



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

SCHÜEx SCHLESWIG-HOLSTEIN



Untersuchungen zu Fahrradgeneratoren

Björn Wurst

Schule:

Wellingdorfer Gymnasium
Kiel

Jugend forscht 2014

Kurzfassung

Untersuchungen zu Fahrradgeneratoren

Welcher Fahrraddynamo ist am effizientesten?

Mein Ziel ist es herauszufinden, welcher Fahrraddynamo am besten ist.

Dazu beschäftige ich mich zuerst mit der Theorie des elektrischen Stromkreises.

Experimente mit Batterien haben ergeben: Die Energieabgabe hängt vom inneren und vom äußeren Widerstand ab, d. h. sie ist am besten, wenn $R_i = R_a$ ist.

Meine Drehuntersuchungen mit dem Dynamo zeigen: Der innere Widerstand steigt mit der Frequenz an (Drehzahl). Daher muss man für jede Geschwindigkeit verschiedene Lampen mit dem entsprechenden Widerstand wählen.

Das würde heißen, dass jeder für sich selbst den optimalen Dynamo und das optimale System kaufen müsste, das für seine normale Durchschnittsgeschwindigkeit geeignet ist. Sinnvoll wäre vor dem Kauf eine Beratung des Radfahrers.

Jugend forscht - Schüler experimentieren 2014

Fachgebiet Technik.

Untersuchungen zu Fahrradgeneratoren

Welcher Fahrradgenerator ist der Beste?



Von
Björn Wurst , 7. Klasse

Forscherwerkstatt Ellerbek
ENRICHMENT Ellerbeker Schule - KIEL

Projektbetreuer: Herr Otto Thies

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	Seite	4
2. Forscherproblem	Seite	4
3. Vorüberlegungen zum Dynamo	Seite	4
4. Vorgehensweise	Seite	5
5. Allgemeines zur Funktion eines Dynamos	Seite	5
6. Theorie	Seite	6
7. Experiment 1	Seite	7
8. Experiment 2	Seite	8
9. Experiment 3	Seite	8
10. Experiment 4	Seite	8
11. Ergebnis	Seite	11
12. Weiteres Vorgehen	Seite	12
13. Experiment 5	Seite	13
14. Experiment 6	Seite	14
15. Ergebnis	Seite	15
16. Ergebnisdiskussion	Seite	15
17. Zusammenfassung	Seite	15
18. Quellen- und Literaturverzeichnis	Seite	16
19. Unterstützung (Art)	Seite	16

Einleitung

Wie ich auf die Idee gekommen bin?

Wir, damals waren wir noch zwei Personen, haben uns überlegt, dass wir gerne zum Thema Elektrizität Versuch machen möchten. Bei diesen Überlegungen sind wir auf den Elektromotor gestoßen. Da mein Partner allerdings umgezogen ist, habe ich allein mit den Versuchen begonnen. Dabei muss ich mich nun bei den Versuchsreihen etwas beschränken, da ich die Versuche und Auswertungen alleine zu bewältigen habe. Da ich jeden Tag mit dem Fahrrad zur Schule fahre und jetzt im Winter immer die Beleuchtung brauche, ist mir auf dem Weg zur Schule eingefallen, dass ich mehr über die Funktionsweise und Effektivität des Fahrraddynamos wissen möchte.

Forscher-Problem:

Welcher Dynamo ist für den Betrieb der Fahrradbeleuchtung am Besten?

Ich habe erhofft, dass es einen Fahrraddynamo gibt, der sich von den anderen abhebt und am effektivsten ist.

Allerdings erwarte ich, dass der Unterschied nicht besonders groß ist.

Erst einmal ist es wichtig, die Grundlagen und Funktionsweise eines Dynamos zu verstehen.

Um verschiedene Dynamos vergleichen zu können, ist es notwendig, dass alle unter denselben Bedingungen getestet werden, z.B. bei gleicher Geschwindigkeit.

Vorüberlegungen zum Dynamo:

Es gibt mehrere Systeme:

1. Reifendynamo, d.h. der Dynamo wird von außen an das Rad gelegt, durch die Radbewegung wird der Anker des Generators über Reibung angetrieben (Zahnradprinzip).
2. Nabendynamo, d.h. der Dynamo ist in der Regel im Vorderrad in der Nabe eingebaut. Die Energie wird bei der Radbewegung über ein magnetisches Rotationsfeld erzeugt.
3. Batterie betriebene Fahrradbeleuchtung.

Zwischen den zu untersuchenden Systemen gibt es die folgenden Unterschiede, die ohne größere Untersuchungen beobachtet werden können:

- Die beiden Grundsysteme sind in den Anschaffungskosten vergleichbar, das Batteriesystem benötigt allerdings beim Betrieb zusätzlich die Batterien, was auf Dauer zusätzliche Kosten verursacht.
- Die Nachrüstung eines Nabendynamos ist aufwendiger, als die der anderen Systeme. Der Dynamo muss in die Nabe eingebracht und eine Verkabelung muss hergestellt werden.
- Das Batteriesystem fällt aus, wenn die Batterie leer ist. Insofern müssen immer aufgeladene Ersatzbatterien mitgeführt werden (die man ggf. im Dunkeln austauschen muss).
- Beim Nabendynamo sind die Verkabelung und die Steckkontakte anfällig, da sie den ständigen Bewegungen und auch den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind.
- Der Nabendynamo erzeugt in jedem Fall einen kleinen Widerstand des Fahrrades.
- Das Treten beim Reifendynamo kostet mehr Kraft.

Vorgehensweise:

Zu System 1 – Reifendynamo:

Bei den ersten Energietests des ersten Systems fällt auf, dass der Reifendynamo viel Bewegungsenergie gar nicht in elektrische Energie umwandelt. Durch den Verlust durch Wärmeenergie (Reibung), wird von der Energie nur ein kleiner Teil in elektrische Energie umgewandelt, weniger als beim Nabendynamo. Daher wurden die beiden verbliebenen Systeme (Nabendynamo und Batteriebetrieb) untersucht.

Zu System 2 – Nabendynamo:

Der Nabendynamo erzeugt bei weniger zu investierender Energie mehr elektrische Energie. Die Energieausbeute ist damit sehr hoch. Daher werde ich den Nabendynamo weiter untersuchen.

Zu System 3 – Batterie betriebene Fahrradbeleuchtung:

Da die Batterie immer stets gleich Energie abgibt, werde ich die grundlegende Tests mit der Batterie ausführen.

Keine Drehbewegung, kein Mechanischer Aufwand

Allgemeines zur Funktion eines Dynamos:

In einem Dynamo befinden sich Magnete. Diese drehen sich um eine Spule. Mit Hilfe der Induktion wird elektrische Energie erzeugt.

Theorie:

- 1) Ein elektrischer Stromkreislauf besteht aus:
 - a) Energiequelle,
 - b) Leiter (Kabel),
 - c) und Energieverbraucher.
- 2) Elektrische Leistung ist das Produkt aus Spannung und Strom:
 - a) $P = U \times I$
- 3) Für den elektrischen Widerstand, Spannung und Strom gelten:
 - a) $R = U / I$
 - b) $U = R \times I$
 - c) $I = U / R$
- 4) Jede Energiequelle besteht aus Spannungserzeugung U_0 und innerem Widerstand R_i .
Man kann messen:
 - a) U_0 : Spannung des Spannungserzeugers im Leerlauf – Leerlaufspannung
 - b) I_k : Strom bei äußerem Kurzschluss, wobei I_k theoretisch unendlich ist, wenn der innere Widerstand 0 Ohm hat. Tatsächlich ist der Kurzschlussstrom sehr hoch, aber wird vom inneren Widerstand begrenzt.

Zusammenhang:

$$R_i = U_0 / I_k$$

$$I_a = I_i = I_{\text{ges}}$$

$$U_0 = U_a + U_i = U_{\text{ges}}$$

$$R_{\text{ges}} = R_i + R_a \quad \underline{P_{\text{ges}} = P_i + P_a}$$

Ich nenne

$$R_a = \mathbf{R} \quad P_a = \mathbf{P} \quad I_a = I_i = \mathbf{I} \quad U_a = \mathbf{U}$$

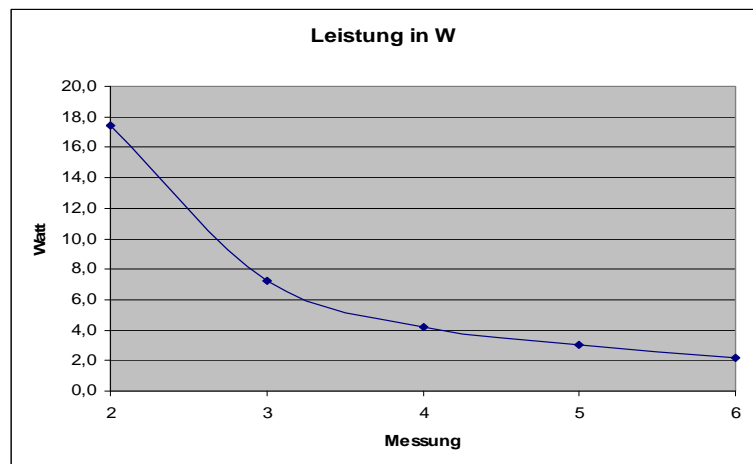
Versuchs-Aufbau, Experimente:

Experiment 1:

An eine Batterie werden mehrere Glühbirnen (insgesamt 5) angeschlossen, diese sind in Reihe geschaltet. Bei jeder Messung wird eine Glühbirne hinzugeschaltet. Dabei kann beobachtet werden, dass die Leistung wie bei einer Hyperbel (Antiproportionalität) abfällt.

Messung	U in V	I in A	R in W	Glühbirnen
1	4,4	0	0,0	0
2	3,7	0,21	17,4	1
3	3,1	0,43	7,2	2
4	2,5	0,59	4,2	3
5	2,2	0,74	3,0	4
6	1,8	0,81	2,2	5

Die Leistungsabgabe sinkt, wenn R_{ges} größer wird (Antiproportionalität)



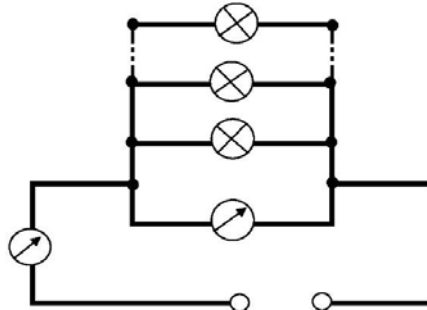
Die Ablesungen erfolgten manuell.

Experiment 2:

Wie in Experiment 1 wird eine Batterie durch Zuschaltung mit mehreren Glühbirnen belastet. Diesmal wird ein präzises Messgerät verwendet, welches über eine direkte Aufzeichnungsanbindung an den PC verfügt.

Schaltskizze:

Die Leistungsabgabe sinkt,
wenn R_{ges} kleiner wird
(Proportionalität)



Experiment 3:

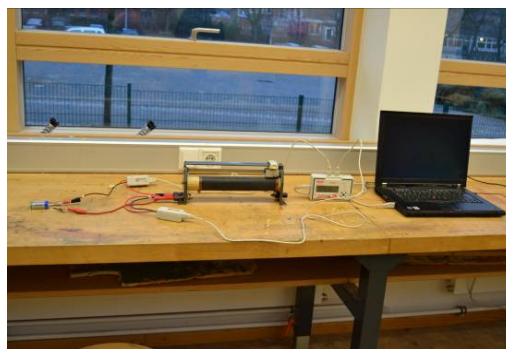
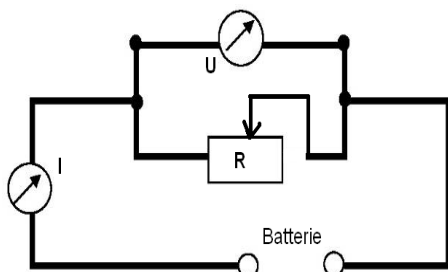
Eine Batterie wird mit mehreren Glühbirnen verbunden, die nacheinander eingeschaltet werden. Dabei fällt auf, dass es bei wenigen Glühbirnen heller wird und ab einem gewissen Punkt bei Zuschaltung weiterer Glühbirnen, alle dunkler werden.

Beobachtungen:

1 Lämpchen	hell
2 Lämpchen	doppelt so hell
5 Lämpchen	fast fünf Mal so hell
20 Lämpchen	insgesamt weniger hell als bei 1, 2 und 5 Lämpchen
100 Lämpchen	nur noch ganz leichtes Leuchten (weit weniger als bei 20 Lämpchen)

Experiment 4:

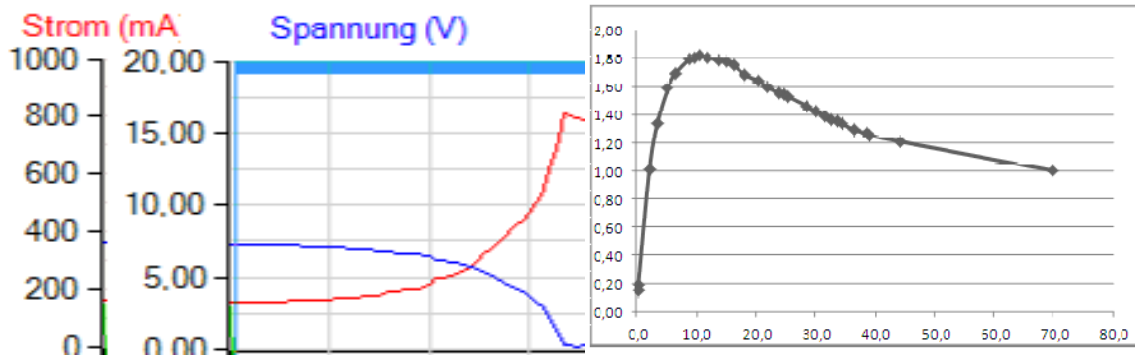
Ich habe Strom und Spannung einer Batterie mit Hilfe eines Schiebewiderstandes und eines Computers gemessen und Widerstand und Leistung berechnet.



Dabei sind folgende Messwerte entstanden:

Zeit s	Strom mA	Spannung V	AußenWiderst Ohm $R = U / I$	Leistung Watt $P = U * I$
0,00	165,00	7,31	44,3	1,21
0,00	165,00	7,31	70,0	1,00
3,60	179,00	6,99	39,1	1,25
3,80	181,00	6,99	38,6	1,27
4,40	188,00	6,87	36,5	1,29
4,60	197,00	6,79	34,5	1,34
4,80	201,00	6,75	33,6	1,36
5,20	205,00	6,67	32,5	1,37
5,40	210,00	6,63	31,6	1,39
5,80	217,00	6,55	30,2	1,42
6,00	226,00	6,46	28,6	1,46
6,20	246,00	6,22	25,3	1,53
6,40	250,00	6,18	24,7	1,54
6,60	255,00	6,10	23,9	1,56
7,00	270,00	5,90	21,9	1,59
7,20	284,00	5,78	20,4	1,64
7,40	304,00	5,53	18,2	1,68
7,60	328,00	5,33	16,2	1,75
7,80	344,00	5,17	15,0	1,78
8,00	360,00	4,97	13,8	1,79
8,20	389,00	4,64	11,9	1,80
8,40	418,00	4,36	10,4	1,82
8,60	433,00	4,16	9,6	1,80
8,80	449,00	4,00	8,9	1,80
9,20	511,00	3,31	6,5	1,69
9,40	554,00	2,86	5,2	1,58
9,60	628,00	2,13	3,4	1,34
9,80	695,00	1,45	2,1	1,01
10,00	817,00	0,23	0,3	0,19
10,4	806	0,19	0,2	0,15

Messwerte mit COREX-Q5 (PC-Messgerät) der Firma CONATEX



Das linke Diagramm ist ein Ausschnitt aus den beiden unteren Diagrammen auf dieser Seite.

Es zeigt den Strom in mA und die Spannung in V in Abhängigkeit von der Messzeit in s.

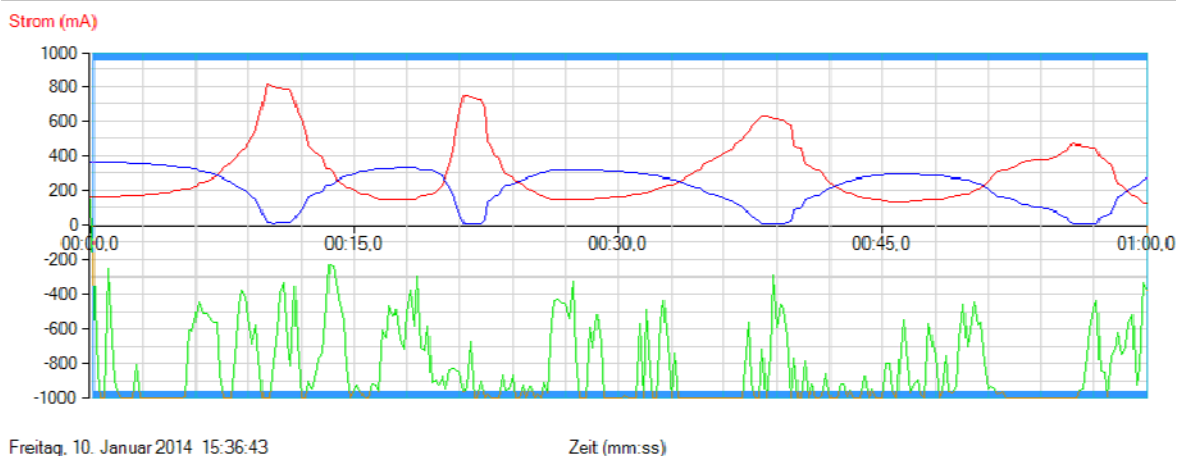
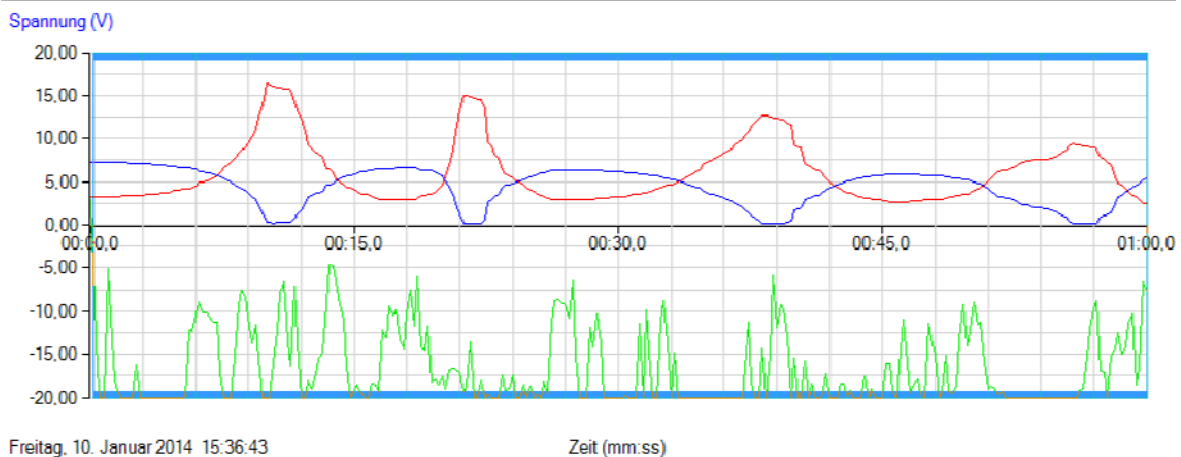
Das rechte Diagramm zeigt die Leistung in Watt in Abhängigkeit vom veränderlichen Schiebewiderstand in Ohm.

Bei der Leistungskurve ist zu sehen...

...vorne: Geradenstück (ungefähr) => Proportionalität => ansteigend

...hinten: Hyperbelstück (ungefähr) => Antiproportionalität => abfallend

...dazwischen: größter Wert



Ergebnis:

Leistung am größten, wenn $R=11\text{Ohm}$
Der innere Widerstand ist auch 11Ohm

$$R_i = U_0 / I_k = 9\text{V} / 0,806\text{ A} = 11,2\text{ Ohm}$$

Es gilt also bei meinem Versuch:

Die Leistung ist maximal, wenn der innere Widerstand mit dem äußeren Widerstand übereinstimmt.

Mathematischer Nachweis:

Die Leistung P_a in Abhängigkeit vom äußeren Widerstand R_a :

$$P_a = U_a \cdot I_a$$

$$P_a = R_a \cdot I_a \cdot I_a$$

$$P_a = R_a \cdot I_a^2$$

$$P_a = R_a \cdot I_{\text{ges}}^2$$

$$P_a = R_a \cdot (U_{\text{ges}}/R_{\text{ges}})^2$$

$$P_a = R_a \cdot x \cdot U_0^2 / (R_i + R_a)^2$$

$$P_a = R_a \cdot U_0^2 / (R_i^2 + 2 R_i \cdot R_a + R_a^2)$$

$$P_a = y \quad R_a = x \quad | U_0 | = 9$$

$$| R_i | = 11$$

$$y = 81 \cdot x / (121 + 22x + x^2)$$

1. Wenn $x: x \ll 1$

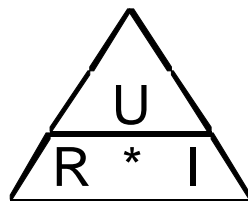
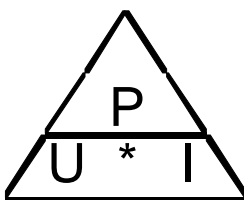
$$\text{dann } y = 81x / 121$$

$$y = 0,66 x$$

2. Wenn $x: x \gg 1$ (10.000)

$$\text{dann } y = 81x / x^2$$

$$y = 81 / x$$



Weiteres Vorgehen:

Ich gehe bei den weiteren Versuchen davon aus, dass das Ergebnis auch für alle Stromkreise gilt. (Ich überlege wie man das zeigen könnte.)

Ich muss bei meinen Dynamos testen, wie groß der innere Widerstand ist und ob sich der innere Widerstand verändert, wenn sich die Drehzahl verändert.

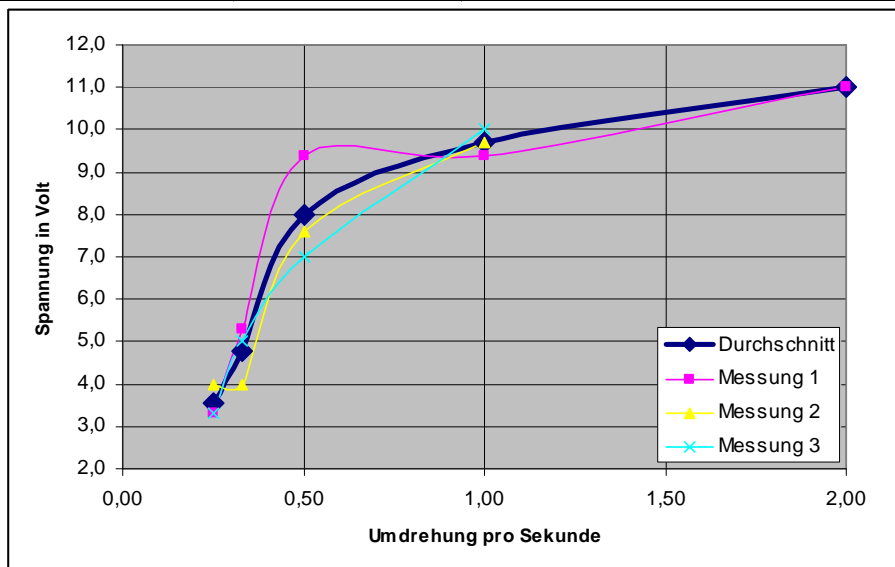
1. Ist der innere Widerstand stets gleich bei veränderten Drehzahlen, muss man nur die richtige Lampe wählen mit dem gleichen Widerstand wie der innere Widerstand des Generators.
2. Wenn der innere Widerstand nicht stets gleich ist bei veränderten Drehzahlen, muss man verschiedene Lampen mit dem entsprechenden Widerstand für jede der Geschwindigkeit wählen.
Das würde heißen, dass jeder für sich selbst den optimalen Dynamo und das optimale System kaufen müsste, das für seine normale Durchschnittsgeschwindigkeit geeignet ist.

Weitere Messungen

Experiment 5:

An einem alten Fahrrad wird ein Messgerät installiert und der Reifen mit Handdrehung an den Pedalen in verschiedenen Geschwindigkeiten bewegt. Hierbei fällt auf, dass bei steigender Drehgeschwindigkeit die Spannung nicht gleichmäßig ansteigt, s. nachfolgende Tabelle und Diagramm.

Umdrehung pro Sekunde (am Pedal)	Spannung in Volt			
	Durchschnitt aus Messung 1-3	Messung 1	Messung 2	Messung 3
0,25	3,5	3,3	4,0	3,3
0,33	4,8	5,3	4,0	5,0
0,50	8,0	9,4	7,6	7,0
1,00	9,7	9,4	9,7	10,0
2,00	11,0	11,0	11,0	11,0

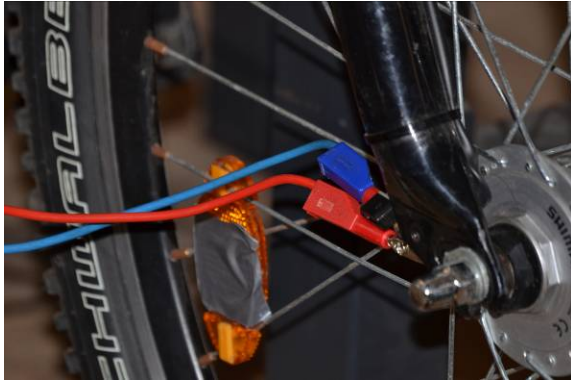


Die Umdrehungszahl wurde mit einer Stoppuhr gemessen.



Experiment 6:

Ich habe getestet, ob sich der innere Widerstand bei einem Fahrrad bei Veränderung der Drehzahl ebenfalls verändert.



SHIMANO DH 3N20

Frequenz	I_k	U_L	Geschwindigkeit	Innerer Widerstand
Hz	A	V	km/h	Ohm
				U_L / I_k
15	0,47	7,5	8,7	16,0
30	0,48	14,8	17,4	31,2
64	0,50	29,4	37,1	58,8
100	0,58	48,0	58,0	82,8

SHIMANO DH 2N20

Frequenz	I_k	U_L	Geschwindigkeit	Innerer Widerstand
Hz	A	V	km/h	Ohm
				U_L / I_k
12,2	0,54	5,7	7,9	10,6
13,7	0,54	6,4	8,8	11,9
21,1	0,56	9,9	13,7	17,7
28,8	0,70	13,5	20,6	19,3
33,4	0,58	15,6	21,3	26,9
44,5	0,58	16,8	28,7	29,0
49,7	0,58	23,3	32,9	40,2
56,9	0,58	26,3	41,3	45,3
62,8	0,58	29,3	Über 50	50,5

Ergebnis:

Der innere Widerstand steigt mit der Frequenz an (Drehzahl).

Also gilt: (Fall 2)

Wenn der innere Widerstand nicht stets gleich ist bei veränderten Drehzahlen, muss man verschiedene Lampen mit dem entsprechenden Widerstand für jede der Geschwindigkeit wählen.

Das würde heißen, dass jeder für sich selbst den optimalen Dynamo und das optimale System kaufen müsste, das für seine normale Durchschnittsgeschwindigkeit geeignet ist.

Ich habe herausgefunden, dass es nicht den „besten“ Dynamo gibt. Da der innere Widerstand mit der Frequenz ansteigt, müsste man für jede Geschwindigkeit eine andere Lampe anbringen, um die optimale Energieabgabe zu bekommen.

Ergebnisdiskussion

Ich finde das Ergebnis interessant, weil es nicht mit meinen Vermutungen übereinstimmt. Das macht das Ganze spannender. Aber gleichzeitig passt es auch, weil es ja so auch keinen überragenden Dynamo gibt.

Zusammenfassung:

Untersuchungen zu Fahrradgeneratoren

Welcher Fahrraddynamo ist am effizientesten?

Mein Ziel ist es herauszufinden, welcher Fahrraddynamo am besten ist.

Dazu beschäftige ich mich zuerst mit der Theorie des elektrischen Stromkreises.

Experimente mit Batterien haben ergeben, dass die Energieabgabe vom inneren Widerstand und vom äußeren Belastungswiderstand abhängt.

Sie ist am besten, wenn sie übereinstimmen ($R_i = R_a$).

Meine Drehuntersuchungen mit dem Dynamo zeigen: Der innere Widerstand steigt mit der Frequenz an (Drehzahl).

Daher müsste man für jede Geschwindigkeit des Radfahrers jeweils eine andere Lampe mit dem entsprechenden Widerstand wählen.

Das würde heißen, dass jeder für sich selbst den optimalen Dynamo und dazu das optimale System kaufen müsste, das für seine normale Durchschnittsgeschwindigkeit geeignet ist.

Mein Ziel ist es, hierzu eine Kaufberatung abzugeben.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Quellen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fahrraddynamo>, 14.01.2014,
Wikipedia Die freie Enzyklopädie, Fahrraddynamo

Unterstützung:

Projektbetreuung: Otto Thies, St.D. aD.

Beratung bei der Diskussion zur Auswahl eines selbst-gewählten Themas (Projektes),
Bereitstellung von Geräten und Materialien und Beaufsichtigung beim Umgang mit
Gerätschaften und Maschinen, Hinweis auf Jugend-Forscht-Vorlage (Erstellung der
schriftlichen Arbeit)

Stadt Kiel,

- Ellerbeker Schule ENRICHMENT - Verbund Kiel
Bereitstellung von Werkzeugen, Gerätschaften, Holz-, Metall- und elektronischen
Materialien, Messgeräten und Bauteilen aus den Werkstatt- und PC-Räumen der
Schule
- Gymnasium Wellingdorf
Bereitstellung von Material: Schiebewiderstand

Eltern:

Abtippen meiner handgeschriebenen Original-Texte, Erstellen von Tabellen nach
Vorgabe und Hilfe bei Durchführung von Experimenten.