

Bearbeiter

Dittrich, Paul-Gerald

Ueberfeldt, Nico

.....

Datum der  
Versuchsdurchführung

09. Dezember 2010

## Versuchsprotokoll

Versuchsbezeichnung

Gleichstrom Kommutatormaschine

### Messschaltungen für die Durchführung der Versuche

	<p>...für Aufgabe 6.1. fremderregter Gleichstrommotor</p>
	<p>...für Aufgabe 6.3. Gleichstrom - Reihenschlußmotor</p>
	<p>...für Aufgabe 6.4. Fremderregter Gleichstromgenerator</p>
	<p>...für Aufgabe 6.5. Selbsterregter Gleichstrom - Nebenschlußgenerator</p>

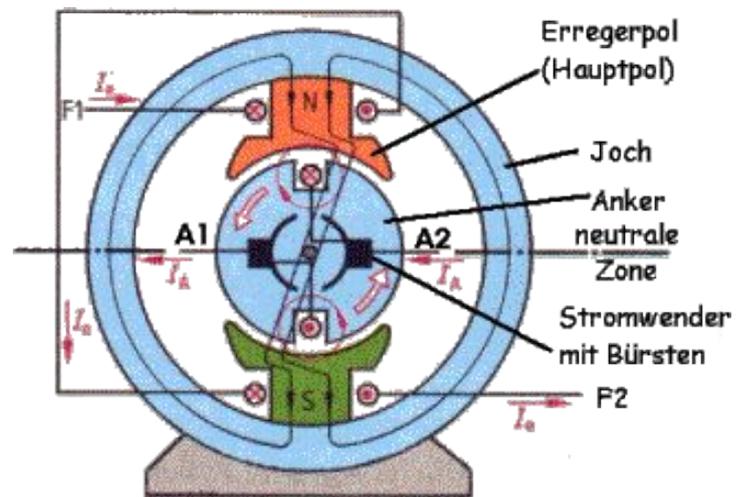
## Aufbau und Funktionsweise einer Gleichstrommaschine

Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Gleichstrommaschine (GSM). Diese besteht aus den feststehenden Komponenten:

- Joch
- Polschuhe
- Erregerwicklung

sowie aus den Rotierenden Komponenten:

- Anker
- Ankerwicklung
- Kommutator



### Joch und Erregerwicklung

Wenn durch die Erregerwicklung, welche sich am Joch befinden, ein Gleichstrom fließt, entsteht ein magnetischer Erregerfluss  $\Phi$ . Dieser wird über die Polschuhe zum Anker geleitet und ruft eine Induktion  $B$  hervor. Das Material des Joches und der Polschuhe ist ein ferromagnetisches Metall (Eisen).

**Induktionsgesetz der Bewegung:**  $U_i = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l}$

Bewegt sich ein Leiter der Länge  $l$  in einem magnetischen Feld  $\vec{B}$  mit einer Geschwindigkeit  $\vec{v}$ , wird eine Spannung  $U_i$  induziert.

### Anker und Ankerwicklung

Als solchen wird derjenige Teil einer rotierenden elektrischen Maschine bezeichnet, in welcher eine Spannung induziert wird. Dieser besteht in der Regel aus Eisen.

Stellen wir uns vor, dass der Anker mit seinen Wicklungen rotiert und ein Erregerstrom anliegt (Generatorbetrieb). Der Erregerstrom erzeugt wie zuvor beschrieben ein magnetisches Feld, indem der Anker rotiert und somit eine Spannung in die Ankerwicklungen induziert wird (Induktionsgesetz). Diese wird über den Kommutator abgegriffen.

Fließt nun ein Strom durch die Ankerwicklungen (Motorbetrieb), ziehen sich die gegensätzlichen Pole des Ankers und der Polschuhe an. Dieses Phänomen ist der Lorenzkraft zuzuschreiben.

Durch den Kommutator wird nun ständig die Polung des Ankers geändert, wodurch eine gleichmäßige Rotation des Ankers entsteht.

**Kraftwirkung auf einem Leiter (Lorenzkraft):**  $\vec{F} = \oint I(d\vec{l} \times \vec{B})$

Auf einen Leiter der Länge  $l$ , der vom Strom  $I$  durchflossen wird und sich in einem Magnetfeld  $\vec{B}$  befindet, wirkt eine Kraft  $\vec{F}$ . Der Vektor  $\vec{l}$  zeigt in die Richtung des Stromes  $I$ .

Für den Motor gilt:

$$\vec{l} \perp \vec{B} \quad \vec{l} \perp \vec{F}$$

$$F = I \cdot l \cdot B$$

Für den Generator gilt:

$$\vec{v} \perp \vec{B} \quad \vec{v} \perp \vec{l}$$

$$U_i = v \cdot B \cdot l$$



**Kommutator**

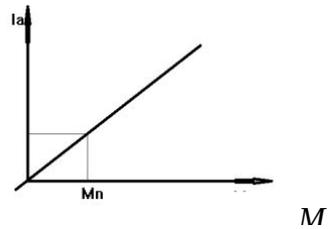
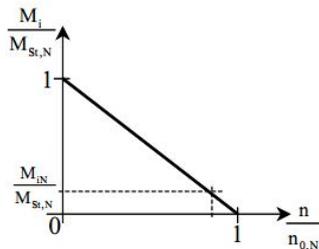
Dieser besteht aus Kommutator Lamellen und Kohlebürsten und dient zum abgreifen bzw. zuführen des Ankerstromes. Der Strom des Ankers wird mechanisch Gleichgerichtet. Dies geschieht über die Lamellen, welche mit den Wicklungen verbunden sind. Durch die Rotation des Ankers und den feststehenden Kohlebürsten werden die Wicklungen kurzgeschlossen und die Stromrichtung kehrt sich um. Diesen Vorgang nennt man Stromwendung oder auch Kommutierung. Dadurch wird auch im Motobetrieb eine gleichmäßige Kraft welche auf die Rotation des Ankers wirkt und somit eine gleichmäßige Drehung realisiert.

**Gleichungen und Zusammenhänge**

**Drehzahl, Moment  $n(M)$  und Ankerstrom  $I_A(M)$**

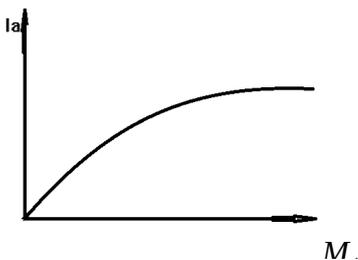
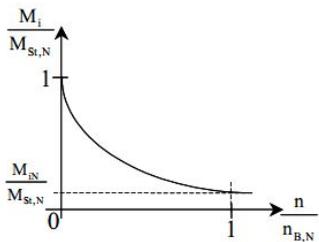
Nebenschlußmaschine:

$$\frac{M_i}{M_{Stillstand}} = \frac{I_A}{I_{A_{Stillstand}}} = 1 - \frac{n}{n_0}$$



Reihenschlußmaschine:

$$\frac{M_i}{M_{Stillstand,N}} = \left( \frac{I_A}{I_N} \right)^2 = \frac{1}{\left( 1 + \frac{n}{n_{B,N}} \right)^2}$$



## Leistung P1, abgegebene Leistung P2 und Wirkungsgrad

Wirkungsgrad:  $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$

Abgegebene Leistung:  $P_{ab} = 2 \pi n \cdot M$

Zugeführte Leistung:  $P_{zu} = U_A \cdot I_A$

## Leistungsschilddaten in Bild 2

$U_A = 220 \text{ V}; I_A = 2,2 \text{ A}; P_N = 300 \text{ W};$

$n = 2000 \frac{\text{U}}{\text{min}}; U_F = 22 \text{ V}; I_F = 0,45 \text{ A}$

Typ	731 91		
- MOTOR	Nr.	200 26 976	
220	V	2,2	A
0.3	KW	S 1	cosφ --
2000	U/min	--	Hz
Err	220	V	0.45
Isol.-Kl.	F	IP 23	t
VDE 0530			

Drehmoment:

$$\omega = 2 \pi n = \frac{2 \pi \cdot 2000 \text{ Umin}^{-1}}{60 \text{ s}} = 209,441 \text{ s}^{-1}$$

$$M_N = \frac{P_N}{\omega} = \frac{300 \text{ W}}{209,441 \text{ s}^{-1}} = 1,43 \text{ Nm}$$

Zug. Leistung:

$$P_{zu,N} = U_A I_A + U_F I_F = 220 \text{ V} \cdot 2,2 \text{ A} + 220 \text{ V} \cdot 0,45 \text{ A} = 583 \text{ W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{300 \text{ W}}{583 \text{ W}} = 51 \%$$

## Gefahr beim unbelasteten Gleichstrom-Reihenschluß-Motor

Schaltet man die Ankerwicklungen mit den Erregerwicklungen in Reihe, so hängt auch das Magnetfeld vom Ankerstrom ab. Stellen wir uns vor wir lassen den Motor von null andrehen. Am Anfang würde ein sehr hoher Strom  $I_A$  fließen. Wenn der Motor sich in Bewegung setzt sinkt dieser und die Drehzahl erhöht sich. Durch Selbstinduktion wird das Magnetfeld geschwächt und das Drehmoment nimmt ab, bis dieser, der Strom  $I_A$  und damit  $\phi$  gegen null gehen. Das ergibt eine gegen unendlich gehende Drehzahl, die mit einem Widerstand in Form einer Last entgegenwirken muss.

**Wird dieser Fakt vernachlässigt, kann das den Anker Zereisen und Kohlebürsten zerstören!**

Mathematisch kann man hier auch die Zusammenhänge von den entsprechenden Größen erkennen:

**Drehzahl und Moment**  $n(M)$ :

$$n(M) = \frac{I_A U_i}{2\pi \cdot M_i}$$

Herleitung:

$$\text{Induktionsgesetz: } U_i = c_1 n \phi$$

$$\text{Maschinenkonstanten: } c_1 = z_A \cdot p = 2\pi c_2$$

$$\text{Drehmoment: } M_i = c_2 I_A \phi$$

Induktionsgesetz umstellen:

$$\rightarrow c_2 = \frac{U_i}{2\pi \cdot n \cdot \phi}$$

In Drehmoment einsetzen und Umstellen:

$$\rightarrow n(M) = \frac{I_A U_i}{2\pi \cdot M_i}$$

**Ankerstrom und Moment**  $I_A(M)$ :

$$I_A(M) = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_i}{U_i}$$

## Strom-Spannungskennlinie des selbsterregten Nebenschluß-Generators

Bei einem selbsterregten Nebenschluß-Generator werden die Feldwicklungen durch die selbst erzeugte Spannung gespeist. Dieses wird durch die **Remanenz** des Eisens, welches auch bei  $I_f = 0$ , ein endliches Feld aufweist.

Mit der Annahme  $n = konst.$  und  $R_A = 0$  erhält man:

$$I_f = \frac{U_q}{R_f}$$

$$U_q = I_f \cdot R_f \quad R_A \ll R_f \quad L_A \ll L_f$$

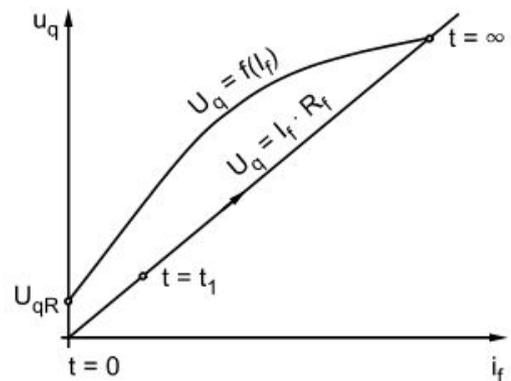
Erregerkreis:

$$u_q = L_f \cdot \frac{di_f}{dt} + R_f \cdot i_f$$

$$\frac{di_f}{dt} = \frac{1}{L_f} \cdot (u_q - i_f \cdot R_f)$$

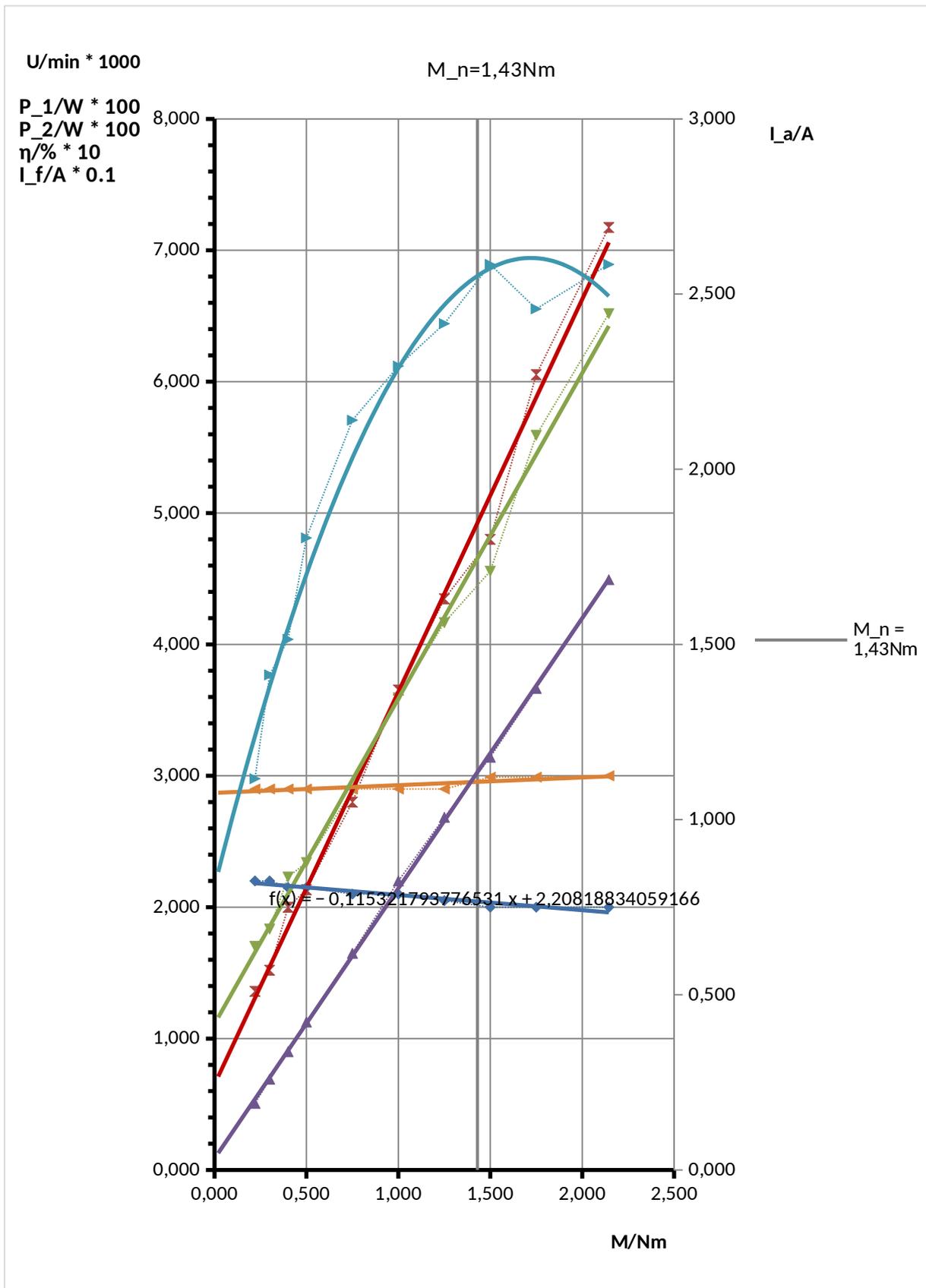
Daraus folgt:

$$u_q > i_f R_f \rightarrow \frac{di_f}{dt} > 0$$



$i_f$  nimmt solange zu, bis  $u_q = i_f R_f$  ist. Dieser Punkt ist der stationäre Betriebspunkt. Tatsächlich darf  $R_A$  nicht vernachlässigt werden. Bei Belastung des Generators wird durch  $I_A \cdot R_A$  das Feld geschwächt. Daraus folgt, das  $u_q$  kleiner wird.

### 6.1. Belastungskennlinien des fremderregten - Gleichstrommotors





$U_a/V$        $U_f$        $M_n$   
220            200            1,43

M/Nm	n/ U/min	I <sub>a</sub> /A	P <sub>1</sub> /W	P <sub>2</sub> /W	η	I <sub>f</sub> /A
2,145	2000	2,69	651,8	449,2	0,689	0,3
1,750	2000	2,27	559,2	366,5	0,655	0,299
1,500	2000	1,80	455,8	314,2	0,689	0,299
1,250	2050	1,63	416,6	268,3	0,644	0,29
1,000	2100	1,37	359,4	219,9	0,612	0,29
0,750	2100	1,05	289,0	164,9	0,571	0,29
0,500	2150	0,80	234,0	112,6	0,481	0,29
0,400	2150	0,75	223,0	90,1	0,404	0,29
0,300	2200	0,57	183,4	69,1	0,377	0,29
0,220	2200	0,51	170,2	50,7	0,298	0,29

$c\phi$ :

$$c\phi = \frac{M_i}{I_A} = 0,73 \frac{Nm}{A}$$

Stillstandsmoment  $M_A$ :

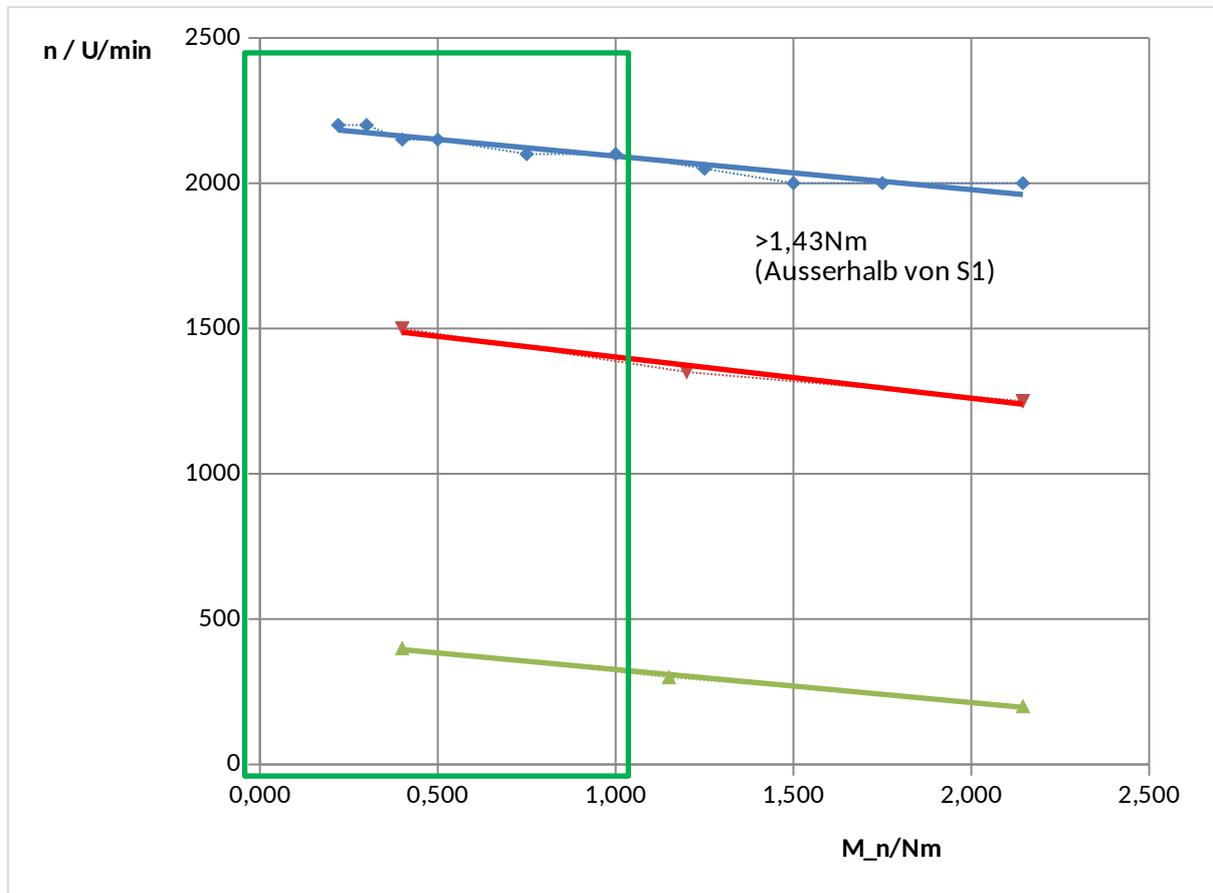
$$M_A = \frac{2,208}{0,1153} Nm = 19,15 Nm \text{ (Aus dem Anstieg der Gerade)}$$

Anlaufstrom  $I_{An}$ :

$$M_A = c\phi I_{An}$$

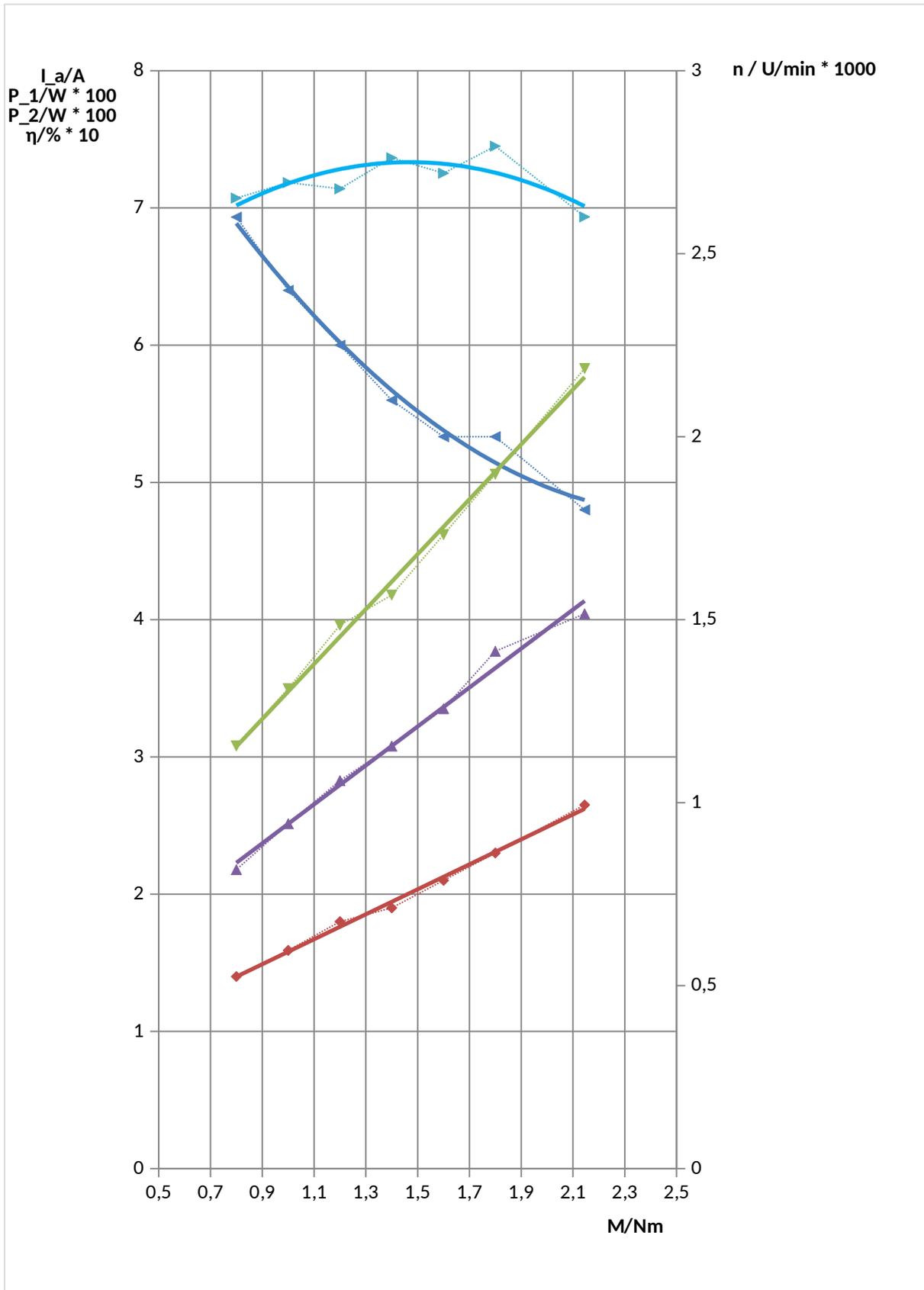
$$I_{An} = \frac{19,15 Nm}{0,73 Nm A^{-1}} = 26,2 A$$

## 6.2. Drehzahl-Drehmomentkennlinien des fremderregten Gleichstrommotors im Ankerstellbereich



$U_a/V$ 220		$U_a/V$ 150		$U_a/V$ 50	
M/Nm	n/ U/min	M/Nm	n/ U/min	M/Nm	n/ U/min
2,145	2000	2,145	1250	2,145	200
1,750	2000	1,2	1350	1,15	300
1,500	2000	0,4	1500	0,4	400
1,250	2050				
1,000	2100				
0,750	2100				
0,500	2150				
0,400	2150				
0,300	2200				
0,220	2200				

### 6.3. Belastungskennlinien des Gleichstrom-Reihenschlußmotors



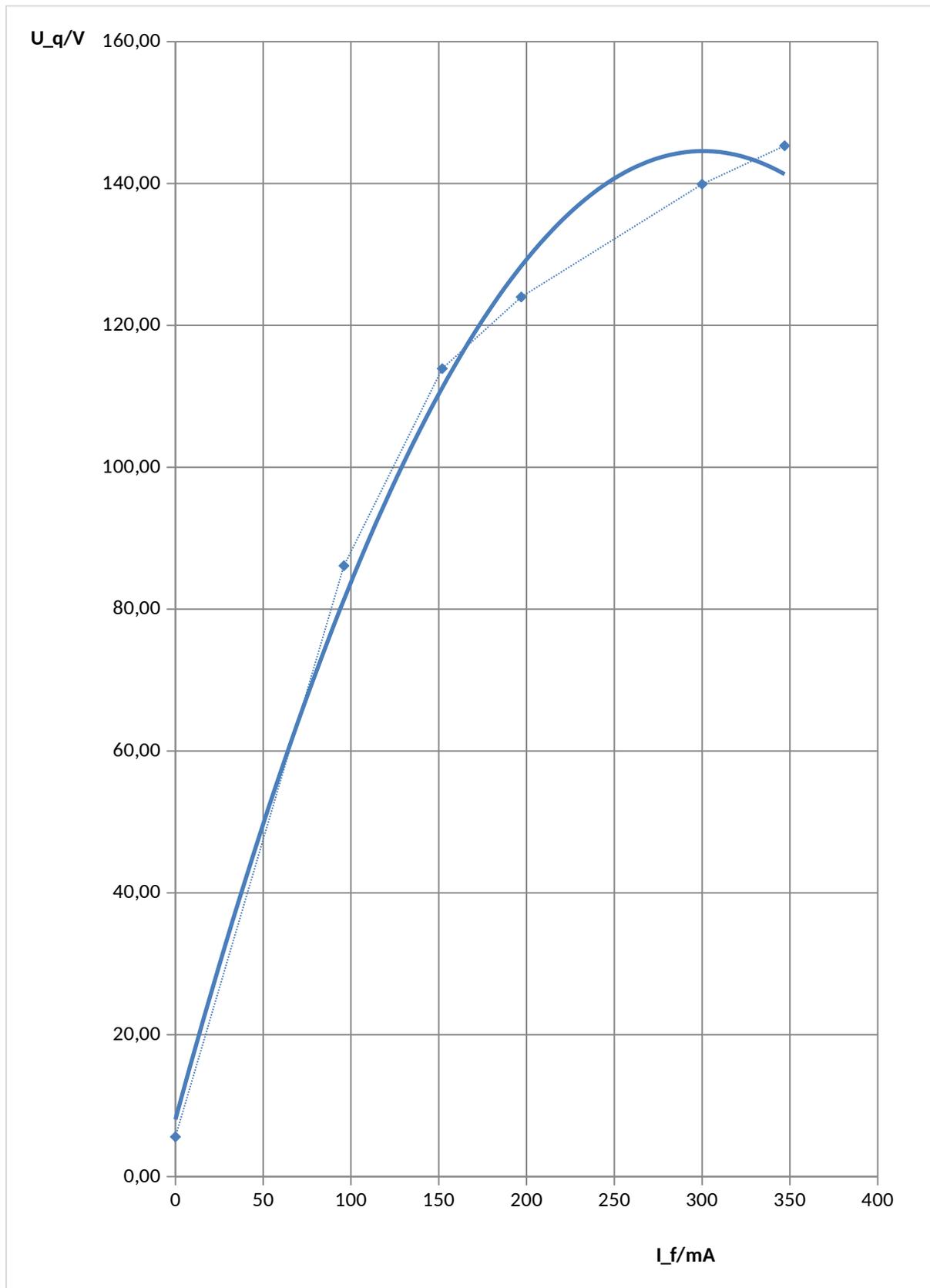
U/V

220

M/Nm	n/ U/min	I <sub>a</sub> /A	P <sub>1</sub> /W	P <sub>2</sub> /W	η
2,145	1800	2,65	583,0	404,3	0,694
1,8	2000	2,3	506,0	377,0	0,745
1,6	2000	2,1	462,0	335,1	0,725
1,4	2100	1,9	418,0	307,9	0,737
1,2	2250	1,8	396,0	282,7	0,714
1	2400	1,59	349,8	251,3	0,718
0,8	2600	1,4	308,0	217,8	0,707

Im Gegensatz zum fremderregten Gleichstrommotor bleibt hier das Drehmoment nicht konstant. Welches dazu führt das der Wirkungsgrad Konstant bleibt. Der fremderregte würde sich daher zum Beispiel als Positionierung-Antrieb eignen. Der Reihenschluß eher für Autos als Antrieb, welcher bei niedriger last viele Umdrehungen zuläßt und bei großer Last ein hohes Drehmoment.

### 6.4. Fremderregter Gleichstromgenerator



n

1500

I <sub>f</sub> /mA	U <sub>q</sub> /V
0	5,60
96	86,10
152	113,90
197	124,00
300	139,90
347	145,32

Motorkonstante  $c\phi$ :

$$c\phi = \frac{U_q}{2\pi n} = \frac{139,9V}{2\pi \cdot \frac{1500}{60} U/s} = 0,89 \frac{Nm}{A}$$