

Durch den Motor ist es möglich, elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln. Wird eine Leiterschleife in einem Magnetfeld drehbar gelagert und schickt man einen Strom durch die Leiterschleife, so erzeugt sie ihrerseits wieder ein Magnetfeld. Aufgrund der Kraftwirkungen zwischen den beiden Magnetfeldern wird sich die Leiterschleife entsprechend ausrichten, die Achse dreht sich so weit, bis sich die entgegengesetzten magnetischen Pole gegenüberstehen. Das Drehmoment, das auf die Leiterschleife wirkt ist

$$\vec{M}_{mech} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$$

mit dem Strom I, der Fläche A der Leiterschleife und dem Magnetfeld B.

Da ein Motor sich aber fortlaufend drehen soll, und nicht nur soweit bis die entgegengesetzten Pole sich gegenüberstehen (Gleichgewichtszustand), muß in diesem Moment der Strom durch die Leiterschleife umgekehrt werden. Dadurch dreht sich die Leiterschleife um weitere 180°. Führt man diesen Vorgang laufend fort, so erhält man eine Drehbewegung. Die periodische Stromumkehr erreicht man durch den Stromwender (Kommutator oder Kollector), welcher sich auf der Motorachse befindet. Er besteht aus zwei gegenseitig isolierten Teilen, die mit der Leiterschleife verbunden sind. Der Strom wird über zwei Bürsten auf ihn übertragen, und der Strom nach 180° gewendet.

Im Prinzip erhält man so einen Motor, der allerdings noch einige Nachteile hat. Statt einer Leiterschleife verwendet man tatsächlich Spulen, da ansonsten ein sehr großer Strom für ein gleichstarkes Magnetfeld erforderlich wäre. Ein weiterer Nachteil ist, daß das Drehmoment sehr stark schwankt. Um dies zu verhindern verwendet man mehrere Wicklungen, die in Unterschiedlichen Winkeln auf dem Anker angeordnet sind. Damit muß natürlich auch der Stromwender entsprechend mehrfach unterbrochen sein.

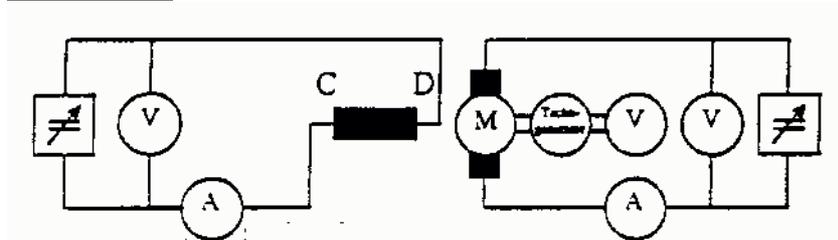
Durch die Drehung der Leiter im Magnetfeld wird in sie eine Spannung, eine Gegenspannung, induziert.

$$U_{kl} = U_{ind} + I_A \cdot R_A$$

Die Klemmenspannung des Motors steht im Gleichgewicht mit dem Spannungsabfall am inneren Widerstand des Motors und der in den Anker induzierten Spannung. Die beiden Felder wirken folglich gegenseitig aufeinander ein.

Es gibt verschiedene Arten von Motoren, den Neben- und den Reihenschlußmotor. Beim Nebenschlußmotor liegt Spule für das äußere Magnetfeld parallel zu den Ankerspulen. Der Vorteil des Nebenschlußmotors liegt darin, daß seine Drehzahl nicht so stark von der Belastung abhängt. Sein Anlaufvermögen ist jedoch gering. Beim Reihenschlußmotor liegen die beiden Spulen in Reihe. Er hat ein hohes Anlaufvermögen, jedoch ist die Drehzahl stark von der Belastung abhängig. Wir behandeln hier jedoch nur den Nebenschlußmotor.

1. Aufnahme der Leerlaufkennlinie eines Nebenschlußmotors bei konstantem Ankerstrom



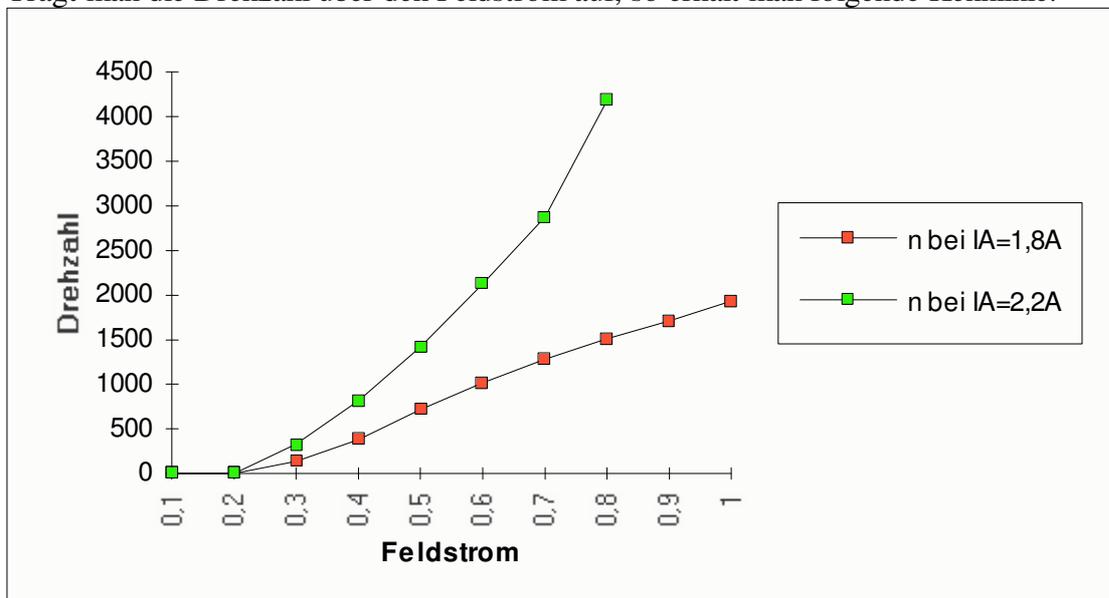
Wir bauen zunächst die Schaltung gemäß Plan auf. Anschließend stellen wir den Feldstrom auf 1,8 A ein und erhöhen den Ankerstrom schrittweise von 0,1A bis 1A und nehmen die Drehzahl

auf. Dies wiederholten wir noch einmal mit einem Feldstrom 2,2A. Dabei erhielten wir die folgenden Werte:

I Feld	n bei IA=1,8A	n bei IA=2,2A
0,1	0	0
0,2	0	0
0,3	140	330
0,4	380	820
0,5	720	1420
0,6	1020	2130
0,7	1280	2880
0,8	1510	4180
0,9	1710	
1	1930	

Bei dem Versuch mit 2,2A Ankerstrom mußten wir bei 0,8A Feldstrom Abbrechen, da das Netzteil nur noch einen Strom von 2,1 A liefern konnte.

Trägt man die Drehzahl über den Feldstrom auf, so erhält man folgende Kennlinie.



Mit steigendem Feldstrom und konstantem Ankerstrom steigt die Drehzahl immer weiter an. Wobei deutlich zu erkennen ist, dass bei einem stärkeren Ankerstrom der Motor wesentlich schneller dreht. Die Drehzahl lässt sich durch ein veränderliches Feld regeln.

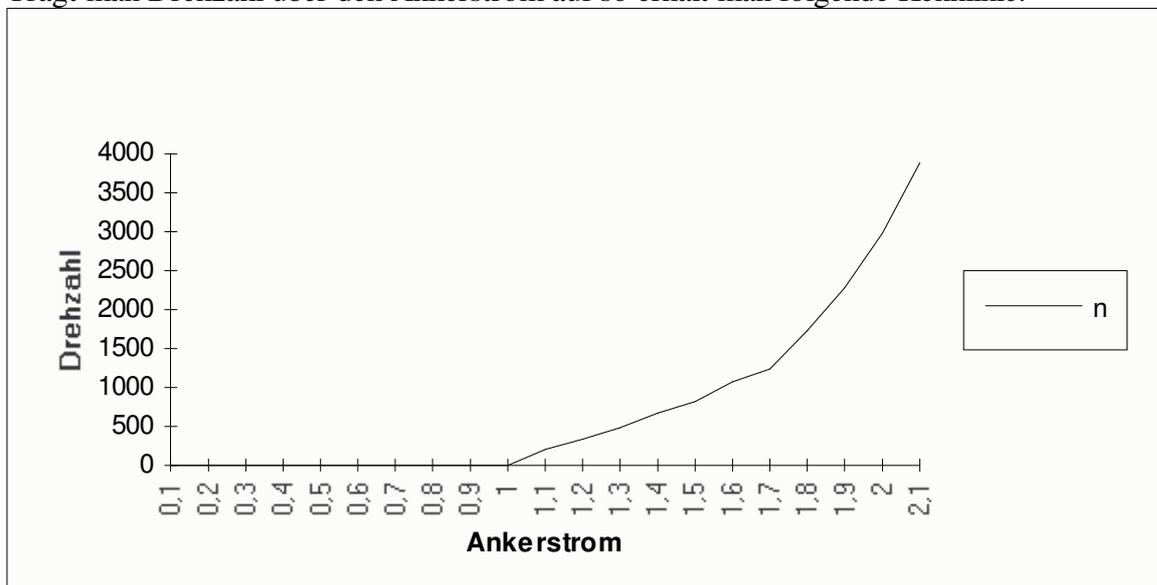
2. Aufnahme der Drehzahl bei konstanter Feldspannung

Wir stellen die Feldspannung auf 20V ein und drehen den Ankerstrom langsam hoch. Dabei notieren wir die Drehzahl und die Ankerspannung. Dabei ergaben sich die folgenden Werte.

n	I Anker	U Anker
0	0,1	0,6
0	0,2	1
0	0,3	1,25
0	0,4	1,51
0	0,5	1,56
0	0,6	1,61
0	0,7	1,84

0	0,8	1,94
0	0,9	2,25
0	1	2,4
200	1,1	4,18
330	1,2	5,15
480	1,3	6,3
670	1,4	7,7
820	1,5	8,65
1070	1,6	10,4
1240	1,7	11,6
1730	1,8	14,75
2280	1,9	18,5
2980	2	22,8
3890	2,1	28,4

Trägt man Drehzahl über den Ankerstrom auf so erhält man folgende Kennlinie.



Wie man sehen kann läuft der erst ab einem Ankerstrom von 1,1A an. Die Drehzahl nimmt bei konstanter Feldspannung (20V) und steigendem Ankerstrom immer weiter zu.

3. Bestimmung der Gegenspannung in Abhängigkeit der Drehzahl

Mit der Formel $U_{kl} = U_{ind} + I_A \cdot R_A$ und dem inneren Widerstand und den aufgenommenen Werte ist es möglich, die Gegenspannung zu bestimmen. Da die induzierte Spannung solange sich der Motor noch nicht dreht Null ist, kann man den Widerstand des Ankers leicht aus den aufgenommenen Spannungen und Ströme bei $n=0$ nach dem Ohmschen Gesetz errechnen. Da wir den Strom im 5A Meßbereich des Amperemeters aufgenommen haben und der Widerstand temperaturabhängig ist, nehmen wir den letzten Wert, bevor der Motor anläuft.

$$R_i = \frac{U}{I} = \frac{2,25V}{0,9A} = 2,5\Omega$$

$$\Delta R_i = \frac{1}{I} \cdot \Delta U + \frac{U}{I^2} \cdot \Delta I = \frac{1}{0,9A} \cdot 0,06V + \frac{2,85V}{(0,9A)^2} \cdot 0,15A = \pm 0,483\Omega$$

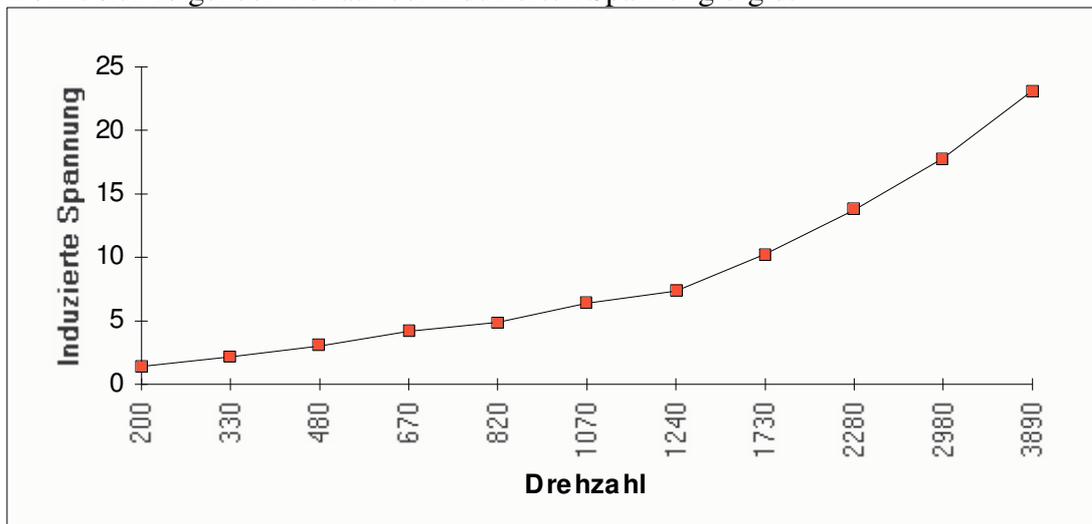
Damit ergeben sich die folgenden Werte

Drehzahl	U _{ind} [V]	I-Anker [A]	U-Anker [V]
200	1,43	1,1	4,18
330	2,15	1,2	5,15
480	3,05	1,3	6,3
670	4,2	1,4	7,7
820	4,9	1,5	8,65
1070	6,4	1,6	10,4
1240	7,35	1,7	11,6
1730	10,25	1,8	14,75
2280	13,75	1,9	18,5
2980	17,8	2	22,8
3890	23,15	2,1	28,4

$$U_{ind} = U_{kl} - I_A \cdot R_A$$

$$\Delta U_{ind} = \Delta U_{kl} + I_A \cdot \Delta R_A + R_A \cdot \Delta I_A$$

womit sich folgender Verlauf der induzierten Spannung ergibt



Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, dass mit steigender Drehzahl die induzierte Gegenspannung immer größer wird. Dies liegt daran, dass die induzierte Spannung von der Geschwindigkeit der Leiterschleife (Spule) abhängt.

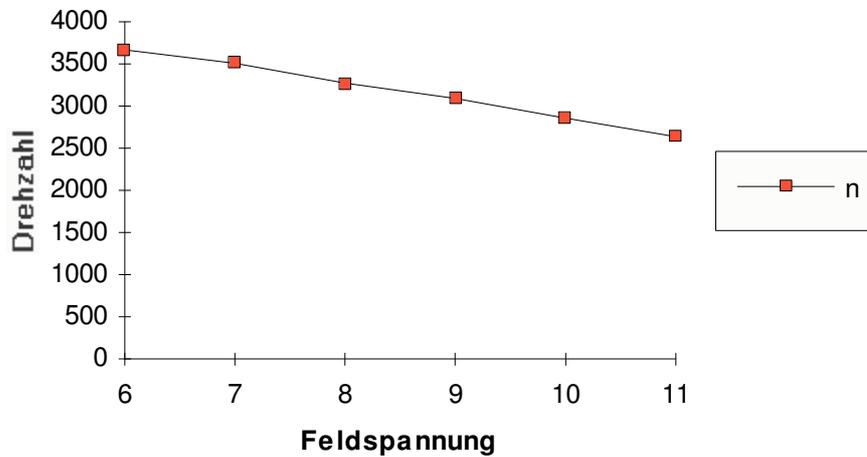
4. Aufnahme der Leerlaufkennlinie bei konstanter Ankerspannung

Hierzu bringen wir zunächst den Motor zum laufen und stellen dann die Ankerspannung auf 16V ein. Andersherum geht es nicht, weil der Strom bei Stillstand durch den Anker sonst zu groß wird. Nun erhöhen wir die Feldspannung wobei wir bei 6V anfangen und bei 11V aufhören mussten, da der Strom stark schwankte. Außerdem war die Gefahr, dass der Motor stehen bleibt und dann der Strom durch den Anker sprunghaft ansteigen könnte und so das Netzteil Schaden nehmen könnte.

Hierbei kamen folgende Werte zustande.

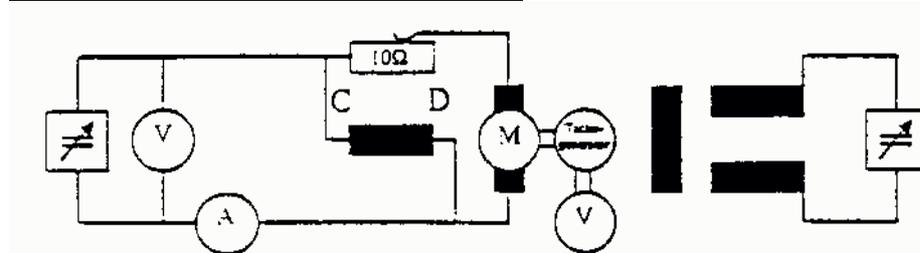
n	I-Feld [A]	U-Feld [V]
3670	4,6	6
3510	3,85	7
3270	3,3	8

3090	2,9	9
2860	2,15	10
2640	2,5	11



Wie man sehen kann, sinkt bei konstanter Ankerspannung und einer Erhöhung der Feldspannung die Drehzahl und der Feldstrom. Dies ist damit zu erklären, daß die induzierte Gegenspannung bei sinkender Drehzahl geringer wird, und damit auch der Strom durch die Spulen. Der niedrigere Ankerstrom führt zur Abschwächung der Felder, was zu einem niedrigeren Drehmoment führt die Folge ist, daß die Drehzahl sinkt.

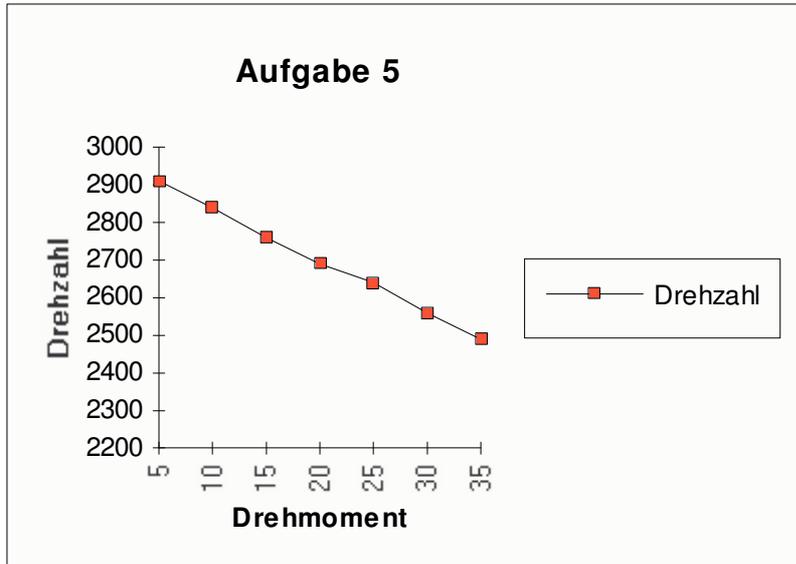
5. Aufnahme der Belastungskennlinie



Wir bauen die Schaltung nach Plan auf und stellen wir die Drehzahl des Motors auf 3000 U/min. Auf dem Meßstab schieben wir nun das Gewicht (übt eine Kraft von 5N aus) auf 2cm. Da sich auf der anderen Seite auch ein Meßstab mit einem Gewicht befindet, welches auf der 1cm Marke sitzt, wirkt als Drehmoment das Produkt aus der Differenz der Abstände und der Ausgeübten Kraft. Zunächst geht die eine Seite herunter. Stellt man nun die Spulenspannung der Wirbelstrombremse so ein, daß die Stäbe wieder waagrecht stehen, so ist der Motor mit einem definierten Drehmoment belastet, die Drehzahl sinkt. Nimmt man die Belastung wieder zurück, so kehrt der Motor zu der Drehzahl von 3000U/min wieder zurück. Für die verschiedenen Belastungen ergaben sich die folgenden Drehzahlen.

Drehmoment [Nm]	Drehzahl
5	2910
10	2840
15	2760
20	2690
25	2640
30	2560

35	2490
----	------



Wie man sehen kann, steht die Drehzahl in einem linearen Verhältnis zur Belastung.

Im Versuch wurden die folgenden Geräte eingesetzt:

- 2x Analogmultimeter MA1H
- 3x Digitalmultimeter M-3610D
- 1x Schiebewiderstand 10 Ohm
- 1x Motor-Generator-Aufbau:
 - 2x Reihenschlußmotor
 - 1x Tachogenerator
 - 1x Wirbelstrombremse

Fehlerbetrachtung

Strommessung mit Analogmultimeter MA1H im 5A-Bereich

- relativer Fehler 3%
- absoluter Fehler $5A \cdot 0,03 = 0,15A$

Spannungsmessung mit M3610D

- relativer Fehler 0,3%
- absoluter Fehler im 20V-Bereich 0,06V
- absoluter Fehler im 200V- Bereich 0,6V

Drehzahlmessung

1000 UpM = 10V am Tachogenerator. Da die Spannung am Tacho mit dem M3610D gemessen wurde (200V-Bereich) wird die Spannung mit einem Fehler von 0,6V bestimmt, was einem Fehler von 60 UpM entspricht. Hinzu kommt der unbekannte Fehler des Tachogenerators selbst.