

HUBERT JUNG
M.PETER METTENLEITER
HELMUT J.M. ROTTNER

ENERGIE

ARBEITSHEFT

3., verbesserte Auflage

Verfasser: Hubert Jung
06366 Köthen

M. Peter Mettenleiter
85276 Pfaffenhofen

Helmut J. M. Rottler
86633 Neuburg

Gestaltung und Satz: MEKRUPHY GMBH
Schäfflerstraße 9
85276 Pfaffenhofen
Tel.: 08441 / 50420-0
Fax: 08441 / 50420-29
E-Mail: info@mekruphy.com
Internet: www.mekruphy.com
© 2007 MEKRUPHY GMBH

Druck: Humbach & Nemazal Offsetdruck GmbH
Ingolstädter Straße 102
85276 Pfaffenhofen

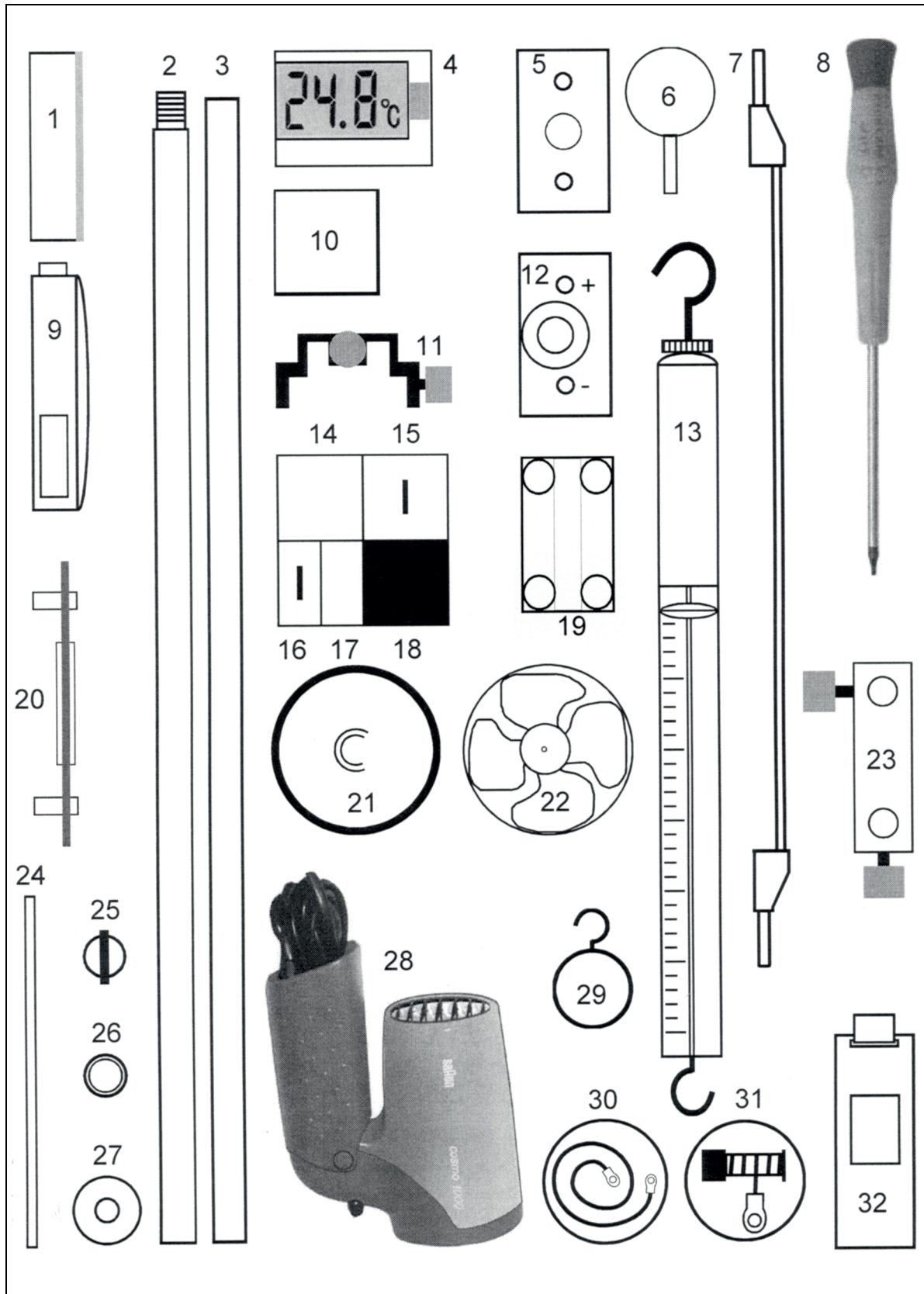
Dieses Arbeitsheft und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede gesetzlich nicht zugelassene Nutzung (z.B. Verwertung durch Vervielfältigung oder Verbreitung) ist, auch auszugsweise, ohne vorherige schriftliche Zustimmung der MEKRUPHY GMBH unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für die öffentliche Zugänglichmachung im Sinne des § 52a UrhG. Schulen haben hiervon abweichend das Recht zur Vervielfältigung, jedoch ausschließlich in einem für den jeweiligen Unterrichtsgebrauch erforderlichen Umfang.

Die im vorliegenden Arbeitsheft enthaltenen Experimentieranleitungen wurden mit größter Sorgfalt für die Arbeit mit dem entsprechenden Experimentiersatz der MEKRUPHY GMBH entwickelt. Abweichungen von den Anleitungen können sowohl zur Beschädigung oder Zerstörung der Experimentiergeräte oder anderer Gegenstände als auch zu Personenschäden führen. Die MEKRUPHY GMBH haftet daher nicht für durch Abweichung von der Experimentieranleitung entstandene Schäden. Beim Experimentieren sind stets die jeweils geltenden Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht einzuhalten.

Inhalt	ENERGIE
Geräteübersicht	4
Vorwort	6
Die potentielle Energie	7
Energieerhaltung	10
Umwandlung potentieller in elektrische Energie	13
Die elektrische Energie	15
Umwandlung elektrischer in mechanische Energie	19
Umwandlung kinetischer in innere Energie	22
Reibung und die Erhöhung der inneren Energie	25
Wärmedämmung	28
Wärmeleitung	31
Der Wärmefluss	34
Der Eismotor	36
Kalibrierung eines PELTIER – Moduls	37
Die Kältemaschine	40
Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe	43
Wärmestrahlung	46
Absorption von Licht	48
Kurzschluss-Stromstärke eines Solarmoduls	51
Leerlaufspannung eines Solarmoduls	54
Kurzschluss-Stromstärke und Strahlungsrichtung	57
Die Windenergie	59
Energiespeicherung	61
Anhang 1: Aufbau eines PELTIER – Moduls	63
Anhang 2: Aufbau eines Solarmoduls	64

Geräteübersicht

ENERGIE



Geräteübersicht

ENERGIE

- 1 Solarmodul
- 2 Stativstange
- 3 Kupferrohr
- 4 Digitalthermometer
- 5 Baustein Glühlampe
- 6 Prallfeder
- 7 Experimentierkabel
- 8 Schraubenzieher
- 9 Stoppuhr
- 10 Isolierbox mit Deckel, dazu Aluminium-, Holz- und Kunststoffplatte
- 11 Reiter
- 12 Baustein Kondensator
- 13 Kraftmesser
- 14 Aluminiumwürfel ohne Haken
- 15 Aluminiumwürfel mit Haken
- 16 Aluminiumquader mit Haken
- 17 Eistopf
- 18 LESLIE-Würfel
- 19 Reibungskörper aus Acrylglas
- 20 PELTIER – Modul
- 21 Strahler
- 22 Motor / Generator mit Propeller
- 23 Vierkantmuffe ME 2
- 24 Glasplatte
- 25 Stift mit Haken
- 26 Stift mit Gewinde
- 27 Halter aus rotem Kunststoff
- 28 Haartrockner
- 29 Pendelkugel Stahl
- 30 Schnur 50 cm in Dose
- 31 Antriebsrolle in Dose
- 32 Maßband

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

die Energie ist eine der wichtigsten Größen in der Physik und gewinnt auch im Alltag immer mehr an Bedeutung. Der MEKRUPHY - Experimentiersatz ENERGIE bietet Dir die Möglichkeit, diesen Begriff in eigenen, spannenden Versuchen selbst zu erarbeiten. Dabei wirst Du nicht nur konventionelle, sondern auch neue, alternative Energieformen in den verschiedensten Gebieten der Physik kennenlernen.

Die dazu erforderlichen Geräte sind auf Seite 4 abgebildet und auf Seite 5 näher bezeichnet.

Damit die Experimente nicht nur Dir, sondern auch Deinen Mitschülerinnen und Mitschülern immer ohne Probleme gelingen, solltest Du die folgenden Punkte stets genau beachten:

- (1) Lies die betreffenden Anleitungen vor Versuchsbeginn immer genau durch.
- (2) Arbeite immer nur mit den Geräten, die für den betreffenden Versuch vorgesehen sind.
- (3) Lege alle Geräte nach Gebrauch sofort wieder in den Kasten zurück.
- (4) Behandle die Geräte schonend und lass sie vor allem nicht auf den Boden fallen.
- (5) Achte bei den elektrischen Versuchen unbedingt auf den angegebenen Messbereich der Geräte und die richtige Polung.
- (6) Wähle auf keinen Fall höhere Spannungswerte als angegeben.
- (7) Frage im Zweifelsfall immer Deine Lehrkraft.

Wir wünschen Dir nun viel Freude und Erfolg beim Experimentieren!

An dieser Stelle bedanken wir uns bei Herrn Prof. Dr. Werner Schneider und Herrn Dr. Helmut Dittmann vom Physikalischen Institut der Universität Erlangen für die Unterstützung bei der Entwicklung des Experimentiersatzes sowie bei allen Damen und Herren und allen Schülerinnen und Schülern, die bei der Erprobung der Versuche mitgewirkt haben. Unser besonderer Dank gilt auch Herrn StD Friedrich Arnet vom Gymnasium Eckental für wertvolle Hinweise zum PELTIER-Modul.

Hubert Jung
M. Peter Mettenleiter
Helmut J.M. Rottler

Die potentielle Energie

EN - 1

Einführung:

Energie wird überall dort benötigt, wo wir einen Körper hochheben, bewegen, verformen, erwärmen oder beleuchten wollen.

Als Energielieferanten kennen wir beispielsweise die Sonne, den Wind, Benzin, Erdöl, Kohle, Gas, aber auch unsere Nahrung, durch die wir selbst Energie aufnehmen.

Energie können auch Körper liefern, die eine erhöhte Lage einnehmen, beispielsweise die Wassermassen eines Stausees, die beim Herunterstürzen in tiefere Lagen Turbinen antreiben. Wir sagen in diesem Fall: Diese Körper besitzen *Höhen-, Lage- oder potentielle Energie*.

Im folgenden Versuch kannst Du herausfinden, von welchen physikalischen Größen die potentielle Energie eines Körpers abhängt. Wir bringen hierzu einen Aluminiumkörper auf eine bestimmte Höhe und lassen ihn dann auf einen ruhenden Aluminiumwürfel treffen, der dadurch seine Lage verändert. Aus der Größe der Lageveränderung schließen wir dann auf die Größe der potentiellen Energie.

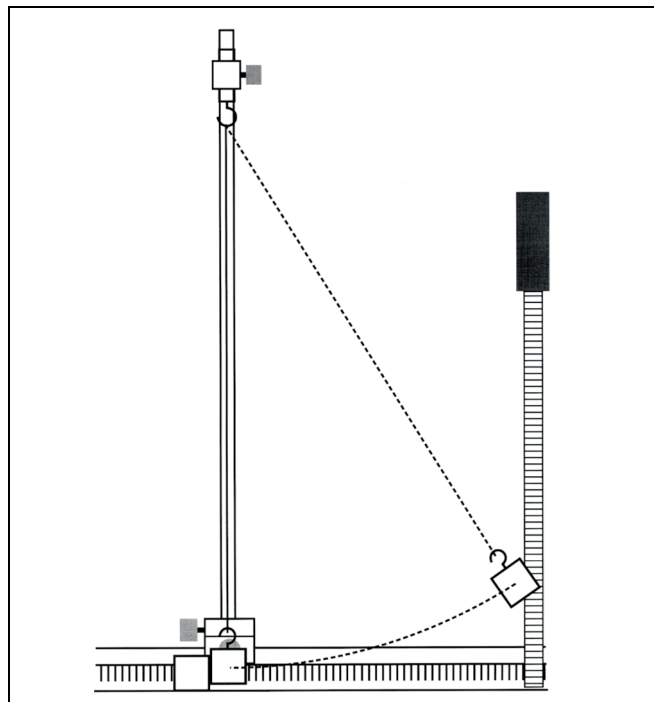
Geräte:

- 1 Aluminiumwürfel mit Haken
- 1 Aluminiumwürfel ohne Haken
- 1 Aluminiumquader
- 2 Stativstangen
- 1 Reiter
- 1 Vierkantmuffe
- 1 Stift mit Haken
- 1 Schnur 50 cm in Dose
- 1 Maßband
- 1 Kraftmesser

außerdem: 1 Universalschiene

Aufbau:

- ↪ Schraube die beiden Stativstangen zusammen und montiere sie im Reiter auf die Schiene.
- ↪ Befestige am oberen Ende des Stativaufbaus die Vierkantmuffe und darin den Stift mit Haken.
- ↪ Miss das Gewicht des Würfels mit Haken, trage den Wert in die Tabelle 1 ein und hänge den Würfel mit Hilfe der Schnur an den Haken.
- ↪ Senke die Muffe so weit ab, dass der Würfel knapp über der Tischfläche hängt, diese jedoch nicht berührt.



Die potentielle Energie**EN - 1****Durchführung:**

- ↪ Stelle den Aluminiumwürfel ohne Haken unmittelbar vor den aufgehängten Würfel.
- ↪ Lies auf der Universalschiene die Position ab, die die vordere Fläche des auf der Tischplatte liegenden Würfels einnimmt, und trage den Wert in das fett umrandete Feld in der ersten Spalte der Tabelle 1 ein.
- ↪ Miss die Höhe h des Mittelpunkts des aufgehängten Würfels über der Tischfläche und trage auch diesen Wert in die erste Spalte der Tabelle 1 ein.
- ↪ Lenke den aufgehängten Würfel so weit aus, dass sich sein Mittelpunkt um 10 mm höher über der Tischfläche befindet als in der Ausgangslage. Trage diese Höhe in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Lass den Würfel los, so dass er auf den ruhenden Würfel prallt und lies an der Universalschiene ab, bis zu welcher Position dessen Vorderseite verschoben wurde. Trage diesen Wert in die Tabelle 1 ein. *(Sollte sich der gestoßene Würfel zu stark drehen, so treffen die Flächen der beiden Würfel nicht genau aufeinander. Achte beim Auslenken darauf, dass sich der Würfel parallel zur Schiene bewegt und versuche es nochmals!)*
- ↪ Stelle den Würfel ohne Haken wieder an seine Ausgangsposition zurück und wiederhole den Versuch, in dem Du den aufgehängten Würfel jeweils weitere 10 mm höher auslenkst als zuvor.

Tabelle 1:

Gewicht des Würfels in N: _____

Höhe h der Würfelmitte in mm					
Δh in mm	0	10			
Position der vorderen Würfelfläche					
Verschiebung Δs_1 in mm	0				
$\Delta s_1 : \Delta h$	---				

- ↪ Ersetze den Aluminiumwürfel mit Haken durch den Aluminiumquader und wiederhole den gesamten Versuch. Da der Quader keine Mittelbohrung trägt, musst Du die Mitte seiner quadratischen Fläche vorher mit Bleistift markieren.
- ↪ Trage die entsprechenden Werte einschließlich des Gewichts in die Tabelle 2 ein.

Die potentielle Energie**EN - 1****Tabelle 2:**

Gewicht des Quaders in N: _____

Höhe h der Quadermitte in mm					
Δh in mm	0	10			
Position der vorderen Würfelfläche					
Verschiebung Δs_2 in mm	0				
$\Delta s_1 : \Delta s_2$	---				

Auswertung:

- (1) Berechne für jeden Teilversuch die Verschiebung des Aluminiumwürfels, wobei Du immer von der Ausgangsposition in dem fett umrandeten Feld aus rechnen musst, und trage die Ergebnisse jeweils in die vierte Zeile der Tabellen ein.

- (2) Berechne in der Tabelle 1 den Quotienten aus der Verschiebung Δs_1 und der zugehörigen Höhe Δh auf eine Dezimale genau und trage die Ergebnisse in die fünfte Zeile der Tabelle ein. Was fällt Dir auf?

- (3) Berechne aus den entsprechenden Werten beider Tabellen für jeweils die gleiche Höhe den Quotienten $\Delta s_1 : \Delta s_2$ aus den Verschiebungen von Würfel und Quader auf eine Dezimale genau und trage die Ergebnisse in die fünfte Zeile der Tabelle 2 ein. Was fällt Dir auf?

- (4) Die potentielle Energie eines Körpers hängt offensichtlich von seiner Höhe Δh und von seinem Gewicht G ab. Mathematisch ist diese Abhängigkeit vergleichbar mit der Abhängigkeit des Flächeninhalts eines Rechtecks von dessen Breite und Länge: Lässt man die Breite eines Rechtecks konstant und verändert nur die Länge, so verändert sich der Flächeninhalt direkt proportional dazu; ebenso verhält es sich, wenn man die Länge des Rechtecks konstant lässt und nur die Breite verändert. Versuche mit diesem Vergleich einen Zusammenhang zwischen der potentiellen Energie E_{pot} eines Körpers einerseits und seiner Höhe Δh und seinem Gewicht G andererseits mathematisch darzustellen:

$$E_{pot} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Energieerhaltung**EN - 2****Einführung:**

Im vorangegangenen Versuch konnte ein Aluminiumwürfel durch seine potentielle Energie einen anderen Würfel auf der Tischplatte verschieben, wobei die Verschiebung um so größere Werte annahm, je größer die potentielle Energie war. Streng betrachtet hat aber der ausgelenkte Würfel seine ganze potentielle Energie verloren, *bevor* er auf den Würfel auf der Tischplatte traf, da seine Höhenlage ja immer mehr abnahm. Dabei wurde er andererseits immer schneller. Wir sagen hierzu: er hat an *Bewegungsenergie* oder *kinetischer Energie* gewonnen. Sie war es eigentlich, die unmittelbar für die Verschiebung verantwortlich war. Im folgenden Versuch wollen wir herausfinden, was mit der Bewegungsenergie passiert, wenn dem ausgelenkten Körper kein oder ein anders gearteter Körper im Wege steht.

Geräte:

1 Pendelkugel Stahl
2 Stativstangen
1 Stift mit Haken
1 Prallfeder

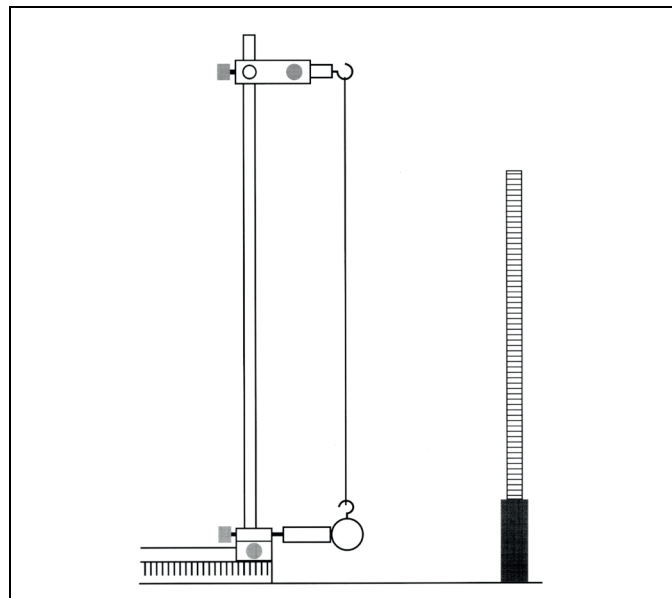
1 Schnur 50 cm in Dose
1 Vierkantmuffe
1 Reiter
1 Maßband

außerdem:

1 Universalschiene

Aufbau und Durchführung:**1. Teil**

- ↪ Baue den Versuch wie in der Abbildung auf, drehe jedoch anschließend die Muffe mit dem Haken um 90°, damit die Kugel parallel zur Schiene frei schwingen kann.
- ↪ Lenke die Kugel aus und halte sie zunächst fest. Stelle dort das Maßband auf, ziehe es so weit heraus, dass sich sein Ende auf der Höhe der Kugelmitte befindet.
- ↪ Halte das Maßband vorsichtshalber fest, lass die Kugel los und beobachte ihre Bewegung. Was fällt Dir auf?



Energieerhaltung

EN - 2

- ↪ Wiederhole den Versuch, nimm jedoch, *bevor Du die Kugel loslässt*, die dritte Stativstange und halte sie waagrecht gegen den Stativaufbau, so dass die Schnur nach dem Loslassen der Kugel dagegenstoßen muss.
- ↪ Wiederhole den Versuch mit verschiedenen Eingreifhöhen der Stativstange. Was beobachtest Du?

2. Teil

- ↪ Drehe nun die Muffe wieder zurück und verschiebe gegebenenfalls den Haken so, dass sich die Kugel unmittelbar vor und genau in der Mitte der Prallfeder befindet.
- ↪ Lenke die Kugel aus, allerdings nicht sehr stark, um die Feder zu schonen.
- ↪ Stelle das Maßband wieder entsprechend auf und lass die Kugel auf die Prallfeder treffen. Beobachte genau den weiteren Verlauf der Bewegung.

Auswertung:

- (1) Welche mechanischen Energieformen traten beim zweiten Teilversuch auf?
- (2) Kann es sein, dass mehrere Energieformen gleichzeitig auftraten, gegebenenfalls welche und wann?

Energieerhaltung

EN - 2

- (3) In der Regel laufen Vorgänge in der Natur so ab, dass ein Körper „versucht“, die tiefstmögliche Lage einzunehmen. Warum blieb dann Deiner Meinung nach der Würfel nach dem Loslassen nicht im tiefsten Punkt stehen?

- (4) Der Aluminiumwürfel erteilt der Prallfeder beim Auftreffen *Spannenergie*. In welche Energieformen wird diese Spannenergie der Reihe nach anschließend umgewandelt?

- (5) Ergänze den folgenden Text:

Durch das Auslenken erteilen wir dem Aluminiumwürfel _____
Energie. Sie nimmt während des Versuchs verschiedene _____
an. Ihr Gesamtbetrag wird dabei aber weder _____ noch _____,
wie die immer wieder erreichte _____ zeigt.

Dieser Satz heißt Energieerhaltungssatz.

(Anmerkung für Fortgeschrittene: Bei genauer Betrachtung verliert der Würfel im Lauf des Versuchs geringfügig immer mehr an Höhe. Es muss demnach bei dem Versuch noch eine weitere Energieform auftreten, die sich nicht ohne weiteres in die mechanischen Energieformen zurückverwandeln lässt. Diese Energieform werden wir etwas später untersuchen.)

Umwandlung potentieller in elektrische Energie EN - 3

Einführung:

Die elektrische Energie hat in unserem Alltag eine große Bedeutung erlangt. Wir werden sie im Versuch EN – 4 genauer untersuchen. Im vorliegenden Versuch wollen wir sie aus der potentiellen Energie unseres Aluminiumwürfels gewinnen. Die entsprechende Vorrichtung heißt *Generator*. Dabei tritt eine neue Energieform auf: die *Rotationsenergie*.

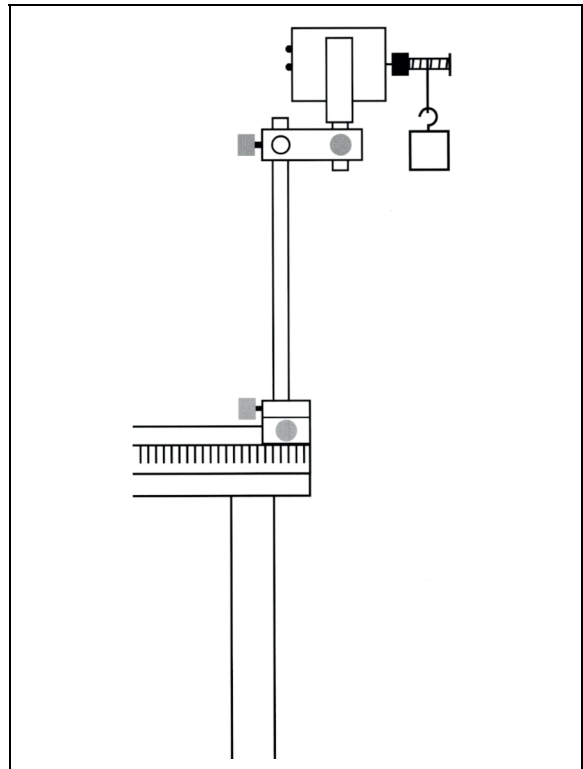
Das Vorhandensein elektrischer Energie lässt sich nicht unmittelbar erkennen. Wir werden sie mit Hilfe eines Glühlämpchens nachweisen. In ihm wird die elektrische Energie in *Licht(energie)* umgewandelt.

Geräte:

1 Reiter	1 Stativstange
1 Generator	1 Vierkantmuffe
1 Antriebsrolle in Dose	1 Schraubenzieher
1 Aluminiumwürfel mit Haken	1 Glühlämpchen auf Sockel
1 Stift mit Gewinde	2 Experimentierkabel 34 cm
1 Stoppuhr	
außerdem:	1 Universalschiene

Aufbau:

- ↪ Montiere die Stativstange im Reiter an ein Ende der Schiene und stelle die Anordnung am Ende des Tisches auf.
- ↪ Befestige die Vierkantmuffe am oberen Ende der Stativstange.
- ↪ Schraube den Stift mit Gewinde in die Halterung des Generators und befestige ihn in der Vierkantmuffe, wie es die Abbildung zeigt.
- ↪ Nimm den Propeller behutsam (eventuell mit Hilfe des Schraubenziehers als Hebel) ab und montiere an seiner Stelle die Antriebsrolle vorsichtig (!) auf die Achse des Generators.
- ↪ Hänge den Aluminiumwürfel an die Schnur der Antriebsrolle und lass ihn langsam bis auf den Boden sinken. Eventuell musst Du die Vierkantmuffe etwas absenken.



Umwandlung potentieller in elektrische Energie EN - 3

Durchführung:

- ↪ Wickle die Schnur mit dem Aluminiumwürfel wieder vorsichtig auf und halte den Würfel fest.
- ↪ Lass auf ein verabredetes Zeichen (z.B. Countdown: 5 - 4 - 3 - 2 - 1 - Start) den Würfel los und starte gleichzeitig die Stoppuhr. Miss die Zeit, die der Würfel bis zum Auftreffen auf den Boden braucht.
- ↪ Trage diese Zeit in die Tabelle ein.
- ↪ Schließe jetzt das Glühlämpchen an den Generator an.
- ↪ Wickle die Schnur mit dem Aluminiumwürfel wieder vorsichtig auf und halte den Würfel fest.
- ↪ Überlege, ob der Würfel jetzt schneller, gleich schnell oder langsamer zu Boden sinkt als vorher.
- ↪ Lass den Würfel wieder auf ein verabredetes Zeichen los bei gleichzeitigem Start der Stoppuhr. Miss die Zeit, die der Würfel bis zum Auftreffen auf den Boden benötigt. Beobachte dabei das Lämpchen!
- ↪ Trage die gemessene Zeit in die Tabelle ein.

Tabelle:

Laufzeit des Würfels ohne Lämpchen in s	
Laufzeit des Würfels mit Lämpchen in s	

Auswertung:

- (1) Welche Energieformen traten am Würfel, welche am Generator und welche am Glühlämpchen auf?

- (2) Erkläre kurz, warum sich der Würfel langsamer bewegt, wenn das Glühlämpchen an den Generator angeschlossen ist.

Die elektrische Energie

EN - 4

Einführung:

In diesem Versuch wollen wir die elektrische Energie genauer untersuchen. Solltest Du Dich in der Elektrizitätslehre nicht oder nur wenig auskennen, so kann Dir ein Vergleich das Verständnis erleichtern: Der elektrische Strom lässt sich in vielen Fällen mit einem Wasserstrom vergleichen. Während beim Wasserstrom Wasserteilchen transportiert werden, sind es beim elektrischen Strom *elektrische Ladungen*, die durch die Leitungen fließen. Die *Stromstärke* gibt an, wie viele Wasserteilchen bzw. wie viele elektrische Ladungen in der Sekunde durch den Leitungsquerschnitt fließen. Ihre Einheit heißt in der Elektrizitätslehre 1 *Ampere* (abgekürzt 1 A). Die *elektrische Spannung* entspricht in diesem Vergleich dem Wasserdruck. Die Einheit der elektrischen Spannung heißt 1 *Volt* (abgekürzt 1 V). Im folgenden Versuch kannst Du nun herausfinden, ob und gegebenenfalls wie die elektrische Energie von der Spannung und der Stromstärke abhängt.

Geräte:

5 lange Experimentierkabel
4 kurze Experimentierkabel

3 Glühlämpchen auf Sockel

außerdem:

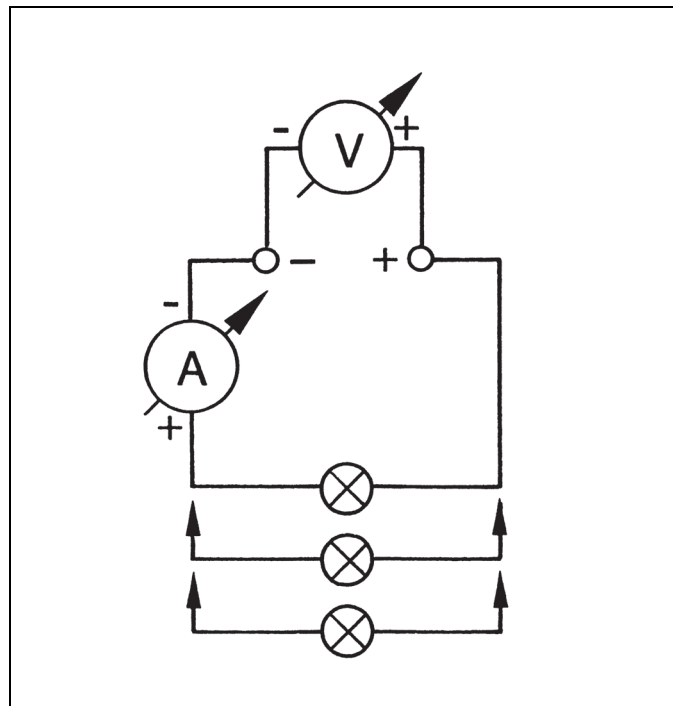
1 Kleinspannungsnetzgerät 0 - 12 V =,
z.B. MEKRUPHY MKS 2.4
2 Vielfachmessgeräte, z.B. AMM 3000

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Baue bei ausgeschaltetem Netzgerät die nebenstehende Schaltung zunächst nur für ein Glühlämpchen auf. Achte dabei unbedingt auf die richtige Polung an den Messgeräten.
- ↪ Stelle den Messbereich des Voltmeters auf 10 V =, den des Amperemeters auf 1 A = ein.
- ↪ Lass Deine Schaltung vor Versuchsbeginn von Deiner Lehrkraft überprüfen.

1. Teil

- ↪ Schalte die Messgeräte und das Netzgerät ein und regle die Spannung so, dass das Voltmeter genau 3 V anzeigt.



Die elektrische Energie

EN - 4

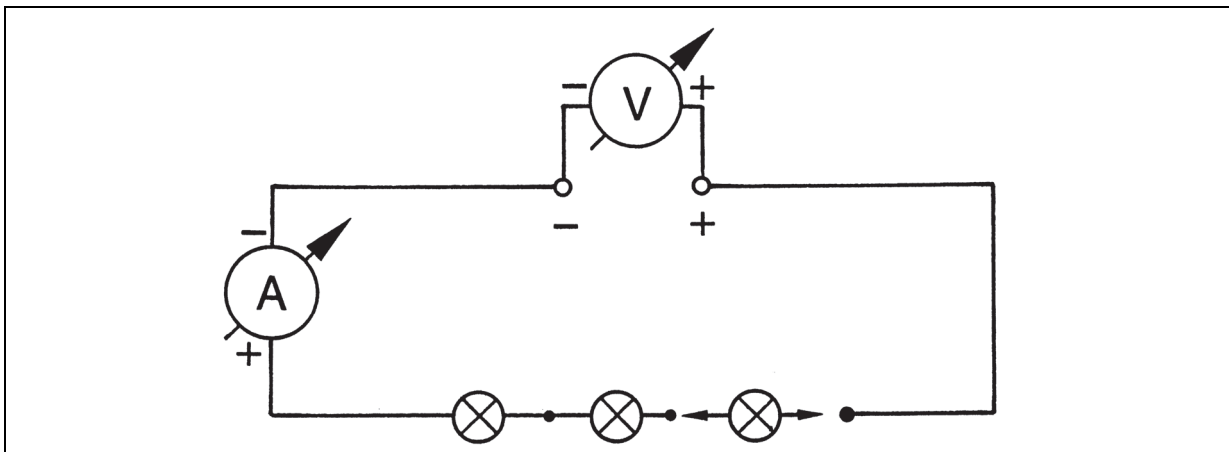
- ↪ Lies die Stromstärke ab und trage den Messwert in die Tabelle 1 ein. Übertrage die beiden Werte für Spannung und Stromstärke bei *einem* brennenden Lämpchen auch in die Tabelle 2.
- ↪ Schalte - wie in der Abbildung gezeigt - mit Hilfe zweier kurzer Experimentierkabel ein weiteres Glühlämpchen dazu und miss wieder die Stromstärke. Trage den Messwert aber nur in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Wiederhole den Versuch für drei Glühlämpchen.
- ↪ Regle die Spannung auf null und schalte das Netzgerät aus.

Tabelle 1:

Anzahl n der brennenden Lämpchen	1	2	3
Spannung U in Volt	3,0	3,0	3,0
Stromstärke I in Ampere			

2. Teil

- ↪ Baue die abgebildete Schaltung zunächst für zwei Glühlämpchen zusammen; achte dabei wieder auf die richtige Polung an den Messgeräten.



- ↪ Schalte das Netzgerät ein und regle die Spannung auf genau 3 V. Was fällt Dir auf?

Die elektrische Energie**EN - 4**

- ↪ Regle nun die Spannung so, dass die Stromstärke den gleichen Wert annimmt wie bei einer einzigen Glühlampe. Trage die Messwerte für Spannung und Stromstärke in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Schalte, wie abgebildet, das dritte Glühlämpchen dazu und verändere die Spannung entsprechend. Trage die Messwerte in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Regle am Schluss die Spannung auf null und schalte Netzgerät und Messgeräte aus. Stelle anschließend das Messgerät auf einen sicheren, d.h. hohen Messbereich, z.B. 300 V =.

Tabelle 2:

Anzahl n der brennenden Lämpchen	1	2	3
Spannung U in Volt	3,0		
Stromstärke I in Ampere			

Auswertung:

Wir gehen davon aus, dass zwei gleich gebaute Glühlämpchen unter gleichen Bedingungen die doppelte elektrische Energie benötigen wie ein einziges Lämpchen, und dass entsprechend drei Lämpchen die dreifache Energie brauchen.

- (1) Im ersten Teilversuch war die Spannung konstant. Dividiere in der Tabelle 1 die Werte der Stromstärke durch die jeweilige Anzahl der Lämpchen und trage die Quotienten in die vierte Zeile der Tabelle ein. Schreibe dann kurz nieder, wie die elektrische Energie von der Stromstärke abhängt, wenn die Spannung konstant bleibt:

- (2) Im zweiten Teilversuch war die Stromstärke konstant. Dividiere in der Tabelle 2 die Spannungswerte durch die jeweilige Anzahl der Lämpchen und trage die Quotienten in die unterste Zeile der Tabelle ein. Schreibe kurz nieder, wie die elektrische Energie von der Spannung abhängt, wenn die Stromstärke konstant bleibt:

Die elektrische Energie

EN - 4

- (3) Die elektrische Energie hängt nun noch von einer dritten Größe ab, die wir bis jetzt noch nicht berücksichtigt haben: von der Zeit.
Ein Glühlämpchen benötigt mit Sicherheit mehr Energie, wenn es bei gleicher Spannung und Stromstärke 10 Stunden brennt als wenn es nur ein paar Minuten eingeschaltet ist. Schreibe kurz nieder, wie Deiner Meinung nach die elektrische Energie von der Zeit abhängt, wenn die übrigen Größen Spannung und Stromstärke unverändert bleiben:

- (4) Die elektrische Energie hängt offensichtlich von den Größen Spannung, Stromstärke und Zeit ab wie das Volumen eines Quaders von dessen Länge, Breite und Höhe. Gib nun eine Gleichung an, die beschreibt, wie die elektrische Energie von der Spannung, der Stromstärke und der Zeit abhängt:

$$E_{el} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Die Einheit der elektrischen Energie ist demnach 1 VAs. Man sagt dazu auch 1 Wattsekunde (= 1 Ws). Man hat nun die Einheiten der elektrischen Spannung und elektrischen Stromstärke so gewählt, dass 1 Ws = 1 Nm = 1 J ist.

- (5) 1 Ws ist eine sehr kleine Einheit. Im täglichen Leben, z.B. auf der Haushaltsstromrechnung, wird die elektrische Energie in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Wandle um:

$$1 \text{ kWh} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ws}$$

Umwandlung elektrischer in mechanische Energie EN - 5

Einführung:

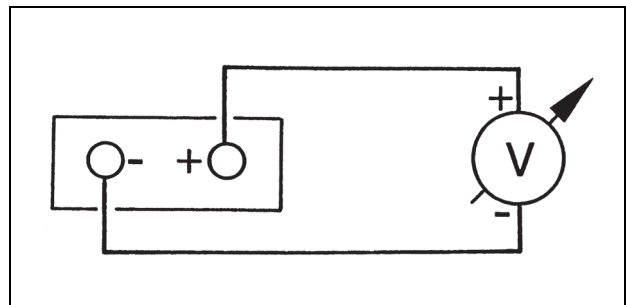
Im Versuch EN - 3 haben wir durch einen Generator die potentielle Energie eines Aluminiumwürfels in elektrische Energie umgewandelt. Diesen Vorgang kann man auch umkehren: Mit Hilfe eines Elektromotors kann man elektrische Energie in potentielle Energie eines Körpers umwandeln. Dabei verwenden wir sogar den Generator als Motor. Dies soll der folgende Versuch zeigen. Gleichzeitig wirst Du einen Vergleich zwischen der aufgewendeten elektrischen Energie und der daraus gewonnenen potentiellen Energie anstellen können. Das Ergebnis wird Dich vermutlich überraschen!

Geräte:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 Reiter | 1 Stativstange |
| 1 Motor mit Halterung | 1 Vierkantmuffe |
| 1 Antriebsrolle mit Schnur | 1 Schraubenzieher |
| 1 Aluminiumquader mit Haken | 1 Maßband |
| 1 Stoppuhr | 1 Kraftmesser 5 N |
| 5 lange Experimentierkabel | 1 Stift mit Gewinde |
| außerdem: | 1 Universalschiene |
| | 1 Kleinspannungsnetzgerät 0 - 6 V = |
| | 2 Vielfachmessgeräte |

Vorversuch:

- ↪ Die Skala am Netzgerät ist für unseren Versuch zu ungenau. Schließe das Voltmeter an das Netzgerät an, stelle seinen Messbereich auf 10 V = ein und achte auf die richtige Polung.
- ↪ Schalte Messgerät und Netzgerät ein und regle die Spannung so, dass das Voltmeter genau 1,5 V anzeigt. Merke Dir die betreffende Stellung des Drehknopfs am Netzgerät oder notiere seine Position in der Tabelle.
- ↪ Wiederhole den Versuch für die Spannungswerte 2,0 V und 2,5 V.

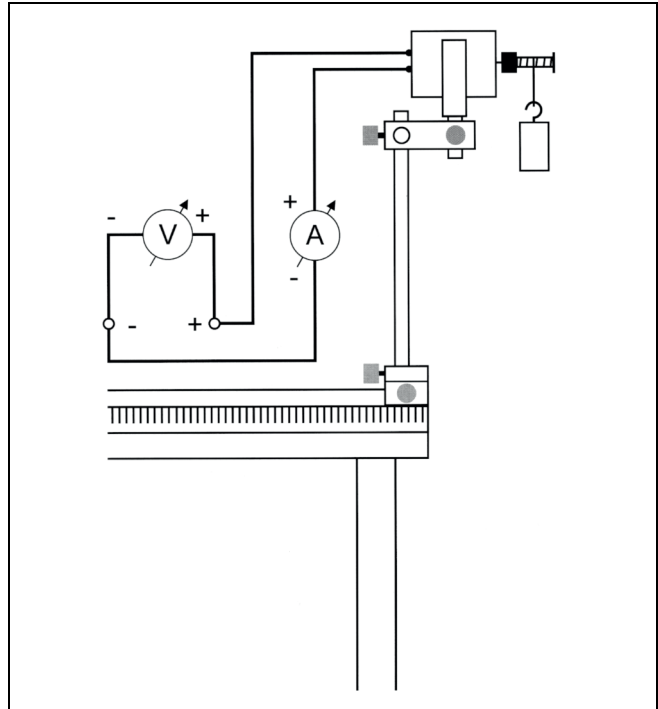


Tatsächliche Spannung	1,5 V	2,0 V	2,5 V
Position des Drehknopfs			

Umwandlung elektrischer in mechanische Energie EN - 5

Aufbau:

- ↗ Montiere die Stativstange im Reiter an ein Ende der Schiene und stelle die Anordnung am Ende des Tisches auf.
- ↗ Befestige die Vierkantmuffe am oberen Ende der Stativstange.
- ↗ Schraube den Stift mit Gewinde in die Halterung des Motors und befestige ihn in der Vierkantmuffe.
- ↗ Montiere die Antriebsrolle vorsichtig auf die Achse des Motors.
- ↗ SchlieÙe den Motor an das ausgeschaltete (!) Netzgerät an und schalte die beiden Messgeräte hinzu. Achte dabei unbedingt auf die richtige Polung.
- ↗ Stelle den Messbereich des Voltmeters auf 10 V = und den des Amperemeters auf 1 A = ein. Lass Deine Schaltung vor Versuchsbeginn von Deiner Lehrkraft überprüfen.



Durchführung:

- ↗ Hänge den Quader an die Schnur der Antriebsrolle und lass ihn vorsichtig zu Boden sinken. Gegebenenfalls musst Du die Position der Vierkantmuffe korrigieren.
- ↗ Schalte die Messgeräte ein.
- ↗ Stelle im ausgeschalteten Zustand den Drehknopf des Netzgerätes so ein, dass das Gerät im eingeschalteten Zustand 1,5 V liefert.
- ↗ Schalte auf ein verabredetes Zeichen das Netzgerät ein bei gleichzeitigem Start der Stoppuhr. Lies die Spannung und die Stromstärke an den Messgeräten ab und trage die Werte in die Tabelle ein.
Vorsicht: Stoppe die Uhr, wenn der Quader oben angekommen ist, halte den Quader fest und schalte das Netzgerät sofort aus.
- ↗ Trage den Wert der gestoppten Zeit in die Tabelle ein.
- ↗ Miss den Abstand der Quaderunterseite zum Boden und trage diesen Wert bei h in die Tabelle ein.

Umwandlung elektrischer in mechanische Energie EN - 5

- ↪ Wiederhole den Versuch für die Spannungswerte 2,0 V und 2,5 V.
- ↪ Miss das Gewicht des Quaders und trage den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Vergiss nicht, am Schluss die Messgeräte auszuschalten und auf sichere, d.h. hohe Messbereiche einzustellen, z.B. 300 V = bzw. 3 A =.

Tabelle:

Spannung U in V			
Stromstärke I in A			
Zeit t in s			
Höhe h in m			
Gewicht G in N			
Potentielle Energie E_{pot} in Nm			
Elektrische Energie E_{el} in Ws			

Auswertung:

- (1) Berechne in der 6. Zeile der Tabelle die maximale potentielle Energie des Quaders auf 2 Dezimalen genau in Nm.
- (2) Berechne in der 7. Zeile der Tabelle jeweils die aufgewandte elektrische Energie auf zwei Dezimalen genau in Ws.
- (3) Wie Du weißt, sind die Einheiten Nm und Ws identisch. Dann muss es Dich aber wundern, dass die erreichte potentielle Energie wesentlich kleiner ist als die aufgewandte elektrische Energie. Dies ist aber bei einem Motor normal, weil bei einem laufenden Motor immer auch noch andere Energieformen auftreten, die nicht unmittelbar genutzt werden können. Zwei davon kennst Du schon. Schreibe sie nieder:

- (4) Das Verhältnis (oder der Quotient aus) der genutzten Energie zur aufgewandten Energie heißt *Wirkungsgrad* η . Berechne den Wirkungsgrad des Motors auf zwei Dezimalen genau.

Ergebnis: $\eta =$ _____

Umwandlung kinetischer in innere Energie

EN - 6 *

- * **Anmerkung:** Dieser Versuch lässt sich nur mit dem Fallrohr durchführen, das nicht im Experimentiersatz enthalten ist. Es muss gesondert beschafft werden. Für den weiteren Fortgang dieses ENERGIE - Lehrgangs ist die Durchführung dieses Versuchs jedoch nicht unbedingt erforderlich.

Einführung:

Lässt man einen Körper aus einer bestimmten Höhe frei fallen, so wandelt sich seine potentielle Energie fortwährend in kinetische Energie um. Im folgenden Versuch wollen wir die Frage klären, was mit dieser Energie passiert, wenn der Körper auf dem Boden auftrifft.

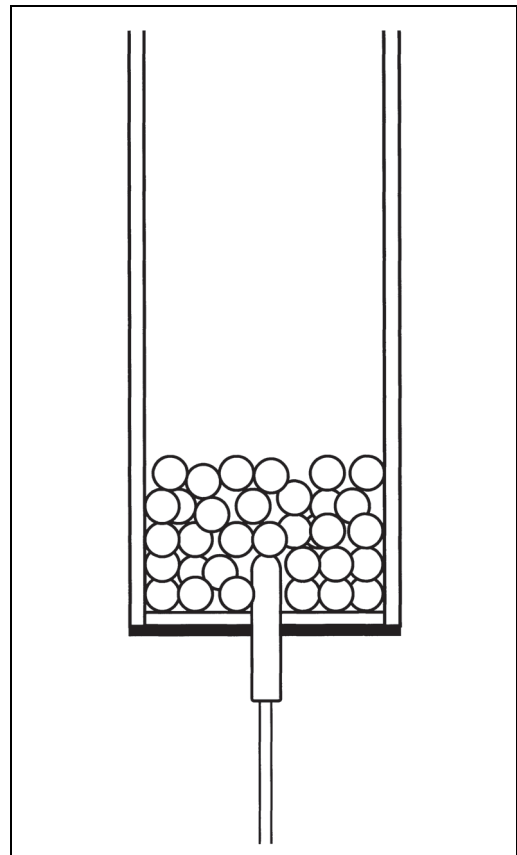
Geräte:

1 Maßband
außerdem:

1 Digitalthermometer
1 Fallrohr mit 50 Stahlkugeln

Durchführung:

- ↪ Vermeide während des gesamten Versuchs, die Enden des Fallrohrs mit den Händen zu berühren.
- ↪ Stecke den Messfühler des Thermometers in die Bohrung des Fallrohrs und halte die gesamte Anordnung so, dass die Kugeln den Messfühler ganz bedecken.
- ↪ Überzeuge dich, dass das Thermometer auf „OUT“ (*Außenfühler*) steht. Stelle es andernfalls richtig.
- ↪ Beachte, dass das Thermometer den genauen Temperaturwert nur im 10-Sekunden-Takt anzeigt. Warte also, bis sich die Temperatur nicht mehr ändert, und trage dann den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Entferne den Messfühler, halte das Rohr in der Mitte und stelle es rasch auf den Kopf, so dass die Kugeln möglichst frei fallen.
- ↪ Führe diesen Vorgang insgesamt 30-mal durch.



Umwandlung kinetischer in innere Energie**EN – 6***

- ↪ Miss wieder die Temperatur der Kugeln, wobei Du auch jetzt darauf achten solltest, dass die Kugeln den Messfühler ganz bedecken und das Thermometer im 10-Sekunden-Takt arbeitet.
- ↪ Trage den Messwert in die Tabelle ein.
- ↪ Miss die Länge des Fallwegs der Kugeln im Rohr und trage auch diesen Wert in die Tabelle ein.

Tabelle:

Anfangstemperatur θ_A der Kugeln in °C	
Endtemperatur θ_E der Kugeln in °C	
Temperaturerhöhung $\Delta\theta$ in K	
Einfacher Fallweg h der Kugeln in cm	
Gesamte potentielle Energie E_{pot} der Kugeln in Nm	
Vom Stahl pro g aufgenommene Energie E in Nm/g bzw. J/g	
Vom Stahl pro g und K aufgenommene Energie c_{Stahl} in J/g·K	

Auswertung:

- (1) Berechne in der dritten Zeile der Tabelle die Temperaturerhöhung.
(Hinweis: Wir geben Temperaturstufen in der Einheit °C, Temperaturdifferenzen in der Einheit K an. Beispiel: $\theta_A = 20\text{ °C}$, $\theta_E = 25\text{ °C} \Rightarrow \Delta\theta = 5\text{ K}$)
- (2) Eine einzelne Kugel hat das Gewicht 0,0085 N. Berechne hieraus und mit dem Fallweg die gesamte potentielle Energie aller Kugeln, die durch 30-maliges Herunterfallen zur Erwärmung der Kugeln und der beiden Auftreffplatten zur Verfügung stand, und trage Dein Ergebnis in die Tabelle ein.
- (3) Wie Du siehst, haben die Kugeln beim Auftreffen keine weitere mechanische Energieform angenommen; dafür hat sich aber ihre Temperatur erhöht, ebenso die Temperatur der beiden Auftreffplatten. Wir deuten dies als Zeichen einer neuen Energieform, die wir *innere Energie* nennen. Berechne die vom Stahl pro Gramm aufgenommene Energie auf zwei Dezimalen genau und trage der Wert in die Tabelle ein. Die Gesamtmasse der 50 Kugeln und der beiden Auftreffplatten beträgt 51 g.

Umwandlung kinetischer in innere Energie

EN – 6*

- (4) Berechne die von 1 Gramm Stahl pro Kelvin aufgenommene Energie auf zwei Dezimalen genau und trage sie in die letzte Zeile der Tabelle ein. Wir bezeichnen diesen Wert als *spezifische Wärmekapazität* von Stahl.
- (5) Der Tabellenwert für die spezifische Wärmekapazität von Stahl ist 0,46 J/g·K. Wie erklärst Du Dir die Abweichung von Deinem Ergebnis?

Hinweis: Falls Dich dieses Stoffgebiet näher interessiert, hält der MEKRUPHY - Experimentiersatz WÄRMELEHRE einige spannende Experimente für Dich bereit!

Reibung und die Erhöhung der inneren Energie EN - 7

Einführung:

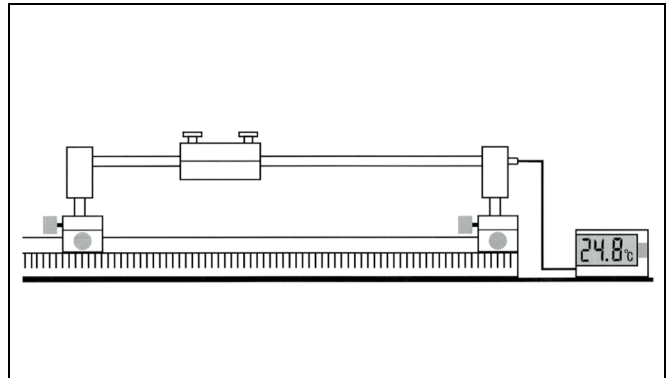
Du weißt schon, dass zur Erwärmung eines Körpers Energie notwendig ist. Oft verwenden wir hierzu elektrische Energie. Man kann einen Körper aber auch einfach durch mechanische Reibung erwärmen. Dies will Dir der folgende Versuch zeigen. Dabei wirst Du auch einen mathematischen Zusammenhang zwischen der am Körper verrichteten Reibungsarbeit und der erzielten Temperaturerhöhung herausfinden können. Am Schluss wirst Du wissen, wieviel Energie einem Gramm Kupfer zugeführt werden muss, um seine Temperatur z.B. von 20 °C auf 21 °C zu erhöhen.

Geräte:

2 Reiter	1 Kupferrohr
2 Halter aus rotem Kunststoff	1 Reibungskörper aus Acryl
1 Kraftmesser	1 Digitalthermometer
1 Maßband	1 Stoppuhr
1 Schnur 50 cm in Dose	2 Stifte mit Gewinde
außerdem:	1 Universalschiene

Aufbau:

- ↪ Löse die Rändelschrauben des Reibungskörpers und schiebe diesen vorsichtig (!) über das stumpfe Ende auf das Kupferrohr.
- ↪ Stecke das Rohr mit dem einfachen Ende in den einfachen Halter, mit dem verdickten Ende in den Halter mit zwei Bohrungen und montiere die Anordnung in den beiden Reitern auf die Schiene.
- ↪ Stecke den Thermofühler so durch die entsprechende Bohrung des einen Halters, dass er im Kupferrohr einen festen Halt hat, und vergewissere Dich, dass das Thermometer auf „OUT“ (Außenfühler) steht.



1. Vorversuch:

- ↪ Umfasse den Reibungskörper etwa 3 Minuten lang mit der Hand, ohne dabei das Kupferrohr zu berühren, und beobachte währenddessen das Thermometer. Beachte, dass die Temperatur immer nur im 10-Sekunden-Takt genau angegeben wird. Was stellst Du fest?

Reibung und die Erhöhung der inneren Energie EN - 7

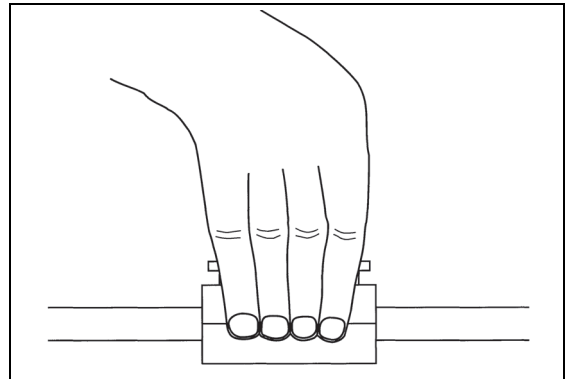
- ↪ Schreibe kurz nieder, ob oder gegebenenfalls wie stark die Körpertemperatur über den Reibungskörper an das Kupferrohr weitergegeben wird:

2. Vorversuch:

- ↪ Schiebe den Reibungskörper an ein Ende des Kupferrohrs, führe die Schnur um die Rändelschrauben und hänge den Kraftmesser in die beiden Schlingen der Schnur ein.
- ↪ Ziehe den Reibungskörper am Kraftmesser und der Schnur möglichst parallel zum Rohr über die gesamte Länge des Kupferrohrs und stelle dabei die vier Rändelschrauben gleichmäßig so ein, dass der Kraftmesser genau 3 N anzeigt. *(Dies wird Dir wahrscheinlich nicht auf Anhieb gelingen, zumal am Anfang der Kraftmesser wegen der Haftreibung immer etwas stärker ausschlägt. Verliere aber nicht die Geduld! Vermeide jedoch stets, das Rohr mit der Hand zu berühren.)*
- ↪ Lege anschließend den Kraftmesser wieder in den Kasten zurück.

Durchführung:

- ↪ Achte während des ganzen Versuchs darauf, dass Deine Hand mit dem Kupferrohr nicht in Berührung kommt.
- ↪ Schiebe den Reibungskörper wieder an ein Ende des Kupferrohrs zurück, stelle die Anfangstemperatur fest und trage den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Halte den Reibungskörper mit einer Hand seitlich so, dass Du ihn an den beiden Spalten zu fassen bekommst,
- ↪ und bewege ihn 30-mal vom einen Ende des Kupferrohrs zum anderen und ebenso 30-mal wieder zurück.
- ↪ Warte, bis sich die Temperatur des Kupferrohrs nicht mehr erhöht, und trage den Wert als Endtemperatur in die Tabelle ein.
- ↪ Miss die Länge des Kupferrohrs zwischen den beiden Haltern und trage den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Miss die Länge des Reibungskörpers und trage auch diesen Wert in die Tabelle ein.



Reibung und die Erhöhung der inneren Energie	EN - 7
---	---------------

Tabelle:

Anfangstemperatur des Kupferrohrs in °C	
Endtemperatur des Kupferrohrs in °C	
Temperaturerhöhung in K	
Länge des Kupferrohrs zwischen den Haltern in cm	
Länge des Reibungskörpers in cm	
Einfacher Reibungsweg in cm	
Gesamte Reibungsarbeit in Nm bzw. J	
Vom Kupfer aufgenommene Energie pro g und K in J	

Auswertung:

- (1) Berechne in der dritten Zeile der Tabelle die Temperaturerhöhung. Beachte hierzu, dass wir Temperaturstufen in °C, Temperaturdifferenzen dagegen in der Einheit K (= Kelvin) angeben.
- (2) Berechne in der sechsten Zeile die Länge des Weges, den der Reibungskörper zurücklegt, wenn man ihn vom einen Ende des Kupferrohrs zum anderen bewegt.
- (3) Berechne die gesamte Reibungsarbeit auf zwei Dezimalen genau. Beachte, dass wir diese Arbeit als Produkt aus der Kraft (3 N) und dem gesamten Weg (einfacher Reibungsweg 60-mal genommen) berechnen können. Trage Dein Ergebnis in die siebte Zeile der Tabelle ein.
- (4) Berechne schließlich die Energie, die 1 Gramm des Kupferrohrs aufnimmt, wenn seine Temperatur um 1 K steigt, auf zwei Dezimalen genau. Das Rohr hat die Masse 63 g. Trage Dein Ergebnis in die Tabelle ein. Dieser Energiewert liefert uns die Maßzahl für die *spezifische Wärmekapazität* von Kupfer. Ihre Einheit ist J/g·K.

Hinweis: Falls Dich dieses Stoffgebiet näher interessiert, hält der MEKRUPHY - Experimentiersatz WÄRMELEHRE einige spannende Experimente für Dich bereit!

Wärmedämmung**EN - 8****Einführung:**

Hat ein Körper eine höhere oder niedrigere Temperatur als seine Umgebung, dann ist er bestrebt, so lange innere Energie an sie abzugeben oder von ihr aufzunehmen, bis ein Temperatenausgleich erfolgt ist. Dieser Vorgang kann erwünscht sein, mitunter würden wir ihn aber lieber verhindern.

Immer wenn innere Energie abgegeben oder aufgenommen wird, nennen wir die übertragene Energie *Wärme*. Im Lauf der nächsten Versuche wirst Du erleben können, dass der *Wärmetransport* auf unterschiedliche Weise erfolgen kann. Im folgenden Versuch wollen wir durch *Wärmedämmung* die Energieabgabe eines heißen Aluminiumwürfels an die umgebende Luft verhindern oder zumindest reduzieren.

Geräte:

1 Strahler
1 Digitalthermometer
1 Stoppuhr

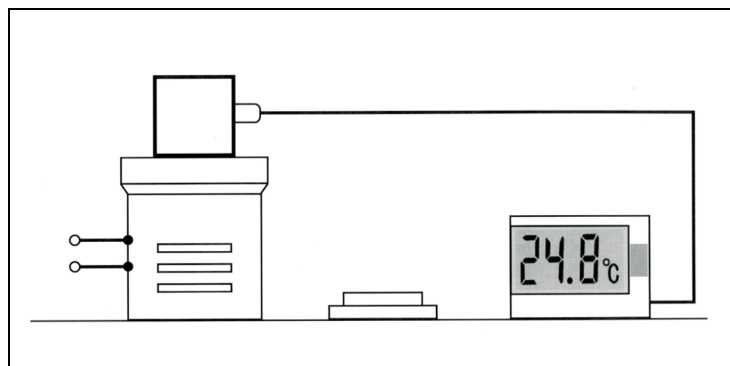
1 Aluminiumwürfel ohne Haken
1 Isolierbox mit Deckel
2 lange Experimentierkabel

außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V (DC oder AC),
z.B. MEKRUPHY MKS 2.4

Aufbau:

- ↪ Stecke den Messfühler des Thermometers in die Bohrung des Würfels und stelle diesen auf den Strahler.
- ↪ Stelle den Deckel der Isolierbox daneben.
- ↪ Schließe den Strahler an das Netzgerät an.

**Durchführung:****1. Teil**

- ↪ Schalte das Netzgerät ein und regle die Spannung auf 12 V.
- ↪ Erwärme den Würfel auf etwa 40 °C.
- ↪ Schalte das Netzgerät aus, fasse den Würfel am Thermofühler an und stelle ihn auf den Deckel der Isolierbox.
- ↪ Starte die Stoppuhr, wenn sich die Temperaturanzeige zum ersten Mal ändert, und schreibe diese neue Temperatur unter „null Sekunden“ in die zweite Zeile der Tabelle.

Wärmedämmung**EN - 8**

- ↪ Lies etwa acht Minuten lang alle 30 Sekunden die Temperatur ab und trage Deine Messwerte in die Tabelle ein.

2. Teil

- ↪ Stelle den Würfel mit angeschlossenem Thermometer wieder auf den Strahler und erwärme ihn so lange, bis seine Temperatur um etwa 1 bis 2 °C höher ist als beim entsprechenden Versuch im 1. Teil.
- ↪ Schalte das Netzgerät aus, stelle den Würfel auf den Deckel der Isolierbox und stülpe diese so über den Würfel, dass sich ihre Bohrung für den Thermofühler auf der gleichen Seite befindet wie beim Würfel. Löse vorher den Thermofühler vom Würfel und stecke ihn dann von außen wieder ein. Vermeide jedoch, den Würfel mit der Hand zu berühren.
- ↪ Beginne mit der Temperaturmessung und dem Starten der Stoppuhr, wenn der Würfel die gleiche Temperatur erreicht hat wie die Anfangstemperatur im ersten Teil des Versuchs.
- ↪ Lies wieder für etwa acht Minuten alle 30 Sekunden die Temperatur ab und trage Deine Messwerte in die dritte Zeile der Tabelle ein.

Tabelle:

Zeit t in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur ohne Isolierung in °C									
Temperatur mit Isolierung in °C									

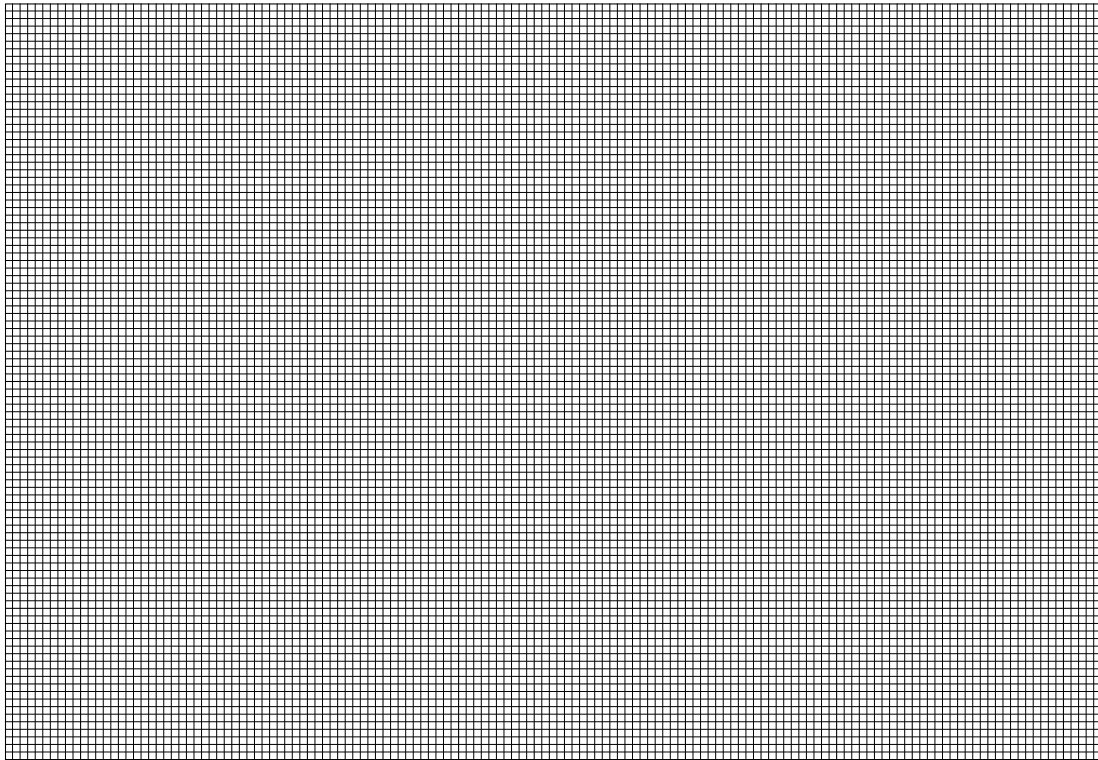
Zeit t in s	270	300	330	360	390	420	450	480	510
Temperatur ohne Isolierung in °C									
Temperatur mit Isolierung in °C									

Auswertung:

- (1) Stelle auf der nächsten Seite für beide Messreihen den Zusammenhang zwischen der Zeit und der Temperatur des Würfels graphisch dar. Verwende für die Graphen unterschiedliche Farben.

Wärmedämmung

EN - 8



(2) Wie beurteilst Du den Wärmedämmeffekt der Isolierbox?

sehr gut

mäßig

schlecht

(3) Welche Materialien kennst Du, deren Wärmedämmeffekt größer ist als der Deiner Isolierbox?

Einführung:

Die einfachste Art, innere Energie weiterzugeben, ist die direkte Berührung der betreffenden Körper. Ist dies nicht unmittelbar möglich, so kann der Wärmetransport auch durch einen dritten Körper erfolgen, der die beiden ersten miteinander verbindet. Solche Körper bezeichnet man dann als *Wärmeleiter*, wobei man zwischen guten und schlechten Wärmeleitern unterscheidet.

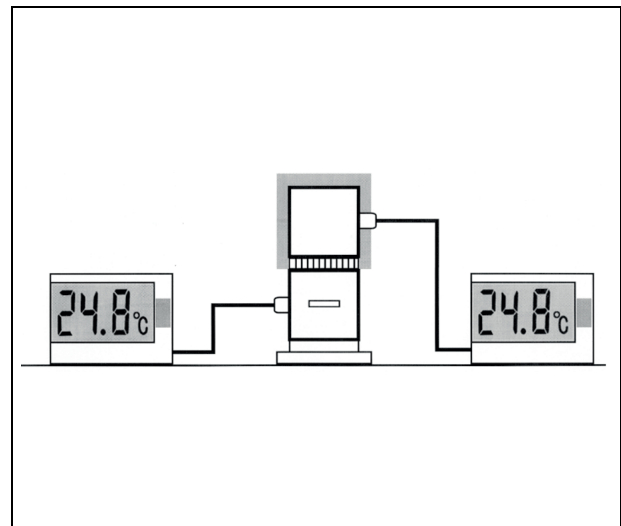
Im folgenden Versuch kannst Du einige Stoffe auf ihre Eigenschaft als gute oder schlechte Wärmeleiter untersuchen. Hierzu geben wir zwischen einen heißen und einen kalten Aluminiumwürfel der Reihe nach Platten gleicher Dicke, aber aus verschiedenen Materialien, und untersuchen, wie gut sie die Wärme leiten. Um die Wärmeabgabe an die Luft einzuschränken, stülpen wir dem heißen Würfel wieder die Isolierbox über.

Geräte:

1 Strahler	1 Aluminiumwürfel mit Haken
2 Digitalthermometer	1 Aluminiumwürfel ohne Haken
1 Stoppuhr	2 lange Experimentierkabel
1 Isolierbox	1 Aluminiumplatte
1 Holzplatte	1 Kunststoffplatte
außerdem:	1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V (DC oder AC)
	1 Universalschiene

Aufbau und Durchführung:

- ↗ Stecke den Fühler des einen Thermometers in den Würfel mit Haken und stelle diesen so auf den Deckel der Isolierbox, dass Haken und Thermofühler seitlich herausragen.
- ↗ Lege die Aluminiumplatte passend auf den Würfel.
- ↗ Stecke den Fühler des zweiten Thermometers in den anderen Würfel und stelle diesen auf den Strahler.
- ↗ Schließe den Strahler an das Netzgerät an, schalte dieses ein und regle die Spannung auf 12 V.
- ↗ Erwärme den Würfel auf etwa 40°C und schalte das Netzgerät aus.



Wärmeleitung**EN - 9**

- ↪ Stülpe die Isolierbox so über den Würfel ohne Haken, dass sich ihre Bohrung für den Thermofühler auf der gleichen Seite befindet wie beim Würfel. Löse vorher den Thermofühler vom Würfel und stecke ihn dann von außen wieder ein. Vermeide jedoch, den Würfel mit der Hand zu berühren!
- ↪ Stelle die Isolierbox mit dem Würfel so auf die Aluminiumplatte, wie es die Abbildung zeigt.
- ↪ Starte die Stoppuhr, wenn sich der erste Temperaturwert ändert, und trage die Temperaturwerte der beiden Würfel in die Tabelle unter null Sekunden ein. Dabei steht θ_1 für die Temperatur des oberen Würfels, θ_2 für die des unteren Würfels.
- ↪ Lies für die Dauer von vier Minuten alle 30 Sekunden die Temperaturen der beiden Würfel ab und trage die Messwerte in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Nimm vorsichtig die Isolierbox mit dem Würfel ab und stelle den Würfel mit Haken auf die Universalschiene, damit er schnell wieder die Ausgangstemperatur annimmt.
- ↪ Wiederhole den Versuch jeweils mit der Kunststoff- und der Holzplatte (Tabellen 2 und 3). Erwärme hierzu den heißen Würfel etwas höher als vorher und beginne die Messreihe bei der gleichen Ausgangstemperatur wie bei der Aluminiumplatte.

Tabelle 1 (Aluminium):

Zeit t in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur θ_1 in °C									
Temperatur θ_2 in °C									
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ in K									

Tabelle 2 (Kunststoff):

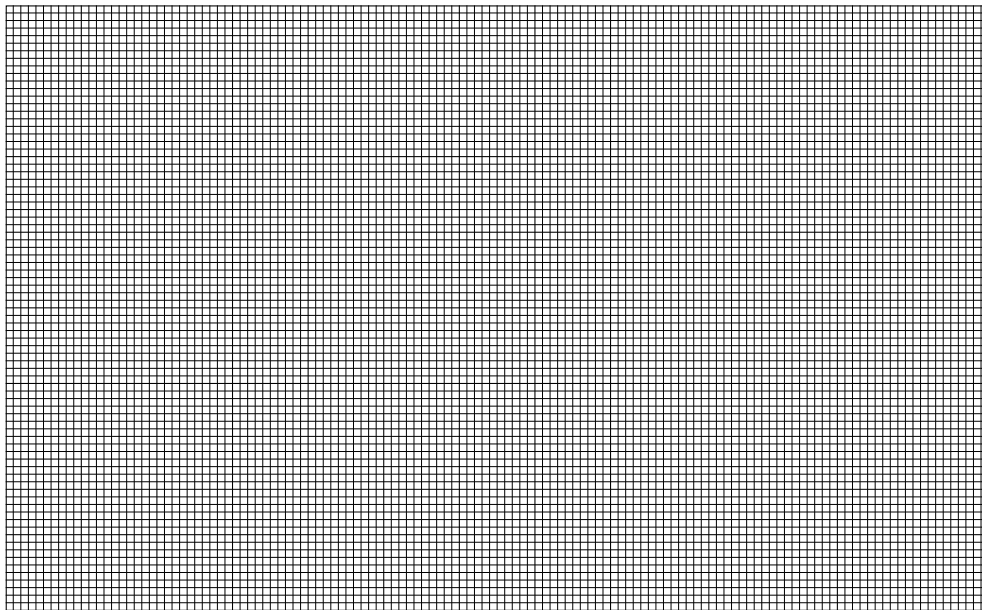
Zeit t in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur θ_1 in °C									
Temperatur θ_2 in °C									
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ in K									

Wärmeleitung**EN - 9****Tabelle 3 (Holz):**

Zeit t in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur θ_1 in °C									
Temperatur θ_2 in °C									
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ in K									

Auswertung:

- (1) Berechne in jeder Tabelle die Temperaturdifferenzen $\Delta\theta$ der beiden Würfel und trage die Ergebnisse jeweils in die letzte Zeile der Tabelle ein.
- (2) Stelle den Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ und Zeit t graphisch dar. Wähle geeignete Einheiten und verwende für die drei Materialien verschiedene Farben.



- (3) Deute das Diagramm in einigen Sätzen:

Der Wärmefluss**EN - 10****Einführung:**

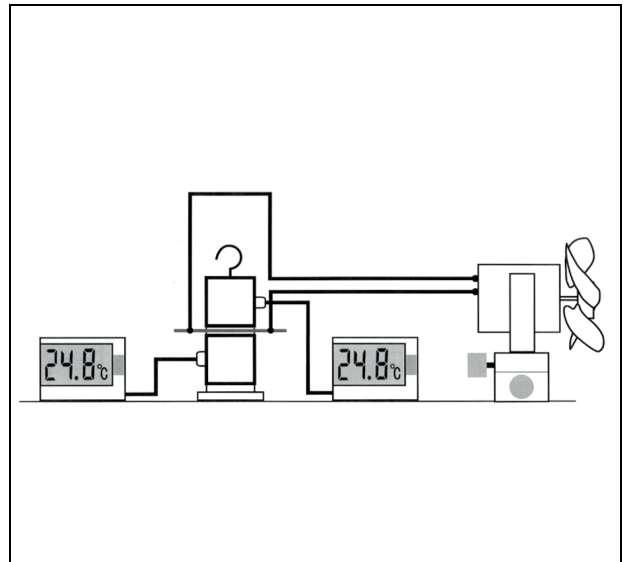
Die Tatsache, dass bei der Wärmeleitung die innere Energie des heißen Körpers abnimmt und die des kälteren zunimmt, legt die Vorstellung nahe, dass bei der Wärmeleitung Energie vom heißen zum kälteren Körper „fließt“. Dieser Energietransport oder „Wärme-Fluss“ lässt sich nachweisen, wie der folgende Versuch zeigt. Man verwendet hierzu ein sogenanntes PELTIER - Modul, ein elektronisches Bauteil, das nach dem französischen Physiker J.C.A. PELTIER (1785 - 1845) benannt ist und den Wärmestrom in elektrischen Strom umwandelt. Im Anhang findest Du Informationen über den Aufbau eines PELTIER-Moduls.

Geräte:

1 Strahler	1 Aluminiumwürfel mit Haken
2 Digitalthermometer	1 Aluminiumwürfel ohne Haken
1 Motor mit Propeller	4 lange Experimentierkabel
1 Deckel der Isolierbox	1 Stift mit Gewinde
1 Reiter	1 PELTIER - Modul
außerdem:	1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V (DC oder AC)

Aufbau:

- ↪ Stelle den Aluminiumwürfel ohne Haken auf den Deckel der Isolierbox und stecke den Thermofühler eines der Thermometer in den Würfel.
- ↪ Lege das PELTIER - Modul mit seiner Keramikfläche so genau passend auf den Aluminiumwürfel, dass die farbigen Anschlussbuchsen oben sind.
- ↪ Montiere den Motor auf den Reiter und schließe ihn an das PELTIER - Modul an.
- ↪ Schließe den Strahler an das Netzgerät an.
- ↪ Stecke den Thermofühler des zweiten Thermometers in den Würfel mit Haken und stelle diesen auf den Strahler.



Der Wärmefluss

EN - 10

Durchführung:

- ↪ Schalte das Netzgerät ein, regle die Spannung auf 12 V und erwärme den Aluminiumwürfel auf etwa 40 °C.
- ↪ Schalte das Netzgerät aus und stelle den Aluminiumwürfel passend auf das PELTIER - Modul.
- ↪ Beobachte den Propeller des Motors und die beiden Thermometer. Sollte sich der Propeller nicht sofort drehen, übe Dich etwas in Geduld.
- ↪ Stelle die Temperaturdifferenz der beiden Würfel fest, bei der der Propeller aufhört, sich zu drehen, und schreibe Deine Beobachtungen kurz nieder:

Auswertung:

Gib alle Energiearten an, die Deiner Meinung nach bei diesem Versuch auftraten:

Der Eismotor

EN - 11

Einführung:

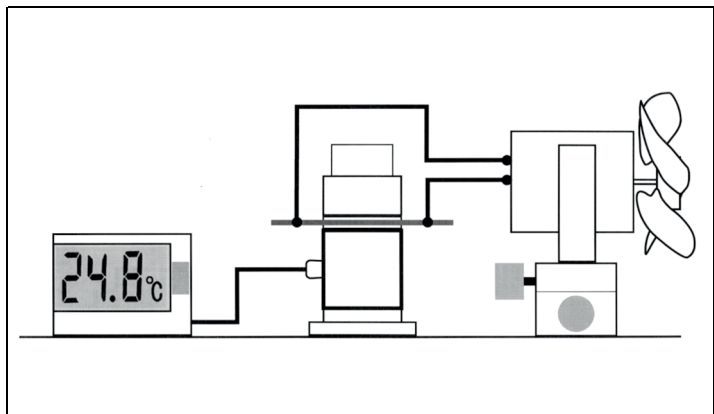
Du kannst mit Deinen Freundinnen oder Freunden eine Wette abschließen: Du behauptest, dass Du einen kleinen Motor hast, der mit einem Eiswürfel als „Brennstoff“ läuft und dass er um so besser funktioniert, je kälter der Eiswürfel ist. Keiner wird Dir das glauben. Dann führe ihnen den folgenden Versuch vor.

Geräte:

1 Strahler	1 Würfel ohne Haken
1 Eistopf	1 Digitalthermometer
1 PELTIER - Modul	4 lange Experimentierkabel
1 Isolierbox	1 Motor mit Propeller
1 Reiter	1 Stift mit Gewinde
außerdem:	1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V (DC oder AC)
	1 Eiswürfel

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Montiere den Motor auf den Reiter und schließe ihn dann an das PELTIER - Modul an.
- ↪ Stecke den Fühler des Thermometers in die Bohrung des Würfels und stelle diesen auf den Strahler.
- ↪ Lege Dir den Deckel der Isolierbox und auf einem Papierhandtuch den Eiswürfel bereit.



- ↪ Schließe den Strahler an das Netzgerät an und erwärme den Würfel bei 12 V auf etwa 40 °C.
- ↪ Schalte die Spannungsquelle aus, stelle den Würfel auf den Deckel der Isolierbox, darauf passend das PELTIER - Modul und darüber den Eistopf.
- ↪ Gib den Eiswürfel in den Eistopf und warte, bis der Motor zu laufen beginnt. **Aber Vorsicht: Nimm den Eiswürfel sofort aus dem Topf, falls das Schmelzwasser überzulaufen droht! Auf keinen Fall darf Wasser auf die Nahtstellen des PELTIER - Moduls kommen!**

Mit Sicherheit hast Du Deine Wette gewonnen!

Kalibrierung eines PELTIER - Moduls

EN - 12

Einführung:

Das PELTIER - Modul kann nicht nur Energieformen umwandeln. Mit seiner Hilfe ist es auch möglich, den Wärmefluss zwischen zwei Körpern unterschiedlicher Temperatur zu messen.

Ändert ein Körper seine Temperatur, so ändert sich, wie Du weißt, auch gleichzeitig seine innere Energie. Diese Energieänderung beschreiben wir durch die Gleichung $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta\theta$. Darin bedeuten m die Masse, $\Delta\theta$ die Temperaturänderung und c die materialspezifische Wärmekapazität. Aus dieser Gleichung kannst Du ersehen, dass die Energieänderung zur Temperaturänderung proportional ist, weil sich c und m nicht ändern.

Verstehen wir nun unter dem Wärmefluss P die in der Sekunde durch das PELTIER - Modul fließende Energie, so ist damit auch der Wärmefluss zur Temperaturänderung proportional.

Zwischen den beiden Flächen des PELTIER - Moduls entsteht durch die Temperaturdifferenz eine Spannung U , die wir im folgenden Versuch messen wollen. Um möglichst zu verhindern, dass Wärme an die umgebende Luft abgegeben wird und sich damit der Messung entzieht, wählen wir bei diesem Versuch relativ kleine Temperaturdifferenzen.

Geräte:

1 Aluminiumwürfel ohne Haken
1 PELTIER - Modul
2 Digitalthermometer
1 Stoppuhr

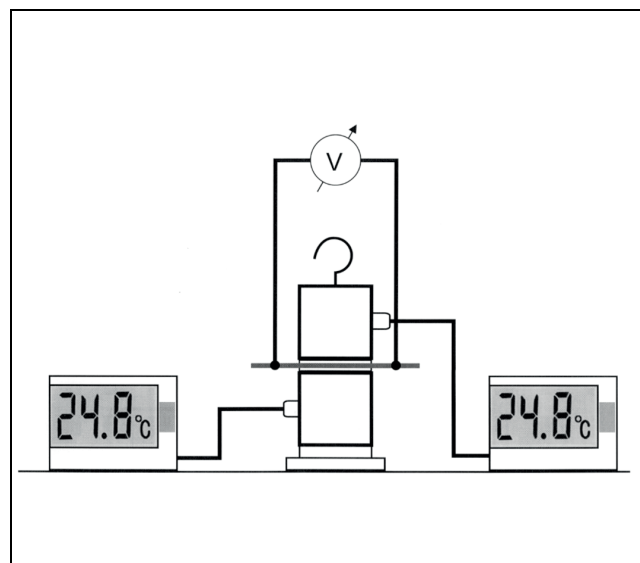
1 Aluminiumwürfel mit Haken
1 Deckel der Isolierbox
2 lange Experimentierkabel

außerdem:

1 Vielfachmessgerät

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Stecke den Thermofühler des einen Thermometers in den Würfel ohne Haken und stelle diesen auf den Deckel der Isolierbox.
- ↪ Schließe das PELTIER - Modul so an das Vielfachmessgerät an, dass die schwarze Buchse mit dem Pluseingang, die rote Buchse mit dem Minuseingang des Messgeräts verbunden sind, und lege das Modul auf den Würfel ohne Haken.
- ↪ Stelle beim Messgerät den Messbereich auf 100 mV = und schalte es ein.



Kalibrierung eines PELTIER - Moduls**EN - 12**

- ↪ Stecke den Fühler des zweiten Thermometers in den Würfel mit Haken, nimm diesen in die Hand und erwärme ihn darin, bis seine Temperatur etwa 3 °C über der des anderen Würfels liegt.
- ↪ Stelle den Würfel auf das PELTIER - Modul und achte darauf, dass die Berührflächen der Würfel und des Moduls genau aufeinander liegen.
- ↪ Starte in dem Augenblick die Stoppuhr, in dem sich die Temperaturanzeige des oberen Würfels zum ersten Mal ändert, lies gleichzeitig die Temperatur des unteren Würfels und die Spannung ab und trage alle Messwerte in die Tabelle ein. Dabei soll θ_1 die Temperatur des oberen Würfels, θ_2 die des unteren Würfels bedeuten.
- ↪ Lies alle 30 Sekunden die Temperaturen und die zugehörige Spannung ab und trage die Messwerte in die Tabelle ein.
- ↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät wie gewohnt auszuschalten.

Tabelle 1:

Zeit t in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur θ_1 in °C									
Temperatur θ_2 in °C									
Spannung U in mV									
$\Delta\theta$ in K									
$\Delta\theta_{eff}$ in K	0								
ΔE_{eff} in J	0								
P in W	0								
U_{mittel} in mV	0								
$k = P : U_{mittel}$ in W/mV	---								

Kalibrierung eines PELTIER - Moduls**EN - 12****Auswertung:**

- (1) Für die in je 30 Sekunden an *einem* Würfel erfolgten Temperaturänderungen sind unsere Thermometer zu ungenau, auch wenn sie auf Zehntelgrad genau messen. Daher berechnen wir sie über eine Hilfsgröße, die Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ der beiden Würfel. Berechne diese Werte und trage sie in die Tabelle 1 ein.
- (2) Berechne die Temperaturänderungen $\Delta\theta_{eff}$ eines Würfels mit dem Ansatz:
 $\Delta\theta_{eff} = (\Delta\theta_{0s} - \Delta\theta_{30s}) : 2$ für die ersten 30 Sekunden,
 $\Delta\theta_{eff} = (\Delta\theta_{30s} - \Delta\theta_{60s}) : 2$ für die zweiten 30 Sekunden usw.
 und trage sie in die Tabelle 1 ein.
- (3) Multiplizieren wir die Temperaturänderungen $\Delta\theta_{eff}$ eines jeden Würfels mit seiner Masse m (76,5 g) und seiner spezifischen Wärmekapazität c (0,895 J/g·K), so erhalten wir die in je 30 s vom oberen Würfel an den unteren Würfel abgegebene innere Energie ΔE_{eff} . Berechne diese Werte und trage sie in die Tabelle 1 ein.
- (4) Dividiert man die Energieänderungen ΔE_{eff} durch 30 s, so erhält man den in diesem Zeitintervall durch das PELTIER - Modul strömenden Wärmefluss P . Berechne diese Werte und trage auch sie in die Tabelle 1 ein.
- (5) Berechne für jedes Zeitintervall den Mittelwert der angezeigten Spannung mit dem Ansatz:
 $U_{mittel} = (U_{0s} + U_{30s}) : 2$ für die ersten 30 Sekunden,
 $U_{mittel} = (U_{30s} + U_{60s}) : 2$ für die zweiten 30 Sekunden usw.
 und trage die Werte in die Tabelle 1 ein.
- (6) Untersuche in der letzten Zeile der Tabelle 1, ob die Werte für den Wärmefluss und für die mittlere Spannung in einem direkten Zusammenhang stehen. Was stellst Du fest?

- (7) Berechne nun die Größen $\Delta\theta$, $\Delta\theta_{eff}$, ΔE_{eff} , P_{mittel} , U_{mittel} und k für das gesamte Zeitintervall von 240 s und trage die Werte in die Tabelle 2 ein:

Tabelle 2:

$\Delta\theta$	$\Delta\theta_{eff}$	ΔE_{eff}	P_{mittel}	U_{mittel}	k

- (8) Entscheide, welcher k - Wert Deiner Meinung nach am genauesten ist und trage ihn in das umrandete Feld ein. Er hilft Dir, auf einfache Weise die Spannungswerte in Wärmeflusswerte umzurechnen:

$k =$	W / mV
-------	--------

Die Kältemaschine**EN - 13****Einführung:**

Kannst Du Dir vorstellen, dass man mit elektrischem Strom einen metallischen Körper abkühlen kann? Wenn nicht, dann lass Dich von dem folgenden Versuch überraschen. Die Wirkungsweise des PELTIER - Moduls lässt sich nämlich auch umkehren: Mit Hilfe elektrischer Arbeit kann das Modul innere Energie von einem Körper zum anderen „pumpen“. Dabei ergeben sich zwei unterschiedliche Anwendungsarten, von denen Du hier zunächst die erste kennenlernen kannst.

Geräte:

2 Digitalthermometer
 1 PELTIER - Modul
 4 Experimentierkabel
 1 Reiter
 1 Deckel der Isolierbox

1 Aluminiumwürfel mit Haken
 1 Aluminiumwürfel ohne Haken
 1 Stoppuhr
 1 Motor mit Propeller
 1 Stift mit Gewinde

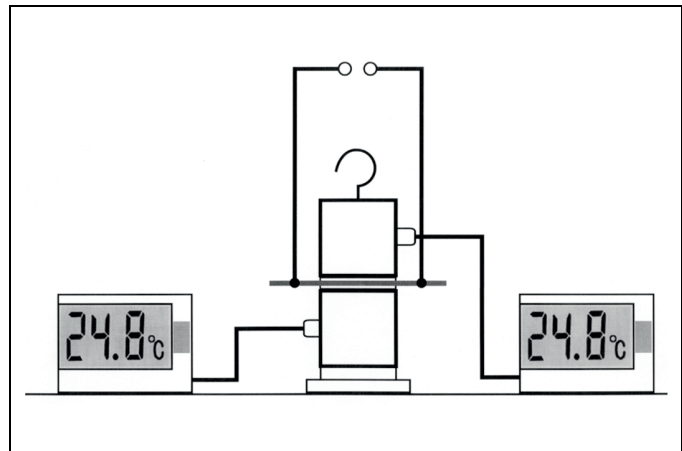
außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 0 - 6 V =
 1 Universalschiene

Aufbau:

↪ Stecke den Fühler des einen Thermometers in den Würfel ohne Haken und stelle diesen auf den Deckel der Isolierbox.

↪ Schließe das PELTIER - Modul so an die Spannungsquelle an, dass die rote Buchse mit dem Pluspol, die schwarze Buchse mit dem Minuspol des Netzgeräts verbunden ist und stelle dann das Modul auf den Aluminiumwürfel.



↪ Schließe das zweite Thermometer an den Würfel mit Haken an und stelle diesen passend auf das PELTIER - Modul.

↪ Montiere den Motor auf den Reiter.

Die Kältemaschine**EN - 13****Durchführung:**

Wichtiger Hinweis: Durch das PELTIER - Modul darf nur elektrischer Strom fließen, wenn beide Würfel Kontakt mit den quadratischen Flächen des PELTIER - Moduls haben!

1. Teil

- ↪ Schalte das Netzgerät ein, regle die Spannung auf 4 V und starte die Stoppuhr in dem Augenblick, in dem das Thermometer des oberen Würfels einen neuen Wert anzeigt. Trage die Temperaturwerte des oberen und des unteren Würfels unter null Sekunden in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Lies alle 20 Sekunden die Temperaturen der beiden Würfel ab und trage die Messwerte in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Beende die Versuchsreihe nach 120 Sekunden.
- ↪ Löse die Kabel von der Spannungsquelle und schließe statt dessen den Motor an das PELTIER - Modul an.
- ↪ Beobachte, bei welcher Temperaturdifferenz der Motor zum Stillstand kommt.

Tabelle 1:

Zeit t in s	0	20	40	60	80	100	120
Temperatur θ_1 in °C							
Temperatur θ_2 in °C							

2. Teil

Wie Du siehst, kann man mit Hilfe des PELTIER - Moduls durch elektrische Energie einen Körper abkühlen. Dabei erwärmt sich allerdings ein anderer Körper. Ist dies unerwünscht, dann muss man diesen zweiten Körper besonders gestalten, beispielsweise könnte man ihm eine möglichst große Masse geben. Wir ersetzen daher den Deckel der Isolierbox durch die Universalschiene und gehen davon aus, dass zwischen ihr und dem Aluminiumwürfel gute Wärmeleitung stattfindet.

Die Kältemaschine**EN - 13**

- ↪ Stelle den unteren Aluminiumwürfel statt auf den Deckel der Isolierbox auf die Universalschiene und schließe das PELTIER - Modul wieder an das Netzgerät an. Achte dabei wieder auf die richtige Polung.
- ↪ Schalte das Netzgerät ein, regle die Spannung auf 4 V und wiederhole den Versuch. Trage Deine Messwerte in die Tabelle 2 ein.

Tabelle 2:

Zeit t in s	0	20	40	60	80	100	120
Temperatur θ_1 in °C							
Temperatur θ_2 in °C							

Auswertung:

- (1) Wie ändert sich die Abkühlung des oberen Würfels, wenn Du den unteren Würfel statt auf den Deckel der Isolierbox auf die Universalschiene stellst?
- _____
- _____
- (2) Wie ändert sich die Erwärmung des unteren Würfels, wenn Du ihn statt auf den Deckel der Isolierbox auf die Universalschiene stellst?
- _____
- _____
- (3) Überlege Dir eine technische Anwendung für diesen Versuch. Wodurch könnte man die Universalschiene und ihre Funktion ersetzen?
- _____
- _____

Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe

EN - 14

Einführung:

Vertauscht man bei der Kältemaschine die beiden Seiten des PELTIER - Moduls, so kehrt sich die Richtung des Wärmeflusses um: Der obere Würfel wird wärmer, der untere kälter. Diesen Effekt erhält man auch, wenn man statt der beiden Seiten des Moduls die elektrische Stromrichtung umkehrt. Aus einer Kältemaschine wird auf diese Weise eine Wärmepumpe. Im folgenden Versuch wollen wir den Wirkungsgrad einer Wärmepumpe untersuchen. Sein Wert wird Dich überraschen!

Geräte:

2 Digitalthermometer
1 PELTIER - Modul
5 lange Experimentierkabel
1 Deckel der Isolierbox

1 Aluminiumwürfel mit Haken
1 Aluminiumwürfel ohne Haken
1 Stoppuhr

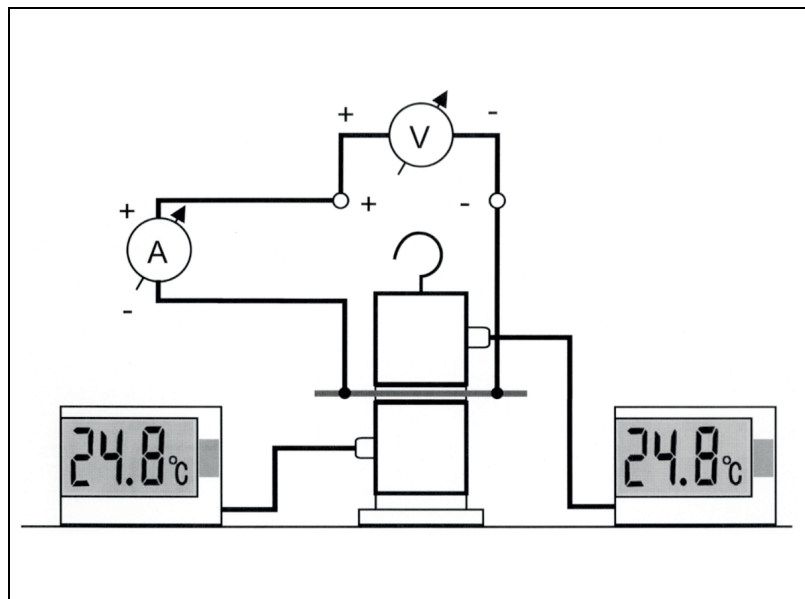
außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 0 - 6 V =
2 Vielfachmessgeräte

Aufbau:

☞ Stecke den Fühler des einen Thermometers in den Aluminiumwürfel ohne Haken und stelle diesen auf den Deckel der Isolierbox.

☞ Verbinde die rote Buchse des PELTIER - Moduls über das Amperemeter mit dem Minuspol des Netzgeräts, die schwarze Buchse direkt mit seinem Pluspol und achte am Amperemeter auf die richtigen Eingänge.



☞ Stelle den Messbereich des Amperemeters auf 3 A = ein und stelle das PELTIER-Modul passend auf den Aluminiumwürfel.

☞ Stecke den Fühler des zweiten Thermometers in den Würfel mit Haken und stelle diesen genau passend auf das PELTIER - Modul.

Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe**EN - 14**

- ↪ Schließe das Voltmeter an das PELTIER-Modul an, wobei die rote Buchse des Moduls mit dem Minuseingang des Messgeräts verbunden sein muss, und stelle den Messbereich auf 10 V = ein.

Durchführung:

Wichtiger Hinweis: Durch das PELTIER-Modul darf nur elektrischer Strom fließen, wenn beide Würfel Kontakt mit den quadratischen Flächen des PELTIER-Moduls haben!

- ↪ Stelle vor der Durchführung des Versuchs nochmal sicher, dass das PELTIER-Modul genau zwischen den beiden Würfelflächen liegt.
- ↪ Schalte die beiden Messgeräte und das Netzgerät ein und regle die Spannung auf 4,0 V ein.
- ↪ Starte die Stoppuhr, wenn das Thermometer des oberen Würfels zum ersten Mal den Anzeigewert ändert und trage dann die Temperaturwerte der beiden Würfel in die Tabelle ein.
- ↪ Lies alle 20 Sekunden die beiden Temperaturen ab und trage die Messwerte in die Tabelle ein.
- ↪ Trage auch die angezeigten Spannungs- und Stromstärkewerte in die Tabelle ein, wobei Du darauf achten solltest, dass beim Amperemeter wegen des Messbereichs die untere schwarze Skala gilt.
- ↪ Regle nach dem letzten Messwert die Spannung auf null, schalte das Netzgerät und die Messgeräte aus und stelle anschließend die Messgeräte auf hohe Messbereiche ein.

Tabelle: $m = 76,5 \text{ g}$ $U = \underline{\hspace{2cm}}$ $I = \underline{\hspace{2cm}}$

Zeit t in s	0	20	40	60	80	100	120
Temperatur θ_1 in °C							
Temperatur θ_2 in °C							

Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe	EN - 14
--	----------------

Auswertung:

- (1) Berechne aus der Spannung, der Stromstärke und der Zeit die aufgewandte elektrische Energie:

$$E_{el} = \underline{\hspace{10em}}$$

- (2) Berechne aus der Temperaturerhöhung, der Masse des oberen Würfels und seiner spezifischen Wärmekapazität ($c_{Al} = 0,90 \text{ J/g} \cdot \text{K}$) die innere Energie, die er aufgenommen hat:

$$\Delta E_{inn} = \underline{\hspace{10em}}$$

- (3) Wie Du weißt, gibt der Wirkungsgrad η das Verhältnis der gewonnenen Energie (in unserem Fall ΔE_{inn}) zur aufgewandten Energie (in unserem Fall E_{el}) an. Berechne η auf zwei Dezimalen genau:

$$\eta = \underline{\hspace{10em}}$$

- (4) Wundert es Dich, dass der Wirkungsgrad größer als 1 ist, dass also mehr Energie gewonnen als aufgewandt wurde? Das würde ja dem Energieerhaltungssatz widersprechen. Schreibe kurz nieder, wie Du Dir diesen Widerspruch erklärst. (*Solltest Du keine Lösung finden, so vergleiche einmal, um wieviel sich der untere Würfel abgekühlt und der obere Würfel erwärmt hat und überlege, woher das PELTIER-Modul weitere Energie hernehmen konnte, um sie in den oberen Würfel zu pumpen*):

Wärmestrahlung**EN - 15****Einführung:**

Wärmeleitung ist nicht die einzige Art, thermische Energie zu transportieren. Beispielsweise wird in den meisten Wohnhäusern Wärme mit Hilfe von heißem Wasser, das durch die Heizkörper fließt, weitergegeben. Man nennt diese Art von Wärmetransport *Wärmekonvektion*. Es gibt noch eine dritte Art von Wärmetransport, die ganz ohne materiellen Energieträger auskommt und auch durch das Vakuum hindurch erfolgen kann: die *Strahlung*. Der folgende Versuch will Dich mit einigen Besonderheiten der Wärmestrahlung vertraut machen.

Geräte:

1 Strahler
 1 PELTIER - Modul
 4 lange Experimentierkabel
 1 Maßband
 1 Reiter

1 Aluminiumwürfel ohne Haken
 1 Aluminiumwürfel nach LESLIE
 1 Digitalthermometer
 1 Deckel der Isolierbox

außerdem:

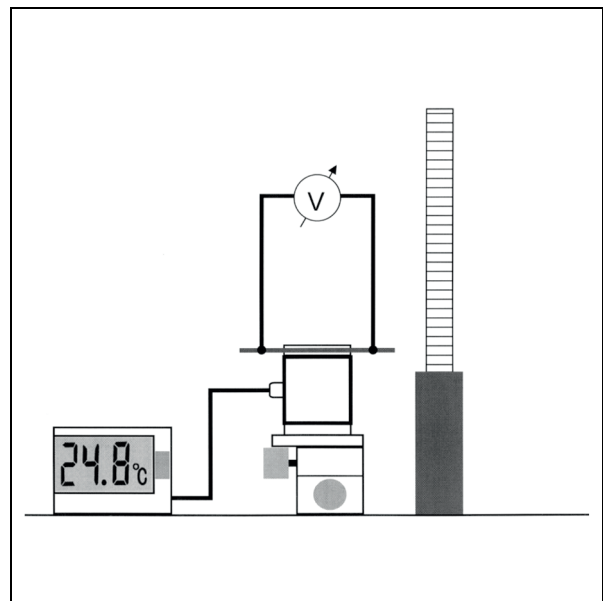
1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V =
 1 Vielfachmessgerät

Aufbau:

☞ Schließe das Thermometer an den LESLIE - Würfel an und stelle diesen mit einer seiner blanken Seiten auf den Strahler.

☞ Schließe den Strahler an die Spannungsquelle an, schalte diese aber noch nicht ein.

☞ Stelle den Aluminiumwürfel ohne Haken auf den Deckel der Isolierbox und diese Anordnung auf den Reiter (als Podest). Stelle das PELTIER - Modul auf den Aluminiumwürfel und schließe es an das Vielfachmessgerät an, dabei ist die Polung gleichgültig.



☞ Stelle den Messbereich des Vielfachmessgeräts auf 100 mV =, schalte das Gerät ein und stelle den Zeiger auf „Nullpunkt Mitte“.

☞ Stelle das Maßband neben das PELTIER - Modul, ziehe das Band so weit heraus, dass die obere Fläche des PELTIER - Moduls auf einen „glatten“ Wert zeigt, beispielsweise 40,0 cm.

Wärmestrahlung**EN - 15****Durchführung:**

- ↪ Erwärme den LESLIE - Würfel auf ca. 55°C und schalte das Netzgerät aus.
- ↪ Nimm den Würfel am Messfühler und halte ihn so im Abstand von 1 cm über das PELTIER - Modul, dass die schwarze Würfelfläche der PELTIER - Fläche genau und parallel gegenüberliegt. Lies den Spannungswert ab und trage ihn in die Tabelle ein.
- ↪ Drehe nun den Würfel am Messfühler vorsichtig und halte ihn im gleichen Abstand mit einer blanken Seite über das PELTIER - Modul. Lies wieder die Spannung ab und trage den Messwert in die Tabelle ein.
- ↪ Wiederhole den Versuch mit der weißen Fläche.
- ↪ Wiederhole den Versuch noch einmal mit der schwarzen Fläche und überzeuge Dich, dass sich am Spannungswert gegenüber dem ersten Mal nichts geändert hat.
- ↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät auszuschalten und anschließend auf einen hohen Messbereich einzustellen.

Tabelle:

Art der Fläche	schwarz	blank	weiß
Spannung U in mV			

Auswertung:

- (1) Jemand könnte nun sagen, dass die Erwärmung der Oberfläche des PELTIER - Moduls durch die Luft zwischen ihm und dem Würfel, also durch Wärmekonvektion erfolgte. Durch welche Beobachtung lässt sich diese Meinung entkräften?

- (2) Die durch Wärmestrahlung übertragene Energie hängt offensichtlich nicht nur von der Temperatur des heißen Körpers ab. Welche anderen Größen sind hier noch maßgebend und in welcher Weise?

Absorption von Licht

EN - 16

Einführung:

Du hast das Licht als Energieform schon bei unseren Versuchen mit den Glühlämpchen kennengelernt. Der folgende Versuch will Dir zeigen, was mit dem Licht passiert, das auf einen Körper trifft, der es weder zurückwirft (reflektiert), noch hindurchlässt, sondern verschluckt (absorbiert). Dabei werden sich interessante Fälle unterscheiden lassen.

Geräte:

3 Reiter
1 Stativstange
1 Strahler
1 Isolierbox ohne Deckel
1 Digitalthermometer
2 lange Experimentierkabel

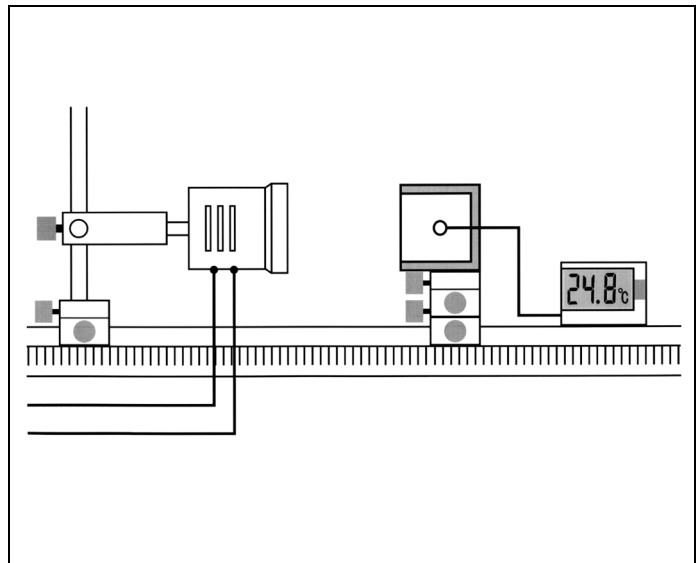
1 Stoppuhr
1 Stift mit Gewinde
1 Vierkantmuffe
1 Aluminiumwürfel nach LESLIE
1 Glasplatte

außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V
1 Universalschiene

Aufbau:

- ☞ Montiere den Strahler mit Hilfe der Stativstange und der Vierkantmuffe in einem Reiter auf die Schiene.
- ☞ Befestige 15 cm vom äußeren Rand des Strahlers einen zweiten Reiter auf der Schiene und darauf den dritten.
- ☞ Schiebe den Aluminiumwürfel so in die Isolierbox, dass die schwarze Fläche nach außen zeigt und die Bohrungen für den Thermofühler bei Würfel und Box aufeinandertreffen.



- ☞ Stecke den Thermofühler in die Würfelbohrung und stelle die Isolierbox auf die beiden Reiter. Achte darauf, dass die schwarze Würfelfläche mit der Front der beiden Reiter bündig ist.
- ☞ Schließe den Strahler an das Netzgerät an.
- ☞ Schalte das Netzgerät kurz ein und richte die Höhe des Strahlers so ein, dass das Licht genau auf die Würfelfläche trifft. Schalte den Strahler wieder aus.

Absorption von Licht**EN - 16****Durchführung:**

- ↪ Schalte den Strahler an (Spannung 12 V) und beobachte das Thermometer. Starte die Stoppuhr, wenn die Thermometeranzeige zum ersten Mal umspringt, und trage den angezeigten Temperaturwert in die Tabelle ein.
- ↪ Lies alle 30 Sekunden die Temperatur des Würfels ab und trage die Werte in die Tabelle ein.
- ↪ Schalte den Strahler aus, nimm den Würfel aus der Isolierbox und lege ihn auf die Universalschiene. Warte bis er die Anfangstemperatur erreicht hat und schiebe ihn dann so in die Isolierbox, dass die weiße Fläche nach außen zeigt und die Bohrungen für den Thermofühler wieder aufeinanderliegen.
- ↪ Wiederhole die Messreihe mit der weißen Fläche des Aluminiumwürfels.
- ↪ Verfahre ebenso mit einer blanken Fläche des Aluminiumwürfels.
- ↪ Wiederhole den Versuch noch einmal mit der schwarzen Fläche, halte dabei aber die Glasplatte vor die Würfelfläche.

Tabelle:

Zeit in s	0	30	60	90	120	150	180	210
Schwarz: Temperatur in °C								
Weiß: Temperatur in °C								
Blank: Temperatur in °C								
Schwarz / Glas: Temperatur in °C								

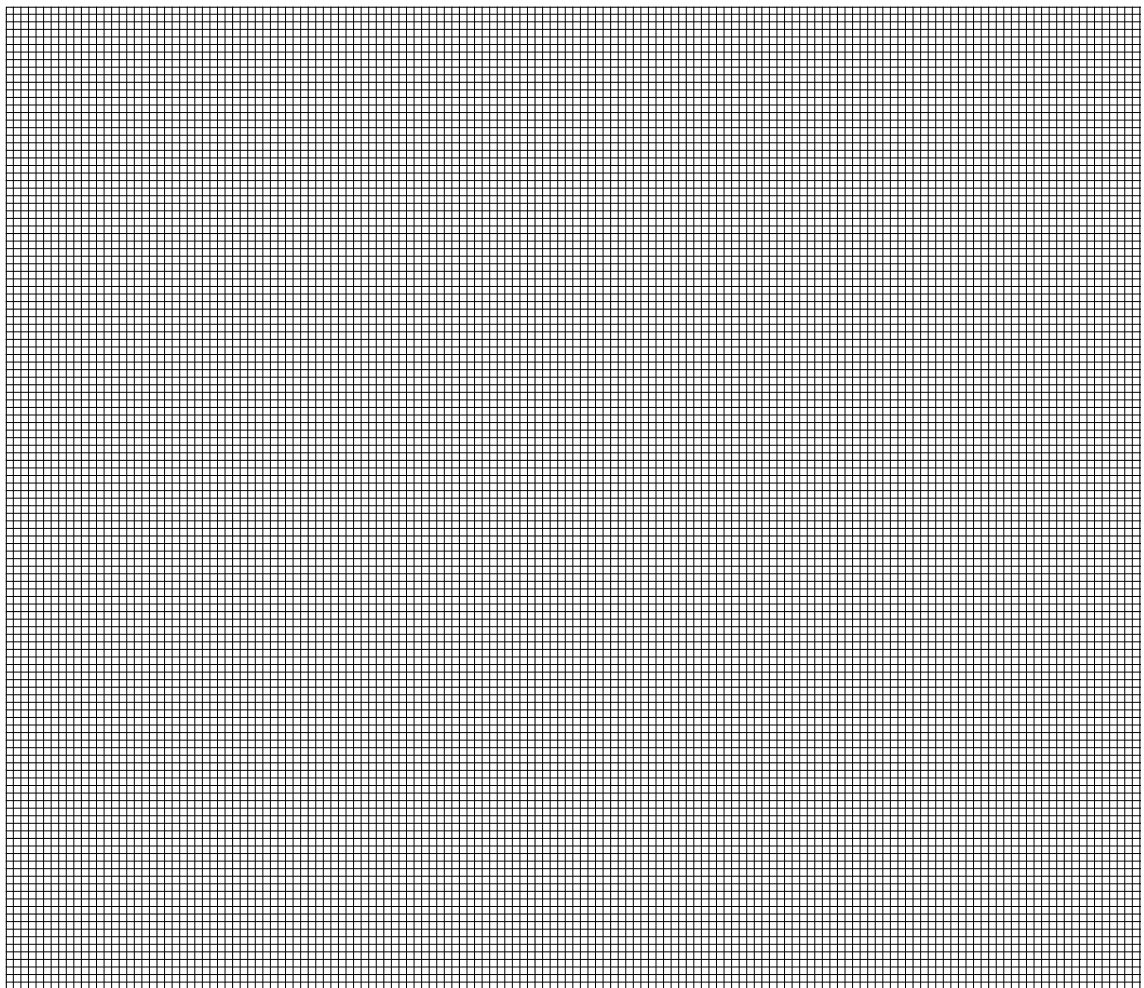
Auswertung:

- (1) Stelle auf der nächsten Seite den Temperaturverlauf für die verschiedenen beschaffenen Würfelflächen in einem Zeit - Temperatur - Diagramm dar. Wähle geeignete Einheiten und lass die Temperaturachse nicht bei null, sondern z.B. bei 20°C beginnen.
- (2) Bei welcher Beschaffenheit der bestrahlten Fläche erwärmt sich der Würfel am stärksten, bei welcher am wenigsten?

Absorption von Licht

EN - 16

- (3) Wie groß ist der Einfluss der Glasplatte? Was schließt Du hieraus, wenn Du berücksichtigst, dass Glas zwar das Licht, nicht aber die Wärme hindurchlässt?



Kurzschluss-Stromstärke eines Solarmoduls

EN - 17

Einführung:

Die Energie der Sonne gewinnt in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Während sie in den Sonnenkollektoren in innere Energie einer Spezialflüssigkeit umgewandelt wird, wird sie in den Solarzellen in elektrische Energie umgesetzt. Dies kannst Du in den folgenden Versuchen genauer beobachten. Dabei bedeutet das Wort Solarmodul, dass das Gerät aus mehreren Solarzellen zusammengesetzt ist. Im Normalfall darf ein Strommessgerät niemals direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, da eventuell hohe Kurzschluss-Ströme das Messgerät zerstören könnten. Im Fall unseres Solarmoduls ist diese Gefahr nicht gegeben. Allerdings musst Du darauf achten, dass zwischen Strahler und Solarmodul ein Mindestabstand von 15 cm eingehalten werden muss, um die Solarzellen nicht zu schädigen.

Geräte:

1 Stativstange	3 Reiter
3 Stifte mit Gewinde	1 Vierkantmuffe
1 Solarmodul	1 Strahler
1 Motor mit Propeller	4 lange Experimentierkabel
1 Glasplatte	

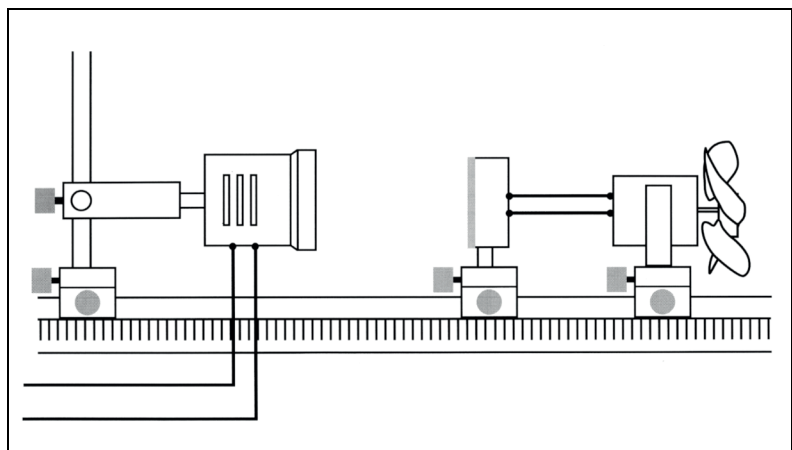
außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V(DC oder AC)
1 Universalschiene
1 Vielfachmessgerät

Aufbau:

Wichtiger Hinweis: Fasse das Solar-Modul immer nur am schwarzen Trägerrahmen an, nie an der Zellenoberfläche! Diese ist äußerst empfindlich gegen Schweiß- und Fettrückstände.

- ↪ Montiere den Strahler an ein Ende der Schiene.
- ↪ Befestige das Solarmodul in einem zweiten Reiter auf der Schiene, 15 cm vom Strahler entfernt.
- ↪ Schließe den Strahler an die Spannungsquelle an, schalte diese aber noch nicht ein.
- ↪ Verschiebe die Muffe so lange, bis sich Strahler und Solarmodul auf der gleichen Höhe befinden.



Kurzschluss-Stromstärke eines Solarmoduls	EN - 17
--	----------------

- ↪ Montiere den Motor auf die Schiene und schlieÙe ihn an das Solarmodul an. Die Polung ist dabei gleichgültig.

Durchführung:

1. Teil

- ↪ Schalte das Netzgerät ein und regle die Spannung auf 12 V.
- ↪ Halte zwischen Strahler und Solarmodul die Glasplatte. Wie verändert sich dadurch das Verhalten des Motors, und was kannst Du daraus schließen?

- ↪ Beobachte den Motor weiter, während Du langsam die Spannung zurückregelst. Bei welchem Spannungswert bleibt der Motor stehen?

2. Teil

- ↪ Stelle den Messbereich des Vielfachmessgerätes auf 100 mA = ein und schlieÙe dieses Gerät an Stelle des Motors an das Solarmodul an, wobei der rote Anschluss mit dem Pluseingang verbunden werden muss.
- ↪ Schalte das Messgerät ein, lies die angezeigte Stromstärke ab und trage ihren Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Wiederhole die Messung für die Abstände 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm und 65 cm und trage die Messwerte in die Tabelle ein.
- ↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät auszuschalten und auf einen hohen Messbereich einzustellen.

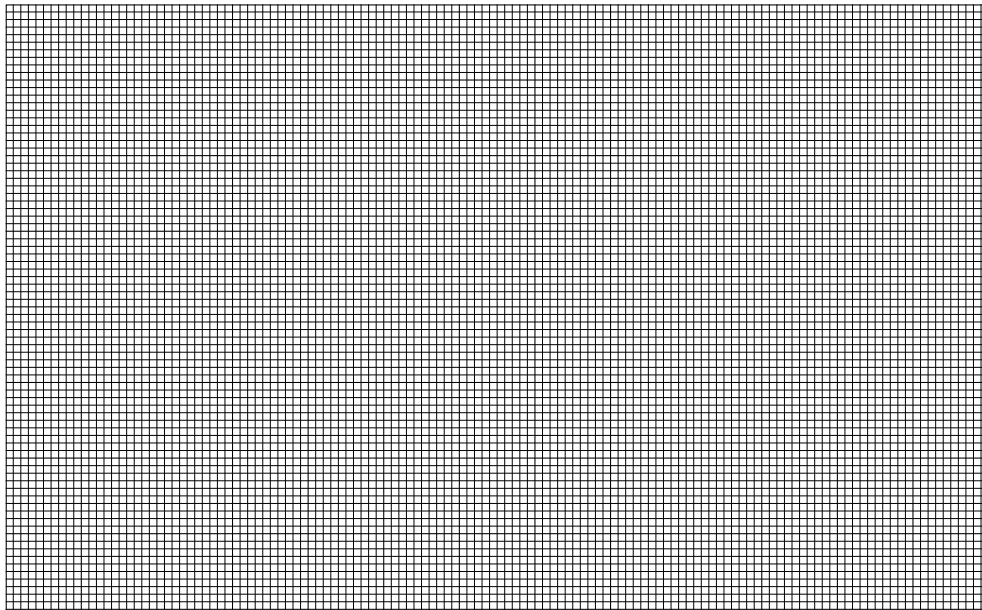
Tabelle:

Entfernung s in cm	15	25	35	45	55	65
Stromstärke I in mA						

Kurzschluss-Stromstärke eines Solarmoduls **EN - 17**

Auswertung:

- (1) Trage Deine Messwerte in einem $s - I$ - Diagramm auf. Wähle Dir hierzu geeignete Einheiten.



- (2) Wie Du siehst, nimmt die Kurzschlussstromstärke zwar mit der Entfernung ab, jedoch nicht gleichmäßig. Vielleicht hilft uns ein quadratischer Ansatz: Berechne das Quadrat der Entfernung s in cm^2 und trage Deine Ergebnisse in die dritte Zeile der Tabelle ein.
- (3) Da die Kurzschlussstromstärke abnimmt, wenn das Quadrat der Entfernung wächst, könnte man eine indirekte Proportionalität zwischen beiden vermuten: Berechne dazu in der vierten Zeile der Tabelle jeweils das Produkt aus der Stromstärke und dem Quadrat der Entfernung. Was stellst Du fest? Wie erklärst Du Dir eventuelle Abweichungen?

Leerlaufspannung eines Solarmoduls

EN - 18

Einführung:

Um Aussagen über die elektrische Energie machen zu können, die das Solarmodul liefert, genügt es nicht, die elektrische Stromstärke anzugeben. Gleichzeitig muss immer auch die elektrische Spannung berücksichtigt werden.

Misst man die Spannung zwischen den Polen einer Spannungsquelle, an die sonst kein weiterer „Verbraucher“ angeschlossen ist, so spricht man von der Leerlaufspannung. Im folgenden Versuch messen wir die Leerlaufspannung des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Dabei kannst Du auch etwas über den Aufbau des Moduls erfahren.

Geräte:

1 Stativstange
2 Stifte mit Gewinde
1 Solarmodul
4 lange Experimentierkabel

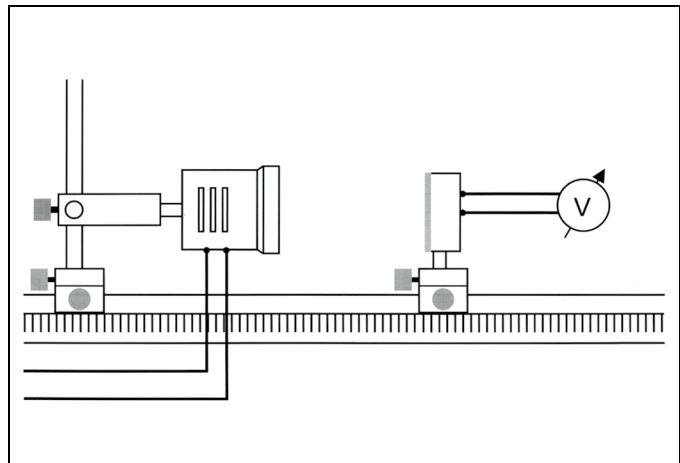
2 Reiter
1 Vierkantmuffe
1 Strahler

außerdem:

1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V
1 Universalschiene
1 Vielfachmessgerät
1 Stück Pappe (ca. 10 cm x 10 cm)

Aufbau:

- ↪ Baue den Versuch wie in der Abbildung auf, schalte das Netzgerät aber noch nicht ein.
- ↪ Wähle als Abstand zwischen Strahler und Modul 15 cm.
- ↪ Verbinde die rote Buchse des Moduls mit dem Pluseingang, die andere mit dem Minuseingang des Messgerätes und stelle den Messbereich auf 3 V = ein.



Durchführung:

- ↪ Schalte das Messgerät ein und beobachte den Zeigerausschlag. Wie erklärst Du Dir die angezeigte Spannung, obgleich der Strahler nicht eingeschaltet ist?

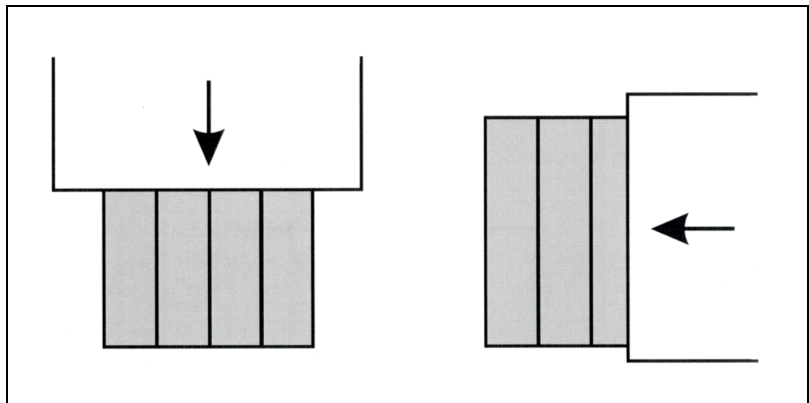
Leerlaufspannung eines Solarmoduls	EN - 18
---	----------------

- ↪ Schalte das Netzgerät ein, lies dann die angezeigte Spannung ab und trage den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Wiederhole die Messung für die Abstände 25 cm, 35 cm, 45 cm, 55 cm und 65 cm und trage die Messwerte in die Tabelle 1 ein.

Tabelle 1:

Entfernung s in cm	15	25	35	45	55	65
Spannung U in V						

- ↪ Decke mit dem Stück Pappe die Fläche des Moduls *von oben her* ab, so dass der Reihe nach ein Viertel, die Hälfte, drei Viertel der Fläche abgedeckt sind, lies die entsprechenden Werte der Spannung ab und trage sie in die Tabelle 2 ein.



- ↪ Wiederhole diesen Versuchsschritt, indem Du die Modulfläche *von der Seite her* abdeckst, und trage die Spannungswerte in die Tabelle 3 ein.
- ↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät auszuschalten und anschließend auf einen hohen Messbereich einzustellen.

Tabelle 2:

Teil der beleuchteten Fläche	4/4	3/4	2/4	1/4
Spannung U in V				

Tabelle 3:

Teil der beleuchteten Fläche	4/4	3/4	2/4	1/4
Spannung U in V				

Leerlaufspannung eines Solarmoduls

EN - 18

Auswertung:

- (1) Aus wie vielen Zellen ist das Solarmodul vermutlich zusammengesetzt und welche Leerlaufspannung liefert jeweils eine Zelle?

- (2) Wie hängt die Leerlaufspannung des Solarmoduls von der Größe der beleuchteten Fläche ab? Unterscheide bei Deiner Antwort zwei Fälle. Was lässt sich aus Deinen Beobachtungen für die Schaltung der Solarzellen schließen? (Reihen- oder Parallelschaltung)

- (3) Wie hängt die Leerlaufspannung des Solarmoduls von der Beleuchtungsstärke ab? Berücksichtige in Deiner Antwort auch den Spannungswert bei ausgeschaltetem Strahler.

Kurzschluss-Stromstärke und Strahlungsrichtung EN - 19

Einführung:

Sind Solaranlagen beispielsweise auf Hausdächern oder auf Gestellen fest angebracht, so werden sie vom Sonnenlicht zu verschiedenen Tages- aber auch zu verschiedenen Jahreszeiten aus unterschiedlichen Richtungen beschienen. Der folgende Versuch will Dir die Möglichkeit geben, die Kurzschluss-Stromstärke des Solarmoduls in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel zu untersuchen. Dabei messen wir den Auftreffwinkel zur Modulfläche hin und nicht wie den Einfallswinkel in der Optik zum Einfallslot hin.

Geräte:

1 Stativstange
2 Stifte mit Gewinde
1 Solarmodul
4 lange Experimentierkabel

2 Reiter
1 Vierkantmuffe
1 Strahler

außerdem:

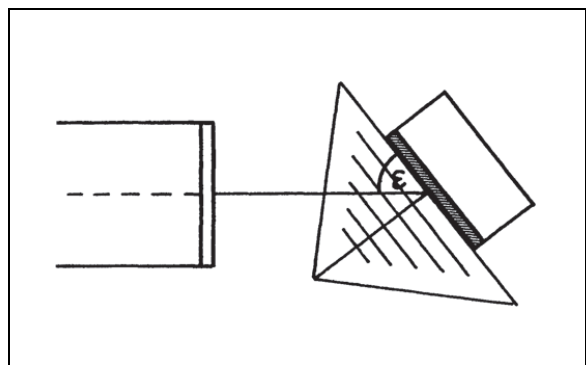
1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V
1 Universalschiene
1 Vielfachmessgerät
1 Geodreieck

Aufbau:

- ↗ Baue den Versuch wie in EN - 18 auf, schalte die Geräte aber noch nicht ein. Wähle als Abstand zwischen Strahler und Modul 15 cm.
- ↗ Verbinde die rote Buchse des Moduls mit dem Pluseingang des Messgeräts, die blaue Buchse mit dem Minuseingang und stelle den Messbereich auf 100 mA = ein.

Durchführung:

- ↗ Schalte Messgerät und Netzgerät ein, regle die Spannung auf 12 V und überzeuge Dich, dass das Licht genau senkrecht auf die Modulfläche trifft.
- ↗ Lies die Stromstärke ab und trage ihren Wert in die Tabelle ein.
- ↗ Halte das Geodreieck symmetrisch an den oberen Rahmen des Moduls und drehe die Anordnung so weit, bis die Modulfläche mit der Achse des Strahlers den Winkel 80° einschließt. Trage den entsprechenden Wert für die Stromstärke in die Tabelle ein.



Kurzschluss-Stromstärke und Strahlungsrichtung EN - 19

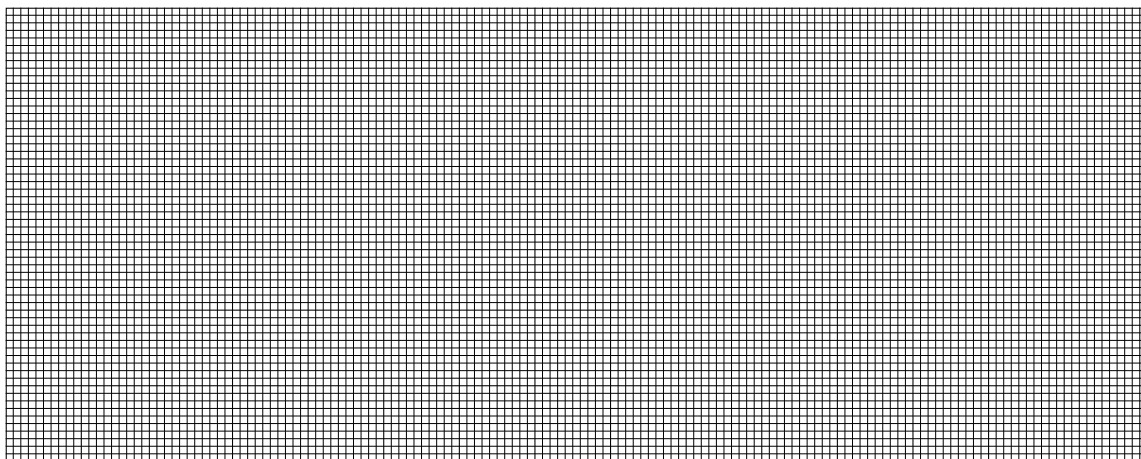
- ↪ Wiederhole den Versuch für die Winkel 70°, 60°, Eventuell musst Du den Strahler leicht drehen, damit seine Achse immer genau auf die Mitte der Modulfläche trifft.
- ↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät auszuschalten.

Tabelle:

Auftreffwinkel ε in °	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Stromstärke I in mA										

Auswertung:

- (1) Stelle die Abhängigkeit der Kurzschluss-Stromstärke vom Auftreffwinkel in einem $\varepsilon - I$ – Diagramm graphisch dar.



- (2) Deute das Diagramm:

- (3) Wie könnte man technisch erreichen, dass das Sonnenlicht unabhängig von der Tages- und Jahreszeit möglichst immer senkrecht auf die Modulfläche trifft?

Die Windenergie

EN - 20

Einführung:

Die Windenergie hat mit der Sonnenenergie gemeinsam, dass ihr Vorrat praktisch unerschöpflich ist, nichts kostet und ihre Nutzung ohne Schadstoffe erfolgen kann. Der Wind wurde von den Menschen schon früh als Energieträger erkannt. So gibt es beispielsweise Windmühlen in Europa schon seit dem 12. Jahrhundert. Während bei ihnen Maschinen über hölzerne Gestänge und Zahnräder direkt vom Wind angetrieben wurden, wird bei den heutigen Windkraftwerken elektrische Energie mit Hilfe von Generatoren gewonnen.

Geräte:

1 Generator	1 Reiter mit Schraube
1 Stativstange	1 Stift mit Gewinde
1 Vierkantmuffe	2 Experimentierkabel
1 Haartrockner	

außerdem:	1 Universalschiene
	1 Vielfachmessgerät
	1 Steckdose (230 V)

Aufbau und Durchführung:

- ☞ Montiere den Generator mit Hilfe der Stativstange und der Vierkantmuffe in dem Reiter auf die Schiene.
 - ☞ Schließe ihn an das Messgerät an und stelle dessen Messbereich auf 3 V = sowie „Nullpunkt Mitte“ ein. Die Polung kann daher willkürlich sein.
 - ☞ Schließe den Haartrockner an die Steckdose an, schalte auf die höchste Stufe (II) und versuche den Generator durch die Luftströmung in Gang zu bringen.
-
- ☞ Wahrscheinlich wird der Generator nicht „anspringen“. Versuche ihn daher, mit der Hand im Gegenuhrzeigersinn anzuwerfen und beobachte dabei den Zeiger des Messgeräts. *Vorsicht: Gehe mit dem Haartrockner sofort auf größere Distanz zum Generator, falls der Zeiger den Messbereich zu überschreiten droht!*
 - ☞ Halte den Haartrockner in der Stellung, bei der der Zeiger gerade wieder zurückgeht, und beobachte den weiteren Verlauf der Zeigerstellung. Schreibe Deine Beobachtung auf der nächsten Seite kurz nieder:

Die Windenergie

EN - 20

↪ Wiederhole den Versuch bei verschiedenen Windrichtungen und Entfernungen Haartrockner - Generator und notiere kurz Deine Beobachtungen:

↪ Vergiss am Schluss nicht, das Messgerät auszuschalten und anschließend auf einen hohen Messbereich einzustellen.

Auswertung:

(1) Was folgerst Du aus der Beobachtung, dass der Generator angeworfen werden musste, anschließend aber von selbst lief und sogar immer schneller wurde?

(2) Was folgerst Du aus der Beobachtung, dass bei einer bestimmten Entfernung vom Haartrockner der Generator immer langsamer wurde und schließlich stehen blieb?

(3) Was folgerst Du aus Deinen Beobachtungen bei verschiedenen Windrichtungen für die technische Nutzung der Windenergie?

(4) Mit welchem Hilfsmittel könnte man die Schwierigkeiten in (1), (2) und (3) umgehen?

Energiespeicherung**EN - 21****Einführung:**

Eines der größten Probleme der Energiewirtschaft ist die Energiebevorratung. Oft steht Energie zur Verfügung, wenn sie nicht gebraucht wird, und andererseits gibt es Situationen, in denen Energie nicht im benötigten Umfang vorhanden ist. Dies gilt vor allem für die elektrische Energie. Ihre Speicherung in Batterien hat neben dem hohen Kostenaufwand und dem immensen Raumbedarf den Nachteil, dass solche Speicher nie ganz leer gemacht werden dürfen. Im folgenden Versuch lernst Du einen Speicher für elektrische Energie kennen, der solche Nachteile nicht aufweist.

Geräte:

3 Reiter
3 Stifte mit Gewinde
1 Vierkantmuffe
4 lange Experimentierkabel
2 kurze Experimentierkabel
1 Stoppuhr

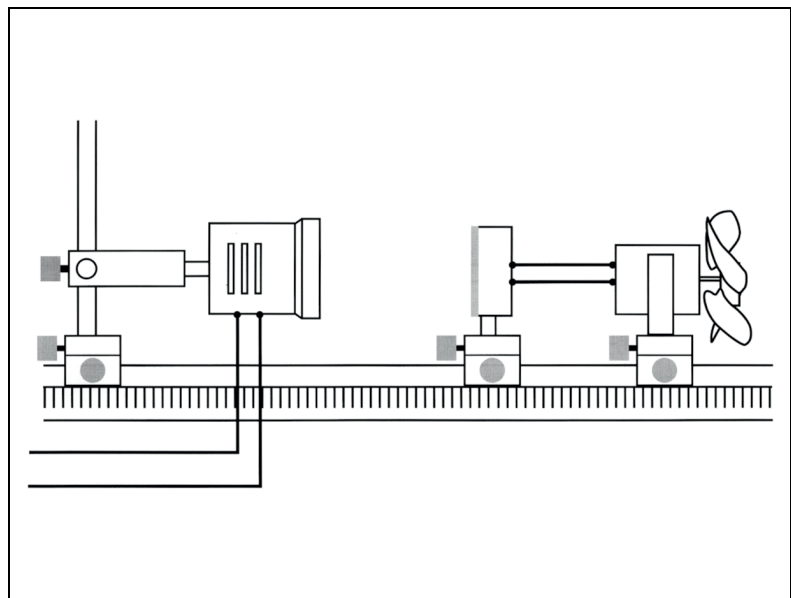
1 Stativstange
1 Motor mit Propeller
1 Strahler
1 Kondensator
1 Solarmodul

außerdem:

1 Universalschiene
1 Kleinspannungsnetzgerät 12 V

Aufbau:

- ↪ Baue den Versuch wie in der Abbildung auf und schließe den Motor an das Solarmodul an.
- ↪ Schließe den Strahler an die Spannungsquelle an, schalte diese aber noch nicht ein.
- ↪ Achte darauf, dass der Strahler etwa 15 cm vom Solarmodul entfernt ist.
- ↪ Den Kondensator benötigen wir im ersten Teil der Versuchsdurchführung noch nicht.

**Durchführung:****1. Teil**

- ↪ Schalte das Netzgerät ein und regle die Spannung auf 12 V. Starte gleichzeitig die Stoppuhr.

Energiespeicherung

EN - 21

- ↪ Beobachte den Motor und schalte den Strahler nach genau 1 Minute aus. Wie reagiert der Motor nach dem Ausschalten?
-

2. Teil

- ↪ Verbinde nun zusätzlich das Solarmodul mit dem Kondensator, wobei die rote Buchse des Moduls mit dem Pluseingang des Kondensators verbunden sein muss, die schwarze Buchse mit dem Minuseingang.
- ↪ Schalte den Strahler ein und starte gleichzeitig die Stoppuhr. Beleuchte das Solarmodul wieder genau 1 Minute lang, lass jedoch die Stoppuhr weiter laufen. Miss dann die Zeit, bis der Motor nach dem Ausschalten des Strahlers stillsteht:

$$t_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Teil

- ↪ Löse die Kabel vom Motor, lass jedoch das Solarmodul mit dem Kondensator verbunden. Überzeuge Dich, dass die rote Buchse des Moduls mit dem Pluseingang des Kondensators verbunden ist.
- ↪ Schalte den Strahler ein und starte gleichzeitig die Stoppuhr. Beleuchte das Solarmodul wieder genau 1 Minute lang. Mache anschließend die Stoppuhr wieder startbereit.
- ↪ Löse die Kabel am Solarmodul und verbinde den Kondensator allein mit dem Motor. Starte die Stoppuhr, sobald der Motor zu laufen beginnt und miss die Zeit, die der Motor noch läuft:

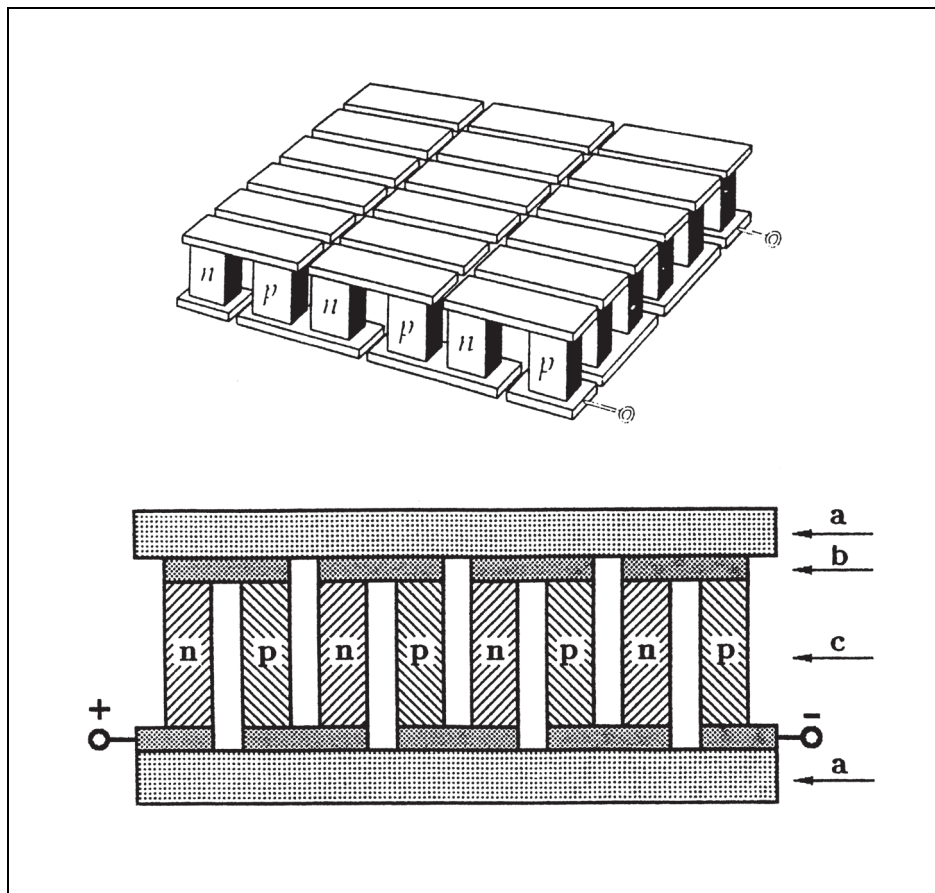
$$t_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Auswertung:

Der erste Teilversuch zeigt Dir, dass das Solarmodul nur Energie liefert, wenn es von Licht getroffen wird. Diese Energie kann jedoch mit Hilfe eines Kondensators gespeichert werden, wie die beiden weiteren Teilversuche zeigen. Vergleiche Deine Beobachtungen in den Teilversuchen 2 und 3 miteinander:

Anhang 1: Aufbau eines PELTIER - Moduls

EN - A1

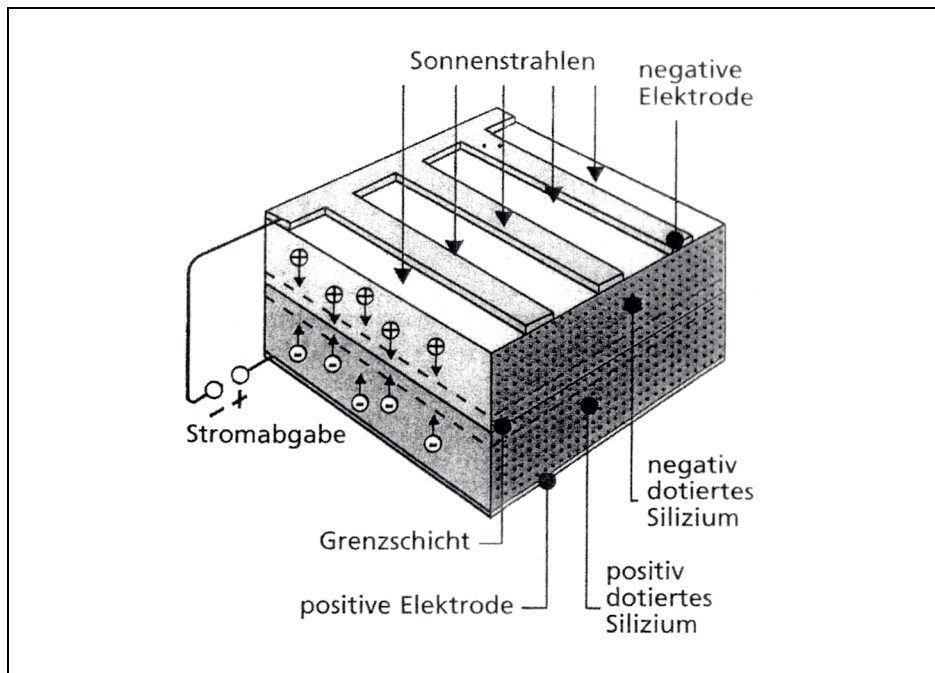


Das in unseren Versuchen verwendete PELTIER - Modul ist aus 127 Thermoelementpaaren (c) aufgebaut, die ihrerseits aus p - bzw. n - dotiertem Wismut-Tellurid bestehen. Sie sind mit Kontaktbrücken aus Kupfer (b) elektrisch in Reihe und thermisch parallel geschaltet. Elektrisch isolierende und thermisch gut leitende Keramikplatten (a) schließen das Modul nach außen ab.

(Die Abbildung ist mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers Prof. Dr. Werner B. Schneider dem Buch „Wege in der Physikdidaktik“ Band 4, Erlangen und Jena 1998, S. 31 entnommen).

Anhang 2: Aufbau eines Solar - Moduls

EN – A2



Ein Solarmodul ist eine Kombination aus mehreren in Reihe geschalteten Solarzellen.

In einer Solarzelle wird Licht in elektrische Energie umgewandelt. Sie besteht aus einer dünnen Siliziumschicht, die auf beiden Seiten verschieden dotiert ist. Dabei ist die n-Schicht etwa 1000-mal dünner als die p-Schicht. Zwischen diesen beiden ist die Grenzschicht als Sperrschicht ausgebildet, die unter normalen Bedingungen von Elektronen nicht durchwandert werden kann.

Trifft Licht auf die n-Schicht der Solarzelle, so werden die Elektronen durch die Energiezufuhr beweglicher, die Grenzschicht wird dicker und zwischen der n- und p-Schicht entsteht eine elektrische Spannung, die *Leerlaufspannung* der Solarzelle.

Verbindet man nun die beiden Schichten über einen elektrischen Leiter, sei es durch Kurzschluss oder über einen „Verbraucher“, so fließt Strom. Zur Stromabnahme benutzt man an der n-Schicht sogenannte Metallfinger, da sie nicht nur Elektronen aufnehmen, sondern in den Zwischenräumen auch genügend Licht hindurch lassen müssen. An der p-Schicht kann man dagegen eine zusammenhängende Metallschicht zur Stromübertragung verwenden.