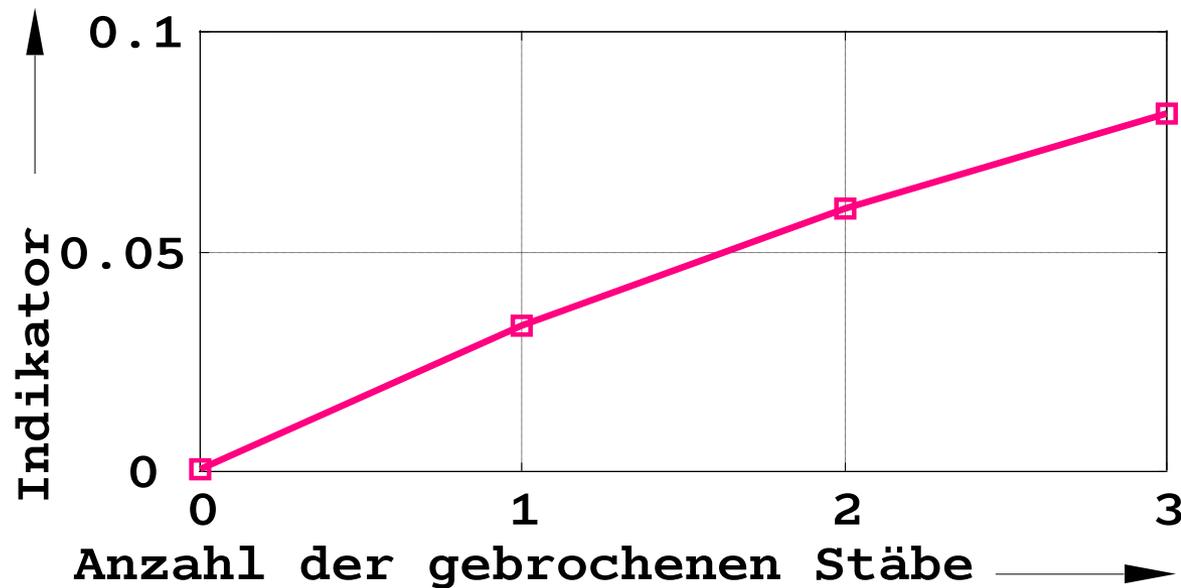
## Fehlererkennung

- Relative Drehmomentdifferenz als Funktion der Flusslage
- Räumliche Daten-Segmentierung



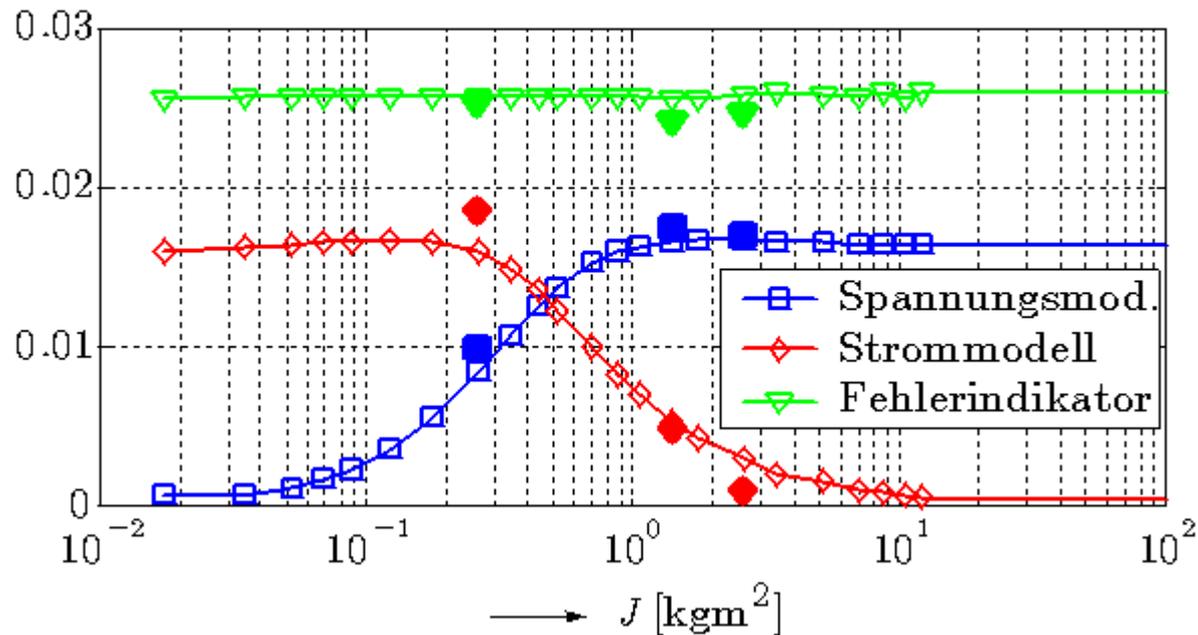
# Fehlerindikator der VMM

- Mehrere gebrochene Rotorstäbe



# Fehlerindikator der VMM

- Einfluss des Massenträgheitsmoments



# Detektion von elektrischen Rotorasymmetrien

Eigenschaften des Fehlerindikators der VMM

Erkennt bereits kleine Asymmetrien

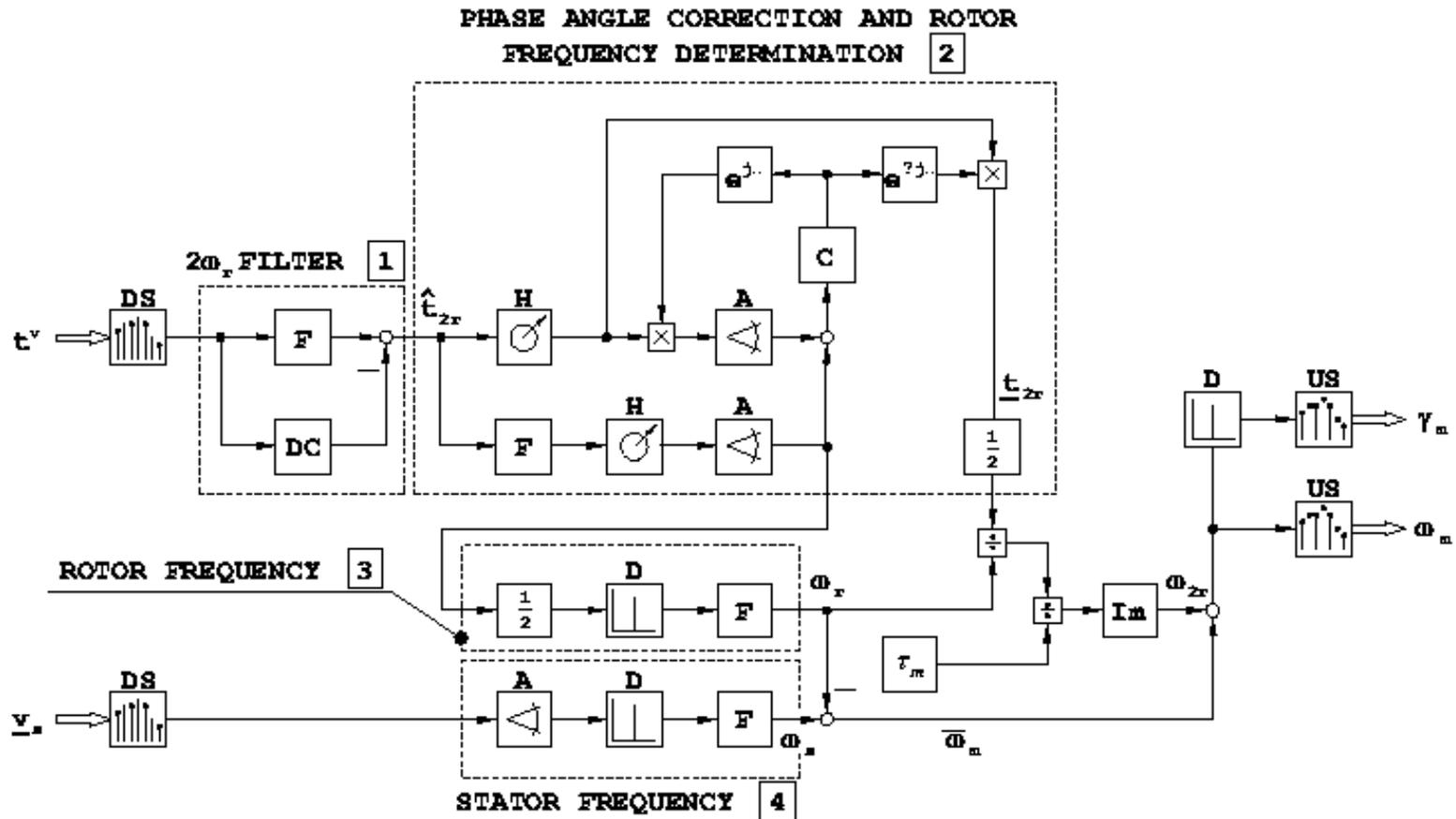
- Unabhängig von
  - Drehzahl
  - Drehmoment / Drehmomentpendelungen
  - Massenträgheitsmoment
  - Anspeisung (Netz, Umrichter)
- Hohe Robustheit
- Unabhängig von Baugröße

## Kapitel 2

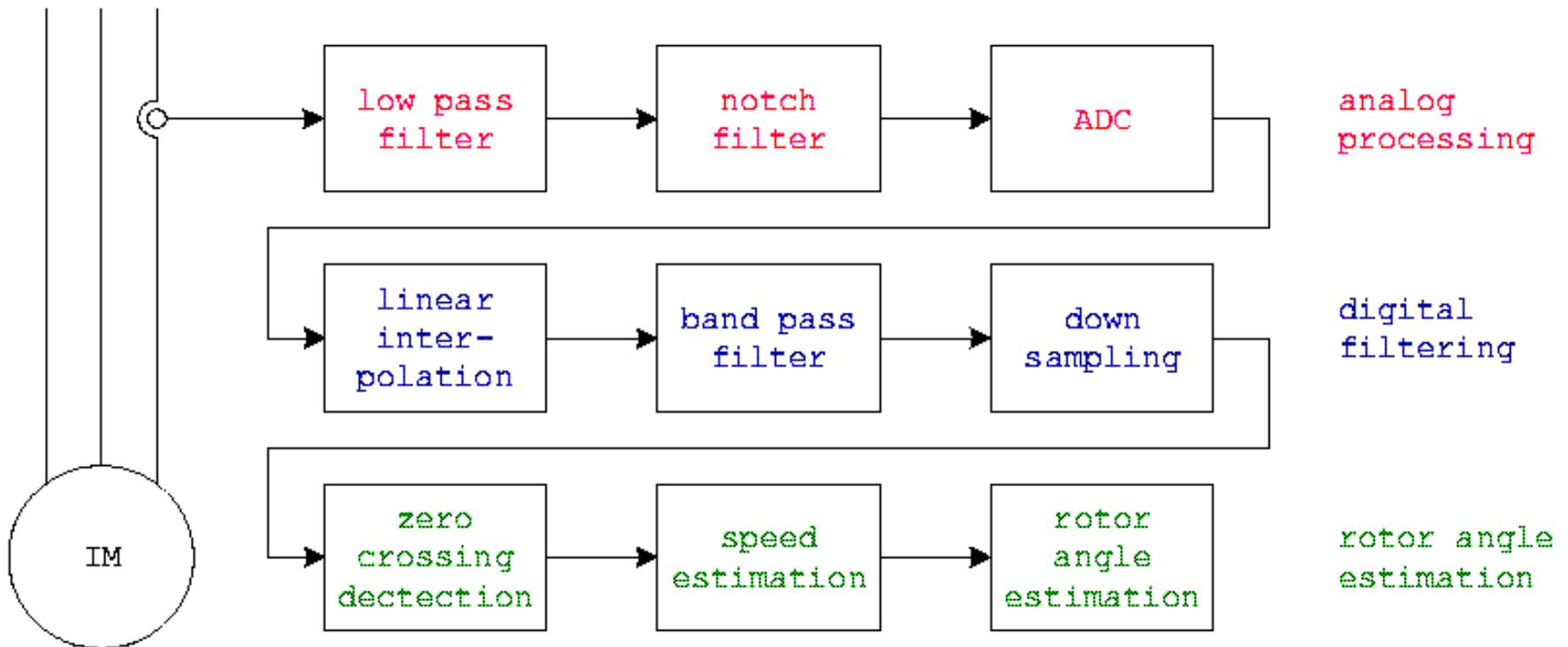
# Innovationen der Vienna Monitoring Method

# Eliminierung des Drehzahlsensors

# Variante 1

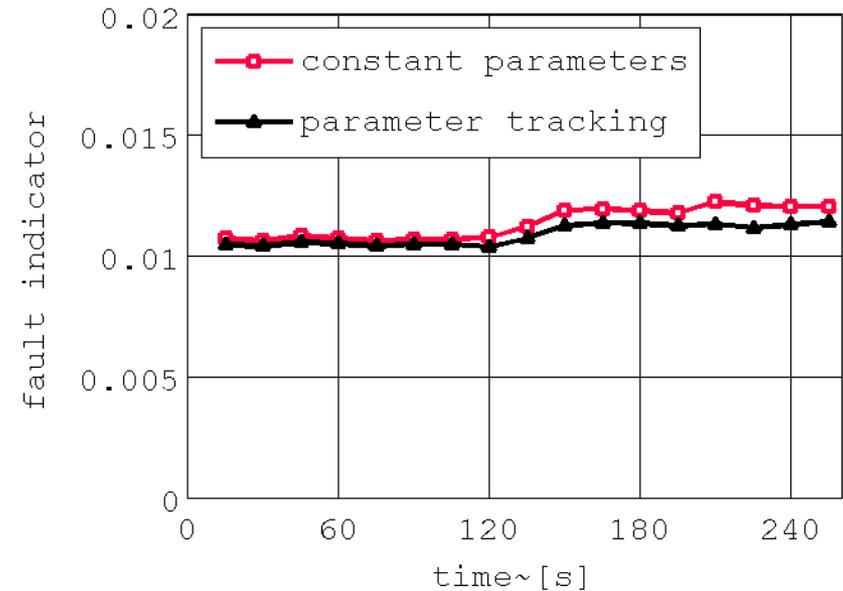
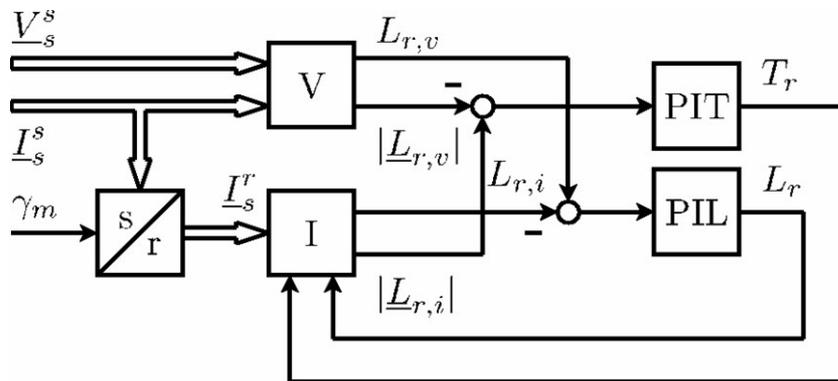


# Eliminierung des Drehzahlsensors Variante 2



# Parameter nachführung

- Parameterschätzung aus komplexen Reaktanzkreisen
- Nachführung von Rotorzeitkonstante und Rotorinduktivität

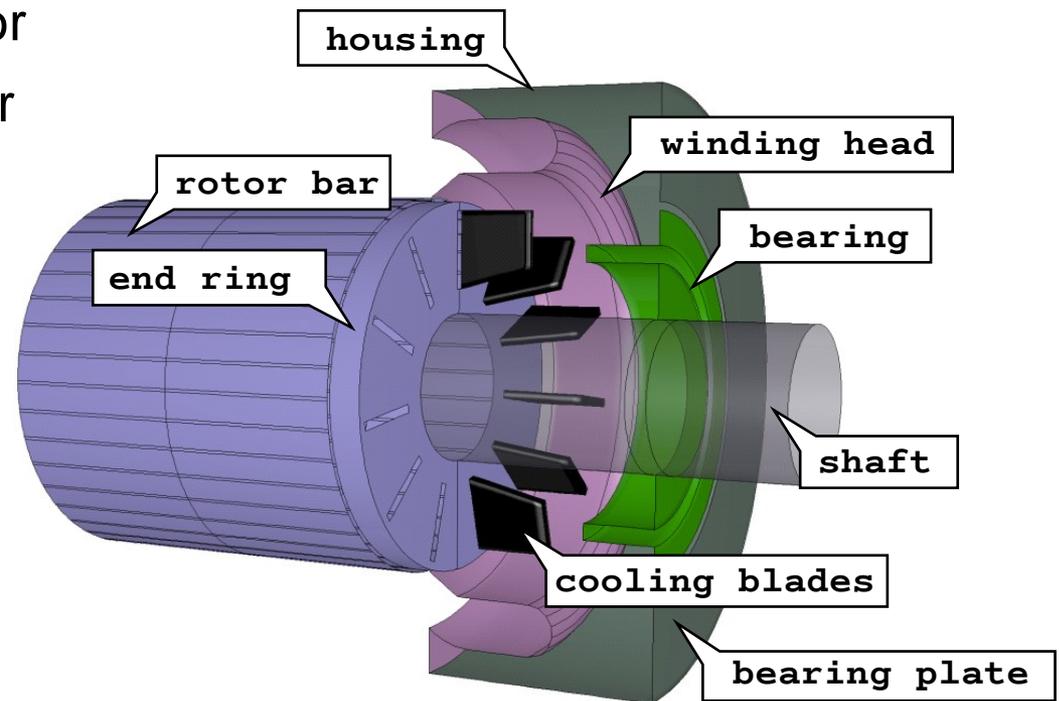


## Kapitel 3

# Anwendung der Parameterschätzung zur Schätzung der Rotortemperatur

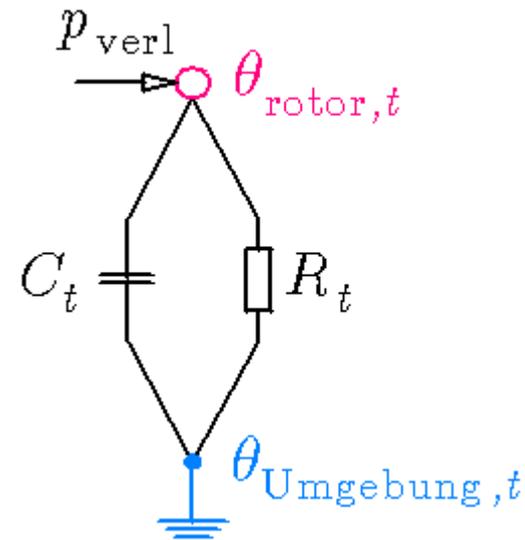
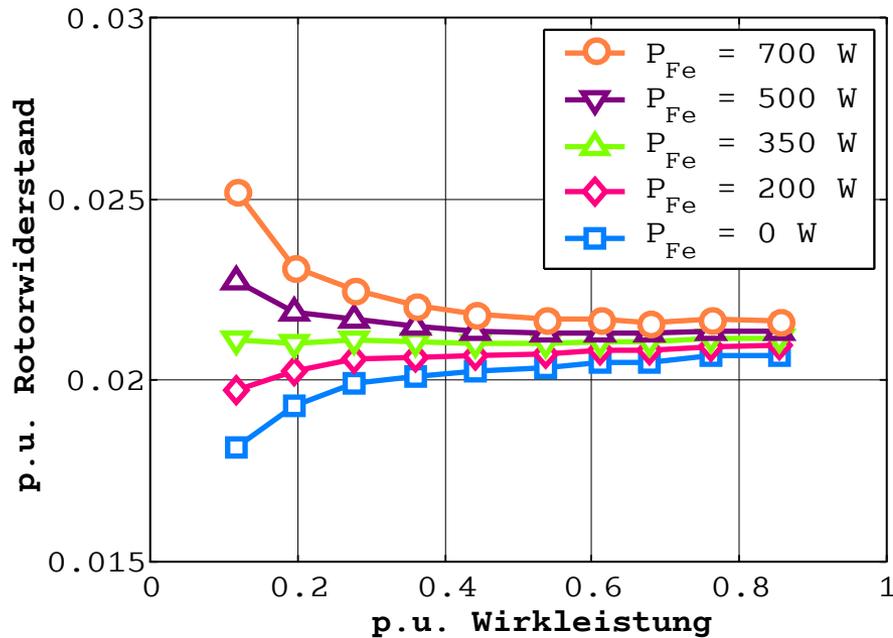
# Bestimmung der Rotortemperatur

- Verluste
  - Kupferverluste im Stator
  - Kupferverluste im Rotor
  - Eisenverluste
  - Zusatzverluste
  - Reibungsverluste
- Temperaturerhöhung
  - Wärmeleitung
  - Wärmespeicherung



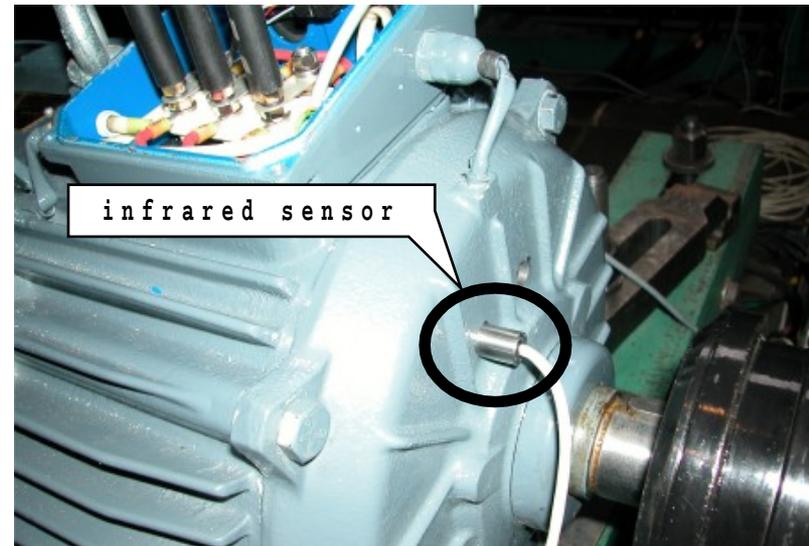
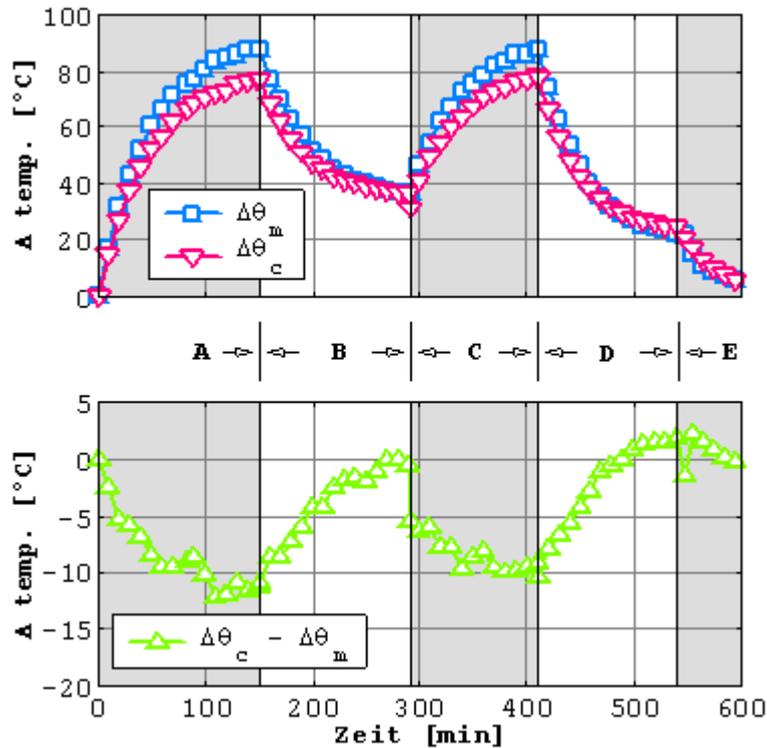
# Hybrides Temperaturmodell

- Stabilisierung des Modells
- Thermisches Netzwerk für den Schwachlastbereich



# Schätzung der Rotortemperatur

- Messung und Schätzung der Rotortemperatur



18.5kW Motor

## Kapitel 4

# Anwendung der Drehzahlschätzung auf Detektion von Unwuchten und Exzentrizitäten

# Unwuchten und Exzentrizitäten

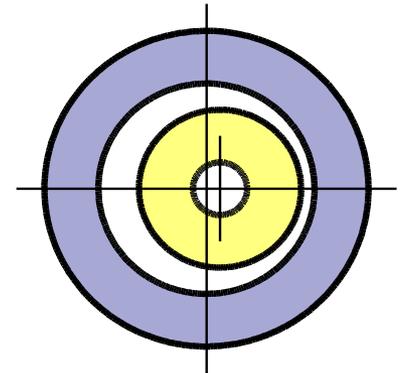
- Statische Exzentrizität

- versetzte Rotationsachse
- Radiale Kraft
- Zugkraft in Richtung kleinster Luftspalt
- kann dynamische Exzentrizität hervorrufen
- Stromharmonische

$$f_{stat} = N_r n \pm kf \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

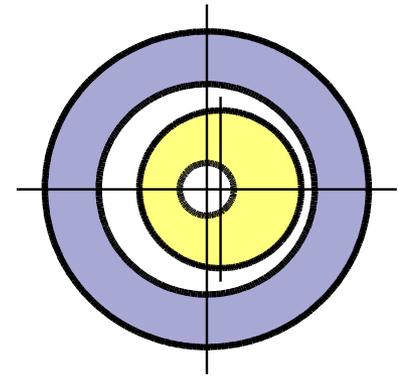
- Ursachen

- Versatz des Lagers
- Versatz des Lagerdeckels
- ovale Statorbohrung



# Unwuchten und Exzentrizitäten

- Dynamische Exzentrizität
  - Rotationsachse = Statorachse
  - Rotor rotiert nicht um seine eigene Achse
    - mit Rotordrehzahl
    - Dynamische Exzentrizität erster Ordnung
  - Umlaufende radiale Kraft
  - Stromharmonische  $f_{dyn} = N_r n \pm kf \pm n \quad k = 1, 2, 3, \dots$
- Ursachen
  - Gebogene Welle
  - Mechanische Resonanzen
  - Lagerspiel oder ausgeschlagene Lager
  - statische Exzentrizität



# Unwuchten und Exzentrizitäten

- Gemeinsame statische und dynamische Exzentrizität
  - Ideale Bedingungen können nicht vorausgesetzt werden
  - Inhärente Exzentrizität
- Auswirkungen
  - Stromharmonische

$$f_i = f \left( 1 \pm k \frac{1-s}{p} \right) \quad k=1,2,3,\dots$$

- Harmonische in Leistung und Drehmoment

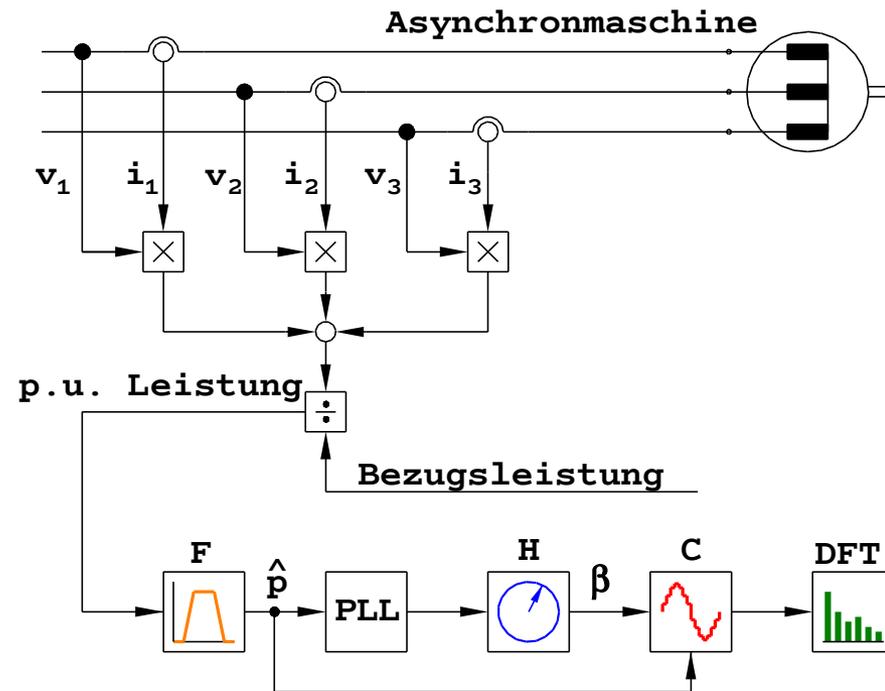
$$f_p = k \cdot f \frac{1-s}{p} \quad k=1,2,3,\dots$$

# Unwuchten und Exzentrizitäten

- Mechanische Unwuchten
  - Drehmomentschwingungen mit  $f_m = n$
  - Inhärente Exzentrizität
- Drehmomentschwingungen werden verursacht von
  - Rotorunwucht
  - Lastmaschine
  - Kupplung
- Auswirkungen
  - Stromharmonische  $f_i = f \left(1 \pm k \frac{1-s}{p}\right)$   $k=1,2,3,\dots$
  - Harmonische in Leistung und Drehmoment  $f_p = k \cdot f \frac{1-s}{p} = k \cdot n$

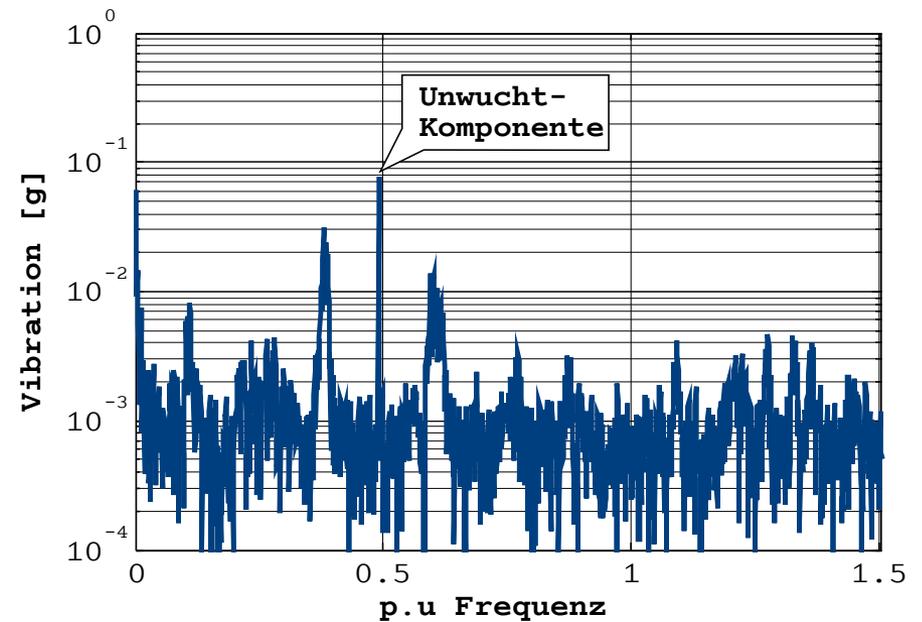
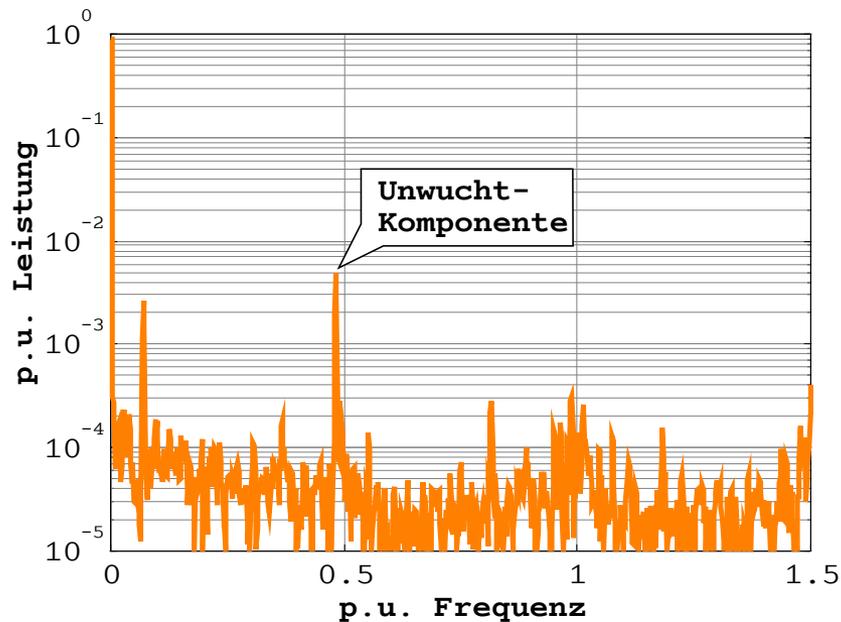
# Unwuchten und Exzentrizitäten

- Detektion von Unwuchten
  - elektrische Leistung
  - p.u. Leistung
  - Bandpass-Filter
  - PLL + Hilbert Transformation (H)
  - Segmentierung (C)
  - Diskrete Fourieranalyse (DFT)

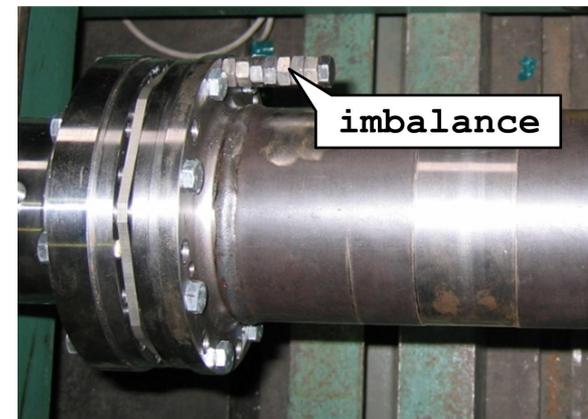
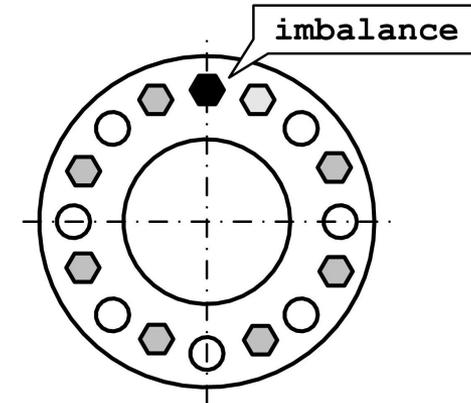
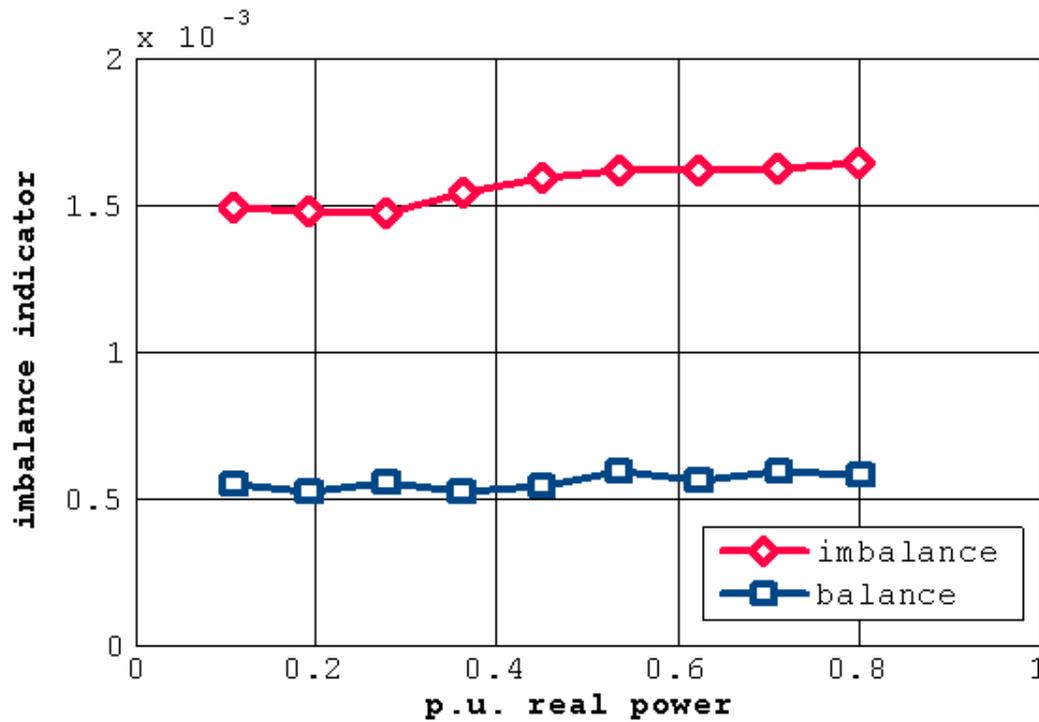


# Unwuchten und Exzentrizitäten

- Spektrum der elektrischen Leistung und der Vibration



# Messergebnisse



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

[christian.kral@arsenal.ac.at](mailto:christian.kral@arsenal.ac.at)