

# Sowas-Projekt:

## Effizienz von Wechselstromgeneratoren

Gruppe B: Lukas Dirks, Christopher Funk, Jonathan Schwinger und Simon Widrinna

Projektleiter: François Simon Boudem

FAKULTÄT FÜR PHYSIK UND ASTRONOMIE RUHR-UNIVERSITÄT-BOCHUM

RUB

### Motivation/Einleitung

Wechselstromgeneratoren und der damit verbundene Wechselstrom sind in der heutigen elektrifizierten Welt unverzichtbar. So basieren insbesondere die meisten Stromnetze (weltweit) auf Wechselstrom(-spannung), der in Kraftwerken mittels eben jenen Generatoren gewonnen wird.

Dieses Projekt wird sich mit der Untersuchung verschiedener Prinzipien eines Wechselstromgenerators und deren Wirkungsgraden in Abhängigkeit verschiedener Parameter beschäftigen um einen Einblick in die Optimierung eines solchen Generators zu erhalten.

### Grundlagen

#### Außenpolgenerator (APG)

Beim Außenpolgenerator fungieren magnetfelderzeugende Bauteile als Stator um eine Spule (Rotor) herum, welche im Inneren des Magnetfelds rotiert und somit ein Strom in dieser induziert wird.

#### Innenpolgenerator (IPG)

Der Innenpolgenerator hat einen ähnlichen Aufbau wie der Außenpolgenerator, nur dass hier der Magnetfelderzeuger als Rotor fungiert und somit die Spulen, in denen der Strom induziert wird, als Statoren dienen.

#### Dreiphasenwechselstromgenerator (DPG)

Ein Dreiphasenwechselstromgenerator ist meist als Innenpolgenerator konzipiert, wobei drei Spulen im Abstand von je 120° als Stator um das rotierende Magnetfeld angeordnet sind und je ein in der Phase um 120° verschobenen Wechselstrom abgegriffen werden kann.

#### Leistung

Die Leistung ist im Allgemeinen als umgesetzte Arbeit pro Zeiteinheit definiert, wobei oft auch die für die Arbeit benötigte Energie pro Zeiteinheit verwendet wird. Über eine Betrachtung der elektrischen Arbeit erhält man somit in differentieller Schreibweise:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dE}{dt} = \mathbf{u}(t) * \mathbf{i}(t)$$

#### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist ein Maß für die Effizienz von Energieumwandlungen. Er beschreibt dabei das Verhältnis von zugeführter und entnommener Leistung bei Maschinen/Prozessen. Ebenfalls ist analog zur Leistung auch hier eine Energiebetrachtung äquivalent. Es gilt:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{E_{ab}}{E_{zu}}$$

#### Stern- und Dreieckschaltung

Um einen Dreiphasenwechselstrom sinnvoll zu nutzen bedient man sich einer sogenannten Stern- bzw. Dreieckschaltung. Ziel dabei ist die Vergrößerung der Effektivspannung durch zusammenschalten zweier Phasen (alle drei Phasen zusammenschaltet würde zu einer Aufhebung der mittleren Gesamtspannung führen).

Bei einer Sternschaltung werden die drei Phasen L1, L2 und L3 über gleich große Widerstände in einem Knoten (Sternenpunkt) zusammengeschaltet, der wiederum mit einem Neutralleiter verbunden ist. Bei einer Dreieckschaltung hingegen sind die einzelnen Phasen über je einen (identischen) Widerstand verbunden. Nun kann jeweils eine vergrößerte Spannung zwischen zwei Phasen abgegriffen werden.

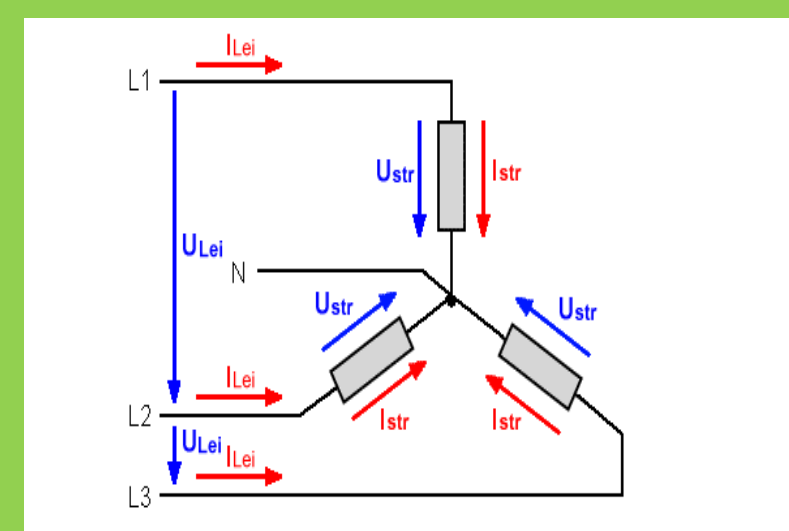


Abb.1: Sternschaltung

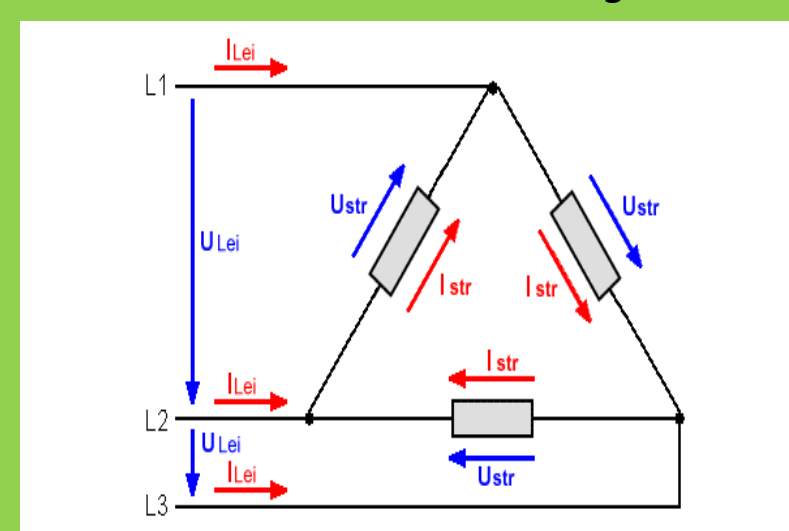


Abb.2: Dreieckschaltung

Offensichtlich gilt für die Leistungsbetrachtung beider Schaltungen:

$$P = 3 * U_{Str} * I_{Str}$$

Unter der Annahme eines Ohmschen Widerstands, sowie hinsichtlich der Effektivwerte lässt sich die Leistung auch wie folgt formulieren:

$$P = \frac{3}{2} * \frac{\overline{U_{Str}}^2}{R}$$

### Vorgehensweise

Um den Wirkungsgrad der Generatoren in Abhängigkeit verschiedener Parameter zu untersuchen, wurde eine Variation der Drehzahl, der angelegten Spannung am Elektromagneten und des Widerstands vorgenommen. Dabei ist jeweils ein Parameter variiert und die anderen konstant gehalten worden, wobei eine Spannungskurve am Widerstand mittels LabView aufgenommen wurde.

Die Drehzahl wurde insgesamt zehnmal variiert, Spannung und Widerstand hingegen fünfmal. Als Messinstrumente für die Parameter diente ein Stroboskop sowie Digitalmultimeter. Außerdem wurde bei jeder Messung die Leistung des Antriebmotors mit einem elektrischen Leistungsmesser bestimmt.

**Literatur:** Tipler Physik (6.Aufl.); Skript: Von Keudell Physik II (2012); Skript: Köhler (2014); Harten: Physik: Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler (6.Aufl.); Gerthsen Physik (24.Aufl.)

### Versuchsaufbau

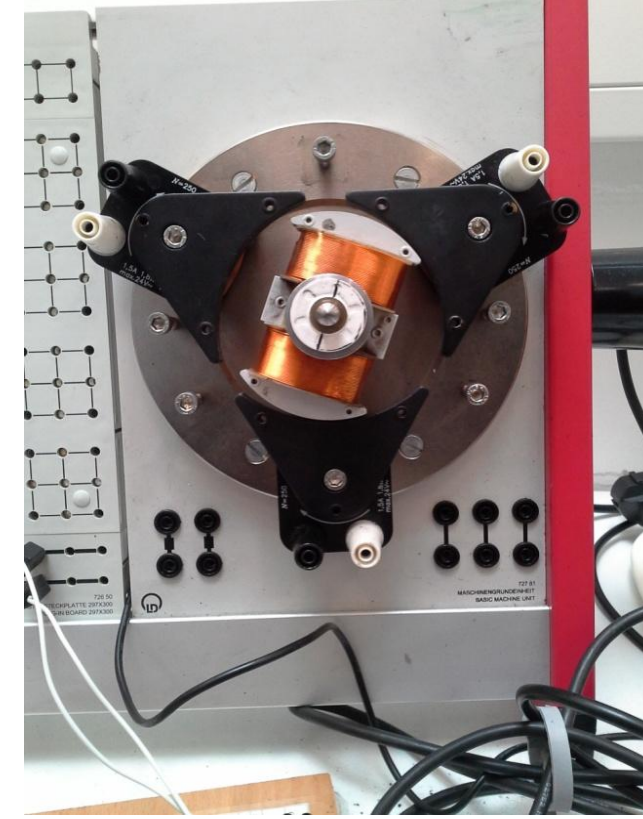


Abb.3: DPG mit Spulen außen 3xN=250; Spulen innen 2xN=380

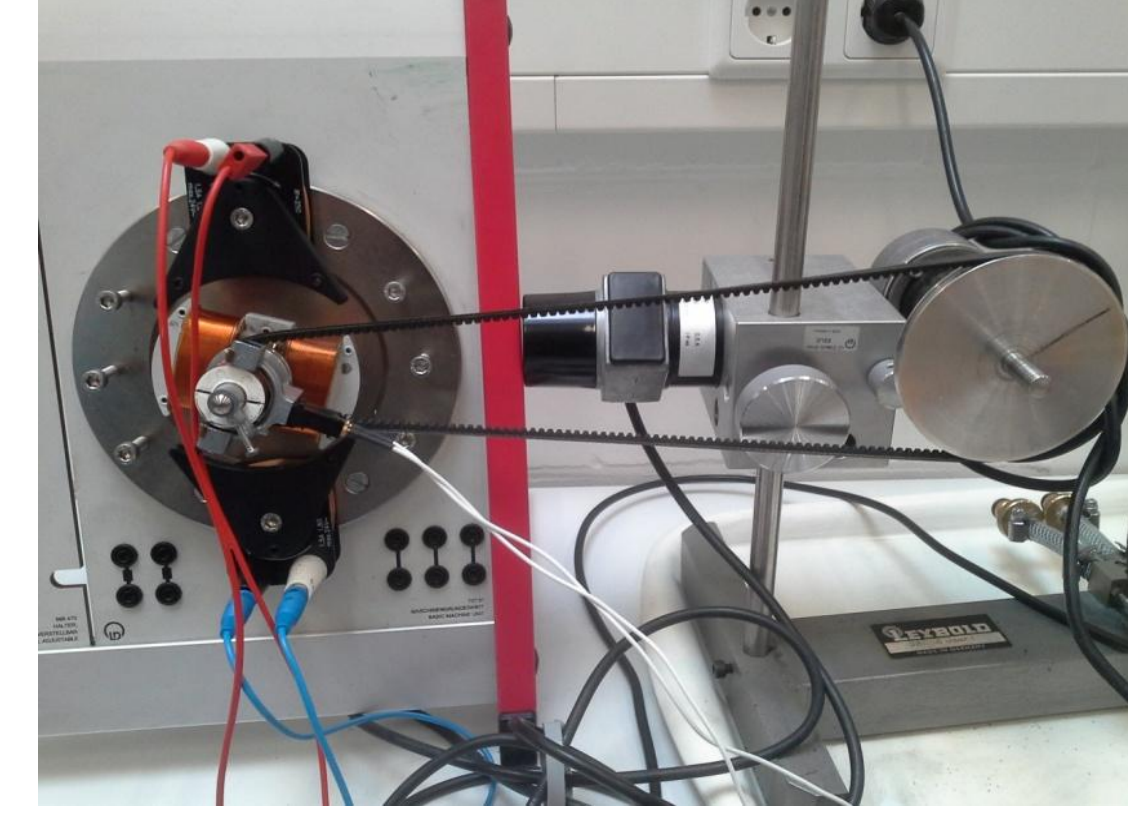


Abb.4: APG/IPG mit Spulen außen 2xN=250; Spulen innen 2xN=380; Antriebsmotor mit Riemen; Brücke + Bürsten

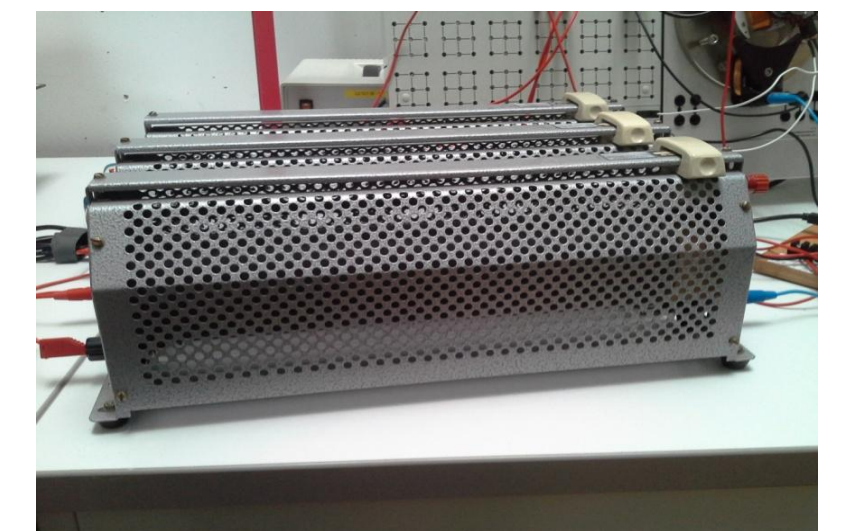


Abb.5: Schiebewiderstände (11Ω/1967)

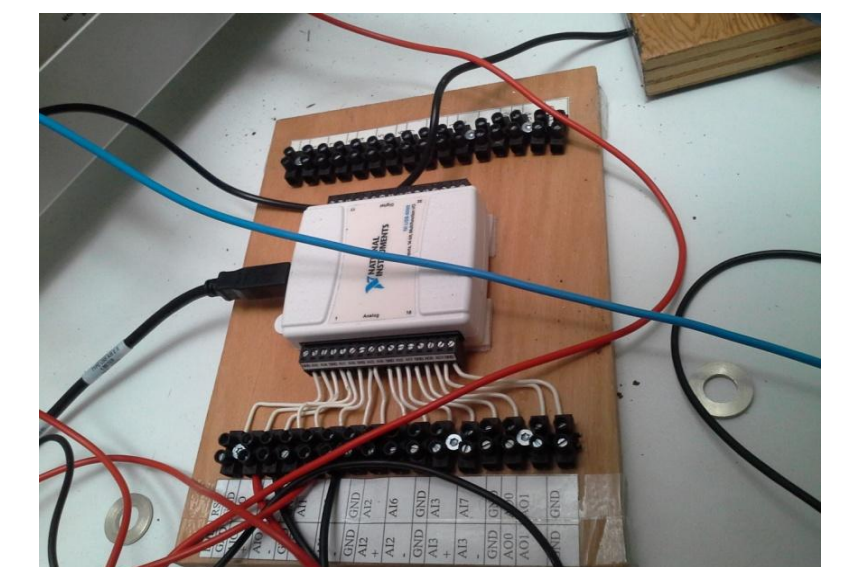


Abb.6: Analog-Digital-Converter zur Aufnahme der Spannungskurve über LabView

### Auswertung/Methodik

Für die Auswertung ist nur die Größe der Spannungsamplitude von Bedeutung, die in gewissen Grenzen schwankt (Abb.7). Da alle Generatorstränge über denselben Rotor betrieben wurden schließen wir systematische destruktive Interferenz der einzelnen Signale untereinander aufgrund von Unterschieden der Phasengeschwindigkeit aus. Die Änderung der Amplitudengröße führen wir daher darauf zurück, dass die diskreten Messpunkte nicht bei jeder Periode mit den Maxima und Minima der Wechselspannung zusammenfallen, sodass sich ein Effekt ähnlich einer Schwebung ausbildet. Zur Bestimmung der gesuchten Amplitude haben wir daher grafisch die betragsmäßig höchsten 10 Messpunkte bestimmt und die Werte gemittelt. Das Fehlerintervall  $\Delta U$  wurde dabei so gesetzt, dass alle verwendeten Messpunkte darin enthalten sind. Es wurde außerdem idealisiert von einer Sinuskurve ausgegangen. Die Fehler wurden durch die Ablese- bzw. Messungenauigkeit verursacht und mittels Gauß'scher Fehlerfortpflanzung ermittelt. Die aus den Graphen extrapolierten Werte (siehe Ergebnis) sind ebenfalls mit einem relativen Fehler von 10% behaftet.

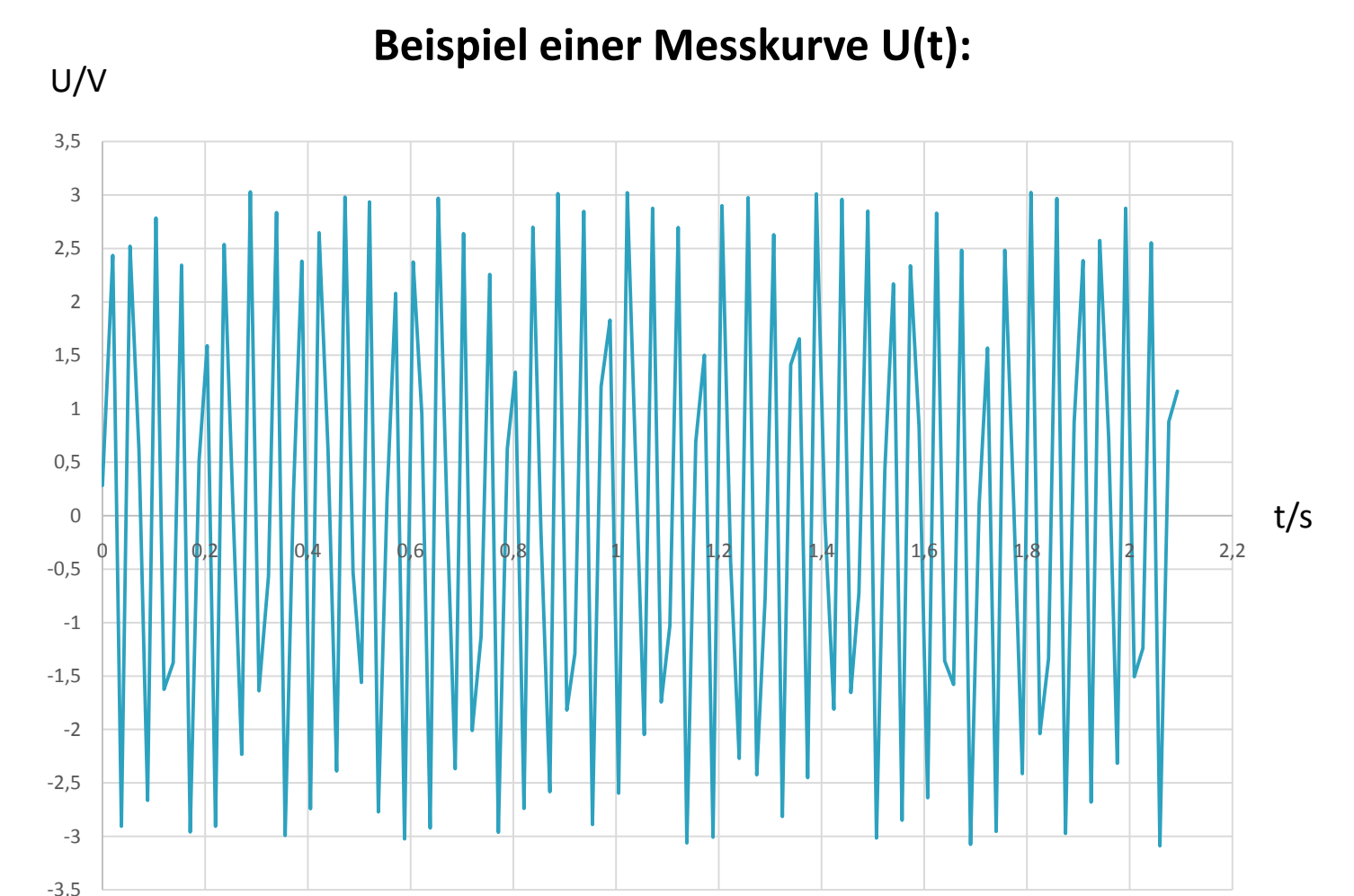


Abb.7: exemplarischer Verlauf einer aufgenommenen Spannungskurve

### Ergebnisse

#### Variation der Drehzahl

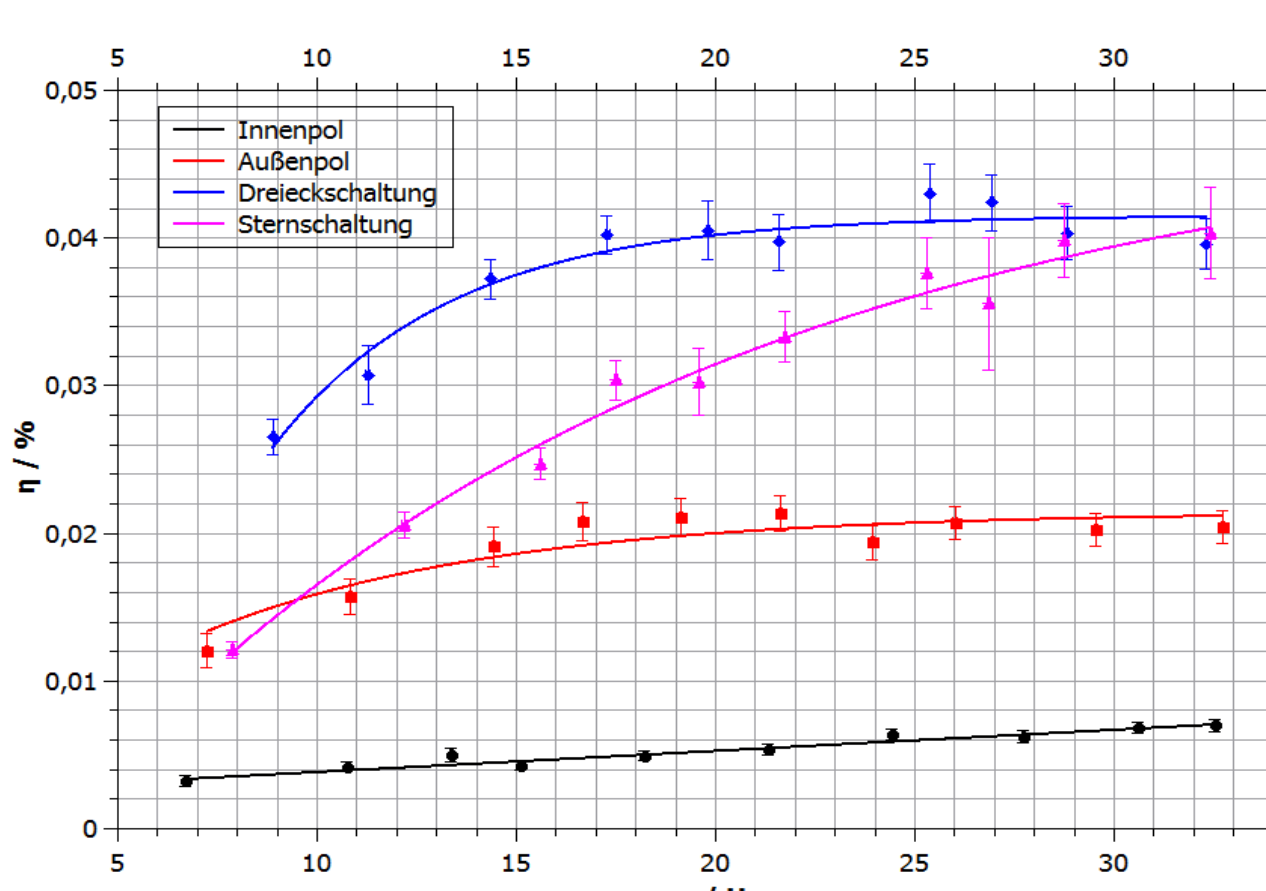


Abb.8: Verlauf von  $\eta$  bei  $U=5,0V$ ,  $R=4,5\Omega$  (DPG: 12,1Ω) und  $n$ -Variation

#### Variation der Spannung (für das mag. Feld)

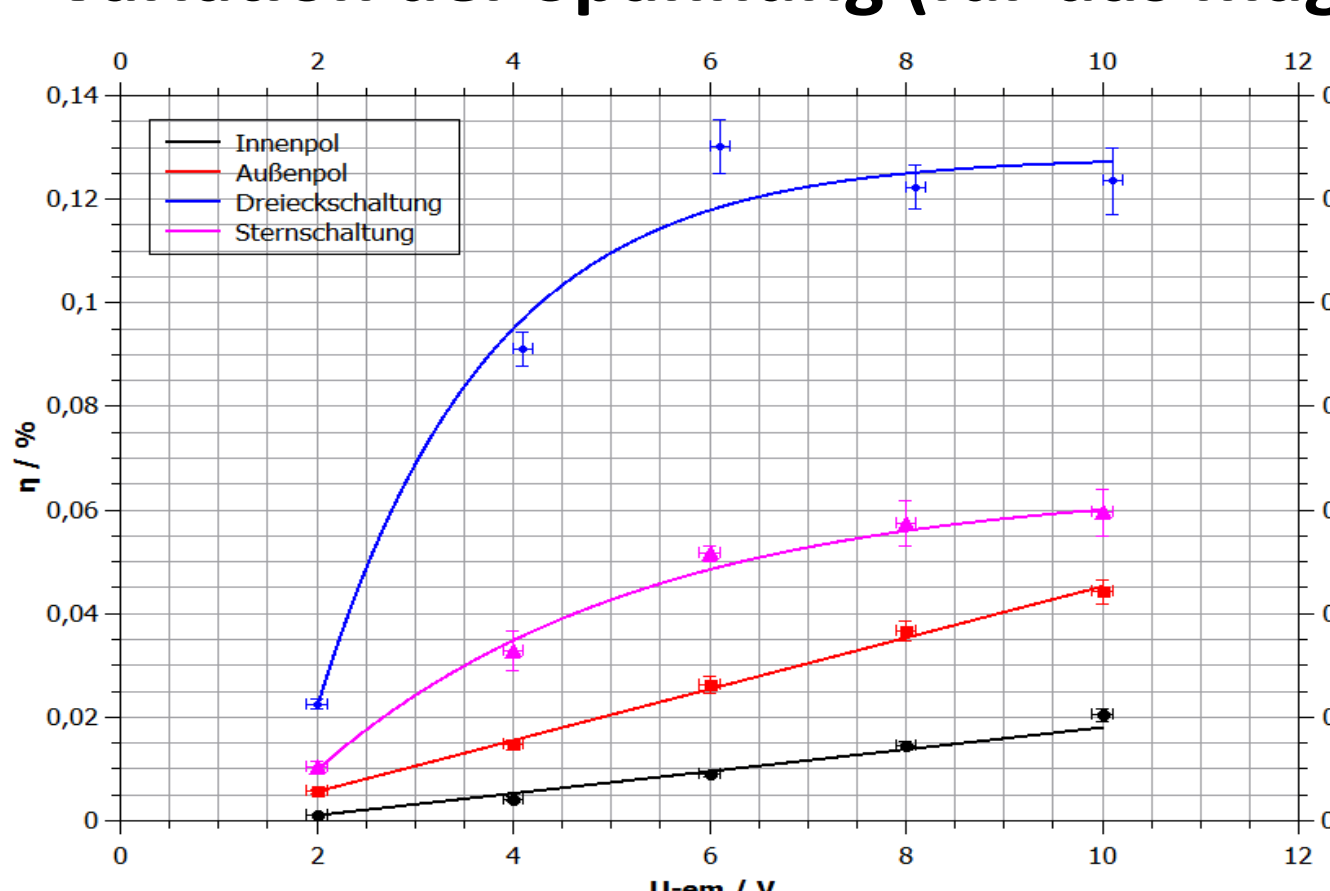


Abb.9: Verlauf von  $\eta$  bei  $n=5,50Hz$ ,  $R=4,5\Omega$  (DPG: 12,1Ω) und  $U$ -Variation

#### Variation des Widerstands

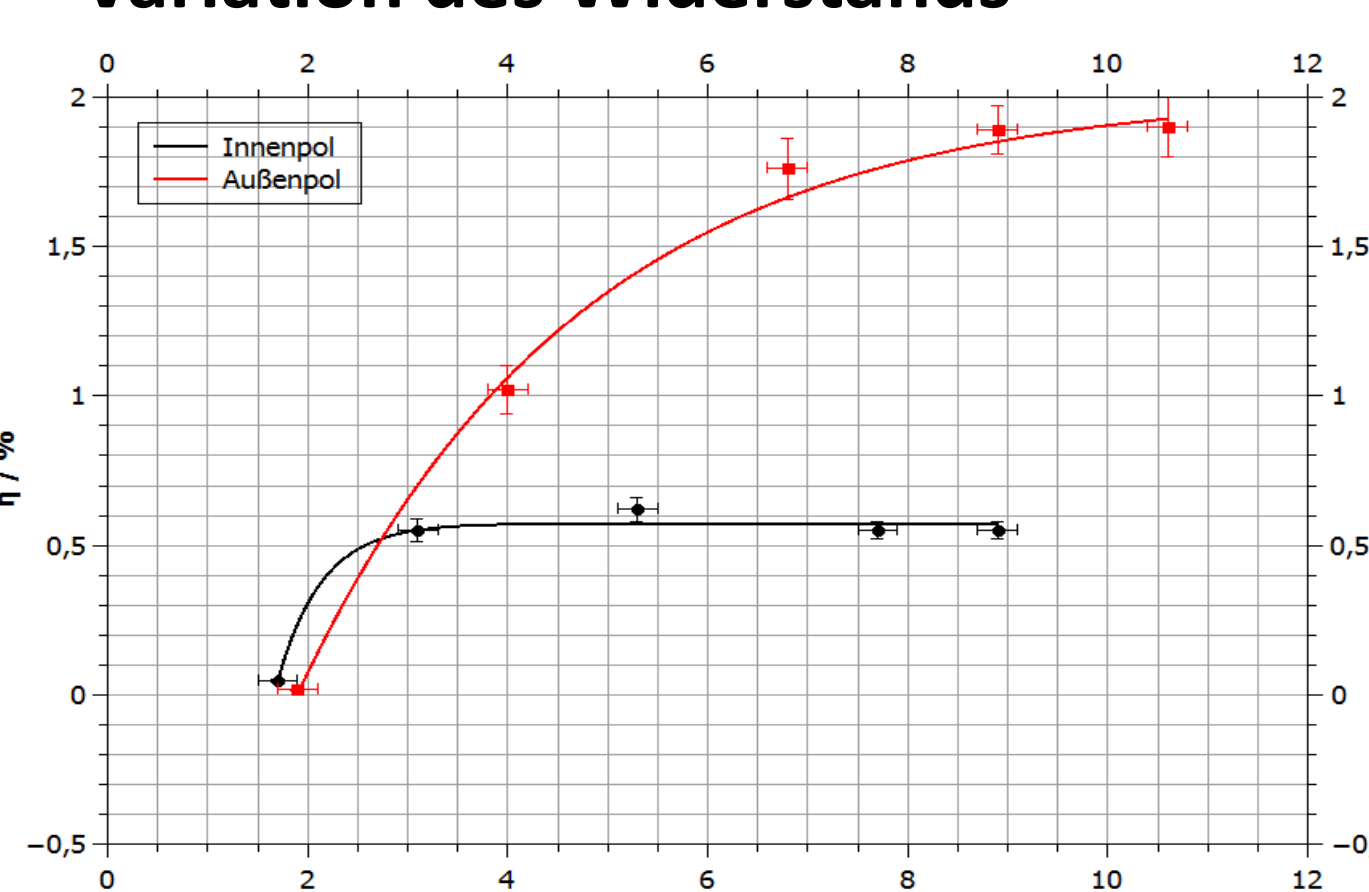


Abb.10: Verlauf von  $\eta$  bei  $n=5,50Hz$ ,  $U=5,0V$  und  $R$ -Variation

- Bei DPG/Dreieck, DPG/Stern und APG bilden sich Sättigungskurven; bei IPG eher ein linearer Zusammenhang
- Die Sättigung des DPG/Dreieck ist schneller (ca.  $n=20Hz$ ) erreicht als bei DPG/Stern (ca.  $n=35Hz$  (extrapoliert)) aber mit  $\eta=4,15\%$  auf demselben Niveau
- Die Sättigung des APG tritt nach ca.  $n=18Hz$  auf und es wird ein Wirkungsgrad von  $\eta=2,1\%$  erreicht; die Steigung beim IPG fällt mit  $m=0,002\%/Hz$  sehr gering aus und der der Wirkungsgrad ( $0,3\% < \eta < 0,7\%$ ) liegt bei jeder Messung deutlich unter dem des APGs

- Es kann eine klare „Effizienzreihenfolge“ ermittelt werden: DPGs/Dreieck, DPGs/Stern, APG und IPG (absteigend)
- Bei beiden DPG bilden sich Sättigungskurven; bei APG und IPG existiert ein linearer Zusammenhang
- Die Sättigung beim DPG/Dreieck ist schneller (ca.  $U=7,0V$ ) und mit  $\eta=12,25\%$  ca. 1,96 mal so hoch wie beim DPG/Stern (mit  $U=12$  (extrapoliert) und  $\eta=6,25\%$ )
- Die Gerade des APGs verläuft deutlich steiler ( $m=0,005\%/Hz$ ) als die des IPGs ( $m=0,002\%/Hz$ ) und liegt außerdem bei jedem Messwert auf einem höheren Niveau

- Der Wirkungsgrad des APGs ist im Allgemeinen signifikant größer als der des IPGs
- Es bilden sich „Sättigungskurven“
- Bei kleinen Widerständen ( $1,7\Omega-2,7\Omega$ ) verlaufen die Kurven ähnlich
- Die Sättigung des IPGs ist deutlich schneller erreicht (ca.  $3,5\Omega$ ) als die des APGs (ca.  $9,0\Omega$ )
- Der Sättigungsbereich des APGs ist mit rund  $\eta=1,9\%$  ca. 3,17 mal so hoch wie der des IPGs ( $\eta=0,6\%$ )

### Fazit/Bewertung

- Existenz einer „Effizienzreihenfolge“: 1. DPG/Dreieck, 2. DPG/Stern, 3. APG und 4. IPG (absteigend)
- Sättigungskurven als Resultate
- Geringe  $\eta$ -Werte (-> Verkettung von vielen verlustreichen Bauteilen)
- Maßgebliche Einflussgröße für einen hohen Wirkungsgrad ist die Stärke des Magnetfeldes ( $U$ -Variation)