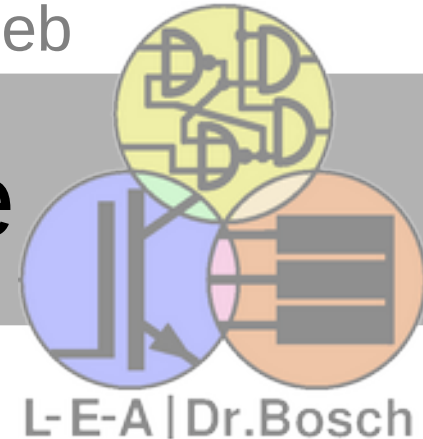


Dienstleistungen rund um den elektrischen Antrieb

# Leistungs-Elektronik & Antriebe

Entwicklung – Schulung – Beratung



Messungen an permanentmagnetisch erregten EC- und DC-  
Maschinen – Verifizierung der Vorausberechnung



# Messungen an permanentmagnetisch erregten EC- und DC-Maschinen

## Inhalt

1. Messungen mit dem Fluxmeter
  - 1.1. Prinzip der Fluxmetermessung
  - 1.2. Messung des Zahnflusses im Leerlauf (Erregerfluss)
  - 1.3. Messung der Luftspaltflussdichte
  
2. Messungen auf dem Motorprüfstand
  - 2.1. Leerlaufspannung
  - 2.2. Rastmoment
  - 2.3. Kurzschlussströme bei angetriebener Maschine
  - 2.4. Winkelabhängiges Drehmoment bei Gleichbestromung
  
3. Literatur

# 1. Messungen mit dem Fluxmeter

## 1.1. Prinzip der Fluxmeter-Messung



- Integration der in einer Messspule induzierten Spannung.

$$u(t) = -w \frac{d\phi}{dt} \rightarrow \phi = -w \int u(t) dt + c \quad [1,2,3]$$

Messung des magn. Flusses in sämtlichen Baugruppen einer el. Maschine.

Nachteile:

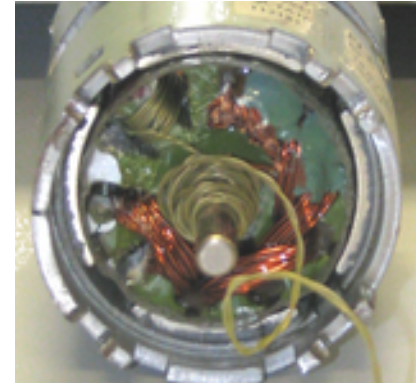
- Keine absolute Messung möglich (Integrationskonstante)
- Integratordrift (moderne Geräte besitzen automatischen Driftabgleich [4])

Flussmessung auch mit Oszilloskop und numerischer Integration möglich.

## 1.2. Messung des Zahnflusses im Leerlauf (Erregerfluss)

### Aufbau:

- Prüfspule um einen Zahn wickeln.
- Rotor mittels Getriebemotor gleichförmig drehen.
- Analogausgang des Fluxmeters mit Speicher-Oszilloskop aufzeichnen.
- Bei Messungen am Rotor Zuleitung zum Fluxmeter auf Welle aufwickeln.
- Getriebelose über Reibung eliminieren (Moosgummi, O-Ring)



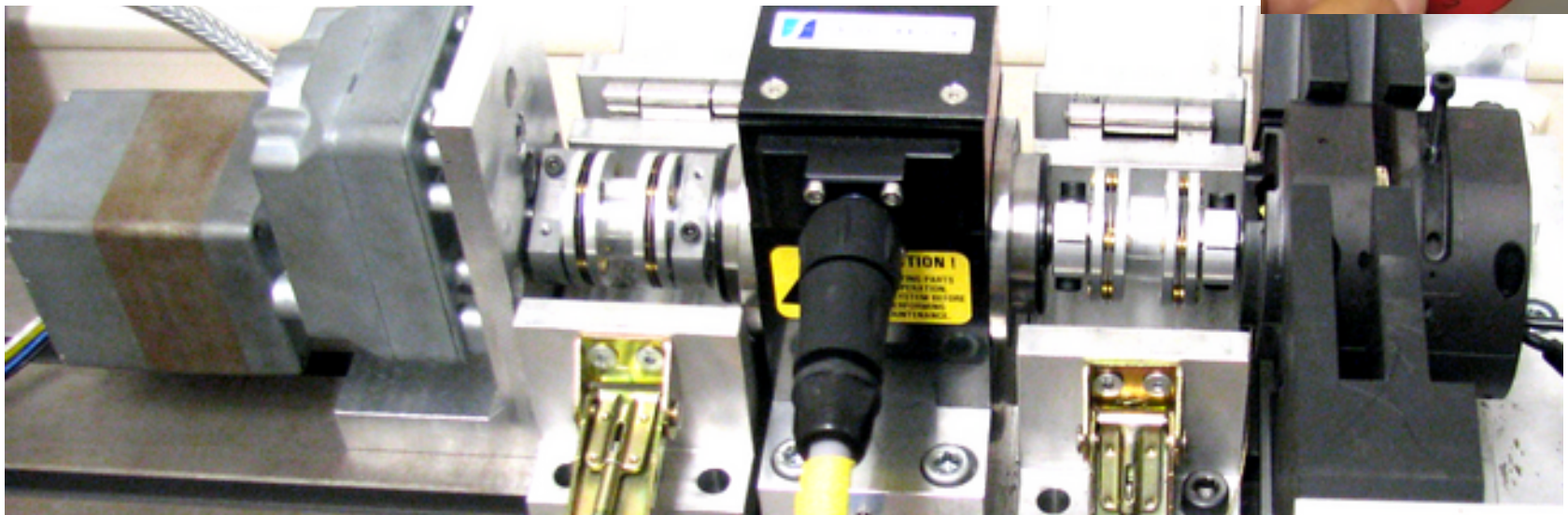
### Vorteile:

- Abgleich der Muster-Maschine mit der FEM-Rechnung.
- Rückwirkungsfreiheit der Messspule, z.B. keine Aufweitung des Luftspalts.
- Verlorene Spule (verbleibt nach Abschluss der Messung im Messobjekt).

## 1.3. Messung der Luftspaltflussdichte

Aufbau:

- Kalibrierte Spule (eff. Fläche) auf Zahnkopf anbringen.
- Rotor wird mittels Getriebemotor gleichförmig gedreht.
- Bei Messungen am Rotor wird die Zuleitung zum Fluxmeter auf die Motorwelle aufgewickelt.



## 1.3. Messung der Luftspaltflussdichte (Forts.)

### Vorteile:

- Rückwirkungsfreiheit, keine Veränderung des Luftspalts.
- Messung der Ankerrückwirkung möglich.
- Abgleich der vermessenen Maschine mit der Vorausberechnung (FEM oder analytisch).

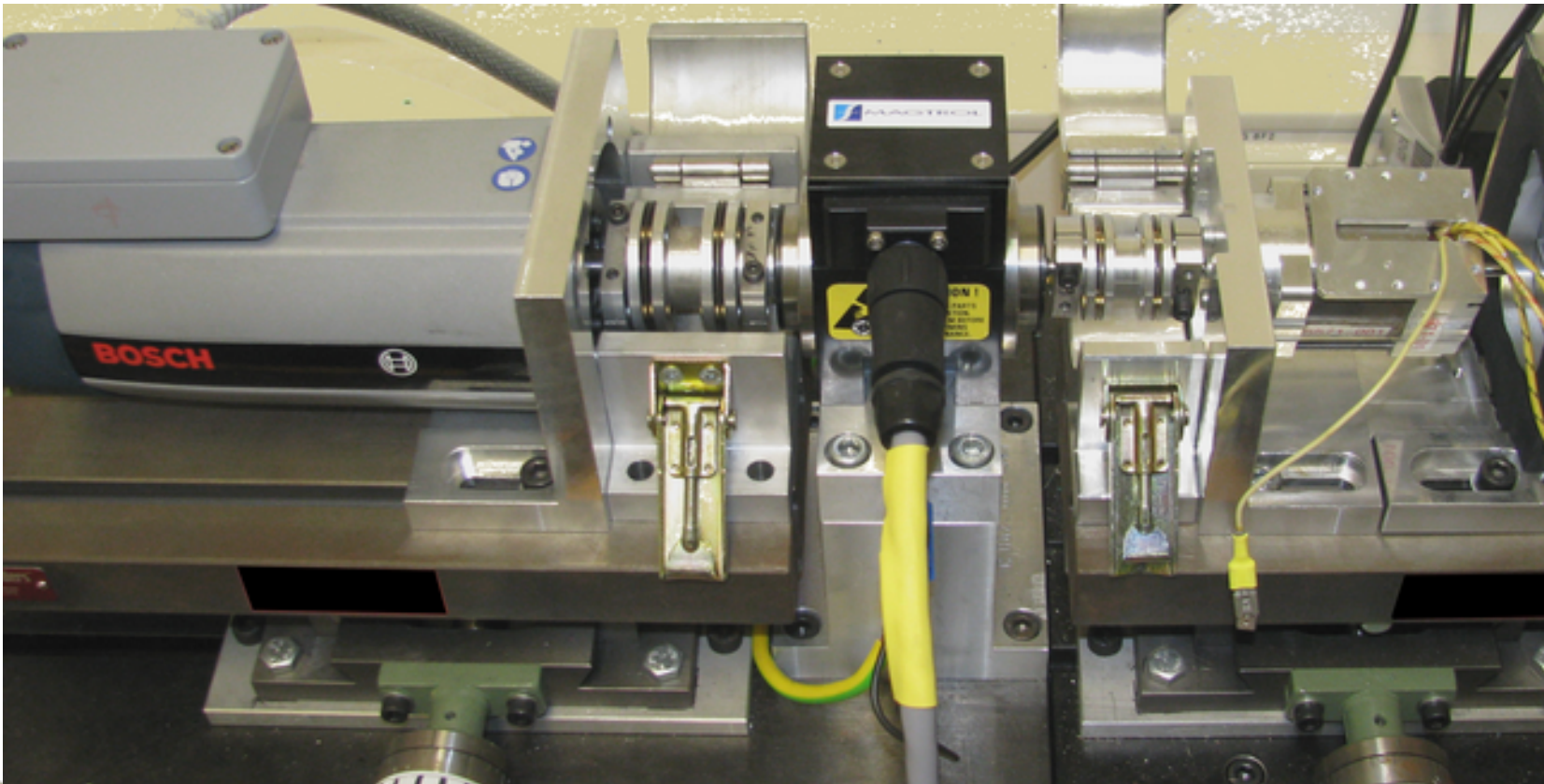
### Nachteile:

- Die tangentielle Breite der Prüfspule beeinflusst den Kurvenverlauf (Mittelwertbildung).
- Hohe Genauigkeit erfordert eine große Spulenfläche und/oder hohe Windungszahl.

## 2. Messungen auf dem Motorprüfstand

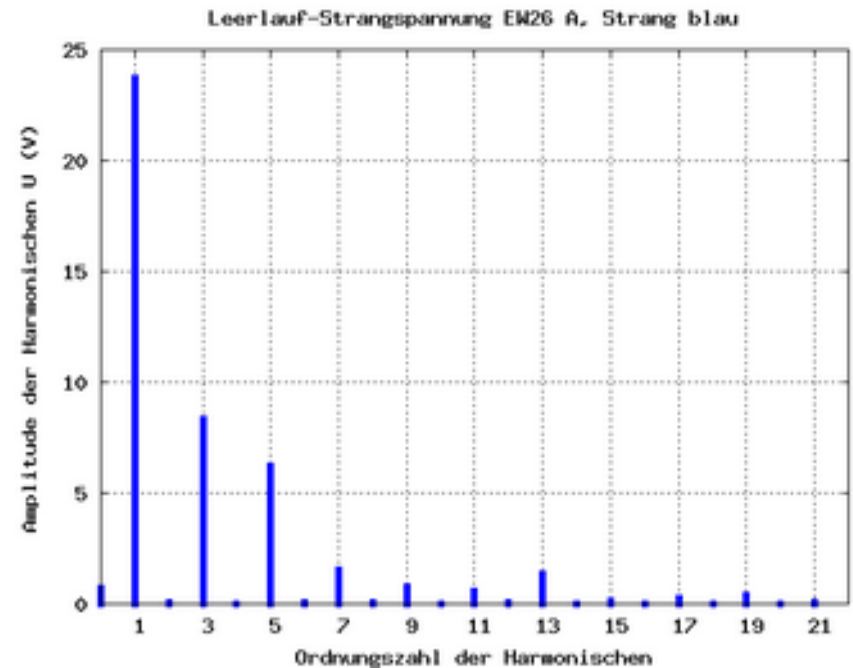
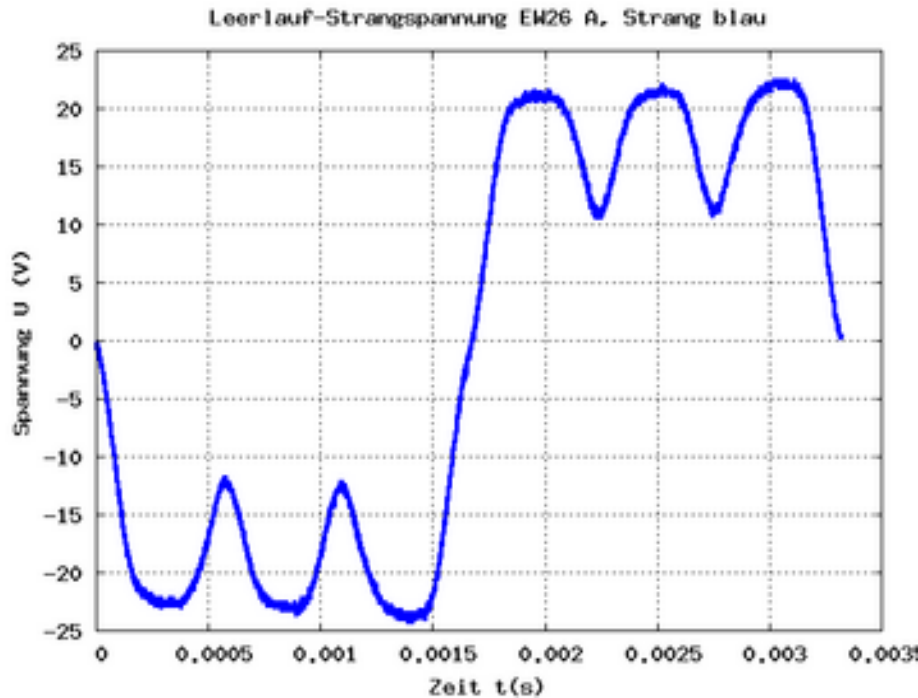
### 2.1. Leerlaufspannung

- Klemmenspannung der angetriebenen Maschine messen.
- Grundschiwingung (Fourieranalyse [5,6]) mit den Ergebnissen der klassischen Maschinenberechnung vergleichen.



## 2.1. Leerlaufspannung (Forts.)

[5,6]

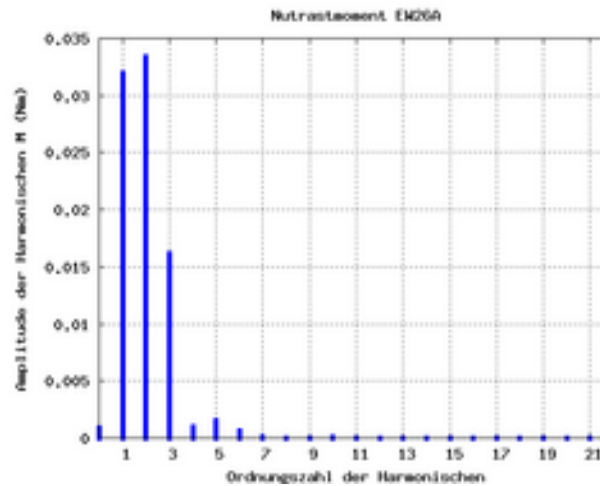
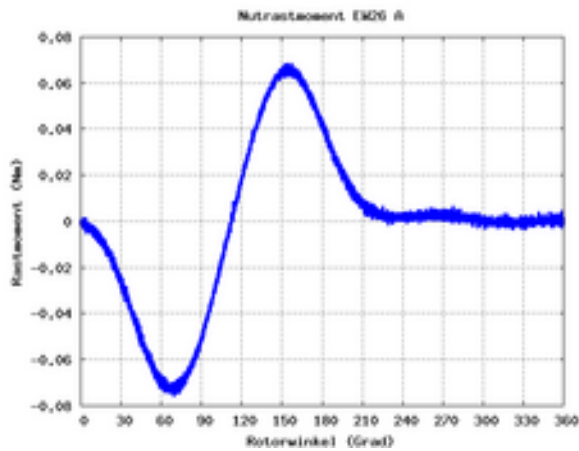
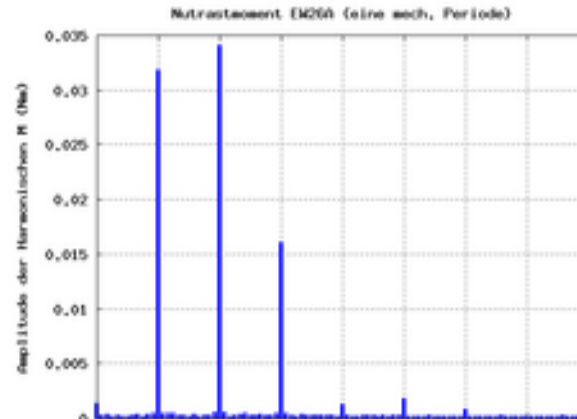
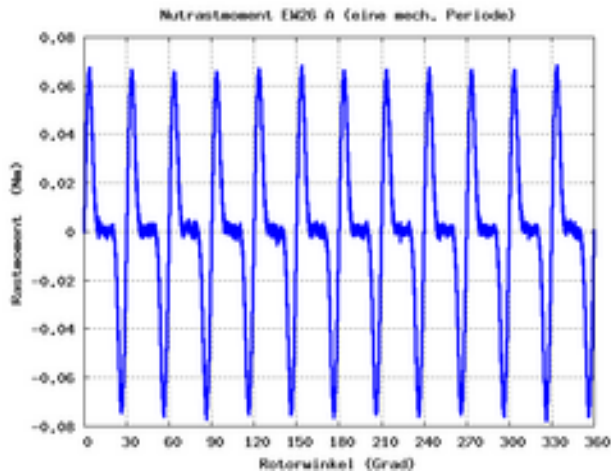


Ermittlung der Grundschwingungsamplitude mittels FFT bzw. DFT [5,6].  
Hierbei eine oder mehrere vollständige Perioden des Signals analysieren  
um die Auswirkungen einer Fensterung zu vermeiden [7].  
Ggf. Überprüfung der Transformation mittels harmonischer Synthese.



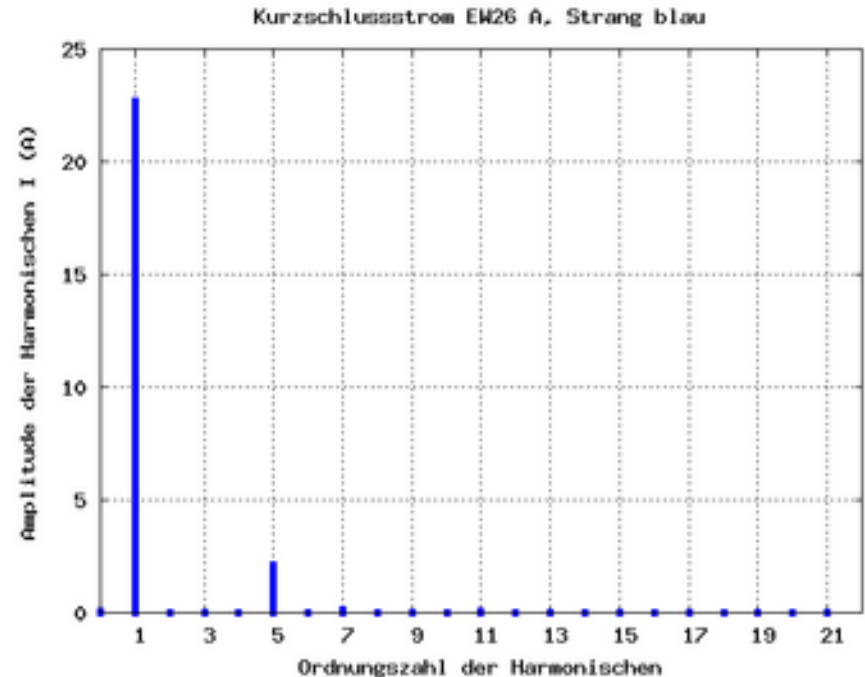
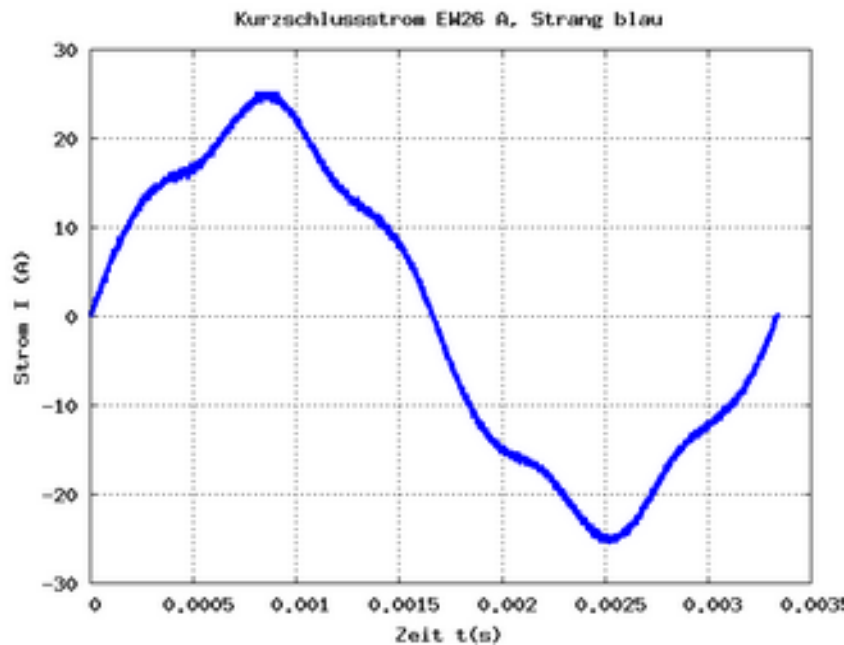
## 2.2. Rastmoment

Aufbau wie bei Messung der Leerlaufspannung, jedoch mit Drehmoment-Messwelle zwischen Antriebsmaschine und Prüfling



## 2.3. Kurzschlussströme bei angetriebener Maschine

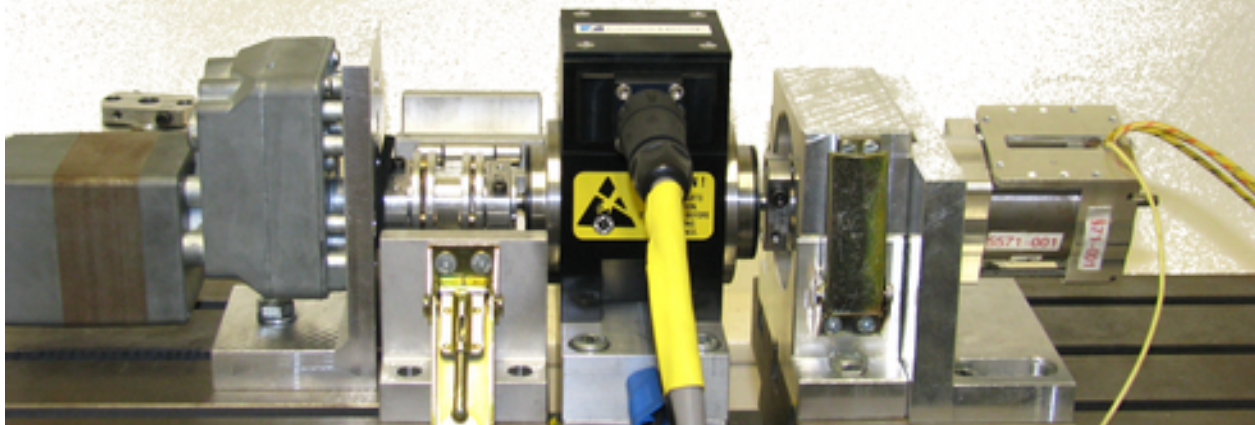
- Abschätzung der Induktivitäten  $L_d$ .
- Einfluss der Sättigung.



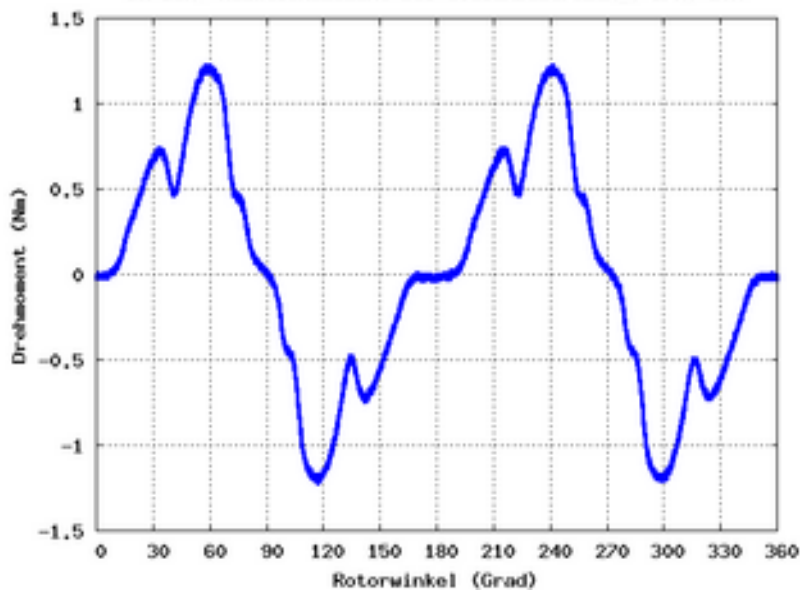
### Anmerkungen:

- Kurzschlussfeste Maschine erforderlich.
- Systematischer Fehler, da die Leerlaufmessung ungesättigt erfolgte.

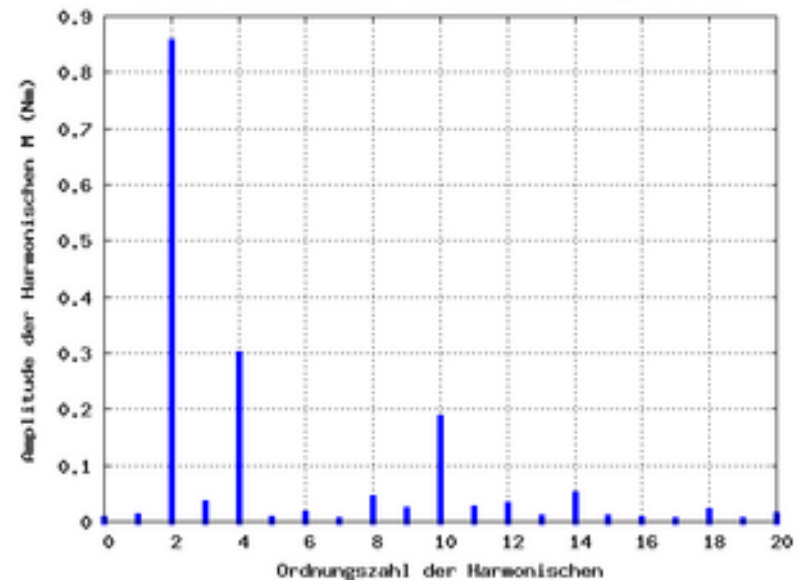
## 2.4. Winkelabhängiges Drehmoment bei DC-Bestromung



EW 26A: Reaktionsmoment bei Gleichbestromung, 2Ph, 20A

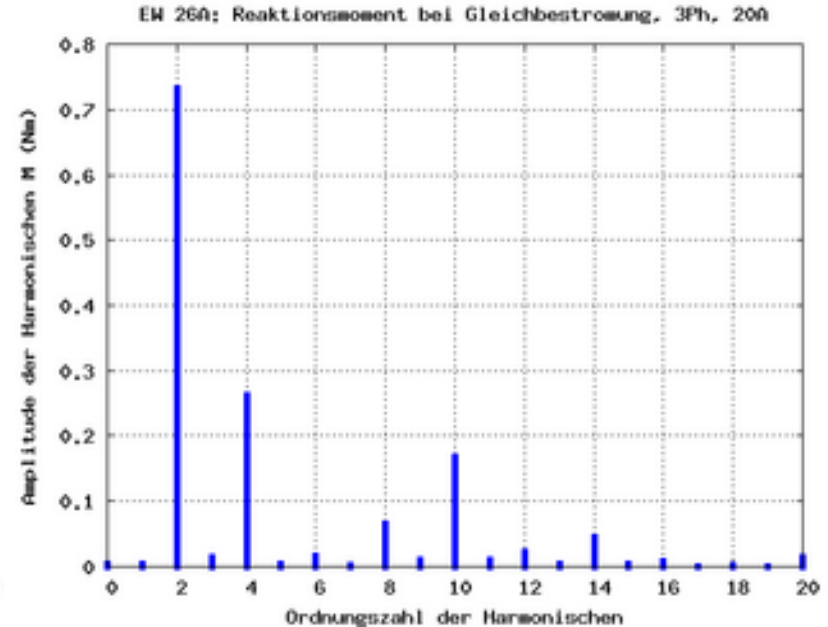
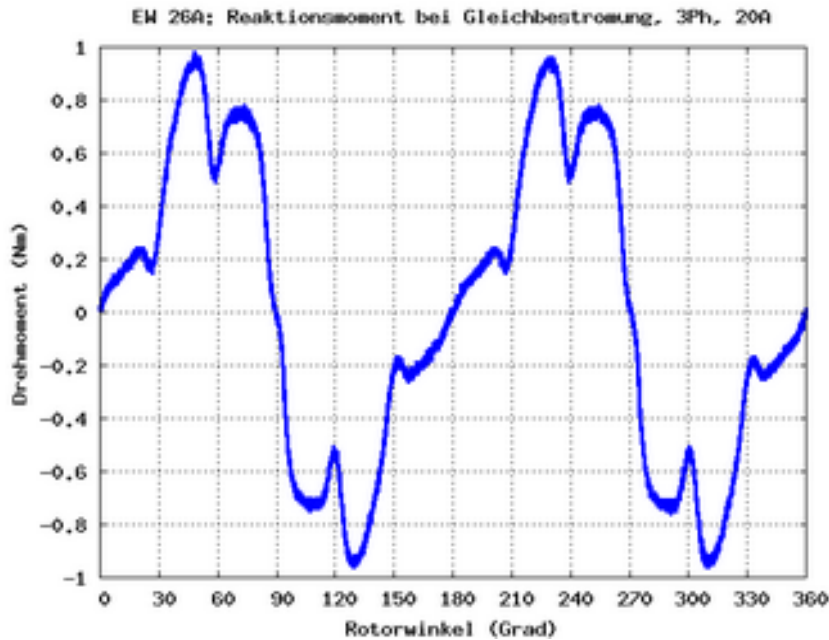


EW 26A: Reaktionsmoment bei Gleichbestromung, 2Ph, 20A



Drehmoment-Messung an einer EC-Maschine mit  $p = 2$  Polpaaren (unbestromt)

## 2.4. Winkelabhängiges Drehmoment (Forts.)



Drehmoment-Messung an einer EC-Maschine mit  $p = 2$  Polpaaren (Stator mit Gleichstrom bestromt)

Harmonische Analyse des Drehmoments über dem Rotorwinkel [5,6]

Bei  $p=2$  gilt:

- 0. Ordnung → Reibung
- 2. Ordnung → Synchrones Drehmoment
- 4. Ordnung → Reluktanzmoment

Ermittlung des optimalen Kommutierungswinkels für maximales Drehmoment unter Ausnutzung des Reluktanzmoments (bei  $L_d \neq L_q$ )

### 3. Literatur

- [1] Peter Campbell: Permanent Magnet Materials and their Application, Cambridge University Press, Cambridge, 1994 (Fluxmeter: S. 148).
- [2] J. Koch, K. Ruschmeyer: Permanentmagnete I -- Grundlagen, 2. Auflage, Valvo Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH, Hamburg, 1983
- [3] J. Koch, K. Ruschmeyer: Permanentmagnete III -- Magnetisieren, Messen, Prüfen, Valvo GmbH, Hamburg, 1970 (Fluxmeter: S. 39 ff.).
- [4] Betriebsanleitung Elektronisches Fluxmeter EF5, Magnet-Physik Dr. Steingröver GmbH
- [5] Gisela Engeln-Müllges, Fritz Reutter: Numerik-Algorithmen, 8. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998 (FFT: S. 201).
- [6] Fastest Fourier Transform in the West (<http://www.fftw.org>)
- [7] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery: Numerical Recipes in C, Cambridge University Press, Cambridge, 1992 (Data Windowing: S. 553).