

# Fachpraktikum

## Elektrische Maschinen

### Versuch 1:

## Gleichstrommaschine

Basierend auf den Unterlagen von

LD Didactic

Entwickelt von

Daniel Steinert

Am Institut von

Prof. J. W. Kolar

April 2014

Bitte lesen Sie **vor dem Versuchsnahmittag** die theoretische Einführung zu den Gleichstrommaschinen durch. Beantworten Sie ausserdem die Aufgaben zur Versuchsvorbereitung am Ende des Theorieteils. Das Bearbeiten der Aufgaben ist Voraussetzung für die Teilnahme am Praktikumsversuch.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Ziele des Praktikums .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Beschreibung des Versuchsaufbaus .....</b>	<b>2</b>
2.1 Der Versuchsstand .....	2
2.2 Die Gleichstrom-Verbundmaschine.....	3
<b>3 Versuche.....</b>	<b>5</b>
3.1 Der Nebenschlussmotor .....	5
3.2 Der Reihenschlussmotor .....	9
3.3 Rechnergestützte Aufnahme von Belastungskennlinien der Verbundmaschine .....	12
3.4 Gleichstrommaschine im Generatorbetrieb.....	13

### 1 Ziele des Praktikums

- Die Gleichstrommaschine als Nebenschluss- und Reihenschluss mit und ohne Anlasser am Netz anschliessen und anlassen
- Umkehren der Drehrichtung der Maschine
- Bestimmung des Wirkungsgrades der Maschine
- Aufnahmen der Belastungskennlinie für verschiedene Schaltungsarten
- Unterschiede der Nebenschluss- und Reihenschlussmaschine
- Betriebsverhaltens der Gleichstrommaschine als Nebenschluss- und Reihenschlussgenerators

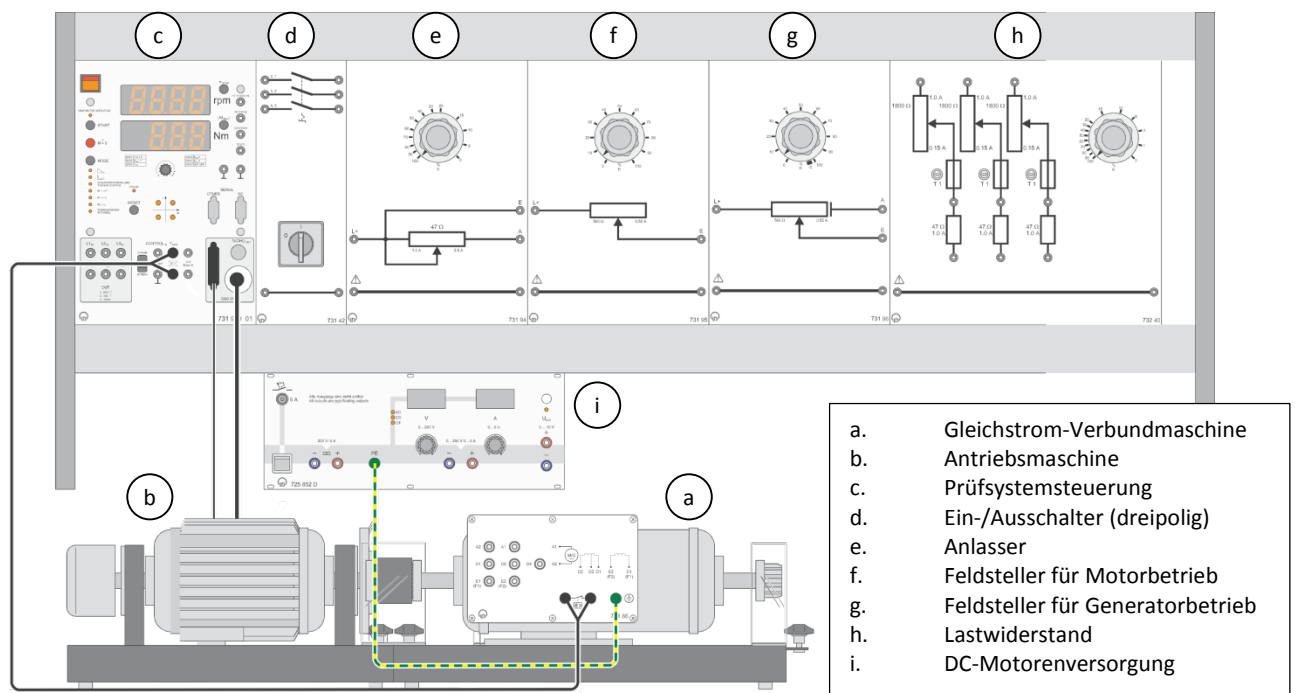
### 2 Beschreibung des Versuchsaufbaus

#### 2.1 Der Versuchsstand

In Abb. 1 ist der Aufbau des Versuchsstandes schematisch dargestellt. Er besteht aus der zu Untersuchenden einer Gleichstrommaschine (a), auch als Prüfling bezeichnet, sowie einer Antriebsmaschine (b). Die Antriebsmaschine dient dazu, den Prüfling je nach den Erfordernissen anzutreiben oder zu bremsen. Der Prüfling kann somit sowohl als Motor wie auch als Generator betrieben werden.

Die Antriebsmaschine ist drehbar („pendelnd“) aufgehängt und wird über einen Hebelarm mit einem Dehnmessstreifen fixiert. Aus der Messung der Abstützkraft kann das Reaktionsmoment der An-

triebsmaschine und damit auch das Lastmoment des Prüflings in jedem Betriebszustand bestimmt werden.



**Abb. 1: Schematischer Aufbau des Versuchsstands**

Die Pendelmaschine wird über die Prüfsystemsteuerung (c) gesteuert. So kann beispielsweise ein konstantes Moment oder eine konstante Drehzahl eingestellt werden. Es können auch verschiedene Kennlinien eingestellt werden, womit die Antriebsmaschine z.B. eine Schwungmasse simulieren kann. Zusätzlich kann ein PC über USB angeschlossen werden, womit automatisch Motorkennlinien aufgenommen werden können.

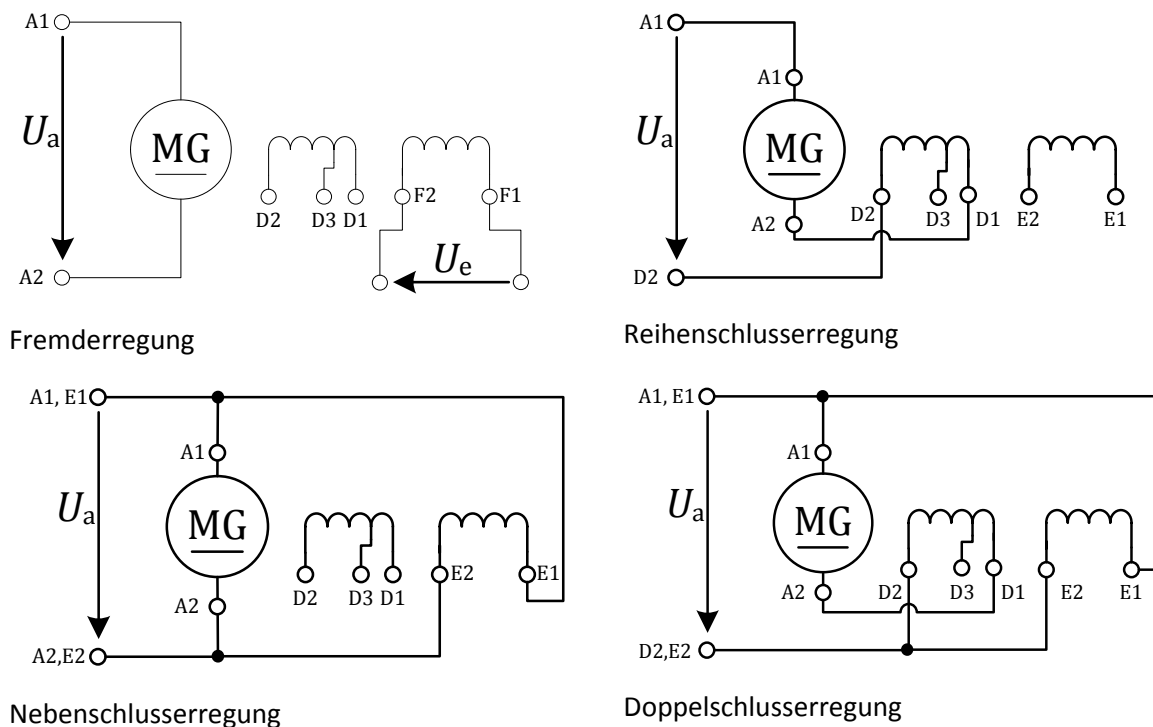
Die DC-Motorenversorgung (i) stellt eine einstellbare Betriebsspannung für die Gleichstrommaschine bereit. Zusätzlich sind Schalter und verschiedene Widerstände (d-h) verfügbar.

## 2.2 Die Gleichstrom-Verbundmaschine

Die Verbundmaschine kann sowohl als Nebenschluss-, als Reihenschluss- wie auch als Doppelschlussmaschine betrieben werden. Tab. 1 zeigt die normierten Anschlussbezeichnungen und Abb.2 die Verschaltung der Wicklungen einer Gleichstrommaschine.

Anschlüsse	Wicklungsbezeichnung
A1 - A2	Ankerwicklung
C1 – C2	Kompensationswicklung
D1 – D3	Erregerwicklung (Reihenschluss)
E1 – E2	Erregerwicklung (Nebenschluss)
F1 – F2	Erregerwicklung (Fremderregung)

**Tab. 1:** Anschlussbezeichnungen der Gleichstrommaschine (VDE 0530, Teil 8).



**Abb.2:** Schaltbilder der Gleichstrommaschine

<b>Daten</b>	
Widerstand der Ankerspulen	$R_A = 11.3 \Omega$
Widerstand der Erregerspulen (Nebenschluss)	$R_E = 579 \Omega$
Widerstand der Erregerspulen (Reihenschluss)	$R_D = 10.3 \Omega$
<b>Nennwerte</b>	
Ankerspannung	$U_{aN} = 220 \text{ V}$
Ankerstrom	$I_{aN} = 1.8 \text{ A}$
Erregerstroms	$I_{eN} = 0.25 \text{ A}$
Nennleistung	$P_N = 0.3 \text{ kW}$
Nenndrehzahl	$n_N = 2000 \text{ min}^{-1}$

**Tab. 2:** Daten und Nennwerte der Praktikumsmaschine.

### 3 Versuche

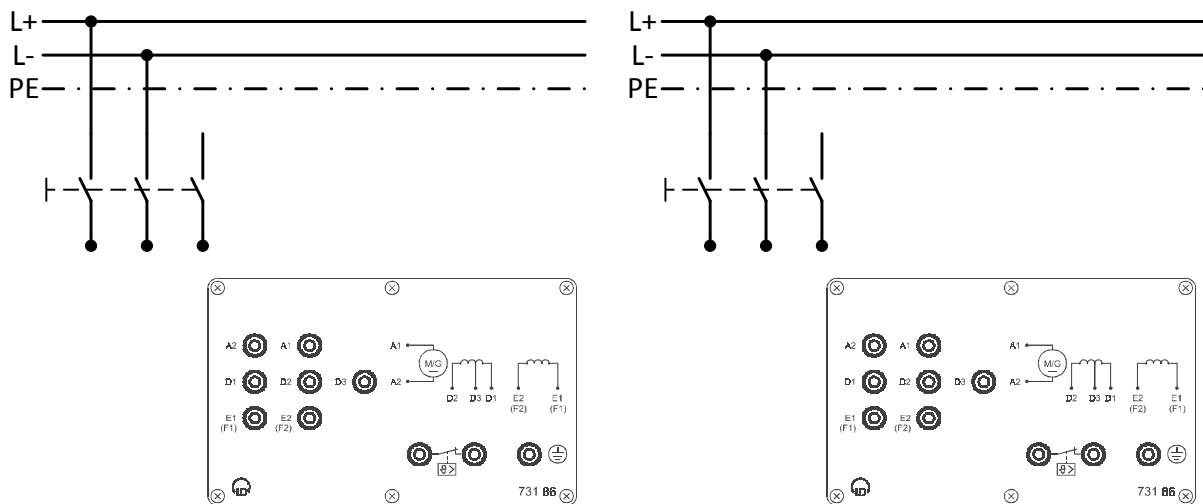
**Achten Sie in den folgenden Versuchen immer darauf, dass für Schaltungen im Nebenschluss immer die Nebenschlusswicklungen (E1 – E2) und für Reihenschluss die Reihenschlusswicklungen (D1 – D2) verwendet werden. Eine falsche Verkabelung kann die Maschine zerstören.**

#### 3.1 Der Nebenschlussmotor

##### 3.1.1 Nennbetriebspunkt und Wirkungsgradbestimmung bei Schaltung als Nebenschlussmotor

Im folgenden Versuch soll die Gleichstrommaschine als Nebenschlussmotor betrieben werden. Die Erregerwicklung wird dabei parallel zur Ankerwicklung geschaltet

- Vervollständigen Sie in die Schaltung der Nebenschlussmaschine für beide Drehrichtungen.



**Abb. 3: Vorbereitung: Schaltung der Verbundmaschine als Nebenschlussmotor für beide Drehrichtungen**

- Bauen Sie eine der beiden Schaltungen nach Schema auf und lassen diese durch den Betreuer kontrollieren.
- Schalten Sie das Maschinenprüfsystem ein, dieses jedoch zunächst nicht aktivieren. Der Prüfling muss unbelastet hochfahren.
- Stellen Sie die Nennbetriebsspannung ein ( $U_{AN} = 220 \text{ V DC}$ )
- Schalten Sie den Motor ein.  
**ACHTUNG: Der Prüfling muss unbelastet hochfahren, da sonst ein zu hoher Einschaltstrom fließen würde. (Anzeige „OFF“ im unteren Display der Prüfsystemsteuerung).**
- Die Gleichstrommaschine läuft jetzt mit ihrer Leerlaufdrehzahl im Nebenschlussbetrieb. Lesen Sie die Drehzahl an der Prüfsystemsteuerung ab:

$$n_0 =$$

Welche Drehrichtung hat der Motor (rechts / links)?

- Schalten Sie den Motor aus und ändern Sie die Drehrichtung (zweite Schaltung). Notieren Sie wiederum die Leerlaufdrehzahl:

$$n_0 =$$

- Falls erforderlich, ändern Sie die Schaltung wieder so, dass die Drehzahl positiv ist.

Um den Wirkungsgrad des Prüflings bestimmen zu können, muss zunächst der „Nennbetriebspunkt“ gefunden werden, also der Betriebszustand, bei der die Maschine genau die auf dem Typenschild angegebene Nennleistung erbringt.

- Schalten Sie den Motor wie oben beschrieben ein. Stellen Sie das Maschinenprüfsystem auf die Betriebsart „Drehmomentregelung“ ein und aktivieren es über den roten Taster (M=0). Stellen Sie anschliessend das in der Vorbereitung ermittelte Nenndrehmoment ein und messen die zugehörige Drehzahl. Eventuell muss dabei die Spannung auf den konstanten Wert entsprechend der Angabe auf dem Typenschild nachgeregelt werden.
- Berechnen Sie aus Drehmoment und Drehzahl die tatsächlich abgegebene Leistung und vergleichen Sie diese mit dem Nennwert der Maschine. Falls erforderlich nehmen Sie am Steuergerät eine kleine Korrektur des Lastmoments vor und berechnen Sie für die neue Drehzahl wiederum die abgegebene Leistung. Verändern Sie das Lastmoment am Steuergerät so lange, bis der Nennbetriebspunkt erreicht ist, d.h. bis die Maschine tatsächlich ihre Nennleistung abgibt.
- Lesen Sie Anschlussstrom und –spannung im Nennbetriebspunkt an der DC-Spannungsversorgung ab und berechnen Sie den Wirkungsgrad der Maschine

		theoretisch	gemessen
Aufgenommene elektrische Leistung	$P_1$		
Abgegebene mechanische Leistung	$P_2$		
Nenndrehzahl	$n_N$		
Nennmoment	$M_N$		
Wirkungsgrad	$\eta$		

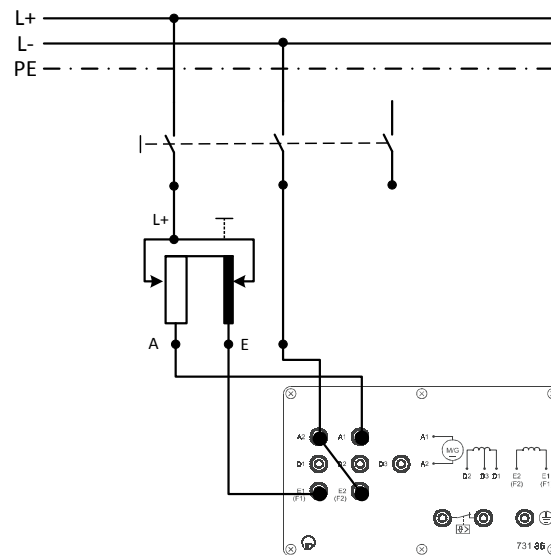
Vergleichen Sie die berechneten und gemessenen Werte und erklären Sie eventuelle Abweichungen.

### 3.1.2 Anlassen der Nebenschlussmaschine unter Last

Da bei Stillstand des Motors keine Gegenspannung induziert wird, haben Nebenschlussmaschinen beim Einschalten einen sehr hohen Einschaltstrom. Der Widerstand der Rotorspulen ist vergleichsweise klein und deshalb ist der Strom beim Einschalten sehr gross. Dadurch kann das Netz oder auch die Maschine überlastet werden.

Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Maschine unter Last angefahren wird, wodurch sich die Drehzahl nur langsam erhöht. Bei unbelastet anlaufenden Maschinen, wie im vorangegangenen Versuch, tritt der hohe Anlaufstrom dagegen nur sehr kurz auf.

Im folgenden Versuch wird die Maschine mechanisch belastet. Dazu wird das Maschinenprüfsystem auf die Betriebsart „Schwungmasse“ eingestellt. Die Antriebsmaschine wird nun so geregelt, dass Sie das Verhalten einer Schwungmasse simuliert. Um den Einschaltstrom beim Einschalten zu begrenzen, schaltet man dem Anker einen Widerstand, den sog. Anlasser, zur Strombegrenzung vor. Der Anlasser besitzt zwei Ausgänge. Der Ausgang E für die Erregerwicklung ist über eine Schiene direkt mit dem Eingang verbunden. Damit wird sichergestellt, dass die Erregerwicklung während des Anlassvorgangs ständig an der vollen Spannung liegt. Beim Abschalten des Motors wird durch diese Verbindung die in der Erregerwicklung auftretende Selbstinduktionsspannung kurzgeschlossen und dadurch Schäden an der Isolation vermieden.



**Abb. 4: Anschluss des Nebenschlussmotors über einen Anlasser**

- Reduzieren Sie die Versorgungsspannung auf **U = 60 V**.
- Bauen Sie die Schaltung auf und lassen sie diese durch den Betreuer kontrollieren.
- Stellen Sie Anlasswiderstand auf 100 %. Schalten Sie die Maschine ein und lesen Sie gleichzeitig den maximalen Strom sowie das Antriebsmoment ab.
- Mit steigender Drehzahl der Maschine kann der Vorwiderstand langsam reduziert werden. Achten Sie darauf, dass der Strom 2 A nicht überschreitet.
- Stellen Sie den Anlasswiderstand nun auf 0 % und wiederholen Sie den Versuch.

		R = 100 %	R = 0 %
maximaler Anlaufstrom	$I_{A,max}$		
Antriebsmoment	M		

### 3.1.3 Feldschwächung des Nebenschlussmotors

Durch Verringern des Erregerfeldes kann die Drehzahl eines Nebenschlussmotors über ihren Nennwert hinaus erhöht werden. In diesem sog. Feldschwächbereich geht das Drehmoment der Maschine (bei konstantem Ankerstrom) zurück. Durch die höhere Drehzahl ergibt sich jedoch eine konstante Leistung. Bei zu starker Feldschwächung kann die Drehzahl die maximal zulässige Drehzahl überschreiten, d.h. der Motor „geht durch“.

Durch einen zusätzlichen Widerstand im Erregerkreis kann der Erregerstrom verringert werden.

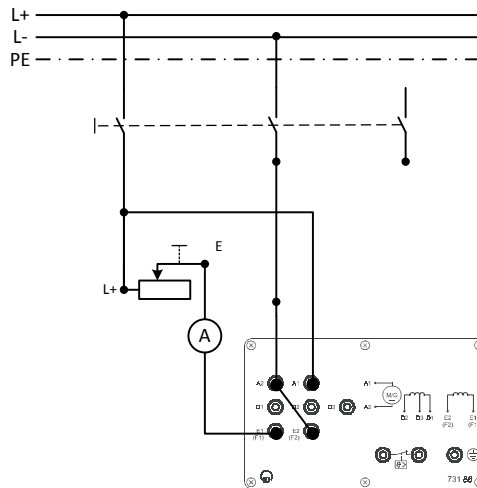
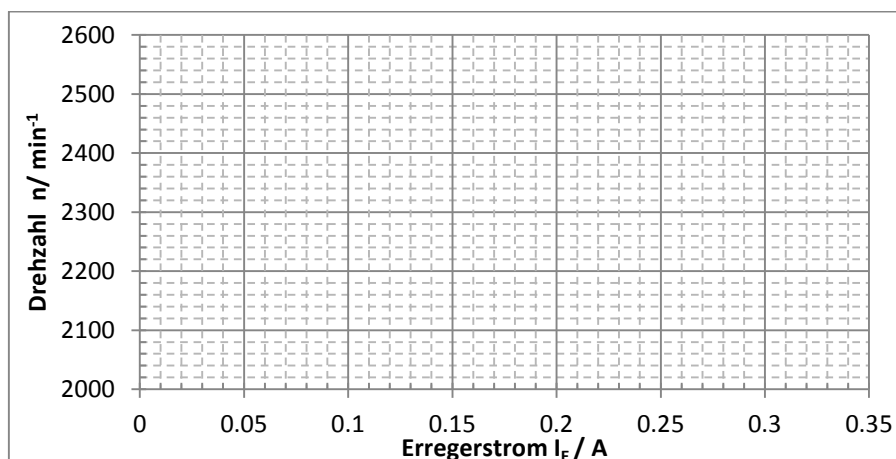


Abb. 5: Nebenschlussmaschine mit Feldsteller

- Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 5 auf
- Stellen sie die Versorgungsspannung wieder auf Nennspannung ein ( $U_{AN} = 220 \text{ V DC}$ )
- Lassen Sie die Maschine unbelastet hoch laufen, aktivieren Sie das Maschinenprüfsystem (Betriebsart „Drehmomentregelung“) und stellen Sie manuell das bei der Wirkungsgradbestimmung ermittelte Nennmoment ein.
- Messen Sie die Drehzahl und den Erregerstrom für verschiedene Stellungen des Feldstellers. Stellen Sie die Drehzahl in Abhängigkeit des Erregerstroms dar.
- Erklären Sie das Verhalten der Maschine.



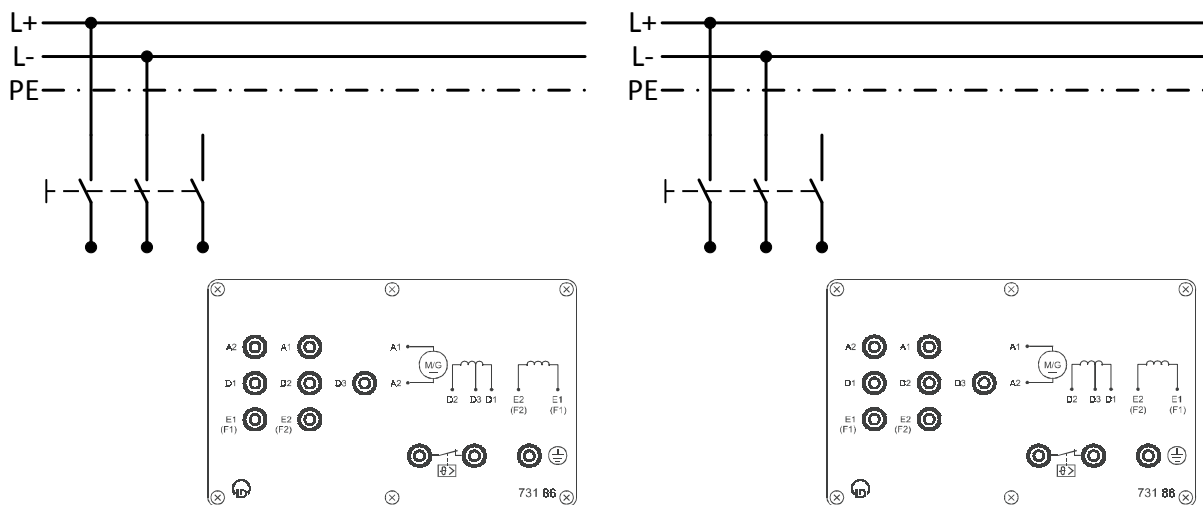


### 3.2 Der Reihenschlussmotor

#### 3.2.1 Nennbetriebspunkt und Wirkungsgradbestimmung bei Schaltung als Reihenschlussmotor

Im folgenden Versuch soll die Gleichstrommaschine als Reihenschlussmotor betrieben werden. Ankerwicklung und Erregerwicklung sind hier in Serie geschaltet.

- Vervollständigen Sie die Schaltung in Abb. 6 für beide Drehrichtungen des Reihenschlussmotors



**Abb. 6: Vorbereitung: Schaltung der Verbundmaschine als Reihenschlussmotor für beide Drehrichtungen**

**Achtung:** Die Leerlaufdrehzahl des unbelasteten Reihenschlussmotors ist sehr gross. **Die Drehzahl der Maschine darf 5000 min<sup>-1</sup> nicht überschreiten.** Nehmen Sie deshalb den Reihenschlussmotor immer mit reduzierter Spannung in Betrieb (etwa 100 V), aktivieren dann das Maschinenprüfsystem und erhöhen Moment und Spannung so, dass die zulässige Drehzahl nicht überschritten wird.

**Achtung:** Für die Reihenschlusschaltung muss die Reihenschlusswicklung (Anschlüsse D1 – D3) verwendet werden. Achten Sie darauf die Schaltung im Vergleich zu den vorherigen Versuchen abzuändern.

- Bauen Sie eine der beiden Schaltungen auf und lassen diese durch den Betreuer kontrollieren.
- Nehmen Sie den Motor mit einer Betriebsspannung von 100 V in Betrieb. Notieren Sie die Drehrichtung:
- Bauen Sie die zweite Schaltung auf. Drehrichtung:
- Ändern Sie die Schaltung wieder so, dass die Drehrichtung positiv ist.

Gehen Sie zur Wirkungsgradbestimmung der Reihenschlussmaschine ähnlich vor wie in Versuch 3.1.1.

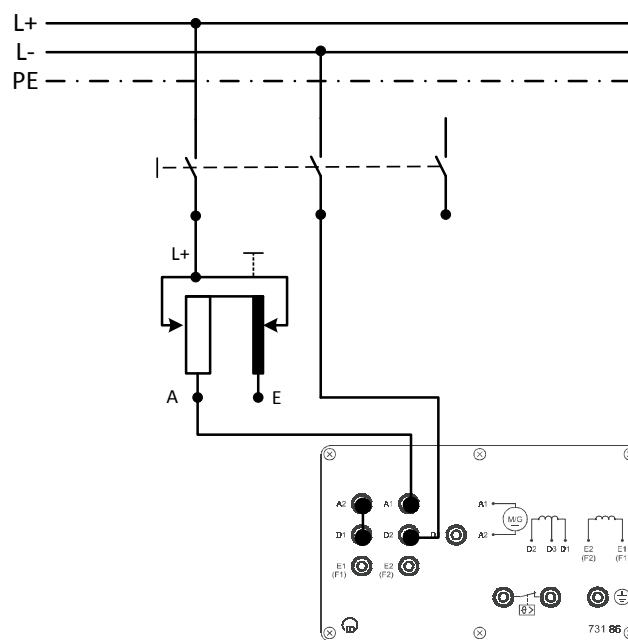
- Nehmen Sie den Motor wieder bei etwa 100 V in Betrieb
- Erhöhen Sie das Lastmoment und die Betriebsspannung vorsichtig, bis der Nennbetriebspunkt erreicht ist. Dies ist der Betriebszustand, in dem die Maschine die auf dem Typenschild abgegebene Leistung erbringt (300 W).
- Ermitteln Sie den Wirkungsgrad der Maschine

		theoretisch	gemessen
Aufgenommene elektrische Leistung	$P_1$		
Abgegebene mechanische Leistung	$P_2$		
Nenn Drehzahl	$n_N$		
Nennmoment	$M_N$		
Wirkungsgrad	$\eta$		

- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Nebenschlussmaschine. Wie begründen Sie die Unterschiede?

### 3.2.2 Anlassen der Reihenschlussmaschine unter Last

Auch beim Reihenschlussmotor entstehen hohe Anlassströme beim Anfahren unter Last.



**Abb. 7: Anschluss des Reihenschlussmotors über einen Anlasser**

Gehen Sie vor wie in Versuch 3.1.2.

- Stellen Sie das Maschinenprüfsystem in den Modus „Schwungmasse“ und die Versorgungsspannung auf 60 V.

- Fahren Sie die Maschine jeweils mit 100 % und 0 % des Anlasswiderstandes an. Notieren Sie jeweils den maximalen Strom und das maximale Antriebsmoment beim Anfahren des Motors.

		R = 100 %	R = 0 %
maximaler Anlaufstrom	$I_{A,max}$		
Antriebsmoment	M		

- Vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem Nebenschlussmotor und erklären Sie die Unterschiede.

### 3.2.3 Feldschwächung des Reihenschlussmotors (OPTIONAL)

Ähnlich wie beim Nebenschlussmotor kann auch beim Reihenschlussmotor das Erregerfeld geschwächt und dadurch die Drehzahl erhöht werden.

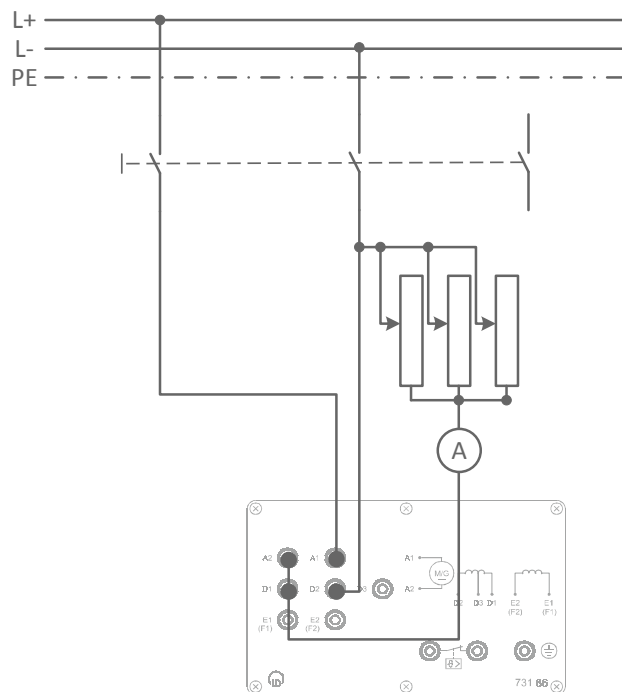
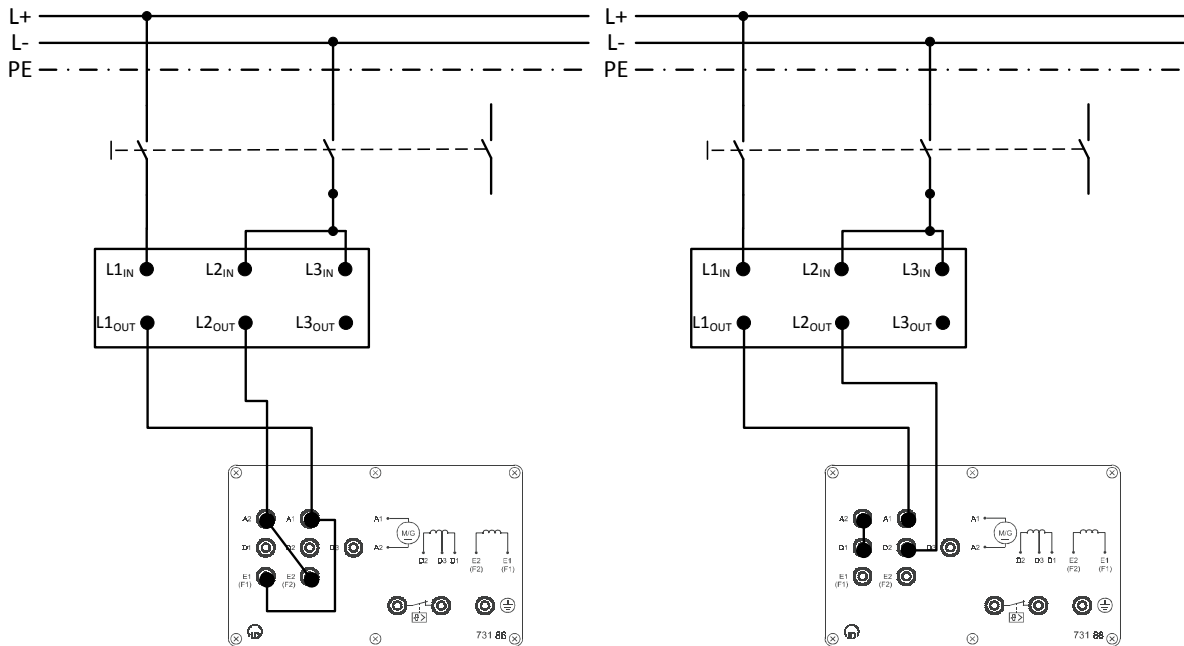


Abb. 8: Schaltung zur Feldschwächung am Reihenschlussmotor durch einen Feldnebenwiderstand

- Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 8 auf. Achten Sie darauf, die drei Widerstände parallel zu schalten, da diese sonst überlastet werden können.
- Nehmen Sie den Reihenschlussmotor zunächst mit reduzierter Spannung in Betrieb und erhöhen anschließend Lastmoment und die Spannung bis zum Nennbetriebspunkt (Widerstand auf 100 %).
- Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Drehzahl und Strom durch den Nebenwiderstand graphisch dar.

### 3.3 Rechnergestützte Aufnahme von Belastungskennlinien der Verbundmaschine



**Abb. 9: Schaltungen zur rechnergestützten Kennlinienaufnahme des Nebenschlussmotors (links) und des Reihenschlussmotors (rechts)**

Nehmen Sie mit Hilfe der PC-Software MOMO (CBM 10) die Belastungskennlinien für Nebenschluss- und Reihenschlussmotor auf.

Wählen Sie zunächst im Menü „Konfigurieren“ die Betriebsart „Belastungskennlinien“. Stellen Sie bei den dortigen Parametern die Start- und Stoppdrehzahlen wie folgt ein:

1. Für Nebenschlussmotor: Startdrehzahl = Leerlaufdrehzahl; Stoppdrehzahl =  $1600 \text{ min}^{-1}$ ; Rampenzeit 15 s
2. Für Reihenschlussmotor: Startdrehzahl =  $4000 \text{ min}^{-1}$ ; Stoppdrehzahl =  $1000 \text{ min}^{-1}$ ; Rampenzeit 10 s

Lassen Sie die Maschine nun wie bei den vorigen Versuchen hoch laufen und synchronisieren Sie mit dem Prüfsystem. Wählen Sie am PC den Modus „Messung automatisch“ und starten Sie den Messvorgang.

Stellen Sie in einem Diagramm das Lastmoment ( $M$ ), den Gesamtstrom ( $I$ ) und den Wirkungsgrad ( $\eta$ ) dar.

Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen Nebenschluss- und Reihenschlussmotor.

### 3.4 Gleichstrommaschine im Generatorbetrieb

In den folgenden Versuchen wird die Verbundmaschine als Generator eingesetzt. Dazu wird Sie durch die Prüfmaschine angetrieben.

Schalten sie zunächst das Steuergerät aus. Drücken und halten Sie anschliessend den Knopf „Start“ und schalten das Steuergerät wieder ein. Das Maschinenprüfsystem ist nun bereit für den Generatorbetrieb.

#### 3.4.1 Selbsterregter Nebenschluss-Generator

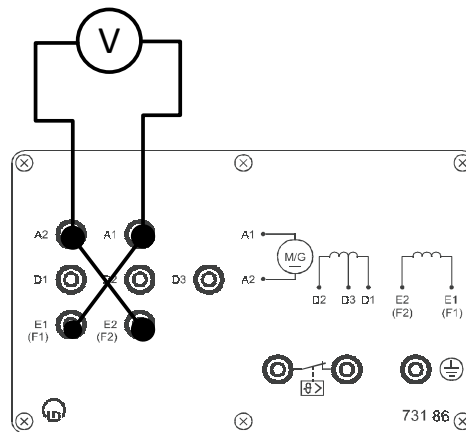
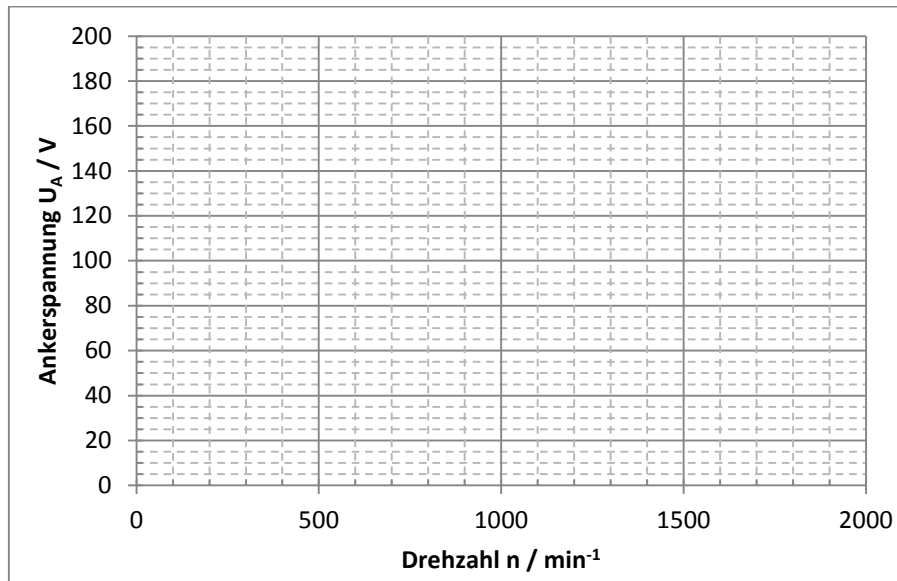


Abb. 10: Schaltung als selbsterregter Nebenschluss-Generator zur Aufnahme der Leerlaufkennlinie

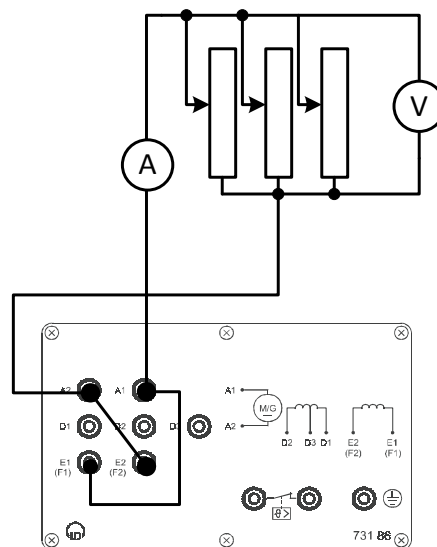
- Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 10 auf.
- Treiben Sie die Nebenschlussmaschine mit Hilfe der Prüfmaschine bei Nenndrehzahl an (siehe Leistungsschild).
- Notieren Sie die Ankerspannung der Maschine samt ihrer Polarität.
- Ändern Sie die Drehrichtung der Prüfmaschine und wiederholen die Messung.
- Polen Sie nun bei stillstehender Maschine die Erregerwicklung um, d.h. verbinden Sie Klemme E1 mit A2 und E2 mit A1.
- Wiederholen Sie den Versuch bei positiver und negativer Drehzahl

	$n > 0$	$n < 0$
Schaltung nach Abb. 10		
Umgepolte Erregerwicklung		

- Interpretieren Sie das Ergebnis.
- Nehmen Sie nun die obige Änderung wieder zurück und messen Sie die Ankerspannung in Abhängigkeit der Drehzahl (0-2000  $\text{min}^{-1}$ )

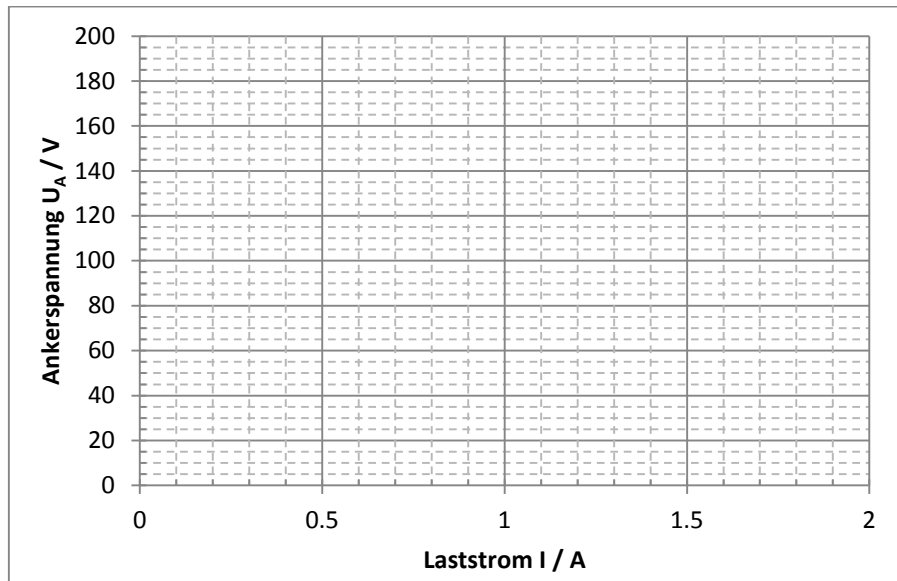


- Erklären Sie den Verlauf der Kennlinie.
- Ändern Sie die Schaltung nach Abb. 11 ab, so dass der Generator mit einem Widerstand belastet wird.



**Abb. 11: Schaltung als Nebenschlussgenerator zur Aufnahme der Belastungskennlinie**

- Treiben Sie die Maschine bei Nenn Drehzahl an und verändern Sie den Wert des Belastungswiderstandes von 100% ausgehend. Stellen Sie die Ankerspannung in Abhängigkeit des Laststromes dar.



### 3.4.2 Reihenschluss-Generator

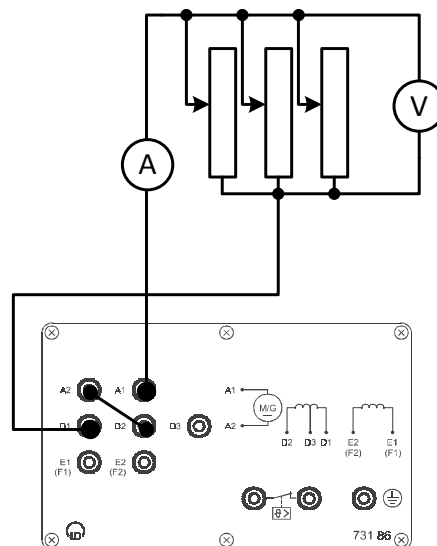


Abb. 12: Schaltung als selbsterregter Reihenschlussgenerator-Generator zur Aufnahme der Belastungskennlinie

- Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 12 auf.
- Stellen Sie an der ohmschen Last den Wert 100% ein.
- Treiben Sie den Generator mit positiver und anschliessend mit negativer Nenndrehzahl an. Notieren Sie Spannung und Polarität:

	$n > 0$	$n < 0$
Ankerspannung		

- Vergleichen Sie die Werte mit denen des Nebenschlussgenerators
- Treiben Sie die Maschine bei Nenndrehzahl an und verändern Sie den Wert des Belastungswiderstandes von 100% ausgehend, **jedoch nicht tiefer als 10 %**. Stellen Sie die Ankerspan-

nung und die abgegebene elektrische Leistung in Abhängigkeit des Laststromes dar. **Achten Sie darauf, den Widerstand nicht zu überlasten und führen Sie den Versuch bei geringen Widerstandswerten zügig durch.**

- Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem des Nebenschlussgenerators

