



Ostfalia

Hochschule für angewandte
Wissenschaften

Ostfalia Fakultät Fahrzeugtechnik

Labor Elektronische Fahrzeugsysteme

Versuch 1

Gleichspannungsmotor

Prüfer:

Prof. Dr. M. Kolbus

Bearbeitet von:



Durchgeführt am:

24. März 2022



INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
1 Beschreibung des Versuchs	1
2 Durchführung des Versuchs	1
3 Bestimmung von Maschinenkonstante mal Erregerfluss	3
4 Berechnung der Drehmomente.....	5
5 Konstruktion der Drehzahl-Momenten-Kennlinie	6
6 Weitergehende Betrachtungen	10



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Ermittlung von $1/4T$	1
Abbildung 3-1: Diagramm $n=f(U)$ für den Leerlaufbetrieb	4
Abbildung 5-1: Diagramm $n=f(M)$ für den Leerlaufbetrieb	6
Abbildung 5-2: Diagramm $n=f(M)$ für den Lastbetrieb mit R1.....	7
Abbildung 5-3: Diagramm $n=f(M)$ für den Lastbetrieb mit R2.....	7
Abbildung 5-4: Drehzahl-Momenten-Kennlinie	10

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Messwerte für den Leerlaufbetrieb.....	2
Tabelle 2-2: Messwerte für den Lastbetrieb mit R1	2
Tabelle 2-3: Messwerte für den Lastbetrieb mit R2	3
Tabelle 4-1: Momente für den Leerlaufbetrieb.....	5
Tabelle 4-2: Momente für den Lastbetrieb mit R1	5
Tabelle 4-3: Momente für den Lastbetrieb mit R2	6
Tabelle 5-1: Messwerte für die Konstruktion der Drehzahl-Momenten-Kennlinie	8



1 BESCHREIBUNG DES VERSUCHS

In diesem Versuch geht es um die Bestimmung der Drehzahl-Momenten-Kennlinie eines permanenterregten Gleichspannungsmotors. Der zu untersuchende Motor ist über seine Motorwelle mit einem weiteren Motor der als Generator betrieben wird mechanisch verbunden. Somit kann für den zu untersuchenden Motor eine Last erzeugt werden, wenn der Generator mit einem Lastwiderstand beschaltet wird. Ein induktiver Drehzahlsensor dessen Signal auf einem Oszilloskop wiedergegeben wird, ermöglicht die Bestimmung der aktuellen Motordrehzahl n . Mithilfe von zwei Multimetern am zu untersuchenden Motor werden die für weitergehende Berechnungen erforderlichen Messwerte der Ankerspannung U_0 und des Ankerstroms I_A gemessen.

2 DURCHFÜHRUNG DES VERSUCHS

Bei dem in der Versuchsbeschreibung beschriebenen Versuchsaufbau wird ausgehend von dem ersten Messwert für eine Ankerspannung von $U_0 = 8V$, die Spannung jeweils um $0,5V$ erhöht bis eine Ankerspannung von $U_0 = 14V$ erreicht ist. Hierbei wird jeweils für jeden Schritt der Ankerstrom I_A gemessen. Für die spätere Berechnung der Motordrehzahl n , wird während der Versuchsdurchführung jeweils für jeden Schritt zunächst nur der Behelfszeitwert $T/4$ erfasst. Dieser entspricht einer viertel Umdrehung der Motorwelle. Diese Zeit ist leicht zu erfassen, da der Induktionsgeber auf der Motorwelle vier Zähne besitzt. Das Signal des induktiven Aufnehmers für einen Zahn ist somit leicht auf dem Oszilloskop ablesbar. Folgendes Oszilloskop Bild (siehe Abb. 2-1) zeigt beispielhaft für den ersten Messwert der Messungen im Leerlaufbetrieb wie der Behelfszeitwert, in diesem Fall von $T/4 = 6,3ms$ ermittelt werden kann.

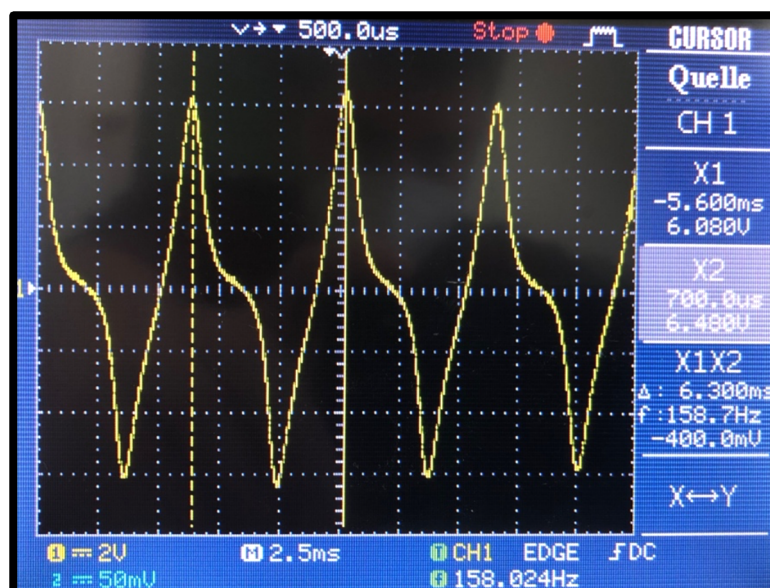


Abbildung 2-1: Ermittlung von $1/4T$



Durch die Division der Anzahl von Millisekunden in einer Minute durch die Zeit für eine ganze Umdrehung der Motorwelle (*siehe Gl. 2-1*), lässt sich mithilfe des Behelfszeitwerts $T/4$ nun die Motordrehzahl n in $1/\text{min}$ berechnen.

$$n = \frac{60000\text{ms}}{4 \cdot \left(\frac{T}{4}\right)} \quad (2-1)$$

Die beschriebenen Messungen wurden für die drei Versuchskonfigurationen: "Leerlaufbetrieb, Lastbetrieb mit R_1 und Lastbetrieb mit R_2 " durchgeführt. Hierbei wurden die Lastwiderstände $R_1 = 1\Omega$ und $R_2 = 0,5\Omega$ verwendet. Sämtliche Messwerte und berechnete Motordrehzahlen sind in den folgenden Tabellen (*siehe Tab. 2-1, 2-2 und 2-3*) zu finden.

Tabelle 2-1: Messwerte für den Leerlaufbetrieb

Messwert	U_0 in V	I_{A0} in A	$\frac{T_0}{4}$ in ms	n_0 in 1/min
1	8,0	0,52	6,30	2380,95
2	8,5	0,53	5,90	2542,37
3	9,0	0,54	5,50	2727,27
4	9,5	0,54	5,16	2906,97
5	10,0	0,55	4,80	3125,00
6	10,5	0,56	4,60	3260,86
7	11,0	0,57	4,28	3504,67
8	11,5	0,57	4,16	3605,76
9	12,0	0,58	3,92	3826,53
10	12,5	0,59	3,68	4076,08
11	13,0	0,60	3,56	4213,48
12	13,5	0,61	3,42	4385,96
13	14,0	0,61	3,26	4601,22

Tabelle 2-2: Messwerte für den Lastbetrieb mit R_1

Messwert	U_0 in V	I_{A1} in A	$\frac{T_1}{4}$ in ms	n_1 in 1/min
1	8,0	2,50	8,00	1875,00
2	8,5	2,67	7,52	1994,68
3	9,0	2,86	6,96	2155,17
4	9,5	3,04	6,68	2245,50
5	10,0	3,19	6,52	2300,61
6	10,5	3,31	6,12	2450,98
7	11,0	3,43	5,96	2516,77
8	11,5	3,59	5,60	2678,57
9	12,0	3,72	5,32	2819,54
10	12,5	3,91	5,24	2862,59
11	13,0	4,05	5,00	3000,00
12	13,5	4,26	4,80	3125,00
13	14,0	4,48	4,52	3318,58



Tabelle 2-3: Messwerte für den Lastbetrieb mit R2

Messwert	U_0 in V	I_{A2} in A	$\frac{T_2}{4}$ in ms	n_2 in 1/min
1	8,0	2,83	9,1	1648,35
2	8,5	3,07	8,4	1785,71
3	9,0	3,29	8,0	1875,00
4	9,5	3,49	7,4	2027,02
5	10,0	3,74	7,0	2142,85
6	10,5	4,00	6,6	2272,72
7	11,0	4,24	6,6	2272,72
8	11,5	4,46	6,1	2459,01
9	12,0	4,66	5,7	2631,57
10	12,5	4,83	5,6	2678,57
11	13,0	4,97	5,4	2777,77
12	13,5	5,16	5,2	2884,61
13	14,0	5,31	5,0	3000,00

3 BESTIMMUNG VON MASCHINENKONSTANTE MAL ERREGERFLUSS

Um die Momente zu berechnen und die Drehzahl-Momenten-Kennlinie des Motors zu bestimmen muss zunächst das Produkt aus Maschinenkonstante c und Erregerfluss Φ mithilfe folgender Gleichung (siehe Gl. 3-1) bestimmt werden.

$$n = \frac{U_0 - R_A \cdot I_A}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} \quad (3-1)$$

Da die Summe der Widerstände im Ankerkreis R_A unbekannt ist, werden für die Bestimmung des Produkts aus Maschinenkonstante c und Erregerfluss Φ die Messwerte aus der Messreihe für den Leerlaufbetrieb gewählt. Hierbei ist der Ankerstrom I_A nahezu Null (siehe Tab. 2-1) und das Produkt aus der Summe der Widerstände im Ankerkreis R_A und dem Ankerstrom I_A ist nun in der Gleichung (siehe Gl. 3-2) zu vernachlässigen.

$$n = \frac{U_0}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} \quad (3-2)$$

Diese Gleichung ist als lineare Funktion $n(U_0)$ zu betrachten, deren Steigung (siehe Gl. 3-1) zu bestimmen ist. Durch die Darstellung der Ankerspannung U_0 und der Motordrehzahl n_0 in einem Diagramm in MatLab (siehe Abb. 3-1), kann mithilfe einer linearen Regression eine Geradengleichung ermittelt werden die den Verlauf der Motordrehzahl n_0 in Abhängigkeit von der Ankerspannung U_0 beschreibt.

$$a = \frac{1}{2\pi \cdot c \cdot \Phi} \quad (3-3)$$

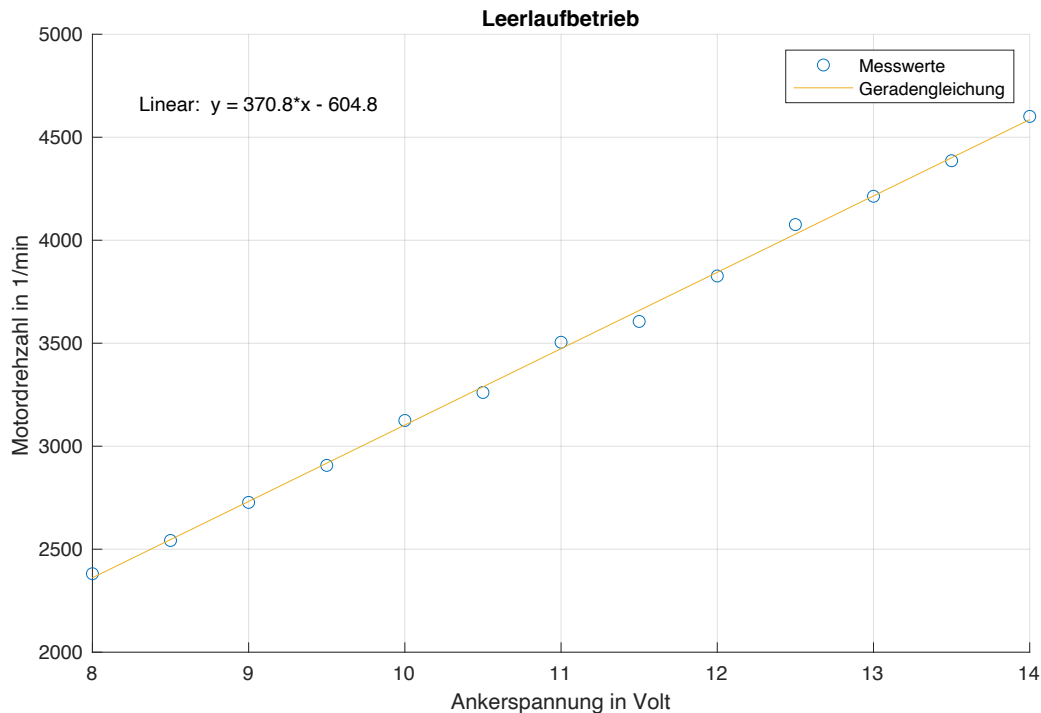


Abbildung 3-1: Diagramm $n=f(U)$ für den Leerlaufbetrieb

Mit der linearen Regression wurde eine Steigung von $a = 370,8$ ermittelt. Hierbei wurden die vier Messwerte mit der geringsten Abweichung verwendet. Um nun das Produkt aus Maschinenkonstante c und Erregerfluss Φ zu bestimmen, muss die die *Gleichung 3-3* noch wie folgt umgestellt werden.

$$c \cdot \Phi = \frac{1}{2\pi \cdot a} \quad (3-4)$$

Nun kann durch das einsetzen der Steigung a in die *Gleichung 3-4* das Produkt aus Maschinenkonstante c und Erregerfluss Φ bestimmt werden. Hierbei ist auf die Verwendung der richtigen Einheit des Wertes für die Steigung $[a] = 1/Vmin$ zu achten.

$$c \cdot \Phi = \frac{1}{2\pi \cdot 370,8 \frac{1}{Vmin}} = 4,2922 \cdot 10^{-4} Vmin$$

Das Ergebnis der Berechnung lautet $c \cdot \Phi = 4,2922 \cdot 10^{-4} Vmin$ womit nun weitergehende Berechnungen durchgeführt werden können.



4 BERECHNUNG DER DREHMOMENTE

Die Drehmomente werden mit der folgenden Gleichung (siehe Gl. 4-1) berechnet. Hierbei ist auf die Angabe des Moments in der gewünschten Einheit $[M] = Ncm$ zu achten.

$$M = c \cdot \Phi \cdot I_A \quad (4-1)$$

Im Folgenden wird beispielhaft das Moment M_{Last2} für den ersten Messwert mit der Gleichung 4-1 berechnet. Die weiteren Momente werden analog berechnet und sind in den folgenden Tabellen (siehe Tab. 4-1, 4-2 und 4-3) zu finden.

$$M = 4,2922 \cdot 10^{-4} Vmin \cdot 2,83A = 0,0012VAmin$$

$$0,0012VAmin = 0,0012VA \cdot 60s = 0,0729VAs = 0,0729Ws = 0,0729Nm$$

$$0,0729Nm = 0,0729N \cdot 100cm = 7,29Ncm$$

Tabelle 4-1: Momente für den Leerlaufbetrieb

Messwert	U_0 in V	n_0 in 1/min	M_{leer} in Ncm
1	8	2380,95	1,33
2	8,5	2542,37	1,36
3	9	2727,27	1,39
4	9,5	2906,97	1,39
5	10	3125,00	1,41
6	10,5	3260,86	1,44
7	11	3504,67	1,46
8	11,5	3605,76	1,46
9	12	3826,53	1,49
10	12,5	4076,08	1,51
11	13	4213,48	1,54
12	13,5	4385,96	1,57
13	14	4601,22	1,57

Tabelle 4-2: Momente für den Lastbetrieb mit R1

Messwert	U_0 in V	n_1 in 1/min	M_{Last1} in Ncm
1	8	1875,00	6,43
2	8,5	1994,68	6,87
3	9	2155,17	7,36
4	9,5	2245,50	7,82
5	10	2300,61	8,21
6	10,5	2450,98	8,52
7	11	2516,77	8,83
8	11,5	2678,57	9,24
9	12	2819,54	9,58
10	12,5	2862,59	10,06
11	13	3000,00	10,43
12	13,5	3125,00	10,97
13	14	3318,58	11,53



Tabelle 4-3: Momente für den Lastbetrieb mit R2

Messwert	U_0 in V	n_2 in 1/min	M_{Last2} in Ncm
1	8	1648,35	7,29
2	8,5	1785,71	7,90
3	9	1875,00	8,47
4	9,5	2027,02	8,98
5	10	2142,85	9,63
6	10,5	2272,72	10,30
7	11	2272,72	10,91
8	11,5	2459,01	11,48
9	12	2631,57	12,00
10	12,5	2678,57	12,43
11	13	2777,77	12,79
12	13,5	2884,61	13,28
13	14	3000,00	13,67

5 KONSTRUKTION DER DREHZAHL-MOMENTEN-KENNLINIE

Zunächst werden die Ergebnisse aus den *Tabellen 4-1, 4-2 und 4-3* für die drei Betriebszustände in je einem Diagramm $n = f(M)$ (siehe *Abb. 5-1, 5-2 und 5-3*) dargestellt. Auch hier wird mithilfe der linearen Regression eine Geradengleichung erzeugt.

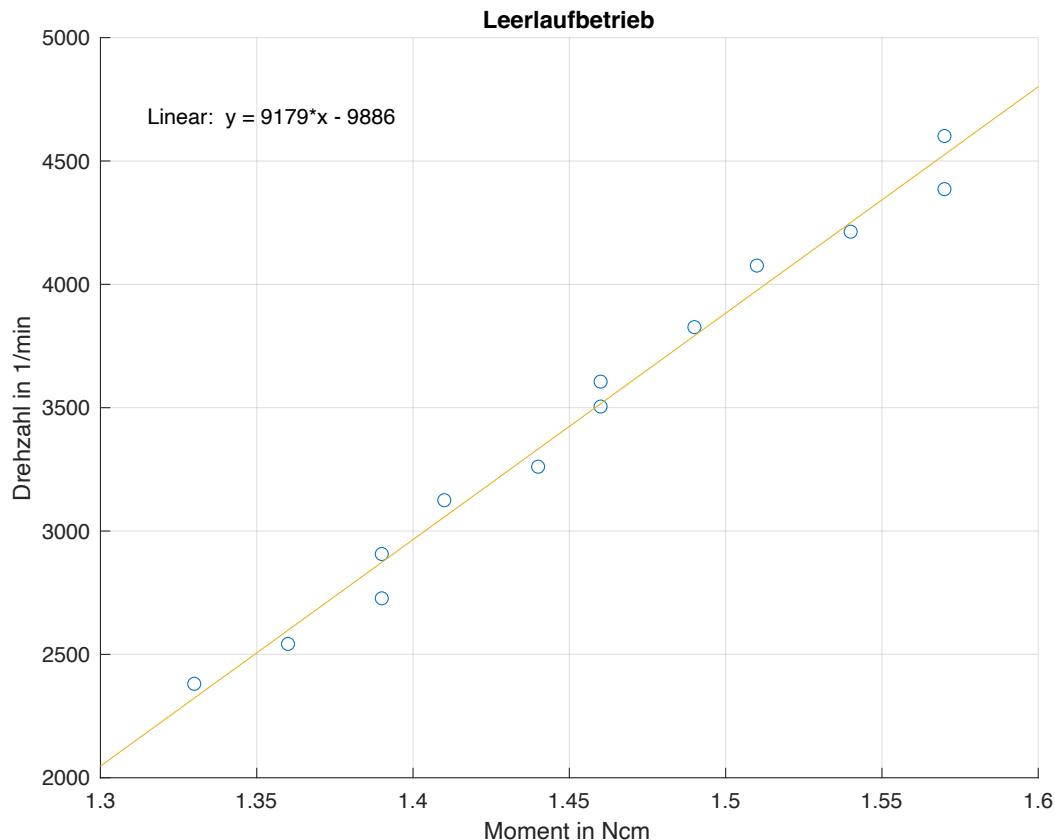


Abbildung 5-1: Diagramm $n=f(M)$ für den Leerlaufbetrieb

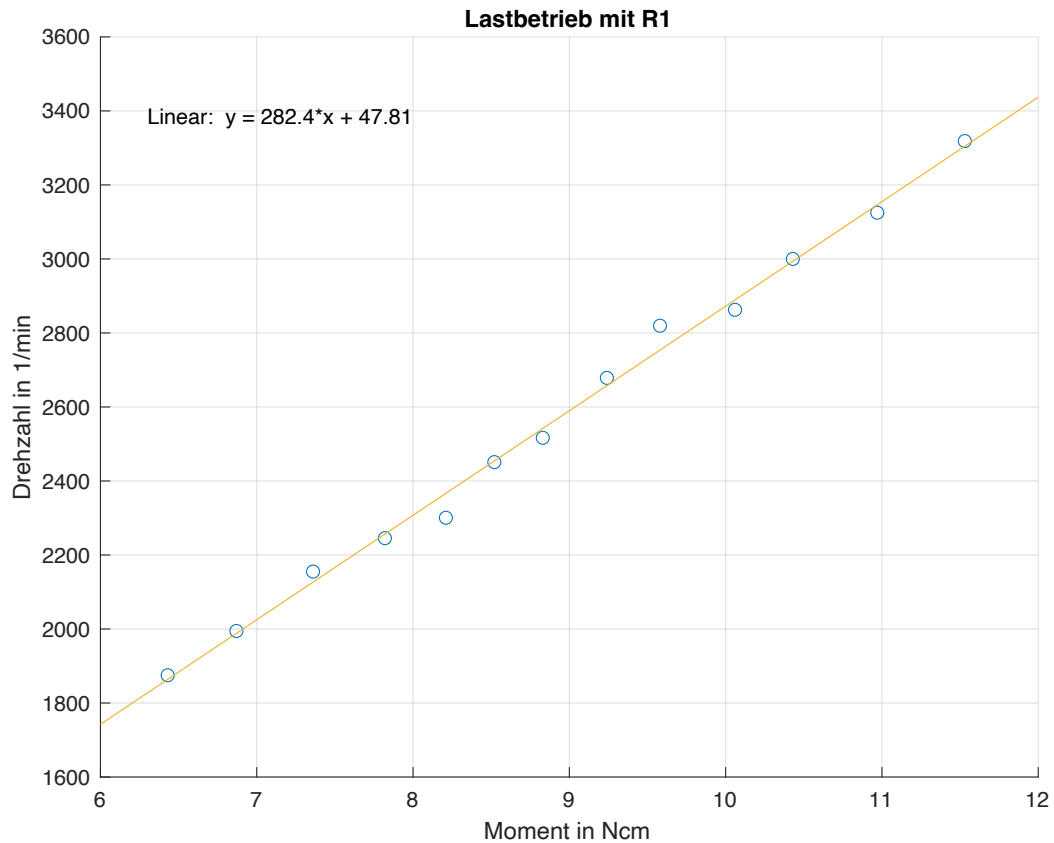


Abbildung 5-2: Diagramm $n=f(M)$ für den Lastbetrieb mit R1

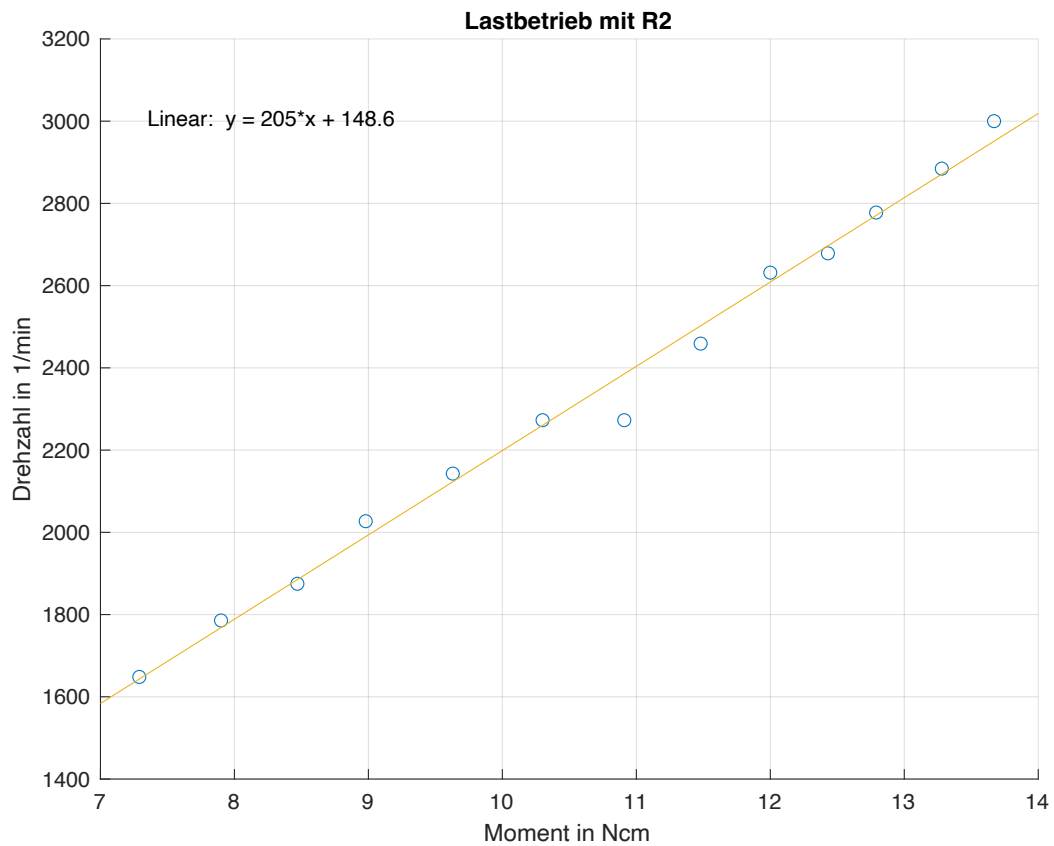


Abbildung 5-3: Diagramm $n=f(M)$ für den Lastbetrieb mit R2



Um die Drehzahl-Momenten-Kennlinie für die drei gewünschten Ankerspannungen $U_0 = 10V, 12V, 14V$ zu konstruieren werden zwei Punkte auf der Kennlinie benötigt, da diese linear verläuft. Die Punkte entsprechen den Messwerten für die Drehzahl n und dem Moment M bei der jeweiligen Ankerspannung U_0 . Verwendet werden die Messwerte aus den Messreihen für den Leerlaufbetrieb und den Lastbetrieb mit R_2 . In der folgenden Tabelle (siehe Tab. 5-1) sind die für die Konstruktion verwendeten Messwerte noch einmal übersichtlich aufgelistet.

Tabelle 5-1: Messwerte für die Konstruktion der Drehzahl-Momenten-Kennlinie

–	Leerlaufbetrieb		Lastbetrieb mit R_2	
U_0 in V	n_0 in 1/min	M_{leer} in Ncm	n_2 in 1/min	M_{Last2} in Ncm
10	3125,00	1,41	2142,85	9,63
12	3826,53	1,49	2631,57	12,00
14	4601,22	1,57	3000,00	13,67

Mithilfe der Steigung zwischen den beiden Punkten und der Gleichung für lineare Funktionen (siehe Gl. 5-1) kann die Konstruktion der Drehzahl-Momenten-Kennlinie durchgeführt werden.

$$n = a \cdot M + b \quad (5-1)$$

$$\Rightarrow n - a \cdot M = b$$

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{n_2 - n_1}{M_2 - M_1}$$

Kennlinie für $U_0 = 10V$:

Gegebene Punkte:

$$P_1(1,41\text{Ncm} / 3125,00 \frac{1}{\text{min}}) \text{ und } P_2(9,63\text{Ncm} / 2142,85 \frac{1}{\text{min}})$$

Berechnung der Steigung:

$$a = \frac{n_2 - n_0}{M_{\text{Last2}} - M_{\text{leer}}} = \frac{2142,85 \frac{1}{\text{min}} - 3125,00 \frac{1}{\text{min}}}{9,63\text{Ncm} - 1,41\text{Ncm}} = -119,48 \frac{1}{\text{minNcm}}$$

Berechnung des y-Achsenabschnitts durch einsetzen von P_1 :

$$b = n_2 - a \cdot M_{\text{Last2}} = 2142,85 \frac{1}{\text{min}} - (-119,48) \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot 9,63\text{Ncm} = 3293,44 \frac{1}{\text{min}}$$

Kennlinie für $U_0 = 10V$:

$$n = -119,48 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 3293,44 \frac{1}{\text{min}}$$



Kennlinie für $U_0 = 12V$:

Gegebene Punkte:

$$P_1(1,49\text{Ncm} / 3826,53 \frac{1}{\text{min}}) \text{ und } P_2(12,00\text{Ncm} / 2631,57 \frac{1}{\text{min}})$$

Berechnung der Steigung:

$$a = \frac{n_2 - n_0}{M_{Last2} - M_{leer}} = \frac{2631,57 \frac{1}{\text{min}} - 3826,53 \frac{1}{\text{min}}}{12,00\text{Ncm} - 1,49\text{Ncm}} = -113,69 \frac{1}{\text{minNcm}}$$

Berechnung des y-Achsenabschnitts durch einsetzen von P_1 :

$$b = n_2 - a \cdot M_{Last2} = 2631,57 \frac{1}{\text{min}} - (-113,69) \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot 12,00\text{Ncm} = 3995,85 \frac{1}{\text{min}}$$

Kennlinie für $U_0 = 12V$:

$$n = -113,69 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 3995,85 \frac{1}{\text{min}}$$

Kennlinie für $U_0 = 14V$:

Gegebene Punkte:

$$P_1(1,57\text{Ncm} / 4601,22 \frac{1}{\text{min}}) \text{ und } P_2(13,67\text{Ncm} / 3000,00 \frac{1}{\text{min}})$$

Berechnung der Steigung:

$$a = \frac{n_2 - n_0}{M_{Last2} - M_{leer}} = \frac{3000,00 \frac{1}{\text{min}} - 4601,22 \frac{1}{\text{min}}}{13,67\text{Ncm} - 1,57\text{Ncm}} = -132,33 \frac{1}{\text{minNcm}}$$

Berechnung des y-Achsenabschnitts durch einsetzen von P_1 :

$$b = n_2 - a \cdot M_{Last2} = 3000,00 \frac{1}{\text{min}} - (-132,33) \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot 13,67\text{Ncm} = 4808,95 \frac{1}{\text{min}}$$

Kennlinie für $U_0 = 14V$:

$$n = -132,33 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 4808,95 \frac{1}{\text{min}}$$

Die konstruierten Drehzahl-Momenten-Kennlinien können nun in einem gemeinsamen Diagramm (siehe Abb. 5-4) geplottet werden.

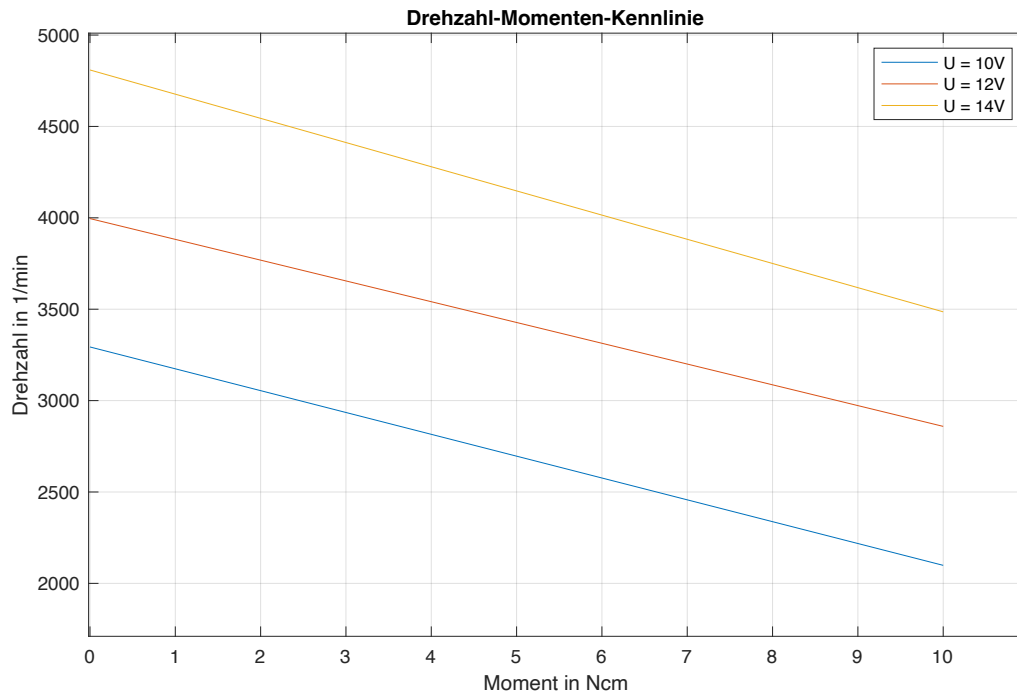


Abbildung 5-4: Drehzahl-Momenten-Kennlinie

6 WEITERGEHENDE BETRACHTUNGEN

Die konstruierten Drehzahl-Moment-Kennlinien entsprechen in vollem Umfang den vorherigen Erwartungen. Die Drehzahländerung Δn bei einer Änderung des Moments ΔM bzw. die Steigung a ist bei allen drei Kennlinien etwa identisch. Somit verlaufen die Kennlinien fast nahezu parallel zueinander. Die Kennlinien unterscheiden sich an Ihrem Schnittpunkt mit der y-Achse. Somit erzeugt die Änderung der Ankerspannung U_0 eine parallele Verschiebung der Kennlinie, da hier ein linearer Zusammenhang besteht. Wird die Ankerspannung U_0 zum Beispiel abgesenkt, verringert sich die Drehzahl und die Kennlinie wird unabhängig von einer anliegenden Last um diesen Betrag parallel nach unten verschoben.

Nach den Herstellerangaben auf dem Typenschild des Gleichstrommotors besitzt dieser folgende Nenndaten:

$$U_{nenn} = 12V$$

$$n_{nenn} = 3300 \frac{1}{min}$$

$$M_{nenn} = 6,5Ncm$$

Um die Versuchsergebnisse mit den Nenndaten zu vergleichen, wird die Kennlinie für die Ankerspannung $U_0 = 12V$ gewählt und das Nennmoment M_{nenn} eingestezt.



$$n = -113,69 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M_{\text{nenn}} + 3995,85 \frac{1}{\text{min}}$$

$$n = -113,69 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot 6,5 \text{Ncm} + 3995,85 \frac{1}{\text{min}}$$

$$n = 3256,87 \frac{1}{\text{min}}$$

Die durch die eigenen Messergebnisse konstruierte Drehzahl-Moment-Kennlinie für eine Ankerspannung von $U_0 = 12V$ liefert beim Einsetzen des Nennmoments M_{nenn} eine Drehzahl von $n = 3256,87 \text{min}^{-1}$. Diese Drehzahl ist nahezu identisch mit der Nenndrehzahl $n_{\text{nenn}} = 3300,00 \text{min}^{-1}$. Die geringfügigen Abweichungen sind auf Messungenauigkeiten zurückzuführen.

Das Haltemoment gibt an, welches Moment der bestromte Motor im Stillstand halten kann, ohne dass dieses eine kontinuierliche Drehung des Rotors hervorruft. Um das Haltemoment zu berechnen ist das Moment M_{halt} bei einer Drehzahl von $n = 0 \text{min}^{-1}$ gesucht.

$$0 = a \cdot M_{\text{halt}} + b$$

$$\Rightarrow M_{\text{halt}} = \frac{-b}{a}$$

Haltemoment für $U_0 = 10V$

Kennlinie für $U_0 = 10V$:

$$n = -119,48 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 3293,44 \frac{1}{\text{min}}$$

Berechnung des Haltemoments:

$$M_{\text{halt}} = \frac{-b}{a} = \frac{-3293,44 \frac{1}{\text{min}}}{-119,48 \frac{1}{\text{minNcm}}} = 27,56 \text{Ncm}$$

Haltemoment für $U_0 = 12V$

Kennlinie für $U_0 = 12V$:

$$n = -113,69 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 3995,85 \frac{1}{\text{min}}$$

Berechnung des Haltemoments:

$$M_{\text{halt}} = \frac{-b}{a} = \frac{-3995,85 \frac{1}{\text{min}}}{-113,69 \frac{1}{\text{minNcm}}} = 35,15 \text{Ncm}$$



Haltemoment für $U_0 = 14V$

Kennlinie für $U_0 = 14V$:

$$n = -132,33 \frac{1}{\text{minNcm}} \cdot M + 4808,95 \frac{1}{\text{min}}$$

Berechnung des Haltemoments:

$$M_{\text{halt}} = \frac{-b}{a} = \frac{-4808,95 \frac{1}{\text{min}}}{-113,69 \frac{1}{\text{minNcm}}} = 42,29 \text{Ncm}$$

Auch bei dem Haltemoment M_{halt} ist zu beobachten das dieses höher ist, wenn eine höhere Ankerspannung U_0 angelegt ist.