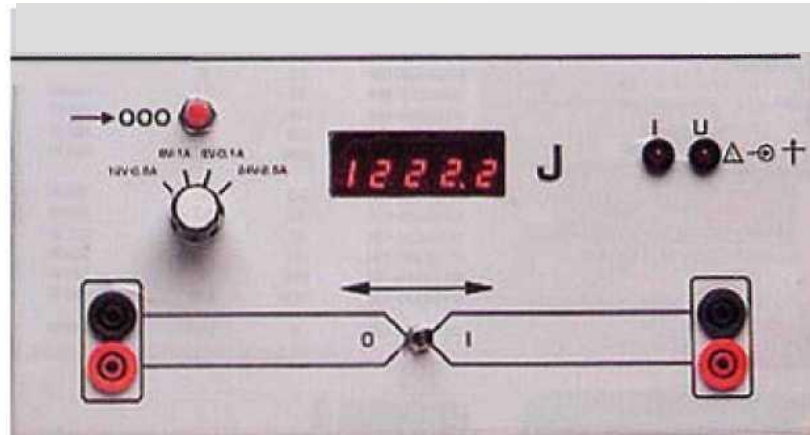


## DIDAJOULE Best.- Nr. 2000535



Das Energiemessgerät DIDAJOULE® wurde unter Verwendung eines speziellen integrierten Schaltkreises zur Messung der Energie entwickelt.

Die für eine Temperaturschwankung von - 40°C bis 85°C oder eine Leistung von 1 bis 1000J angegebene Fehlertoleranz liegt unterhalb von 0,1 %.

### 1. Funktionsprinzip

Durch die externe Beschaltung der Eingänge des integrierten Schaltkreises ADE775XX steht jederzeit die Spannung U und Strom I zur Verfügung. Die beiden Größen werden digitalisiert und zu einem Multiplikator weitergeleitet, der je nach Messbereich alle 0,01 J oder 0,1 J oder 1 J einen Zählimpuls ausgibt. Mit geeigneten Filtern können unerwünschte Frequenzen eliminiert werden. Die Anzeige und die Messbereiche werden über einen Mikrocontroller gesteuert.

Somit ist es möglich, Messungen mit einer wie auch immer gearteten Spannung phasenverschoben oder nicht phasenverschoben mit der entsprechenden Stärke durchgängig bis zu 14 kHz durchzuführen. Bei hohen Frequenzwerten stellen die vorhandenen nicht sinusförmigen Oberschwingungen dabei selbstverständlich einen begrenzenden Faktor dar.

### 2. Inbetriebnahme

1. Verbinden Sie den Netzadapter mit dem Klinkensteckeranschluss an der Seite des Gehäuses.
2. Die Klemmen rechts sind an den Generator anzuschließen.
3. Die Klemmen links sind an den Verbraucher anzuschließen.
4. Werden die oben genannten Anschlüsse umgekehrt vorgenommen, wird die Energie von rechts nach links übertragen und nicht mehr von links nach rechts, so dass das Messgerät DIDAJOULE® dann als Rückwärtszähler funktioniert. Diese Eigenschaft kann man sich zunutze machen, wenn man Schaltungen untersucht, bei denen die Energie zunächst in eine Richtung und dann in die andere übertragen wird, denn die

Anschlüsse müssen dann nicht neu verkabelt werden. Praktische Beispiele: Laden und Entladen des Kondensators, Elektromotor als Verbraucher oder Generator (siehe unten).

5. Wählen Sie den Messbereich anhand der Werte für I und U (Effektivwerte). Je nach Kommastellung kann man mit einer Auflösung von 0,01 J, 0,1 J oder 1 J arbeiten.

**ACHTUNG: Wird der Messbereich während der Benutzung verändert, bewirkt dies ein Reset (Nullrückstellung) des Messgeräts DIDAJOULE®.**

6. Mit dem Schalter kann gleichzeitig der untersuchte Schaltkreis geschlossen und die Zählung ausgelöst werden.
7. Die Nullrückstellung erfolgt über den Druckschalter.

### **3. Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheit**

1. Da es sich um ein Gerät der TBT-Klasse handelt, müssen keine Anschlüsse an das Netz vorgenommen werden.
2. Eine Überschreitung des Messbereichs, zu der es aufgrund der Stromstärke oder der Spannung kommen kann, wird durch Leuchtdioden angezeigt. Schenkt man dieser Anzeige keine Beachtung, verfälscht dies die Messungen infolge der daraus resultierenden Scheitelwertbegrenzungen.

### **ANWENDUNGSBEISPIELE:**

#### **Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie und umgekehrt.**

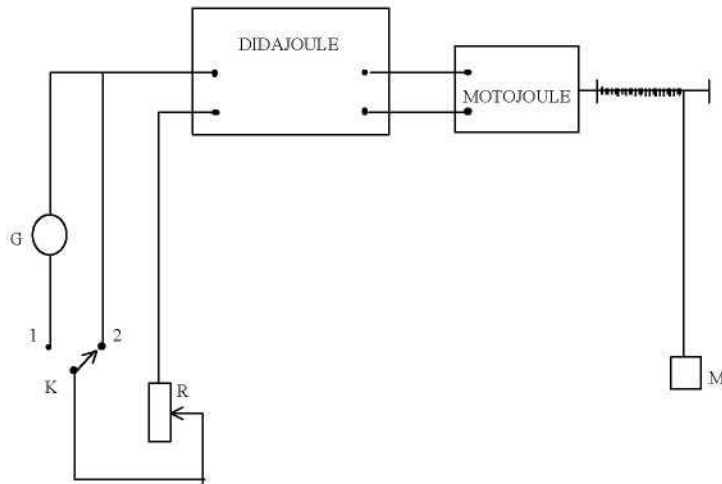
Mit dieser Anwendung leisten wir unseren Beitrag zur Durchführung des im Begleitheft beschriebenen Praktikums für die Schüler der Oberstufe des naturwissenschaftlichen Zweigs, das von einer Gruppe von Fachleuten erarbeitet wurde.

Vollzieht sich die Umwandlung vollständig?

Der Versuch wird mit einem kleinen Gleichstrom-Elektromotor durchgeführt. Der MOTOJoule® 2000534 ist ein für Schulungszwecke konzipierter Motor, der sich in einem Schutzgehäuse befindet und leicht zugängliche mechanische und elektrische Anschlüsse aufweist. Dieser Motor europäischen Ursprungs wurde mit größter Sorgfalt konstruiert: die Achsen sind mit Kugellagern ausgestattet und ein 5-poliger Anker sorgt dafür, dass eine für diese Art von Elektrogeräten angemessene Nenndrehzahl erreicht wird. Technisch wurde das Gerät so konzipiert, dass der Motor umsteuerbar ist. Die Genauigkeit der Leistungsmessung stößt allerdings dann an ihre Grenzen, wenn es um die Schwankungen geht, welche durch die Umschaltungen im Stromabnehmersystem ausgelöst werden.

Aus diesem Grund haben wir einer direkten Messung der Energie den Vorzug gegeben, wobei das Messgerät DIDAJoule® es dem Experimentator ermöglicht, zuverlässige Messungen durchzuführen, ohne dass Überlegungen zur technischen Funktionsweise eines Gleichstrommotors angestellt werden müssen, die nicht zum Unterrichtsstoff der Oberstufe des naturwissenschaftlichen Zweigs (1. Jahr) gehören.

Der verwendete Versuchsaufbau ist also ganz einfach:



G: Generator für eine variable Gleichspannung von 6 V **2004862**

R: Regelwiderstand 33 U – 360 W **2004036**

M: Masse von 500 g **2001078**

K: Umschalter auf Sockel **2004164**

### Die Messungen

Das Messgerät DIDAJOULE® wird auf Null zurückgestellt (Messbereich 6 V, 1 A).

Der Umschalter K wird auf Position 1 gestellt.

Die elektrische Energie gelangt über den Generator G zum Motor M und wird beim Durchgang durch DIDAJOULE® gemessen.

Bedingungen für die Aufwärtsbewegung: Masse von 0,5 kg, Höhe des Versuchsaufbaus: 1,17 m.

Versuche	W
1	13,5 J
2	13,1 J
3	12,8 J

Der Umschalter K wird auf Position 2 gestellt.

Der Motor MOTOJOULE® wird durch den Sturz der Masse M mitgerissen. Die Energie gelangt über den zum Stromerzeuger gewordenen Motor zum Widerstand R und wird beim Durchgang durch DIDAJOULE® gemessen.

Letzteres funktioniert dann als Rückwärtszähler, wenn man es vorzieht, die Anschlüsse zwischen den beiden Versuchen nicht umzustecken.

Unter denselben Bedingungen ergeben sich folgende Werte für die Abwärtsbewegung:

Versuche	W
1	11,4 J
2	10,9 J
3	10,7 J

Die bei der Abwärtsbewegung wieder gewonnene elektrische Energie ergibt sich also wie folgt:

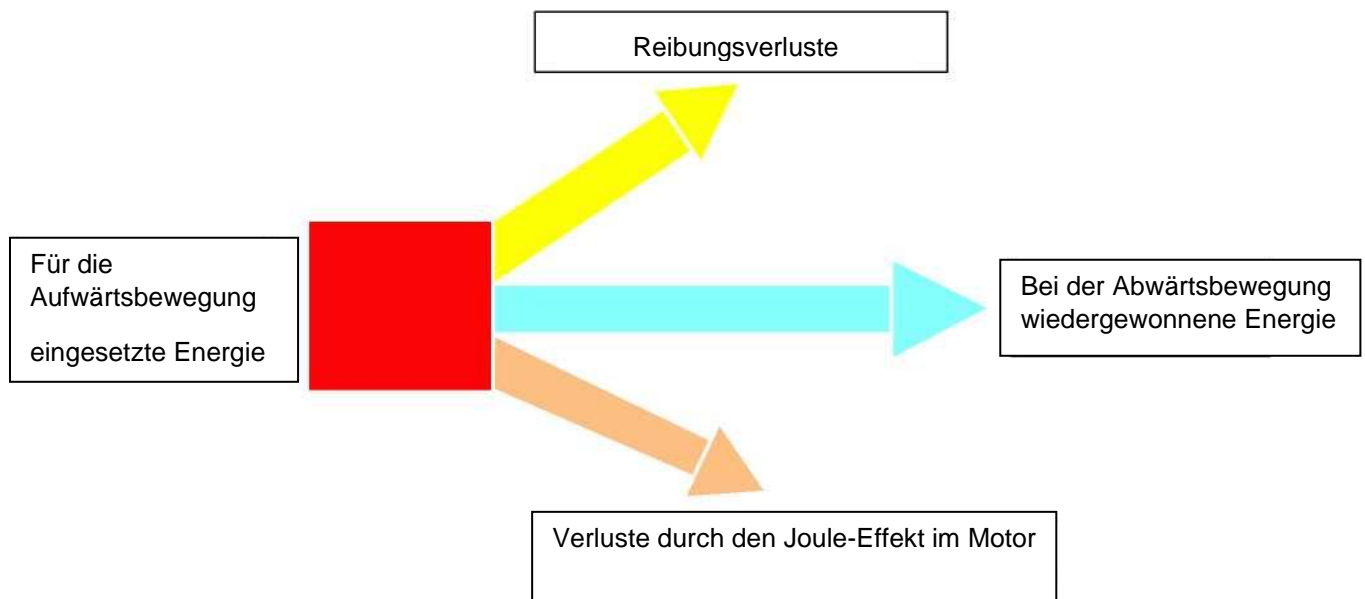
Versuche	W
1	13,5 - 11,4 = 2,1 J
2	13,1 - 10,9 = 2,2 J
3	12,8 - 10,7 = 2,1 J

Die mechanische Energie für die drei Versuche sowie für die Aufwärtsbewegung und die Abwärtsbewegung beträgt also:

$$E_M = M \cdot g \cdot h$$

$$E_M = 0,5 \times 9,8 \times 1,17 = 5,7 \text{ J}$$

**Diagramme:**



### Auswertung der Messungen

- Zunächst ist festzustellen, dass die Umkehrbarkeit dieser Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische Energie deutlich wurde. Die elektrische Energie wird mit dem DIDAJOULE<sup>®</sup> gemessen, die mechanische Energie ergibt sich aus der Berechnung der Arbeit des Gewichts der Masse M, das an der Winde aufgehängt wurde:  $E_M = M \cdot g \cdot h$ .
- Zweitens ist festzuhalten, dass ein Unterschied zwischen der gemessenen elektrischen Energie bei der Aufwärtsbewegung und der bei der Abwärtsbewegung besteht. Der Begriff der Verluste lässt sich gut in Form eines Diagramms zur Auswertung jedes Versuchs darstellen: mechanische Verluste aufgrund von Reibung (nicht direkt

- messbar), elektrische Verluste durch den Joule-Effekt im Motor (auswertbar in einem zusätzlichen Versuch, bei dem der Motor durch einen internen Widerstand von 1,2 U blockiert ist).
- 3) Der dritte Teil der Auswertungen könnte darin bestehen, den Begriff der Leistung einer Umwandlung einzuführen, also den der Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie:

Versuche	$R = E_M / E_E$
1	$R1 = 5,7 / 13,5 = 0,42$
2	$R2 = 5,7 / 13,1 = 0,43$
3	$R3 = 5,7 / 12,8 = 0,44$

Die Leistung ist verglichen mit der einer industriellen elektrischen Maschine gering, aber man muss berücksichtigen, dass es sich um einen kleinen Motor handelt und dass die Versuche nicht gerade unter Nennbedingungen durchgeführt wurden.

Die vom Motorhersteller angegebene Höchstleistung beträgt 0,75.

Anmerkung: Aus Sicherheitsgründen basiert die Benutzung für Schüler auf einer Masse von 500 g in 1 m Höhe. Vorausgesetzt, es werden entsprechende Vorsichtsmaßnahmen für den Sturz einer Masse von

2 kg ergriffen, kann der Versuch mit einer Masse von 2 kg in einer Höhe von 2 m durchgeführt werden. Die Qualität der Ergebnisse lässt sich damit steigern.

### **Zusätzliche Maßnahmen:**

#### **Versuche:**

Die Benutzung kann erfolgen, indem die Abwärtsbewegung der Masse M genutzt wird und der Wert R gesucht wird, mit dem ein Höchstmaß an Energie erzeugt wird. Daran kann sich eine Diskussion über die Anpassung der Energiequelle an die jeweilige Anwendung anschließen.

#### **Notwendige Versuchsumgebung:**

- Ein MOTOJOULE® **2000534**
- Eine 6-V-Stromversorgung, Gleichstrom, variabel, **2004862**
- Ein Regelwiderstand 33 Ω – 160 W, **2004036**
- Ein Umschalter auf Sockel, **2004164**
- Eine Masse von 500 g, **2001018**

#### **Sonstige mögliche Versuchsaufbauten:**

In einem Kondensator gespeicherte Energie:

Entladung eines Kondensators in einem Widerstand, einer Lampe, einem Elektromotor.

#### **Erforderliche Geräte:**

- Elektromotor vom Typ MOTOJOULE® **2000534**
- Stabilisierte Stromversorgung mit Spannungsbegrenzung **2004862**
- Oder auch ein Stromgenerator **2004853**
- Amperemeter **2001266**
- Kondensator  $> 0,1 \text{ F}$  **2002112**
- *Der Kondensator muss sorgfältig entladen werden, bevor eine Messreihe durchgeführt wird (lassen Sie den Umschalter dauerhaft auf Position 1 und stellen Sie ihn erst auf Position 0, nachdem Sie überprüft haben, dass  $U_C = 0 \text{ V}$ ). Beachten Sie dabei die Polaritäten und die Betriebsspannungen.*
- Chronometer mit Abschaltvorrichtung vom Typ STOPELEC® **2000536**
- Energiezähler DIDAJOULE® **2000535**
- Ein 2-Ohm-Widerstand mit sehr hoher Leistung (z. B. mit  $I_{\text{max}} = 5 \text{ A}$ ), der somit beim Durchlaufen eines Strom in der Größenordnung von 1 A (oder weniger) konstant bleibt: ein solcher Widerstand ist z. B. der Rheostat **2004384**.
- Voltmeter **2001266**
- Eine Messstation vom Typ Orphy® oder IP2®

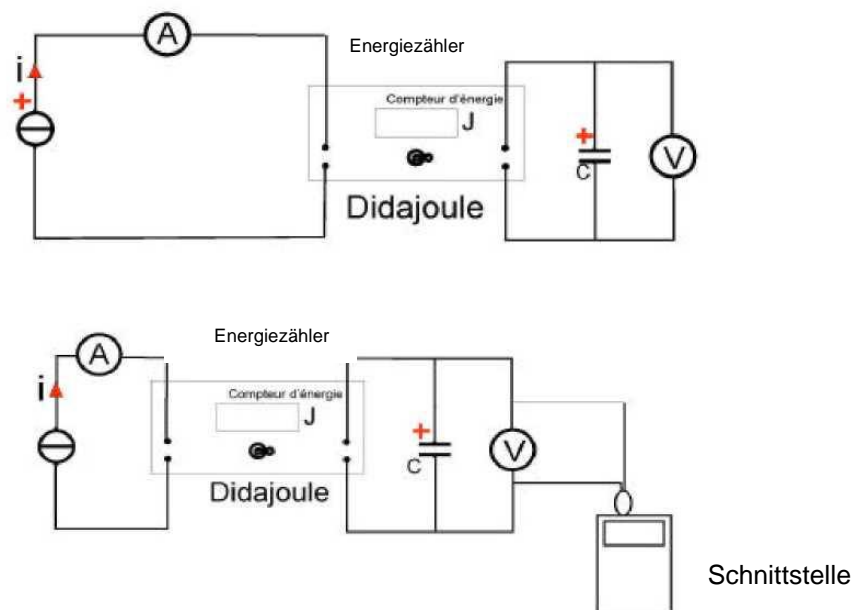
### Versuch 1:

#### Laden mit konstanter Stromstärke

Laden mit konstanter Stromstärke, wobei die am Kondensator vorhandene Energie gemessen wird, um festzustellen, welcher Zusammenhang zwischen dieser Energie und der gespeicherten elektrischen Ladung besteht. In zweiter Linie wird es darum gehen, die gespeicherte Energie mit der z. B. über einen Motor abgegebenen Energie zu vergleichen.

#### Durchführung des Versuchsaufbaus

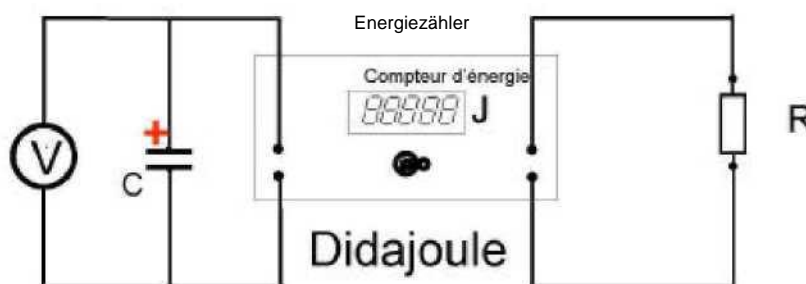
Legen Sie einen Kurzschlussdraht auf den Stromgenerator vom Typ **2004853**, stellen Sie die Stromstärke auf ca. 100 mA ein, lesen Sie diesen Wert genau ab und lösen Sie dann den Kurzschlussdraht ab und berühren Sie die Stromstärkenregelung nicht mehr.



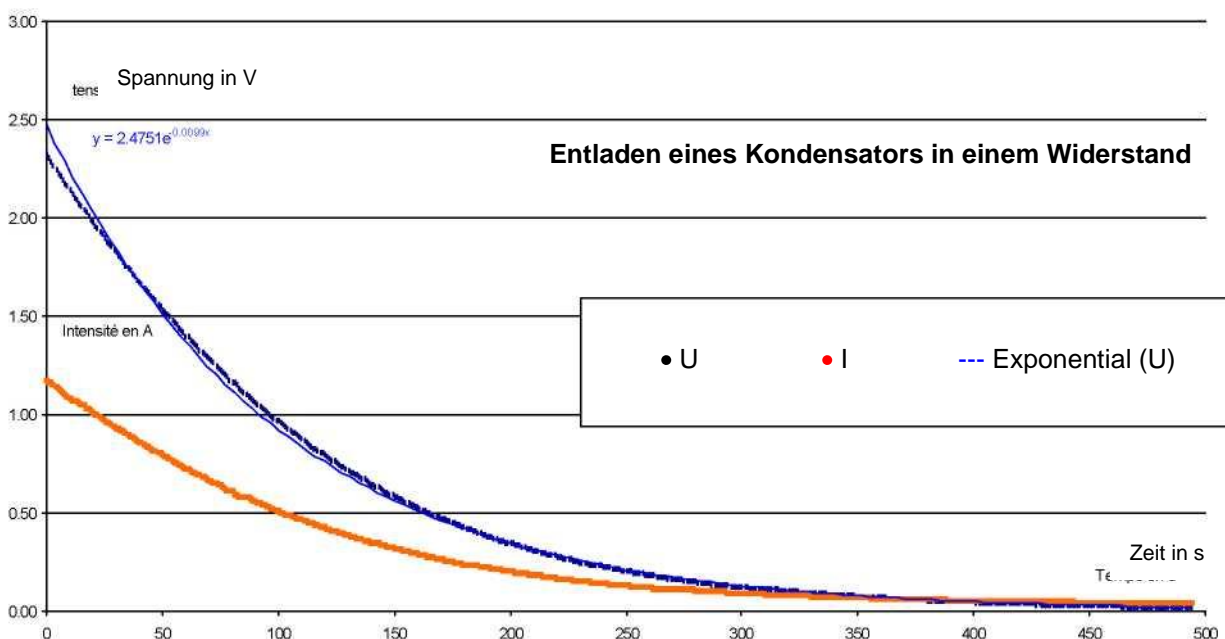
Der Umschalter in Position 1 schließt den Lastkreis, und nach einigen Minuten ist der Kondensator mit einer Last  $Q = C \cdot U$  geladen, die etwa 190 Coulomb entspricht und somit eine Energie  $W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$  „enthält“, also 235 Joules. Dieser Wert kann beim Laden mit einem Energiezähler (DIDAJOULE® - Messbereich 6 V – 1 A) gemessen werden. Das Lehrpersonal kann diesen Versuch dazu nutzen, den genauen Wert der Kapazität des Kondensators zu erreichen.

## Versuch 2:

### Entladen eines Widerstands



Mit diesem Versuch lässt sich anschaulich darstellen, wie die Spannung im Verlauf der Entladung abnimmt, während der Energiezähler es ermöglicht, die gespeicherte Energie mit der abgegebenen Energie zu vergleichen.



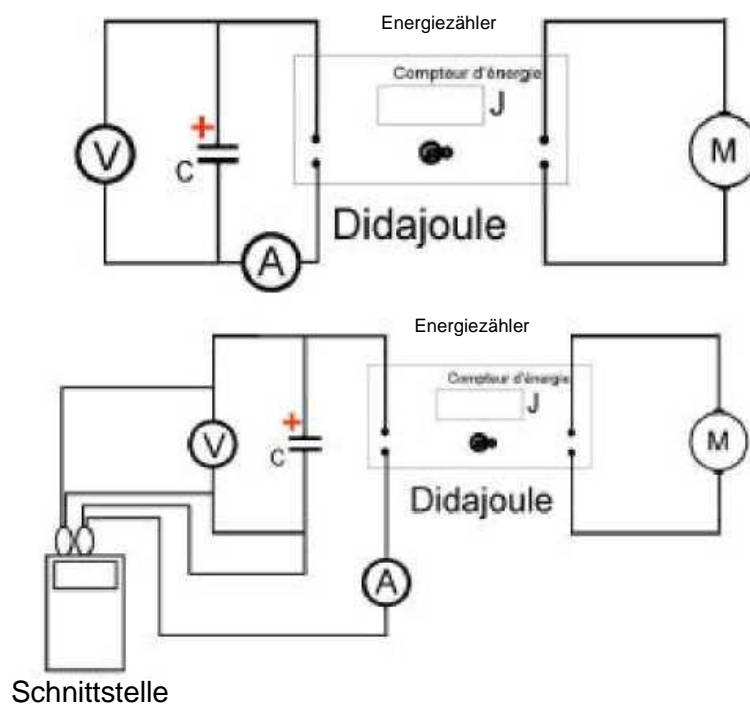
Die Kurve  $U = f(t)$  weist einen exponentiellen Verlauf auf, der durch die Auswertung mit einer Rückschrittvorrichtung bestätigt wird.

Die Tabelle der Werte wird mit je einer Messung pro Sekunde erstellt. Somit lässt sich die abgegebene Energie ganz leicht berechnen, indem das Produkt  $U \cdot I$  jede Sekunde

(Augenblicksleistung) ermittelt wird und dann die Summe aller U.I-Werte genommen wird, um die Energie zu bestimmen. Dieser Wert lässt sich ganz einfach mit dem vom Energiezähler gemessenen Wert vergleichen. Damit lässt sich zeigen, dass durch den Lade-/Entladevorgang des Kondensators auch Energieeinbußen entstehen, denn die Leistung mit den verwendeten Kondensatoren liegt nur in der Größenordnung von 85 %.

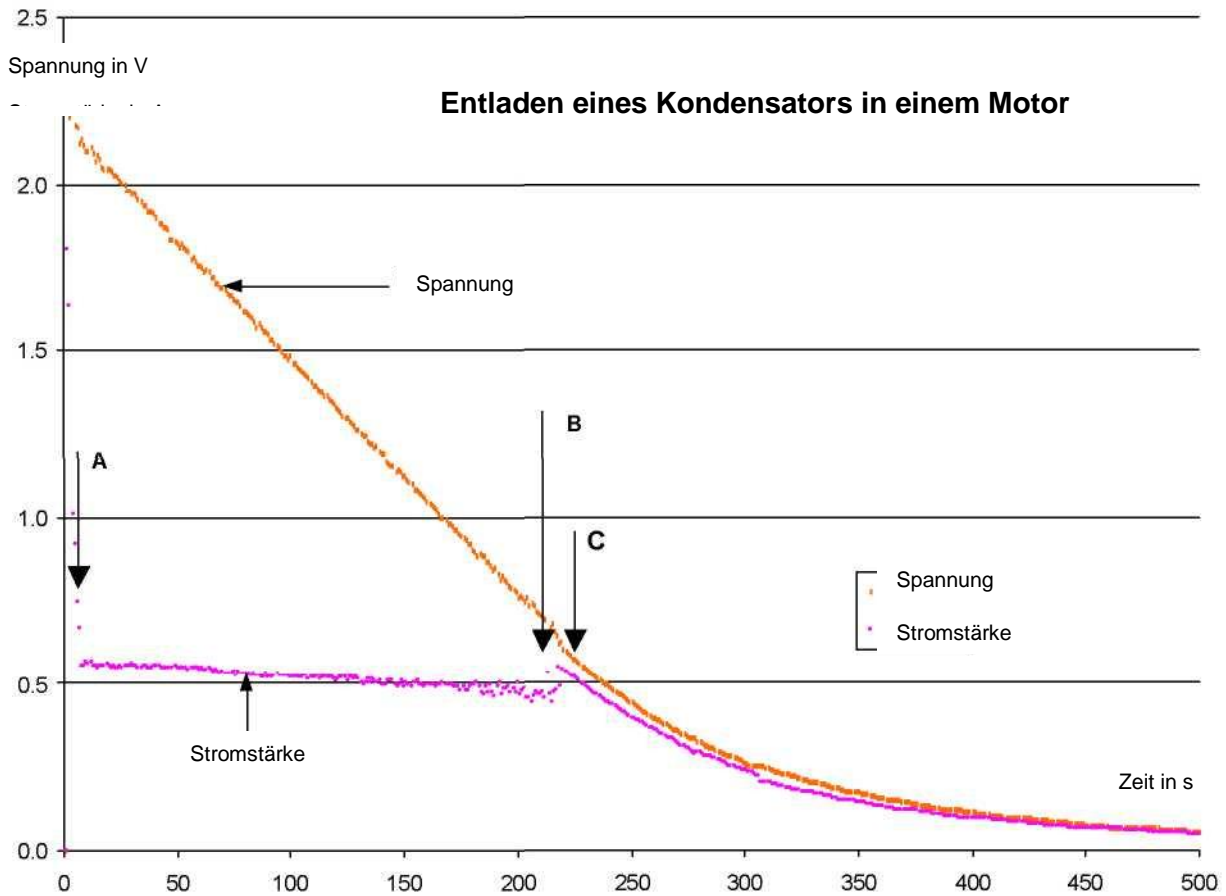
### Versuch 3:

#### Entladen in einem Motor



Wenn man an der Achse des Motors einen kleinen dünnen Draht anbringt, an dessen Ende eine Masse  $m = 300 \text{ g}$  aufgehängt wird, kann man die Masse  $m$  bei Einstellung des Umschalters auf Position 2 mehrmals auf eine Höhe  $h = 1,5 \text{ m}$  ansteigen lassen und so eine mechanische Energie „wiedergewinnen“, die sich leicht berechnen lässt. Eine andere Lösung besteht darin, eine kleine Versuchsanordnung bestehend aus Motor + Generator vom Typ **2003860** zu verwenden, mit der die umgewandelte mechanische Energie berechnet werden kann.





Beobachtet man die Stromstärke im Motor, so zeigt sich zunächst ein schnelles Absinken ausgehend vom Wert „Motor blockiert“ (also ca. 2 A), dann eine Stabilisierung auf einen konstanten Wert („symbolischer Dauerbetrieb“ bis 0,5 A) und dann, sobald der Motor nicht mehr drehen kann (nicht ausreichendes Drehmoment), ein leichter Anstieg (der Motor ist nun tatsächlich blockiert) und schließlich ein erneutes Absinken bis zur vollständigen Entladung. Die gleichzeitige Überprüfung der Spannung an den Klemmen des Kondensators zeigt ein nahezu lineares Absinken, bis auf die Zeit während des Anlassens und nach dem Stillstand des Motors.

Wenn ein Energiezähler (DIDAJOULE® - Messbereich 6 V – 1 A) eingesetzt wird, kann die elektrische Energie gemessen werden, die vom Kondensator an den Motor geliefert wird; sie beträgt in diesem Versuch 198 Joules.

## Energiebilanz des Motors:

Die Auswertung ist recht einfach, auch wenn dabei einige Näherungswerte berücksichtigt werden müssen: sie erfolgt anhand der über die Zeit gemessenen Werte für U und I.

Zeit in s	Spannung in V	Stromstärke in A	Energie in J	Zeit in s	Spannung in V	Stromstärke in A	Energie in J
0	2,22	1,80	4,00	180	0,88	0,50	0,45
1	2,20	1,63	3,59	190	0,82	0,50	0,41
2	2,22	1,01	2,24	200	0,76	0,48	0,37
3	2,18	0,92	2,01	210	0,69	0,45	0,32
4	2,17	0,75	1,63	220	0,59	0,53	0,32
5	2,12	0,67	1,42	230	0,53	0,48	0,26
6	2,14	0,56	1,19	240	0,48	0,43	0,21
7	2,12	0,56	1,18	250	0,43	0,39	0,17
8	2,10	0,57	1,19	260	0,39	0,35	0,14
9	2,10	0,56	1,18	270	0,35	0,31	0,11
10	2,11	0,57	1,20	280	0,31	0,28	0,09
20	2,03	0,56	1,13	290	0,28	0,26	0,07
30	1,96	0,56	1,09	300	0,25	0,23	0,06
40	1,88	0,56	1,05	310	0,24	0,20	0,05
50	1,82	0,55	1,00	320	0,22	0,18	0,04
60	1,74	0,54	0,94	330	0,20	0,17	0,03
70	1,67	0,53	0,89	340	0,18	0,15	0,03
80	1,60	0,53	0,85	350	0,17	0,14	0,02
90	1,53	0,52	0,80	360	0,15	0,13	0,02
100	1,46	0,53	0,77	370	0,14	0,12	0,02
110	1,38	0,53	0,73	380	0,13	0,11	0,01
120	1,31	0,52	0,68	390	0,12	0,10	0,01
130	1,25	0,50	0,62	400	0,11	0,09	0,01
140	1,17	0,50	0,58	410	0,10	0,09	0,01
150	1,10	0,50	0,55	430	0,09	0,07	0,01
160	1,04	0,49	0,51	460	0,07	0,06	0,00
170	0,96	0,49	0,47	490	0,06	0,05	0,00

Während der Anlaufphase, die etwas mehr als eine Sekunde dauert, geht die Stromstärke von 2 A auf 0,5 A und man misst 14,8 Joules (Joule-Effekt).

Während der Phase hoher Intensität, die 210 Sekunden dauert, liegt die Stromstärke bei 0,5 A (Joule-Effekt und mechanische Energie): 153,8 Joule.

Während der Endphase, wenn der Strom in 250 s von 1 A auf Null übergeht: 16,2 Joules (Joule-Effekt).

Das macht zusammen 185 Joule.

Der Widerstand des Ankers im Motor kann gemessen werden, indem der blockierte Motor untersucht wird oder das Datenblatt des Herstellers zu Rate gezogen wird; er beträgt 1,1 Ohm. Mit diesem Wert lassen sich die gemessenen Werte überprüfen.

**Verluste durch mechanische Reibung**

Die Reibung kann sich auf ein konstantes Drehmoment  $M$  reduzieren, bei dem die Arbeit sich proportional zum ausgeführten Drehwinkel verhält. Dieses konstante Drehmoment kann durch Messungen am Motor berechnet werden:  $M \approx 0,006 \text{ N.m}$ .

Anhand der Überprüfung des Motor im Leerlauf lässt sich  $M$  bestimmen, und die Anzahl der Umdrehungen errechnet sich auf der Grundlage der technischen Daten der Winde (wenn alle Motoren, aus denen der Generatormotor **2003860** insgesamt besteht, gleich sind, lassen sich damit die notwendigen Messungen vornehmen).

**„Wiedergewonnene“ mechanische Energie**

Die Berechnung erfolgt anhand der Ermittlung der infolge der Schwerkraft geleisteten Arbeit. Die von der Masse am Ende des Aufstiegs gewonnene kinetische Energie kann dabei zunächst unberücksichtigt bleiben.

Wenn eine kleine Versuchsanordnung bestehend aus Motor + Generator vom Typ **2003860** verwendet wird, kann die umgewandelte mechanische Energie anhand der gemessenen Drehzahl und des an der Motorwelle gemessenen Drehmoments berechnet werden.