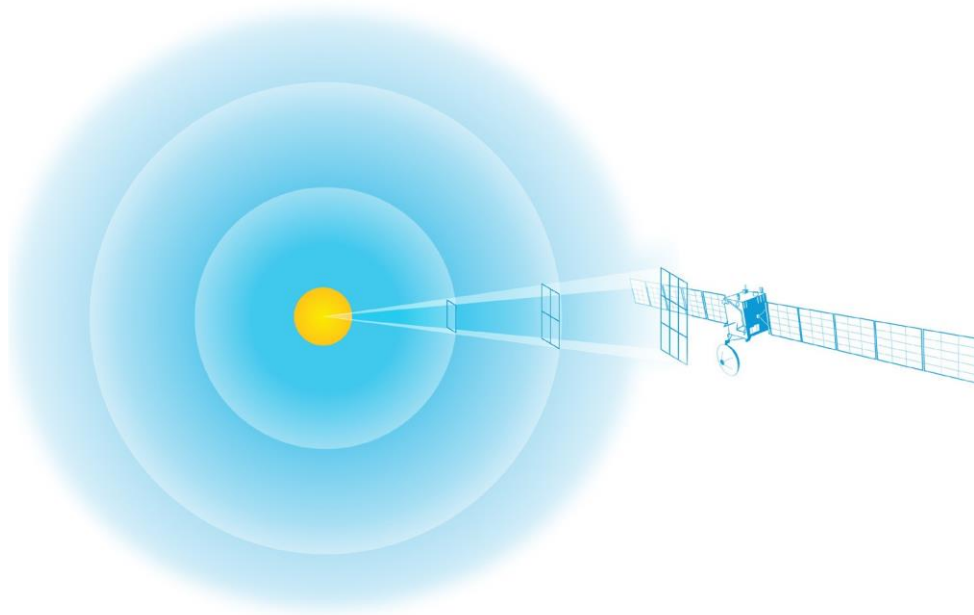
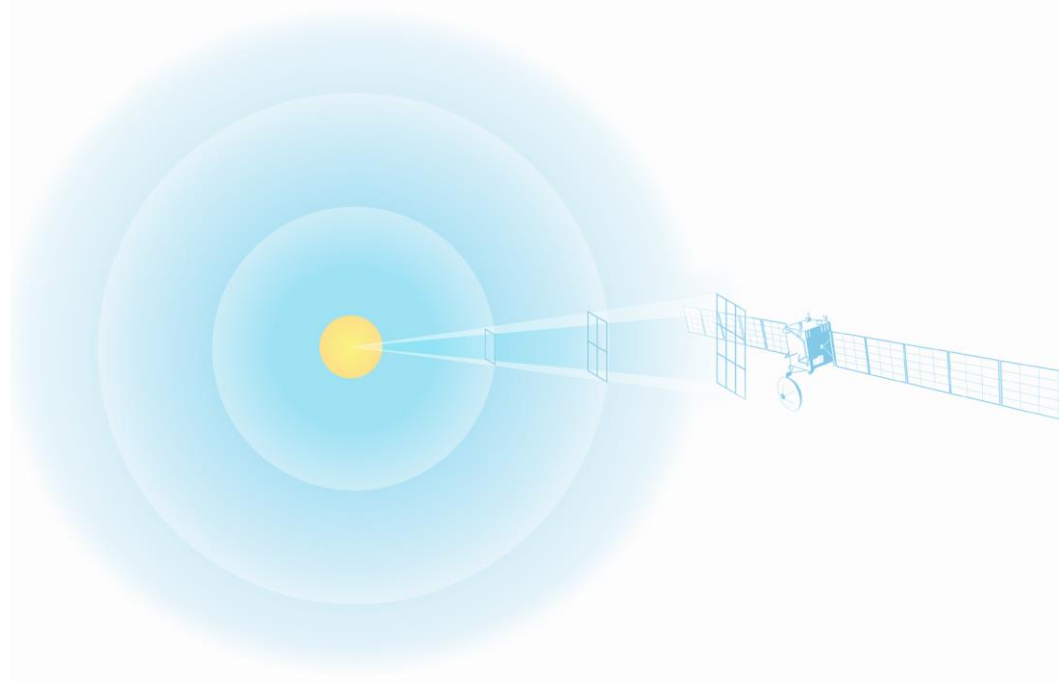


teach with space

→ Strom aus Sonnenlicht

Mit Solarenergie das Weltall erkunden





Übung 1: Das Abstandsgesetz	Seite 3
Übung 2: Der Einfallswinkel	Seite 6
Übung 3: Mit Solarenergie das Weltall erkunden	Seite 9
Anhang 1: Abstandsgesetz	Seite 12
Anhang 2: Einfallswinkel	Seite 14

teach with space – Strom aus Sonnenlicht | P09
www.esa.int/education

Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare
teachers@esa.int

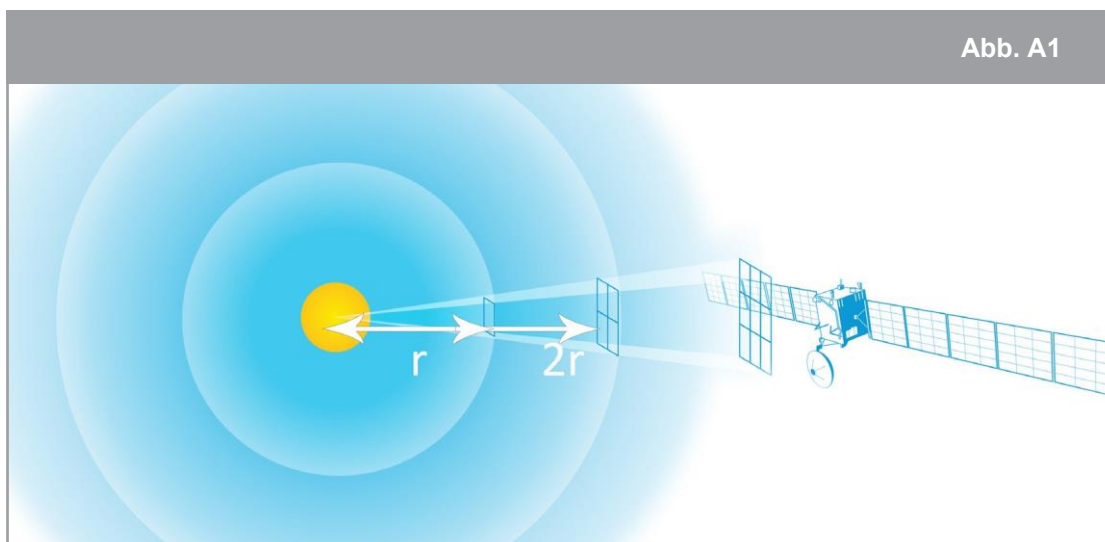
Eine ESA Education Produktion
Copyright 2018 © European Space Agency

Eine Übersetzung von ESERO Germany, adaptiert von ESERO Austria

→ STROM AUS SONNENLICHT

Mit Solarenergie das Weltall erkunden

→ Übung 1: Das Abstandsgesetz



↑ Die Sonne emittiert Licht gleichmäßig in alle Richtungen. Bei einer Distanz r dringt das Licht durch eine Fläche A . Wenn sich die Distanz verdoppelt ($2r$), passiert die gleiche Lichtmenge durch eine Fläche, die vier Mal so groß ist ($4A$).

Die Sonne emittiert Licht gleichmäßig in alle Richtungen (siehe Abb. A1). Deshalb ist die Strahlungsintensität (I) bei einer gegebenen Distanz (r) gleich der gesamten von der Sonne abgestrahlten Energie, verteilt auf eine Kugel mit dem Radius r und einer Oberfläche von $4\pi r^2$.

$$\text{Strahlungsintensität der Sonne (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Strahlungsleistung der Sonne (W)}}{4\pi r^2 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Abhängig von ihrer Entfernung zur Sonne, empfangen Raumfahrzeuge im Sonnensystem unterschiedliche Mengen an Sonnenlicht.

Schon gewusst...?

SMART-1 startete im September 2003 und war die erste ESA-Mission zum Mond. Sie war die erste Mission, die die Erdumlaufbahn, wenn auch langsam, ausschließlich mit Sonnenenergie verließ. Mit 13 Monaten stellte sie einen Rekord für die längste Reise zum Mond auf. SMART-1 brach den Rekord für den niedrigsten Kraftstoffverbrauch pro Kilometer für eine Mondreise und bezog den größten Teil ihrer elektrischen Energie aus den Flügeln der Solarmodule, die jeweils etwa 7 Meter lang waren.



Experiment

In diesem Experiment werdet ihr versuchen, das Abstandsgesetz für die elektrische Leistung einer Solarzelle heranzuziehen.

- Baut den Versuchsaufbau nach der Anleitung in Anhang 1 von Schritt 1 bis 10 auf.
- Kontrolliert, ob das gesamte Equipment korrekt angeschlossen ist und funktioniert.
- Beginnt mit den Messungen und folgt dabei Schritt 11 und 12 der Anleitung.
- Notiert die gemessene Spannung (U) und den Strom (I) in Tabelle 1.
- Wiederholt die Messungen jeweils zwei weitere Male.
- Berechnet die elektrische Leistung (P) der Solarzelle und vervollständigt Tabelle 1.

$$P (W) = I (A) \cdot U (V)$$

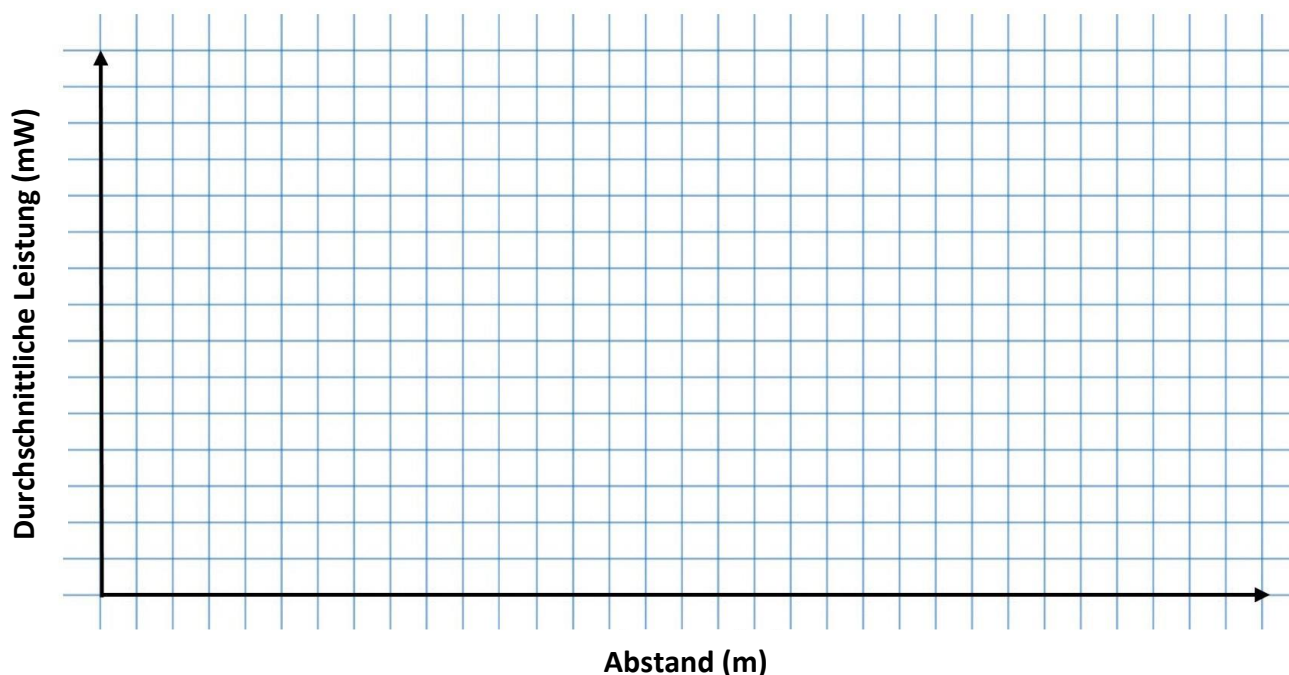
- Berechnet die durchschnittliche Leistung (P) für die verschiedenen Abstände.

Tabelle 1

Abstand	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Mittelwert P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	

↑ Tabelle für die gemessene Spannung (U), den gemessenen Strom (I) und die jeweils berechnete elektrische Leistung (P)

1. Zeichnet die durchschnittliche elektrische Leistung als Funktion des Abstands zur Lichtquelle:



2. Folgt die elektrische Leistung der Solarzelle dem Abstandsgesetz? Erklärt eure Antwort.

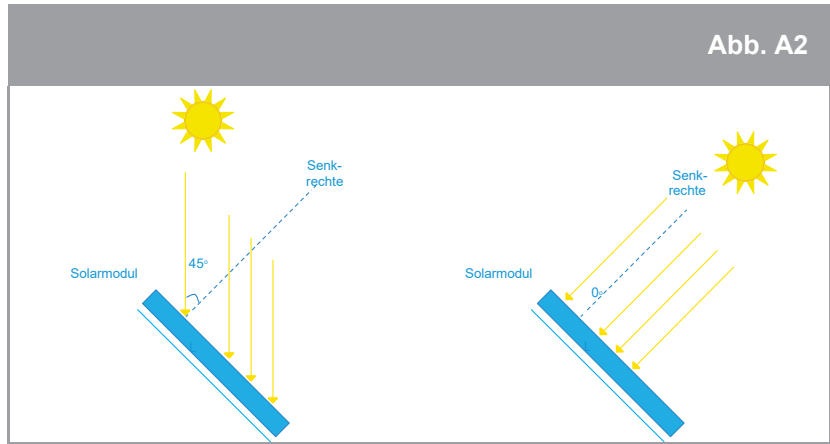
3. Welche Unsicherheiten gibt es in dem Experiment? Wie beeinflussen sie dieses?

4. Wenn wir die Distanz zur Lichtquelle verdoppeln, wie groß muss dann die Solarzelle sein, um die gleiche elektrische Leistung zu erbringen?

- Sie muss kleiner sein
- Sie muss zweimal so groß sein
- Sie muss viermal so groß sein
- Sie muss neunmal so groß sein

→ Übung 2: Der Einfallswinkel

Der Einfallswinkel des Sonnenlichts auf die Solarzellen ist ein wichtiger Faktor. Der Einfallswinkel ist der Winkel zwischen den einfallenden Sonnenstrahlen und der Senkrechten der Solarmodule. Wenn die Sonnenstrahlen im rechten Winkel zum Solarmodul stehen, haben sie einen Einfallswinkel von 0°.



↑ Darstellung eines Einfallswinkels von 45° (links) und 0° (rechts).

1. Bevor ihr mit den Messungen beginnt, macht eine Annahme, welcher Einfallswinkel die größte Leistung erzielen wird. Begründet eure Annahme.

Experiment

In diesem Experiment werdet ihr messen, wie der Einfallswinkel die erbrachte Leistung eurer Solarzelle beeinflusst.

- Adaptiert den Versuchsaufbau von Übung 1 indem ihr den Schritten 1 bis 7 aus der Anleitung aus Anhang 2 folgt.
- Führt das Experiment durch, indem ihr die Schritte 8 bis 10 aus Anhang 2 befolgt. Notiert eure gemessene Spannung (U) und den gemessenen Strom (I) bei den verschiedenen Einfallswinkeln in Tabelle 2.
- Wiederholt die Messungen jeweils zwei weitere Male.
- Berechnet die elektrische Leistung der Solarzelle und vervollständigt Tabelle 2.

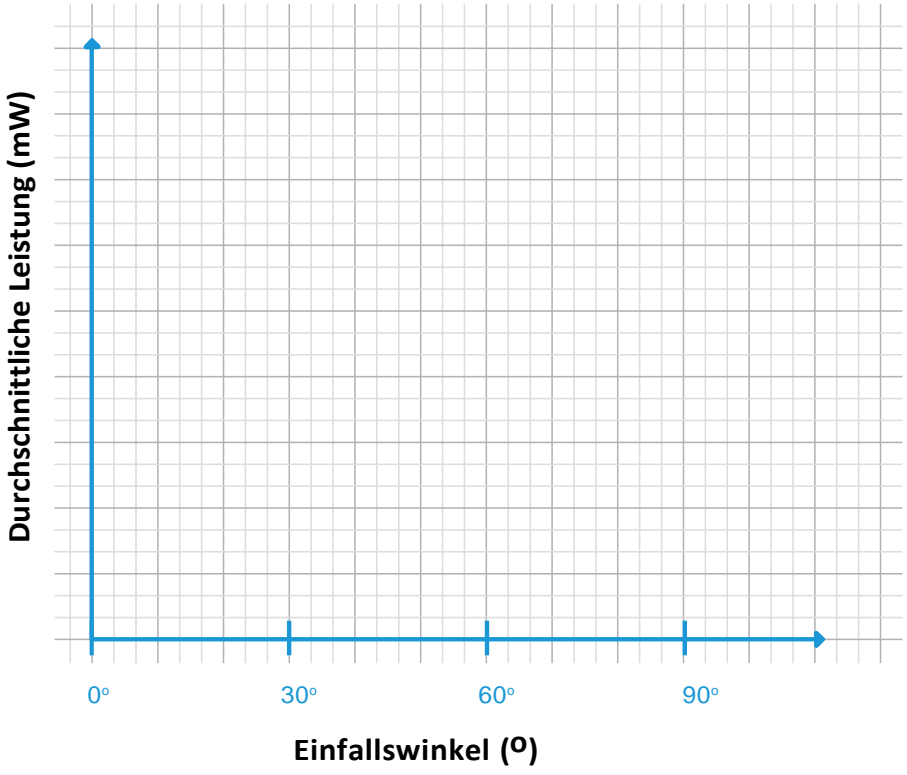
$$P (W) = I (A) * U (V)$$

- Berechnet die durchschnittliche Leistung für die verschiedenen Einfallswinkel.

Tabelle 2										
Winkel	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Mittelwert P (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	
0°										
30°										
45°										
60°										
90°										

↑ Tabelle für die gemessene Spannung (U), den gemessenen Strom (I) und die jeweils berechnete elektrische Leistung (P) für verschiedene Einfallswinkel

2. Zeichnet die durchschnittliche Leistung als Funktion des Einfallswinkels:



3. Welcher Einfallswinkel führt zur größten elektrischen Leistung?

4. War eure Annahme aus Frage 1 korrekt? Wenn nicht, könnt ihr erklären warum nicht?

5. Was denkt ihr, warum die Leistung nicht gleich Null ist, wenn die Solarzelle parallel zu der Lichtquelle ist? (Einfallswinkel = 90°)

6. Erwartet ihr eine elektrische Leistung, wenn ihr das Experiment durchführt, während die Glühbirne ausgeschaltet ist? Testet es und erklärt eure Beobachtungen.

7. Welche elektrische Leistung würdet ihr erwarten, wenn ihr das Experiment mit den Einfallswinkeln -30° , -45° , -60° und -90° durchführt? Begründet eure Antwort.

8. Welche Hauptunsicherheiten gibt es in dem Experiment? Gibt es Fehler bei euren Messungen?

9. Ihr habt gemessen, wie die elektrische Leistung von dem Einfallswinkel abhängt. Wie würdet ihr ein Solarmodul konstruieren, um die Leistung zu maximieren?

Schon gewusst...?

Die Internationale Raumstation (ISS) wird mit Solarmodulen betrieben. Das rechte Bild zeigt einige der Solarmodule auf der ISS, auf der bis zu sechs Astronauten gleichzeitig leben. Während die ISS die Erde umkreist, können die Solarmodule gedreht werden, um direkter auf die Sonne zu zeigen. Die Solarzellen erstrecken sich über eine Fläche von 2500 m^2 - das entspricht der Größe eines halben Fußballfeldes!



→ Übung 3: Mit Solarenergie das Weltall erkunden

Wann ist es eine gute Idee Solarenergie für die Raumfahrt zu nutzen und wie können wir unser Wissen über das Abstandsgesetz und den Einfallswinkel vorteilhaft dafür einsetzen?

ESAs Rosetta Mission reiste 800 Millionen km von der Sonne entfernt und benötigte enorm große Solarmodule, um genug Energie zu gewinnen, um die Systeme an Bord betreiben zu können. Im Gegensatz dazu ist **ESAs BepiColombo Mission** zum Merkur so nah an der Sonne, dass sie so großen Strahlungsmengen ausgesetzt ist, dass diese sehr schädlich für Solarzellen sein können.

Aufgabe

1. Die Erde befindet sich ungefähr 150 Millionen km von der Sonne entfernt. Die durchschnittliche emittierte Leistung der Sonne beträgt $3,828 \cdot 10^{26} \text{W}$. Benutzt Formel (1) aus Übung 1 um die Strahlungsintensität bei der Entfernung der Erde (I_{Erde}) zu berechnen.

2. Der kleinste Abstand von BepiColombo zur Sonne wird ungefähr 45 Millionen km betragen. Um Schäden der Solarzellen durch die große Hitze so gering wie möglich zu halten, müssen sie von der Sonne weggekippt werden. Berechnet die Strahlungsintensität ($I_{\text{BepiColombo}}$) für diesen Abstand. Vergleicht sie mit I_{Erde} .

3. Rosettas größter Abstand zur Sonne betrug 800 Millionen km. Berechnet die Strahlungsintensität (I_{Rosetta}) dieser Distanz. Vergleicht sie mit I_{Erde} .

4. Berücksichtigt man den benötigten Strom in Kombination mit der geringen Strahlungsintensität an dem am weitesten entfernten Punkt im Orbit, mussten Rosettas Solarzellen eine sehr große Oberfläche von 64m^2 haben. Welche Größe hätten die Solarzellen haben müssen, wenn Rosetta stattdessen den gleichen Abstand zur Sonne wie die Erde gehabt hätte? Bezieht dabei nur den Unterschied der Strahlungsintensität in eure Berechnungen mit ein und geht davon aus, dass alle anderen Variablen konstant bleiben.

5. Stellt euch jetzt vor, Rosetta würde die Sonne aus einer Distanz von 1,4 Milliarden km erforschen. Wie groß müssten die Solarzellen dann sein? Bezieht dabei nur den Unterschied der Strahlungsintensität in eure Berechnung mit ein und geht davon aus, dass alle anderen Variablen konstant bleiben.

6. Die letzte Mission zum Saturn, Cassini-Huygens, wurde mittels eines Radioisotopengenerators (RTG, engl. radioisotope thermoelectric generator) mit Energie versorgt. Cassini-Huygens benötigte eine Leistung von 885 W, wohingegen Rosetta nur 395 W benötigte. Berechnet die Größe der Solarzellen, die benötigt würden, um Cassini-Huygens (auf Höhe des Saturns) mit ausreichend Strom zu versorgen. Geht davon aus, dass die Solarzellen vom Typ her ähnlich wie Rosettas sind.

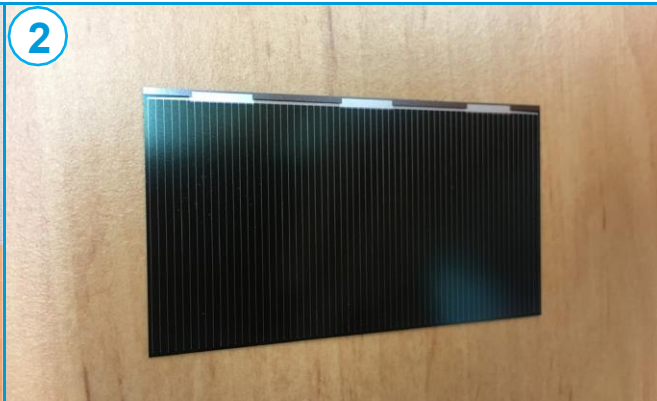
7. Der Radioisotopengenerator, der für Cassini-Huygens verwendet wurde, hatte eine Masse von 56.4 kg. Rosettas Solarzellen hatten eine Masse von 51.2 kg. Wie viel größer wäre die Masse von Cassini-Huygens gewesen, wäre die Mission mit Solarzellen, wie in Frage 6 berechnet, durchgeführt worden?

8. Was sind die Vor- und Nachteile der Solarenergie bei der Raumfahrt?

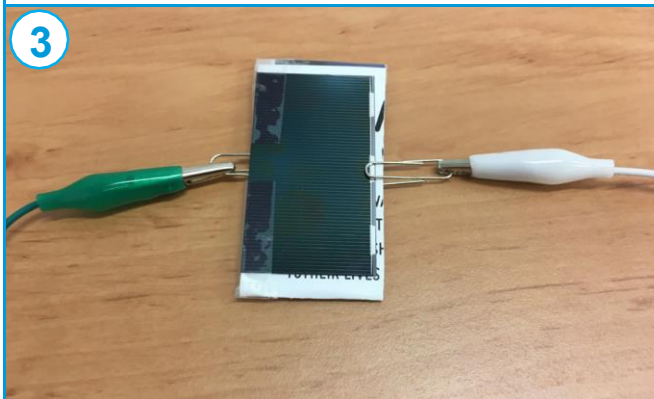
→ Anhang 1 - Abstandsgesetz



Ihr benötigt einen dunklen Kasten (20-30 cm Länge reichen für eine kleine Glühbirne aus).



Außerdem benötigt ihr eine Solarzelle.



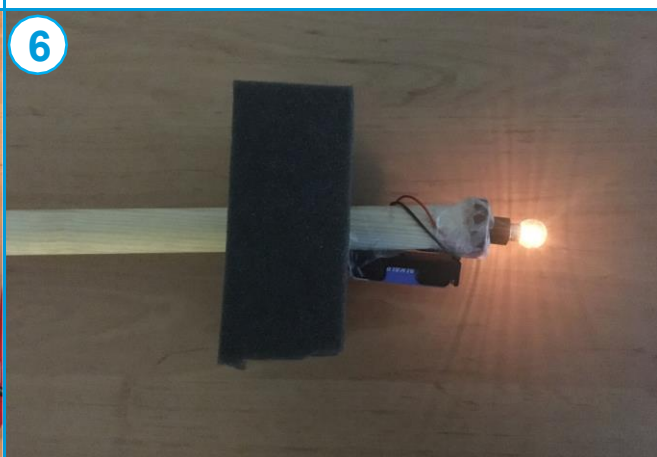
Verbindet die Krokodilklemmen mit der Solarzelle. Je nach Art der Solarzelle müsst ihr ggf. zunächst Verbindungspunkte für die Krokodilklemmen anbringen. Dafür könnt ihr z.B. Büroklammern benutzen.



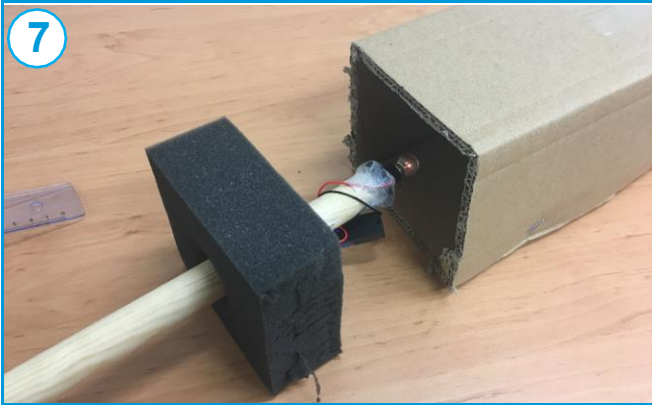
Testet, ob eure Solarzelle richtig funktioniert indem ihr ein Ampere- (Reihenschaltung) und Voltmeter (Parallelschaltung) oder ein Multimeter benutzt. Es sollten euch Spannung und Strom angezeigt werden.



Bringt die Solarzelle wie im Bild dargestellt im Innern des Kastens an. Schließt den Kasten.



Bringt das kleine, batteriebetriebene Licht zusammen mit der Batterie am Ende des Stabs an. Schneidet, genau wie auf dem Foto, ein Stück Schaumstoff mit den Maßen der Schnittfläche des Kastens aus, um Lichteinfall von Quellen hinter der Glühbirne zu verhindern.



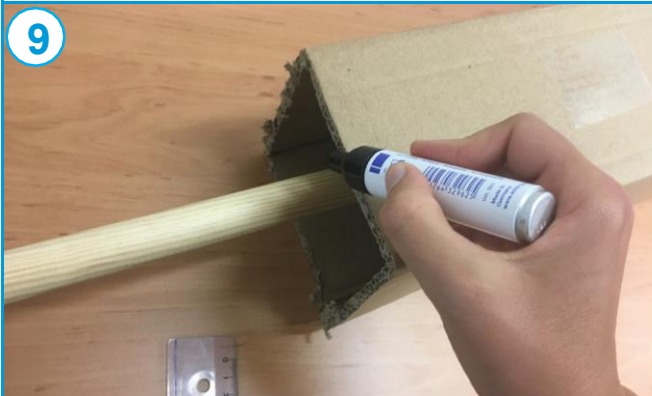
7

Schaltet die Glühbirne ein und führt den Stab in den Kasten ein. Achtet darauf, dass keine Lücken zwischen dem Schaumstoff und den Wänden des Kastens vorhanden sind. Eventuell müsst ihr den Kasten noch mit dunklem Klebeband abdichten oder den Versuch in einem dunklen Raum durchführen.



8

Führt den Stab vorsichtig soweit in den Kasten ein, bis die Glühbirne die Solarzelle berührt. Passt auf, dass ihr diese nicht beschädigt.



9

Markiert die Anfangsposition mit Klebeband oder einem Stift auf dem Stab und schreibt die Maßangabe (0 cm) dazu.



10

Ihr habt den Versuch nun fertig aufgebaut. Geht sicher, dass euer Equipment funktioniert und korrekt verbunden ist.



11

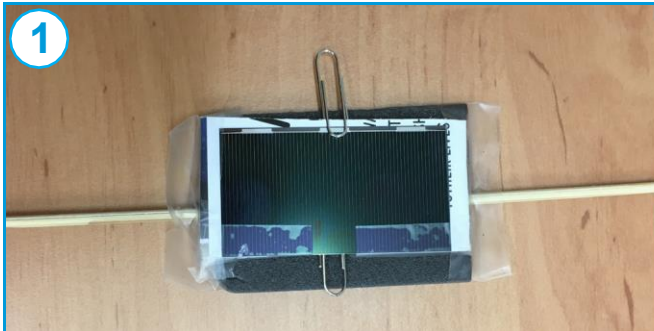
Bewegt die Glühbirne 5 cm von der Solarzelle weg und notiert den elektrischen Strom und die elektrische Spannung in Tabelle 1 auf euren Arbeitsblättern.



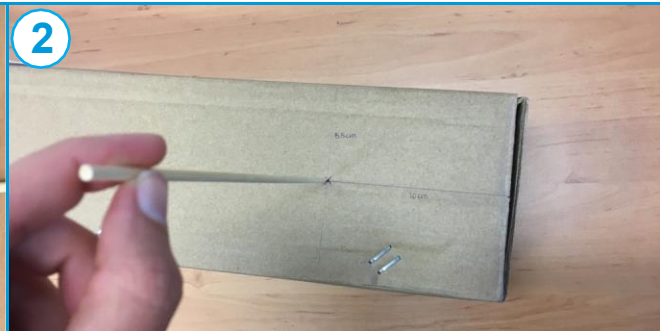
12

Bewegt die Lichtquelle schrittweise einen cm von der Solarzelle weg bis die Glühbirne am Ende des Kastens ist. Wiederholt die Messungen jeweils zweimal unter gleichen Bedingungen und für die verschiedenen Abstände.

→ Anhang 2 – Einfallswinkel



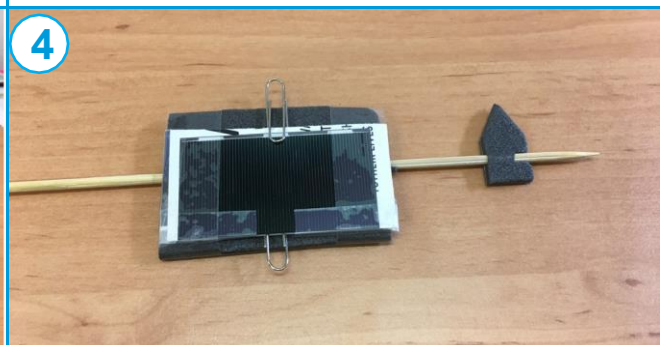
1 Benutzt die Materialien aus Übung 1. Verbindet die Solarzelle mittig mit einem kleinen Stab. Dies ermöglicht euch die Solarzelle innerhalb des Kastens zu rotieren. Die Rotationsachse sollte in der Mitte der Solarzelle liegen.



2 Benutzt den Kasten aus Übung 1. Markiert einen Punkt auf der Kastenseite, an dem der Stab durch den Kasten gehen soll. Vergewissert euch, dass er den gleichen Abstand zu der Ober- und Unterseite des Kastens hat und dass die Solarzelle genug Platz für die freie Rotation innerhalb des Kastens hat.



3 Markiert den 0° , 30° , 45° , 60° und 90° - Winkel mit der Senkrechten zu einer der Kastenseiten (ihr könnt auch ein Geodreieck anbringen).



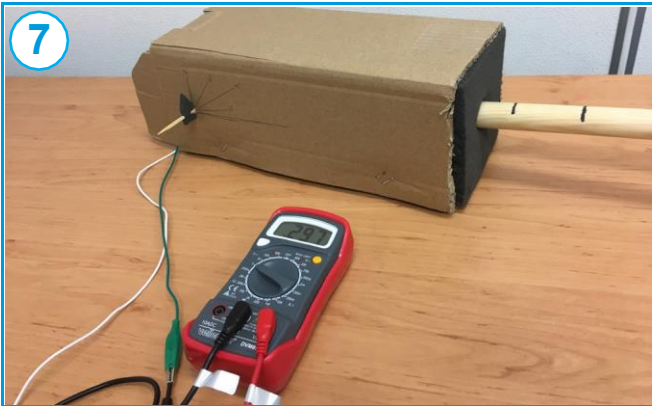
4 Befestigt ein Stück Pappe so an dem Stab, dass es wie die Solarzelle orientiert ist. Es sollte sich außerhalb des Kastens befinden sodass ihr den Rotationsgrad der Solarzelle kontrollieren könnt.



5 Befestigt die Solarzelle in dem Kasten und verbindet sie per Reihenschaltung mit einem Amperemeter und per Parallelschaltung mit einem Voltmeter (oder benutzt ein Multimeter). Schließt den Kasten.



6 Schaltet die Lichtquelle ein und schiebt sie in den Kasten. Der Abstand zwischen der Lichtquelle und der Solarzelle sollte ca. 10 cm betragen. Dieser Abstand darf während des Experiments nicht verändert werden. (Nicht den Stab bewegen!).



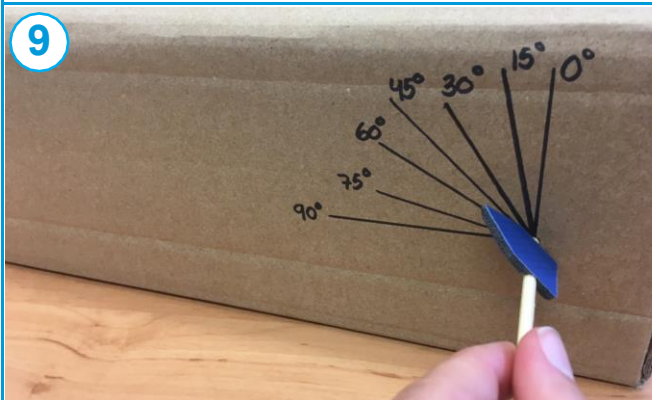
7

Testet ob der Versuchsaufbau funktioniert.



8

Misst den Strom und die Spannung, wenn die Solarzelle senkrecht zur Lichtquelle ist (Einfallswinkel von 0°). Notiert eure Messungen in Tabelle 2 eures Arbeitsblattes.



9

Kippt die Solarzelle schrittweise, indem ihr den kleinen Stab dreht und die auf dem Kasten markierten Winkel ablest. Messt den Strom und die Spannung bei jedem der markierten Winkel und notiert sie in Tabelle 2 auf eurem Arbeitsblatt.



10

Kippt die Solarzelle bis sie parallel zur Lichtquelle ist (Einfallswinkel von 90°). Messt auch bei dieser Position den Strom und die Spannung und notiert sie in Tabelle 2 auf euren Arbeitsblättern. Wiederholt die Messungen zwei weitere Male.