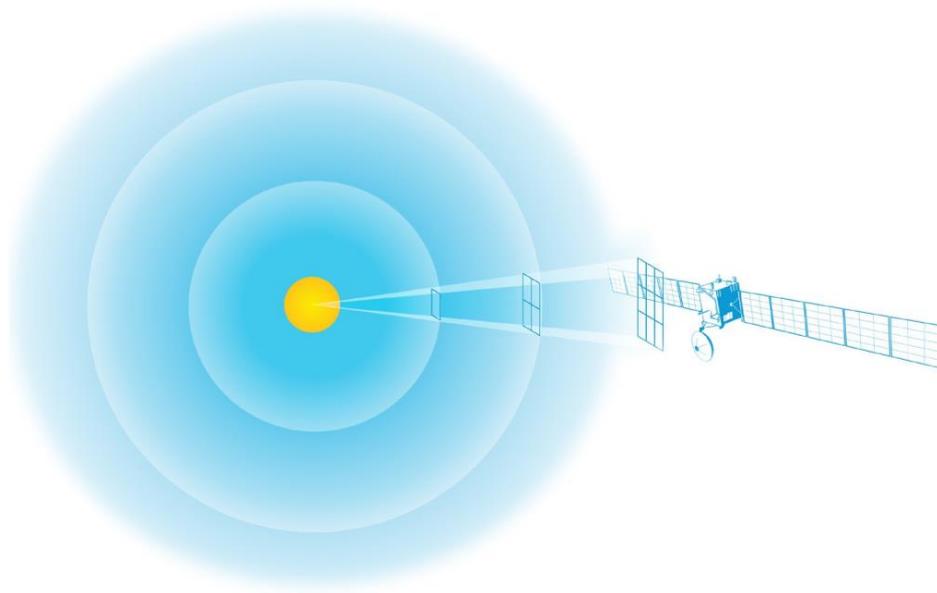
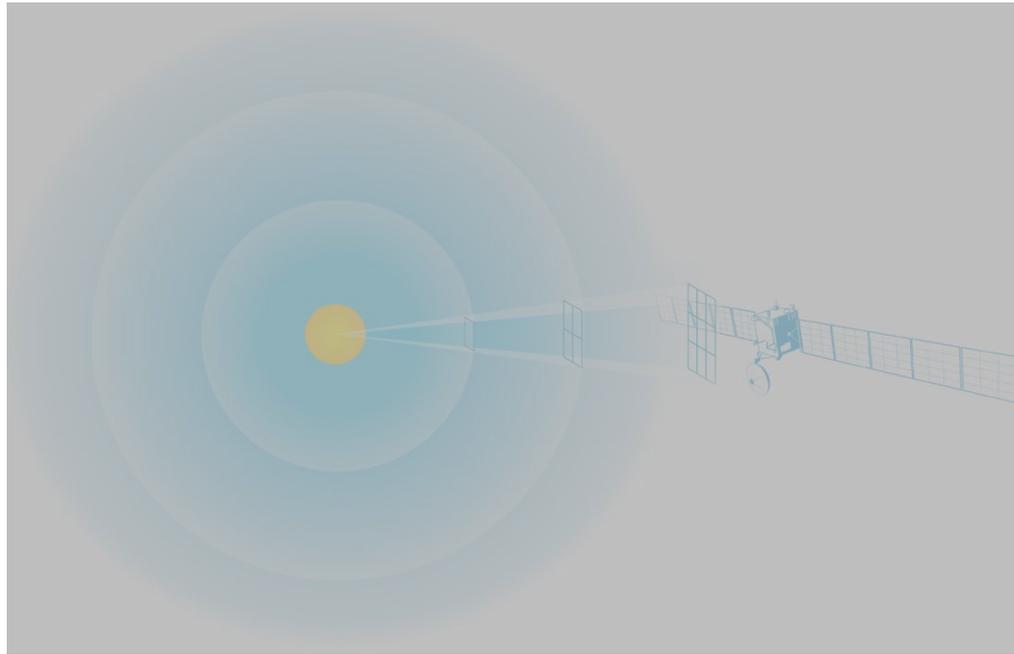


Lehren mit dem All

→ Strom aus Sonnenlicht

Mit Solarenergie das Weltall erkunden





Kurzinformationen	Seite 3
Zusammenfassung der Aufgaben	Seite 4
Einleitung	Seite 5
Aufgabe 1: Das Abstandsgesetz	Seite 7
Aufgabe 2: Der Einfallswinkel	Seite 9
Aufgabe 3: Mit Solarenergie das Weltall erkunden	Seite 12
Links	Seite 13

Lehren mit dem All – 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

→ STROM AUS SONNENLICHT

Mit Solarenergie das Weltall erkunden

Kurzinformationen

Unterrichtsfach: Physik

Alter: 14-18 Jahre

Typ: Schüleraktivität

Schwierigkeit: Mittel

Kosten: gering

Vorbereitungszeit: 1 Stunde

Benötigte Zeit: 1,5 Stunden (plus 20 Min. für den Versuchsaufbau)

Ort: Klassenraum

Besonderes Equipment: Solarzellen

Stichworte: Physik, Solarenergie, Abstandsgesetz, Strahlungsintensität, Einfallswinkel, Solarsysteme

Überblick

In dieser Aufgabenreihe lernen die Schülerinnen und Schüler (SuS) zwei physikalische Gesetze kennen, die das Design von Solarmodulen für Raumfahrtmissionen beeinflussen: das Abstandsgesetz (auch reziprokes Quadratgesetz oder quadratisches Entfernungsgesetz) und den Einfallswinkel. Die SuS führen zwei einfache Untersuchungen mit einer Photovoltaikzelle (Solarzelle) und einer Lichtquelle durch. Zuerst messen sie, wie sich die von den Solarzellen erzeugte Leistung mit der Entfernung von der Lichtquelle ändert und versuchen, das Abstandsgesetz für die Strahlungsintensität experimentell zu ermitteln. Die SuS führen dann ein zweites Experiment durch, um die Abhängigkeit der Leistung der Solarzelle vom Einfallswinkel zu untersuchen. Schließlich werden sie diese Konzepte auf echte ESA-Raumfahrtmissionen anwenden.

Lernziele

- Verstehen, was Strahlungsintensität ist und lernen sie zu berechnen.
- Die Bedeutung des Einfallswinkels verstehen.
- Die Funktionsweise von Solarzellen kennenlernen.
- Eigenen Experimente durchführen, um das Abstandsgesetz und die Bedeutung des Einfallswinkels zu untersuchen.
- Daten analysieren und grafisch darstellen.
- Einfache Stromkreisläufe mit Solarzellen gestalten und bauen.
- Sich mit der elektrischen Spannung, dem Strom, der Leistung und der Strahlungsintensität vertraut machen.
- Anforderungen an Solarenergie bei Weltallmissionen untersuchen.

→ Zusammenfassung der Aufgaben

Zusammenfassung der Aufgaben					
	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzungen	Zeit
1	Das Abstandsgesetz	Das Abstandsgesetz mit eigenen Experimenten untersuchen.	Verstehen, wie das Abstandsgesetz funktioniert und wie es die elektrische Leistung von Solarzellen beeinflusst.	Keine	20 Minuten für den Versuchsaufbau 30 Minuten für die Aktivität
2	Der Einfallswinkel	Den Einfallswinkel mit eigenen Experimenten untersuchen.	Verstehen, was der Einfallswinkel ist und wie er die elektrische Leistung einer Solarzelle beeinflusst.	Das erfolgreiche Beenden der Aufgabe 1 wird empfohlen.	30 Minuten
3	Mit Solarenergie das Weltall erkunden	Anwenden des Abstandsgesetzes bei echten ESA Weltraummissionen.	Vor- und Nachteile von Solarenergie bei der Erforschung des Weltalls verstehen.	Das erfolgreiche Beenden der Aufgabe 1 wird empfohlen.	30 Minuten

→ Einleitung

Solarenergie wird oft für Raumfahrtmissionen genutzt, da sie die einzige Energiequelle ist, die nicht mit dem Raumschiff gestartet werden muss und das Raumschiff mehrere Jahre lang mit Strom versorgen kann. Bei der Bearbeitung dieses Unterrichtsmaterials werden die SuS zwei wichtige Faktoren untersuchen, die bei der Entwicklung von Solarmodulen für Raumfahrtmissionen berücksichtigt werden müssen: das Abstandsgesetz und den Einfallswinkel.

Abstandsgesetz

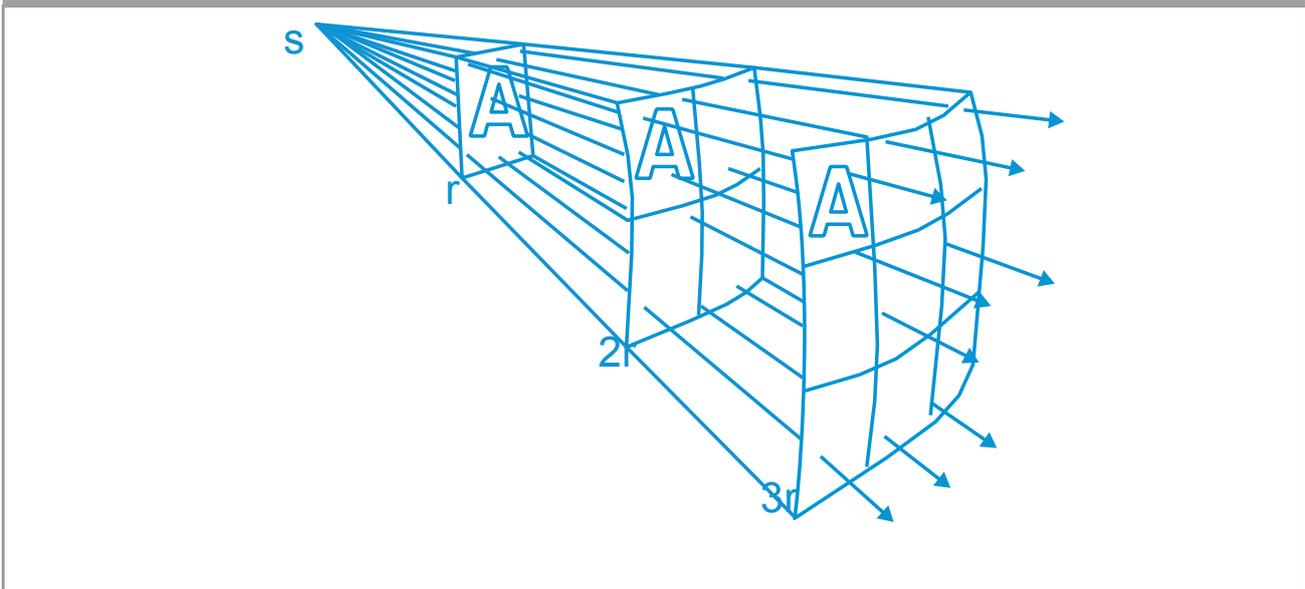
Das Abstandsgesetz besagt, dass der Wert einer physikalischen Größe umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung von der Quelle dieser physikalischen Größe ist. Eines der bekanntesten Beispiele dafür ist das Abstandsgesetz des Lichts; der von einer Lichtquelle empfangene Fluss ist umgekehrt proportional zum quadratischen Abstand von der Lichtquelle. Beim Licht ist der Fluss die Menge der Leistung, die durch eine bestimmte Fläche abgestrahlt wird. Bei einer kugelförmigen Lichtquelle wie der Sonne ist der Fluss gleich der **Strahlungsintensität (I)**. Die Sonne strahlt Licht gleichmäßig in alle Richtungen aus, so dass die Strahlungsintensität dem Abstandsgesetz mit Distanz zur Sonne folgt. Das Abstandsgesetz für diesen Fall ist in der folgenden Gleichung zusammengefasst:

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

I = Strahlungsintensität der Sonne
r = Abstand zur Sonne

Das bedeutet, dass, wenn ein Planet zweimal so weit von der Sonne entfernt ist wie die Erde, die dort gemessene Strahlungsintensität der Sonne nur ein Viertel von der auf der Erde gemessenen betragen wird (Abb. 1).

Abb. 1



↑ Die Sonne (Punkt S) emittiert Licht gleichmäßig in alle Richtungen. Bei einem Abstand r passiert das Licht eine Fläche A, wenn sich der Abstand verdoppelt (2r) vervierfacht sich die Fläche (4A) und wenn sich der Abstand verdreifacht, ist die Fläche gleich 9A.

Das Abstandsgesetz zu verstehen ist wichtig, da es große Auswirkungen auf Raumfahrtmissionen hat, die durch Solarmodule angetrieben werden. Je weiter ein solarbetriebenes Raumfahrzeug von der Sonne entfernt ist, desto größer muss die Fläche seiner Solarmodule sein, um den Energiebedarf zu decken.

Einfallswinkel

Der Einfallswinkel (θ) des Sonnenlichts auf einem Solarmodul ist ebenfalls ein wichtiger Faktor für die Stromerzeugung. Ein Solarmodul sammelt Sonnenenergie am effizientesten, wenn die Sonnenstrahlen senkrecht, also mit einem Einfallswinkel von 0° , zur Oberfläche des Moduls stehen, weil das die effektive Sammelfläche maximiert (siehe Abbildung 2). Bei einem Solarmodul mit der Länge L ist die effektive Sammelfläche gleich $L \cdot \cos(\theta)$, so dass die auf die Solaranlage einfallende Intensität auch $L \cdot \cos(\theta)$ ist.

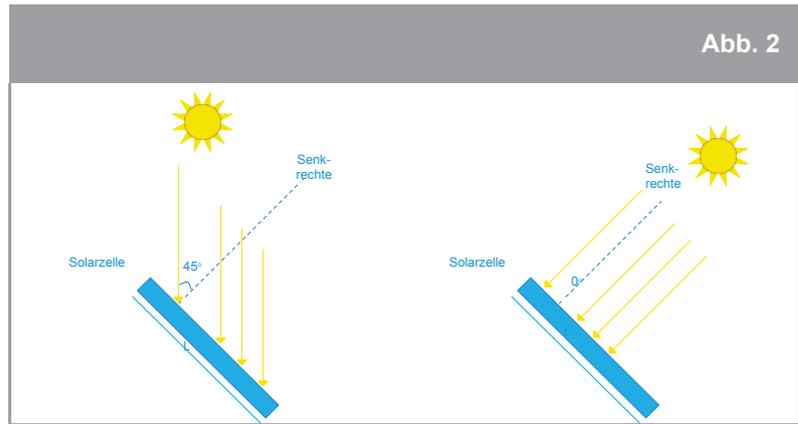


Abb. 2

↑ Ein Einfallswinkel von 45° (links) und 0° (rechts). Der Einfallswinkel ist der Winkel zwischen den einfallenden Sonnenstrahlen und der Senkrechten der Solarzelle (mit der Länge L). Wenn die Sonnenstrahlen parallel zur Senkrechten der Solarzelle sind, liegt ein Einfallswinkel von 0° vor.

Für Weltallmissionen ist der Einfallswinkel ein entscheidender Faktor. Viele Raumfahrzeuge sind mit verstellbaren Solarmodulen ausgestattet, um den Einfallswinkel zu verringern und somit die Stromproduktion zu maximieren.

Solarenergie bei Missionen im All

Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt, wie das Abstandsgesetz und der Einfallswinkel die Technik von Weltraummissionen beeinflussen.

Rosetta

Die Rosetta-Mission der ESA war mehr als 10 Jahre lang unterwegs zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko. Am äußersten Punkt ihrer Reise befand sich Rosetta 800 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt, wo das Sonnenlicht nur 4% des auf der Erde empfangenen Lichts ausmacht. Es ist die erste Mission, die außerhalb des Haupt-Asteroidengürtels reiste und sich dabei ausschließlich auf Solarzellen zur Stromerzeugung stützte. Die 32 Meter langen Solarmodule hatten eine Gesamtfläche von 64 m^2 (siehe Abbildung 3).

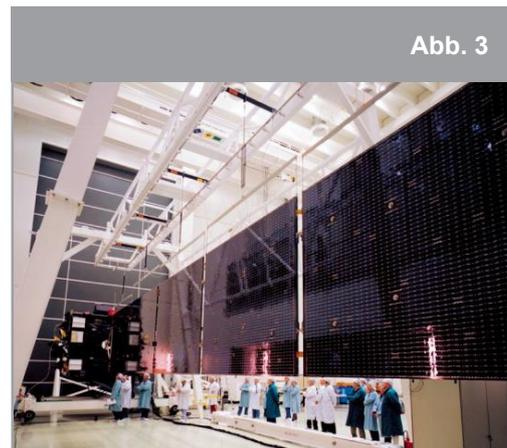


Abb. 3

↑ Die Raumfähre Rosetta mit einem ihrer Solarflügel.

BepiColombo



Abb. 4

ESA-C. Carreau, CC BY-SA 3.0

↑ Raumsonde BepiColombo mit ihrem Solarmodul.

Ein großer Teil des einfallenden Lichts, das die Solarmodule erreicht, wird in Wärme umgewandelt. Die BepiColombo-Mission der ESA zum Merkur wird in der Nähe der Sonne fliegen, wo der Heizeffekt sehr groß ist. Wenn die Solarmodule von BepiColombo länger als ein paar Sekunden direkt auf die Sonne zeigen, würden die Materialien beschädigt werden und die Solarmodule nicht mehr funktionieren. Damit die Solarmodule kühl genug bleiben (ca. 200°C), werden sie von der Sonne weggedreht. Um die für BepiColombo benötigte elektrische Energie zu erzeugen, müssen die Solarmodule deshalb viel größer sein, als wenn wir die Fläche nur mit dem Abstandsgesetz berechnen würden. Für BepiColombo müssen die Solarmodule 42 m^2 groß sein (siehe Abb. 4).

→ Aufgabe 1 – Das Abstandsgesetz

In dieser Aufgabe werden die SuS die elektrische Leistung einer Solarzelle berechnen, indem sie zunächst eigene Messungen des elektrischen Stroms und der elektrischen Spannung durchführen und versuchen werden, das Abstandsgesetz aus ihren Messungen herzuleiten.

Materialien

- Ausgedruckte Arbeitsblätter und Anhang 1 für jede Gruppe
- Eine dunkle Kiste (an einer Seite geöffnet)
- Stromkabel
- Klebeband
- Lichtquelle (kleine Glühbirne, 4.5V, 0.3A)
- Lineal
- 30 cm Stab (z.B. ein dünner Holzstab)
- Material zum abdunkeln (z.B. Schaumstoff, Bauwollstoff)
- Amperemeter und Voltmeter (oder ein Multimeter)
- Krokodilklemmen

Übung

Teilen Sie die SuS in Gruppen mit jeweils drei bis vier SuS ein. Verteilen Sie das Arbeitsblatt zu Aufgabe 1 und pro Gruppe zusätzlich noch den Anhang 1. Bevor die SuS mit den Experimenten beginnen, sollten Sie das Konzept der Strahlungsintensität vorstellen.

Versuchsaufbau

Die SuS müssen das Experiment zunächst aufbauen. Bitten Sie sie Schritte 1 bis 9 von Anhang 1 durchzuführen. In Schritt 9 ist dringend darauf zu achten, dass die SuS die Distanz null markieren, wenn die Glühbirne die Solarzelle berührt. Nach dem Versuchsaufbau sollten die SuS noch einmal kontrollieren, ob alles richtig aufgebaut wurde und funktioniert.

Experiment

Die SuS sollten ihre Messungen der elektrischen Spannung (U) und des elektrischen Stroms (I) gemäß den Schritten 10 bis 12 in Anhang 1 durchführen und ihre Daten in Tabelle 1 auf ihren Arbeitsblättern eintragen.

Vor der ersten Messung sollten die SuS den Mindestabstand von 5 cm einhalten. Für jede nachfolgende Messung sollten die SuS die Lichtquelle jeweils 1 cm zurückziehen, bis sie ca. 30 cm erreicht haben. Im Idealfall sollten die SuS 20 bis 30 verschiedene Entfernungen messen. Es ist möglich, größere Intervallabstände zu verwenden, aber der Abfall der Leistungsabgabe kann dann zu schnell sein, um das Abstandsgesetz zu beobachten; dies variiert mit der Lichtquelle und den Solarzellen. Wir empfehlen, die optimalen Abstände zu testen, bevor Sie das Experiment mit Ihren SuS durchführen.

Die SuS sollten ihre Messungen noch zweimal wiederholen und dann den Durchschnitt berechnen. Besprechen Sie die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und den wissenschaftlichen Prozess mit den SuS.

Bitten Sie die SuS, Tabelle 1 ihres Arbeitsblattes auszufüllen, indem Sie die Ausgangsleistung berechnen:

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

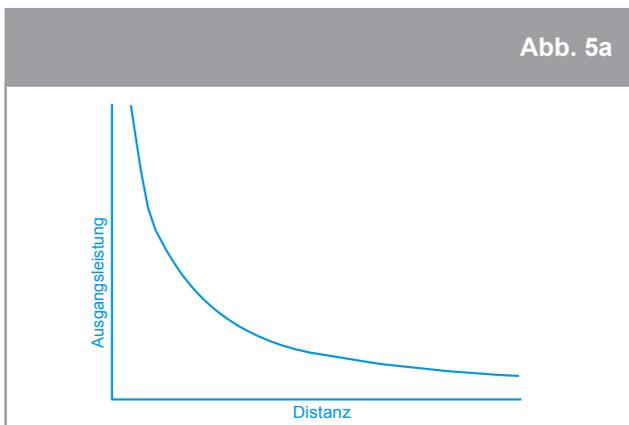
Ergebnisse

Bei der Analyse der Ergebnisse gehen wir davon aus, dass die von den Solarzellen produzierte Leistung direkt proportional zur Leistung ist, die von der Solarzelle empfangen wird (produzierte Leistung = empfangene Leistung x Wirkungsgrad der Zelle). Die empfangene Leistung ist proportional zur Strahlungsintensität der Lichtquelle (denn Intensität = Leistung / Fläche, und die Fläche bleibt während des gesamten Experiments gleich). Daher können wir sagen, dass die von der Photovoltaikzelle erzeugte Leistung proportional zur Strahlungsintensität ist.

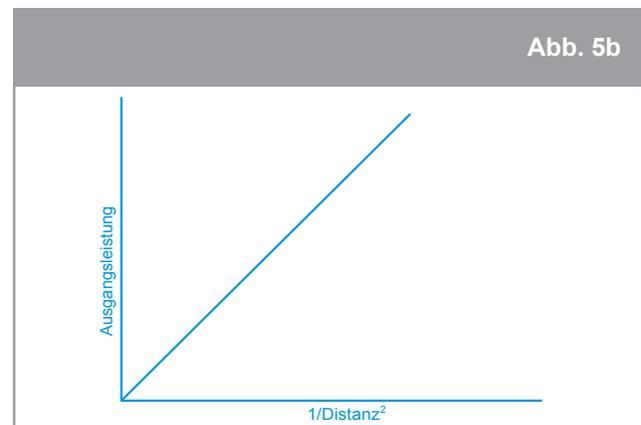
Da das Abstandsgesetz gilt, sollte die vom Solarmodul (P) erzeugte Leistung proportional zum Kehrwert des quadratischen Abstands (r) sein.

$$P \propto \frac{1}{r^2}$$

Um ihre Daten zu analysieren, sollten die SuS die Leistung als Funktion der Distanz (Abb. 5a) und die Leistung als Funktion des Kehrwerts des quadratischen Abstands (Abb. 5b) zeichnen.



↑ Erwarteter Graph für Ausgangsleistung gegen Distanz.



↑ Erwarteter Graph für Ausgangsleistung gegen 1/Distanz².

Die SuS werden das Abstandsgesetz mit dem Versuch wahrscheinlich nicht genau ermitteln können. Unter anderem können die folgende Faktoren die Ergebnisse beeinflussen:

- Die Kiste ist nicht komplett abgedunkelt und Variationen der Strahlungsintensität außerhalb der Kiste beeinflussen deshalb die Messungen.
- Bei der Versuchsdurchführung sind die Messungen des Abstands sehr fehleranfällig.
- Eventuell kommt es zu stärkerer Lichtstreuung innerhalb der Kiste.
- Der Innenwiderstand der Solarzelle kann während des Experiments variieren.
- Die Messungen in direkter Nähe zur Solarzelle folgen nicht dem Abstandsgesetz, da der Ursprung der Lichtquelle nicht genau ermittelt werden kann.

Als Resultat sollten die SuS festhalten, dass wir, wenn wir die Distanz zur Lichtquelle verdoppeln, viermal größere Solarzellen bräuchten um die gleiche Energiemenge zu generieren.

→ Aufgabe 2: Der Einfallswinkel

In dieser Aufgabe werden die SuS lernen, wie wichtig der Einfallswinkel ist und welche Vorteile deshalb die optimale Ausrichtung von Solarzellen hat. Während eines Experiments werden sie messen, wie der Einfallswinkel die Ausgangsleistung beeinflusst.

Materialien

- Ausgedruckte Arbeitsblätter und Anhang 1 für jede Gruppe
- Versuchsaufbau von Aufgabe 1 (siehe Anhang 2)
- Stab um die Solarzelle rotieren zu können (z.B. ein Schaschlikspieß aus Holz)
- Winkelmesser (Geodreieck)

Übung

Diese Übung sollten die SuS wieder in 3er- bis 4er-Gruppen bearbeiten. Verteilen Sie die Arbeitsblätter und den Anhang 2 an die Gruppen.

Bevor die SuS mit den Übungen beginnen, sollten Sie sie mit dem Thema des Einfallswinkels vertraut machen.

Versuchsaufbau

Aufgabe 2 baut auf Aufgabe 1 auf. Die SuS müssen den Versuchsaufbau anpassen, sodass sie die Solarzelle kippen können und sie in einem bestimmten Winkel steht. Sie sollten den Versuchsaufbau aus Aufgabe 1 adaptieren, indem sie den Schritten 1 bis 7 in Anhang 2¹ folgen. Bevor die SuS mit den Messungen beginnen, sollten sie kontrollieren, ob der Aufbau korrekt ist und alles funktioniert.

Experiment

Die SuS sollten die Messungen so durchführen, wie es in Schritt 8 bis 10 beschrieben ist und sie in Tabelle 2 auf ihren Arbeitsblättern festhalten. Die SuS sollten die Messungen zweimal wiederholen, wobei darauf zu achten ist, dass die Versuchsbedingungen gleichbleiben müssen und dann den Mittelwert der Ausgangsleistung für die einzelnen Einfallswinkel berechnen.

¹Falls die SuS Aufgabe 1 nicht durchgeführt haben, sollten sie den Schritten 1 bis 7 aus Anhang 1 folgen, um den Versuch aufzubauen. Schritt 5 kann dabei übersprungen werden. Danach kann der Anleitung in Anhang 2 gefolgt werden.

Ergebnisse

Bitte Sie die SuS, die mittlere Leistung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel darzustellen.

Die SuS sollten aus ihren Daten entnehmen, dass die Leistung dann am größten ist, wenn das Solarmodul senkrecht zu den Lichtstrahlen steht (Einfallswinkel = 0°). Obwohl der erwartete Messwert, wenn die Solarzelle parallel zur Lichtquelle steht (Einfallswinkel = 90°), im Prinzip Null sein sollte, ist dies, hauptsächlich aufgrund der Lichtstreuung im Inneren der Box, wahrscheinlich nicht der Fall.

Auch bei ausgeschalteter Lichtlampe kann ein messbarer Fehlerstrom im Stromkreis (Dunkelstrom) vorhanden sein. Bei wissenschaftlichen Experimenten, die Präzisionsmessungen erfordern, sollten die Werte korrigiert werden, indem dieser Fehler von den Messwerten abgezogen wird.

Wenn die SuS ihre Solarzellen so neigen, dass sie einen Einfallswinkel von -30° , -60° und -90° haben, sollten sie ähnliche Werte erhalten, da das System symmetrisch ist. Experimentell hängt dies davon ab, wie gut das System ausgerichtet ist.

Einige der Fehlerquellen wurden bereits in Aufgabe 1 erwähnt. In dieser Aufgabe müssen wir auch Ungenauigkeiten bei der Messung des Winkels und bei der Ausrichtung des Solarmoduls im Kasten als mögliche Fehlerquellen berücksichtigen.

Abschließend sollten die SuS die Frage 9 des Arbeitsblattes beantworten und feststellen, dass der Einfallswinkel zur Maximierung der Leistung des Solarmoduls nahe 0° liegen sollte. Sie könnten einen Sonnenverfolgungsmechanismus mit Solarmodulen vorschlagen, sodass sich die Module entsprechend der scheinbaren Bewegung der Sonne drehen und neigen.

In diesen Experimenten ist die Erwärmung vernachlässigbar, da die Gesamtenergie der Glühbirne nur wenige Watt beträgt. Bei sonnennahen Raumfahrzeugen wie BepiColombo gibt es eine enorme Erwärmung, die einen großen Einfluss auf die Gestaltung der Mission hat. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist, dass Solarmodule auf der Erde mit Luft gekühlt werden können, dies aber im Vakuum des Weltraums nicht möglich ist.

→ Aufgabe 3: Mit Solarenergie das Weltall erkunden

In dieser Aufgabe üben die SuS das Abstandsgesetz anhand von echten ESA Weltallmissionen zu nutzen. Die SuS werden erfahren, wie sich die Eigenschaften des Abstandsgesetzes darauf auswirken, wie groß die Solarmodule sein müssen und wie wichtig der Einfallswinkel für Missionen in der Nähe der Sonne ist.

Ergebnisse

1. Die Strahlungsintensität, die bei der mittleren Entfernung der Erde zur Sonne empfangen wird (I_{Erde}) kann mit dem Abstandsgesetz und den Werten auf dem Arbeitsblatt berechnet werden:

$$I_{Erde} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(1,5 * 10^{11} m)^2} = 1.354 \frac{W}{m^2}$$

2. Bei einer Distanz von 45 Millionen km zur Sonne wird die Strahlungsintensität wie folgt berechnet:

$$I_{BepiColombo} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(4,5 * 10^{10} m)^2} = 15.043 \frac{W}{m^2}$$

$$I_{BepiColombo} = 11 I_{Erde}$$

Bei diesem Abstand zur Sonne ist die Strahlungsintensität elfmal höher als auf der Erde. Die Hitzeschäden, die an den Solarzellen entstehen würden, wären extrem groß, weshalb diese permanent von der Sonne abgewandt sein müssen. Das bedeutet auch, dass die reale Oberfläche der Solarzellen mit $42 m^2$ viel größer ist als wenn diese direkt zur Sonne zeigen könnten.

3. Die ESA-Raumsonde Rosetta folgte einer Flugbahn, die sie 800 Millionen km von der Sonne entfernte. Bei diesem Abstand zu Sonne berechnet sich die Strahlungsintensität wie folgt:

$$I_{Rosetta} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(8 * 10^{11} m)^2} = 47,6 \frac{W}{m^2}$$

Im Vergleich zu I_{Erde} :

$$I_{Rosetta} = 0,035 I_{Erde}$$

Die Strahlungsintensität in einer Entfernung von 800 Millionen km zur Sonne beträgt ungefähr 3,5% der Strahlungsintensität wie beim Abstand der Erde zur Sonne.

4. Obwohl die Stromversorgung durch extrem leistungsstarke Solarzellen erfolgte, variierte die Effizienz von Rosettas Solarzellen zwischen 18% und 26%. In Kombination mit der geringen Strahlungsintensität an dem von der Sonne am weitesten entfernten Punkt in der Umlaufbahn, mussten Rosettas Solarzellen mit $64 m^2$ eine sehr große Oberfläche aufweisen.

Nehmen wir an, die einzige Variable wäre die Strahlungsintensität. Wenn Rosetta eine Umlaufbahn in der gleichen Entfernung wie die Erde gehabt hätte, wäre die Fläche der Solarzellen nur:

$$A_{Erde} = 0,035 * 64 m^2 = 2,24 m^2$$

5. Unter Berücksichtigung des Abstandsgesetzes beträgt die Strahlungsintensität beim Saturn:

$$I_{Saturn} = \frac{3,828 * 10^{26} W}{4\pi(1,4 * 10^{12} m)^2} = 15,5 \frac{W}{m^2}$$

Ähnlich wie die Berechnung für den Abstand zur Erde: $I_{Rosetta} = 3,1 I_{Saturn}$

Das bedeutet, die Solarzellen müssten bei einer Distanz von 1,4 Milliarden km zur Sonne 3,1-mal größer sein als bei einem Abstand von 800 Millionen km:

$$A_{Saturn} = 3,1 * 64 m^2 = 198,4 m^2$$

6. Cassini-Huygens' Energiebedarf war 2,2-mal so groß wie der von Rosetta (885 W /395 W = 2,2), deshalb wurde bei dieser Mission eine Atomenergiequelle, die man Radioisotopengenerator nennt, verwendet. Wenn stattdessen Solarmodule verwendet worden wären, hätte die Fläche der Solarzellen 2,2-mal so groß sein müssen wie die in Frage 4 errechnete Fläche.

$$A_{\text{Cassini-Huygens}} = 2,2 * 198,4 \text{ m}^2 = 436,5 \text{ m}^2$$

7. Die Solarzellen haben pro Quadratmeter eine Masse von:

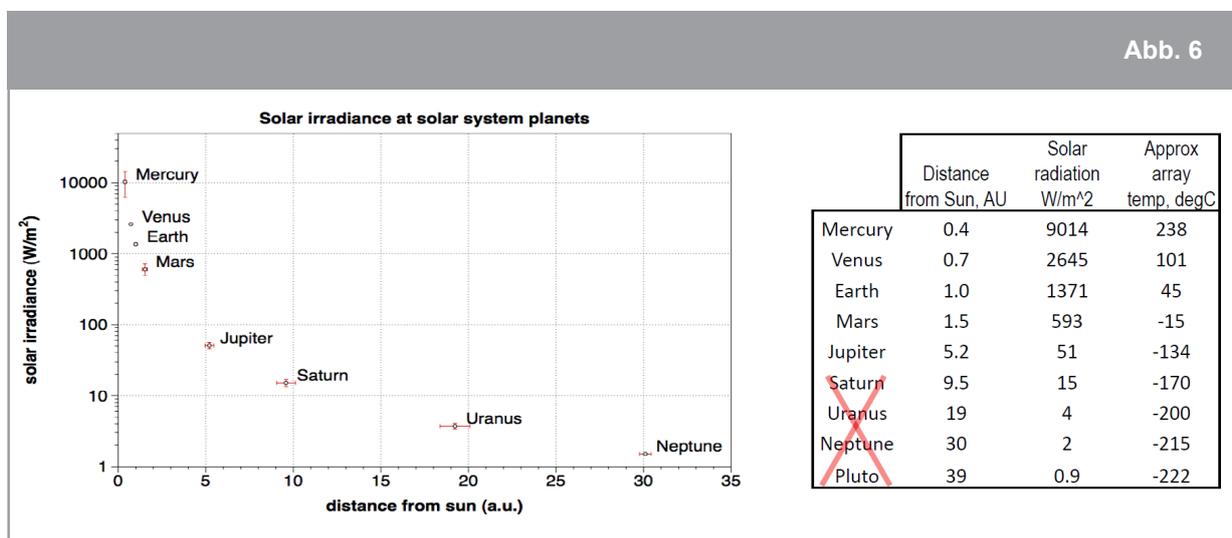
$$\frac{51,2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0,8 \text{ kg m}^{-2}$$

Die Gesamtmasse der Solarzellen, die für die Cassini-Mission benötigt worden wären, beträgt ungefähr:

$$0,8 \text{ kg m}^{-2} * 436,5 \text{ m}^2 = 349,2 \text{ kg}$$

Der Radioisotopengenerator wog 56,4 kg. Die Verwendung von Solarzellen würde also eine Gewichtszunahme von 292,8 kg bedeuten.

8. Sonnenenergie ist sehr wichtig, weil es sich bei ihr um eine erneuerbare Energiequelle handelt und weil sie nicht zeitgleich mit den Raumfahrzeugen gestartet werden muss. Aufgrund des Abstandsgesetz nimmt die Strahlungsintensität mit zunehmender Entfernung von der Sonne stark ab (siehe Abbildung 6). Das bedeutet, dass größere Solaranlagen benötigt werden, um den erforderlichen Energiebedarf an Bord bei weiten Entfernungen zur Sonne zu decken und dass es in Entfernungen über den Jupiter hinaus effektiv zu dunkel ist, um Sonnenenergie zu nutzen.



↑ Bestrahlungsstärke (Strahlungsintensität) bei verschiedenen Planeten unseres Sonnensystems.

Wie in Frage 6 berechnet, hätte Cassini-Huygens unter Verwendung von Solarzellen eine Gesamtmasse, die mehr als das Sechsfache der Masse des Radioisotopengenerators beträgt! Eine möglichst geringe Masse von Raumfähren ist für die Weltraumforschung extrem wichtig, denn für jedes weitere Kilogramm Gewicht wird mehr Kraftstoff benötigt, um der Erdanziehungskraft zu entkommen. Sicherheitseinschränkungen, die insbesondere mit der Kernenergie verbunden sind, müssen jedoch berücksichtigt werden.

→ Links

ESA Ressourcen

Moon Camp Challenge
esa.int/Education/Moon_Camp

Mond-Animationen über die Monderforschung
esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon

ESA Unterrichtsmaterialien:
esa.int/Education/Classroom_resources

ESA Raumfahrtprojekte

ESA Rosetta Mission
esa.int/rosetta

ESA/JAXA BepiColombo Mission
esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2

Cassini-Huygens Mission
esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Technische Informationen zu den einzelnen Fragen und Übungen

Informationen bezüglich der Masse der Solarzellen bei Rosetta (Seite 10)
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Erzeugte Leistung (5.25 AU) bei Rosetta (395 W, 64 m²)
esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Technische Daten für das Raumfahrzeug Cassini
fas.org/nuke/space/bennett0706.pdf

Informationen über die Masse von Solarzellen
lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Einsatz von Solarflügeln bei BepiColombo
<https://www.youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs>



[Moon Camp Challenge](https://esa.int/Education/Moon_Camp)