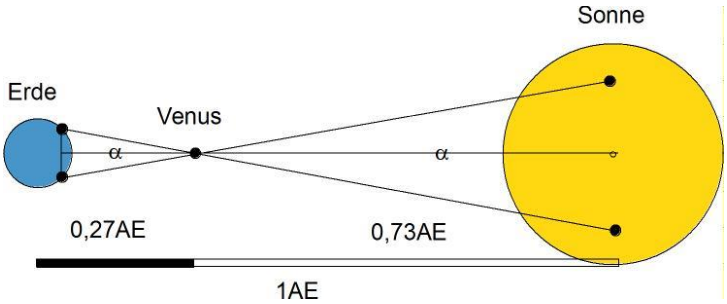
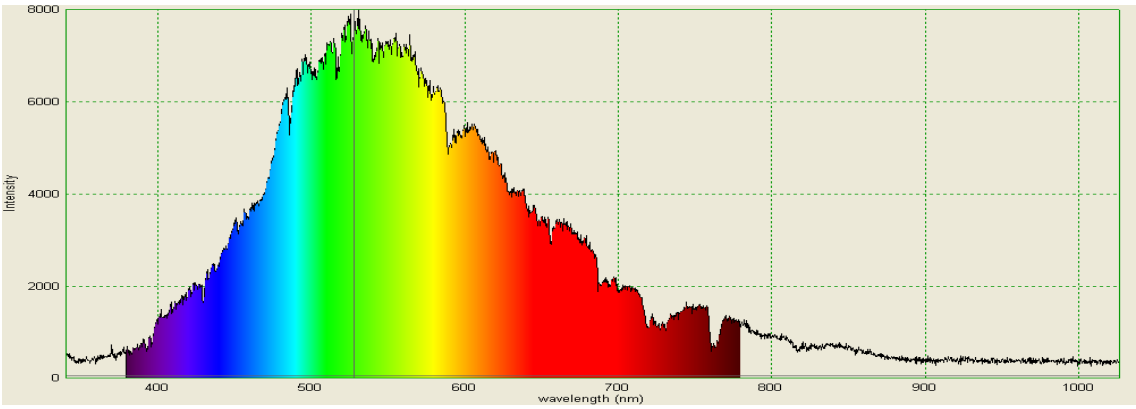
Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum





Wie viel "Power" liefert die Sonne? (1)

Sonne und Energie: Experimente, Messungen und Programme für die Schule

Dezember 2018

Wie weit ist der Stern, der uns unser Leben möglich macht eigentlich von uns entfernt? Wie groß ist er?

Manchmal zieht unsere "Nachbarin" Venus vor der Sonne vorbei.

Ein solcher Venustransit kann helfen, die Entfernungen und Größen zu bestimmen. Und damit viele andere wichtige Daten.

(Venustransit 2004, beobachtet im Schulbiologie-zentrum Hannover, Spiegelteleskop 114 mm Öffnung)

Foto: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover / Energie-LAB

Titel: Wie viel "Power" liefert uns die Sonne?
Experimente, Messungen und Programme zum Thema "Sonne und Energie"
Teil 1

Fotos: Ingo Mennerich

Verfasser: Ingo Mennerich
Dezember 2018

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum / Energie-LAB
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info, www.energie-lab.de

Die Sonne leuchtet, sagt der aufgeklärte Mensch, weil sich Wasserstoff unter hohem Druck zu Helium vereinigt und dabei Energie abgeben wird…

Der Physiker Heisenberg sagt: „Der erste Schluck aus dem Becher der Naturwissenschaft macht atheistisch, aber auf dem Grunde des Bechers wartet Gott!"

Feuer machen mit Sonnenpower (2004)

Radio hören mit Solarstrom (2005)

Heiße und kalte Füße:

Fußlabyrinth im Energiegarten des Schulbiologiezentrums

Inhalt

Einstiegsexperimente zum Thema "Sonnenenergie" 1

Wie weit ist die Sonne von uns entfernt? Und wie groß ist sie eigentlich? 3

- Die Trigonometrische Methode: Entfernungsbestimmung durch Winkelmessung 4
- Wir messen die Entfernung einer im Gelände aufgestellten Modellsonne 5
- Die tatsächliche Parallaxe, Entfernung und Größe der Sonne 7
- Venustransit: Wie Astronomen die Entfernung der Sonne bestimmten 8
- Umlaufzeiten und Bahnradien: Das dritte Keplersche Gesetz 9
- Wie groß ist die Sonne? 10

Im "lebensfreundlichen" Abstand: Die Erde im Sonnensystem 10

- Ein schultaugliches und selbst berechnetes Modell des Sonnensystems 11
- Unser kleines digitales Planetarium 13
- Reisen zur Sonne? 14

Wie heiß ist die Sonne? 14

- Temperatur und Lichtfarbe 15
- Funkelnde Sterne geben Hinweise auf ihre Temperatur 16
- Ein künstlicher "Regenbogen" zum Untersuchen des Sonnenspektrums. 17
- Strahlung: Sichtbar und unsichtbar 20
- Wärmestrahlung auf den Punkt gebracht 21
- Glühlampen und Farbtemperatur 21
- Planck´sche Strahlungsverteilung zum Ausprobieren 22
- Die Temperatur der Sonne mit dem T^4-Gesétz errechnen 23
- Die Wellenlänge des Lichts 24
- Temperaturmessung mit Hilfe eines digitalen Spektrometers 25
- Wellenlängenlängenverteilung des Sonnenlichts und die Temperatur der Sonne 26
- Fraunhofer-Linien weisen auf Wasserstoff als solare Energiequelle hin 28
- Arbeitsblatt: Temperatur des Strahlers, Spektrum und Intensitätsverteilung 30
- Arbeitsblatt: Spektrum einer Glühlampe mit einem Dimmer 31

Chlorophyll: Der Stoff der uns am Leben erhält 32

Farbige Flächen: Absorption und Reflektion 34

Kernkraftwerk "Sonne" 35

Dieser Zusammenhang erhält uns am Leben: $E = m * c^2$ 39

- So viel ihrer Masse "schenkt" uns die Sonne… 40

Einstiegsexperimente zum Thema "Sonnenenergie"

Wetten, das?

Eine Flasche, ein Tisch und einige Spielsteine. Mehr braucht man nicht für die "Sonnenwette". Die Flasche wird morgens an den Rand eines im Freiland aufgestellten Tisches gestellt, so dass ihr Schatten auf die Mitte des Tisches zeigt.
Wo wird ihr Schatten mittags enden?
Läuft der Schatten im oder gegen den Uhrzeigersinn? Wird er dabei länger oder kürzer? Oder bleibt er so lang wie er ist?
Jeder Mitspieler setzt einen Spielstein. Nach einer gewissen Zeit wird nachgesehen, wie sich der Schattenwurf verändert hat. Jetzt dürfen die Spielsteine einmal (!) umgesetzt werden. Wer gewinnt?
Da aber entsteht schon eine neue Frage: Wann ist eigentlich Mittag?

Da steckt Power drin:

Mit der Lupe kann man bei Sonnenschein kokeln, malen oder seinen Namen schreiben. Hält man die Lupe und Papier quer zur Einfallsrichtung der Sonnenstrahlen entsteht in einem bestimmten Abstand, der Brennweite, ein Brennpunkt. Je kleiner und runder, desto besser.
Der Brennpunkt ist das verkleinerte Bild der Sonne. Das merkt man, wenn Wolken über den Himmel ziehen. Vielleicht erkennt man auch noch mehr. Die so abgebildete Umgebung steht auf dem Kopf und ist seitenverkehrt..
Der Brennpunkt kann sehr (!) heiß werden. Wie heiß ist abhängig von der Größe der Lupe, denn je mehr Sonnenstrahlen sie einfängt desto mehr Energie kann im Brennpunkt vereinigt werden. Dunkel gefärbtes Papier wird heißer als helles weshalb man das "Kunstwerk" mit schwarzem Stift vorzeichnen sollte. Aber Achtung: Der Brennpunkt darf nicht zu lange auf einer Stelle verharren sonst geht das Papier schnell in Flammen auf.
Wer das öfter macht wird feststellen: Mittags klappt das besser als vor- oder nachmittags, und im Sommer besser als im Winter. Woran mag das liegen?

Mit Wasser Feuer machen?

Ein Weinglas, bis zu einer bestimmten Höhe mit Wasser gefüllt wirkt als „Brennglas“.
Ohne Wasser funktioniert das nicht. Aber warum?

Der Brennpunkt erhitzt weißes Papier kaum, schwarzes dagegen sehr stark.
Besonders geeignet: Die Zeitung mit den großen Buchstaben…
Funktioniert das auch mit anderen Gläsern?

Aus www.schulbiologiezentrum.info. "Experimente mit Feuer"

Die "Mittagskanone" hat historische Vorbilder

"Mittagskanone"

Ein Böller und eine Lupe werden so aufgestellt, dass das im Brennpunkt vereinigte Sonnenlicht genau zu Mittag den Böller entzündet.
Vorher muss man einige Fragen klären:

- Wie groß muss die Lupe sein, damit das funktioniert? (Die abgebildete Lupe reicht nicht!)
- In welchem Abstand befindet sich der Brennpunkt?
- Wie muss die Lupe (mit Hilfe eines Stativs) ausgerichtet sein, damit es genau um Mittag knallt?
- Wann ist genau Mittag?

Aus www.schulbiologiezentrum.info. "Experimente mit Feuer"

Links: Historische Mittagskanone
http://www.ingenieurgeograph.de/Ort_bestimmen/Mittagskanone/mittagskanone.html

"Heiße Nase"

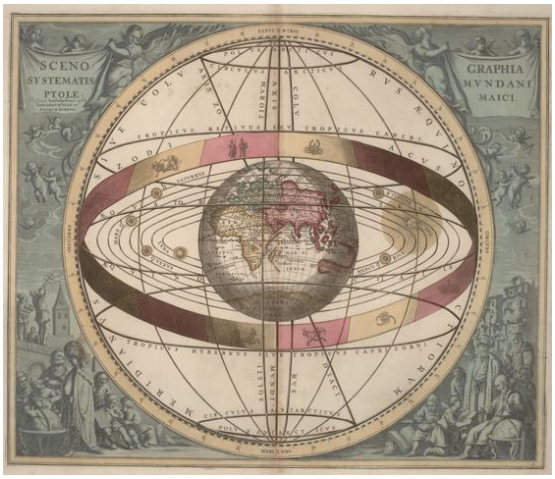
Hier ist Konzentration angesagt. Mit Hilfe von Spiegelkacheln wird das Licht der Sonne in einem Punkt gebündelt.
Demjenigen, der mit verbundenen (!) Augen im "Brennpunkt" steht kann es dabei sehr warm um die Nase werden. Wenn sich jeder auf seine "Spiegelsonne" konzentriert und nicht wackelt kann das richtig unangenehm werden. Das klappt aber eher selten.
Interessante Frage: Führt das zum Sonnenbrand?

Feuer aus der Schüssel

Ein zusammengerolltes Stück Papier ("Fidibus") wird in den Brennpunkt einer von der Sonne beschienenen" Satellitenschüssel" gehalten.
Die "Zigarette" brennt sofort.
Das funktioniert eingeschränkt auch mit unsichtbarem, infrarotem Licht (=Wärmestrahlung), dazu unten mehr.

Wie weit ist die Sonne von uns entfernt? Und wie groß ist sie eigentlich?

Am Himmel scheint der Mond so groß zu sein wie die Sonne. Und beide gehen auf und unter und bewegen sich, wenn auch nur mit Geduld beobachtbar, an den Sternen vorbei. Da keine Objekte uns bekannter Größe in ihrer Nähe zu sehen sind könnte man annehmen, dass sich alles um ein irdisches Zentrum dreht und dass Sonne, Mond und Sterne gleich weit entfernt sind. Das war das Weltbild der Steinzeitjäger. Schon vor tausenden von Jahren fiel klugen Beobachtern auf, dass der Mond manchmal die Sonne und auch die Sterne bedeckt.



https://anthrowiki.at/images/5/57/Geocentric.jpg

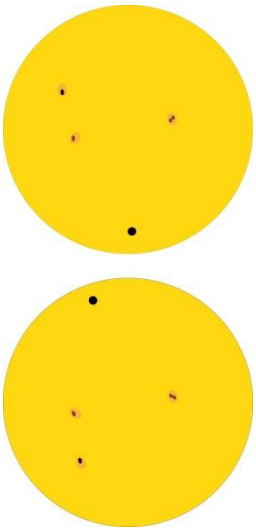
Das brachte uns den Mond näher als die Sonne und die Sterne rückten an den Rand des Universums. Die Abfolge der damals bekannten "inneren" und "äußeren" Planeten war zwar schon richtig erkannt, aber alles drehte sich um uns.
Heute wissen wir, dass sich die Planeten um die Sonne bewegen und unser Sonnen-system nur eins von vielen anderen viel weiter entfernten ist.
Aber wissen wir das wirklich? Oder meinen wir es nur zu wissen, weil kluge Köpfe uns das gesagt haben?

Vielleicht bietet sich in der Schule mal eine Vertretungsstunde an, um mit den Schülern mal darüber zu philosophieren, woran man das heute anerkannte, fast selbstverständliche heliozentrische Weltbild und die Kugelgestalt der Erde durch eigene Beobachtung erkennen und beweisen könnte. Das wird schon den Lehrer herausfordern.

Man muss nicht gleich soweit gehen wie die durch das Internet geisternden "Platt-Erdler" die den Globus für "Fake News" halten. Aber als Einstieg taugt das allemal…

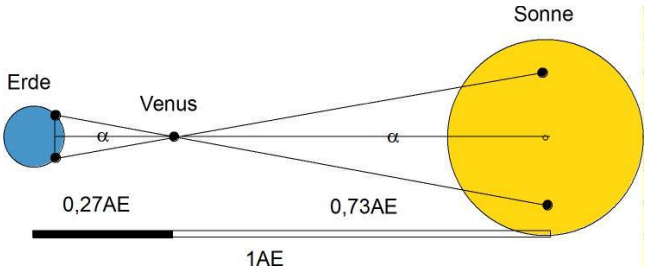
Erörtern Sie mit ihren hoffentlich motivierten Schülern einmal, mit welchen Techniken man überhaupt Entfernungen messen könnte, wohlgemerkt ohne ein Maßband ausrollen zu müssen.

Die Trigonometrische Methode: Entfernungsbestimmung durch Winkelmessung



Venus in London und Kapstadt (schematisch).
Auf der Südhalbkugel steht die Sonne auf dem Kopf!)

Die Entfernung der Sonne konnte man in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts errechnen, in dem man die Distanz der Venus bestimmte. Das geschah bei einem Venustransit, einer kleinen "Sonnenfinsternis", bei der die Venus vor der Sonnenscheibe hinwegzieht. An zwei weit auseinander liegenden Beobachtungsorten bewegt sich die Venus auf geringfügig unterschiedlichen Bahnen über die Sonnenscheibe.
Das Verhältnis der Radien der Planetenbahnen war schon durch Kepler bekannt.



Venus Parallaxenwinkel (schematisch)

Mehr dazu:
Venus und Merkur
Vom Phänomen "Morgen/Abendstern" zur Größe des Sonnensystems,
Schulbiologiezentrum Hannover 2016

„Der springende Daumen“

- Strecke deinen Arm mit nach oben gerichtetem Daumen weit vor dir aus und betrachte – zunächst mit beiden Augen - einen hinter dem Daumen liegenden Gegenstand.
- Schließe dann abwechselnd das eine und dann das andere Auge.
- Der Daumen scheint vor seinem Hintergrund hin und her zu springen.
- Ändere die Distanz zwischen Auge und Daumen!
- Suche verschiedene mehr oder weniger weit entfernte Hintergrundobjekte aus!
- Welche Beziehungen erkennst du zwischen den Distanzen und den „Sprungweiten“ des Daumens?

Formuliere diese Beziehungen als „Je…desto“-Sätze!

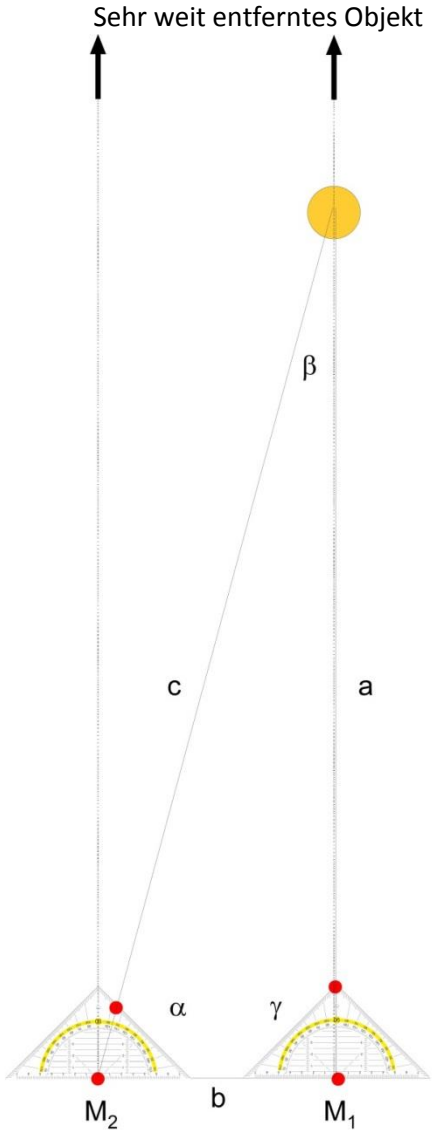
Wir messen die Entfernung einer im Gelände aufgestellten Modellsonne

In der Schule können wir das Prinzip der astronomischen Entfernungsbestimmung einer Modellsonne nachvollziehen. Statt weit entfernter Sterne oder der Sonne schauen wir auf ein sehr weit entferntes Objekt und messen die Winkel des zu bestimmenden Objekts dazu.
Auf der Wiese liegt in einiger Entfernung ein gelber Ball. Leider ist uns der Zugang dorthin vorübergehend verwehrt.

- Wie weit ist er entfernt (schätzen)?
- Wie groß ist er (schätzen)?

Wir messen die Entfernung mit zwei in Linie liegenden Geodreiecken, einer Styrodur-Platte, ein paar Stecknadeln und einem Taschenrechner.

Mehr dazu: "Geometrie im Strandkorb", Schulbiologiezentrum Hannover 2001



Rote Punkte: Stecknadeln in der Grundplatte

M_1, M_2 und die "Sonne" bilden ein rechtwinkliges Dreieck mit den Seiten

- a: Ankathete
- b: Gegenkathete
- c: Hypotenuse

Bekannt sind:

- Strecke b
- Winkel $\gamma = 90°$
- Winkel α (variabel)

Methode 1

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

Daraus folgt:

$$a = \tan \alpha * b$$

Methode 2
(auch bei nicht rechtwinkligem Dreieck)

- Winkel $\beta = 180° - \alpha - \gamma$

Sinussatz: Das Verhältnis zwischen den Seiten und den Sinussen der gegenüberliegenden Winkel ist gleich

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

Daraus folgt die Entfernung M_1 - "Sonne"

$$a = \frac{\sin \alpha * b}{\sin \beta}$$

Beispiel:

- Strecke b (M_1 - M_2) = 1,5 m
- Winkel a = 88°

Lösung 1

$$\mathrm{a} = \tan 88 * 1{,}5\mathrm{m} \sim 43m$$

Lösung 2

$$\text{Winkel } \beta = 180 - 90 - 88 = 2°$$

$$\mathrm{a} = \frac{\sin a * \mathrm{b}}{\sin \beta} = \frac{\sin 88 * 1{,}5\mathrm{m}}{\sin 2} \sim 43\mathrm{m}$$

Länge Strecke c:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{43^2 + 1{,}5^2} \sim 43\mathrm{m}$$

Wie groß ist die "Sonne"?

Die Entfernung a und der halbe Durchmesser g der "Sonne" bilden die Ankathete und die Gegenkathete eines rechtwinkligen Dreiecks. Im Punkt M wird der Sehwinkel α gemessen, die "scheinbare Größe" der "Sonne".

Daraus folgt:

$$g = 2 * tan\frac{a}{2} * d$$

Gemessen wird ein Sehwinkel von 0,5°

- Das ist die scheinbare Größe einer halben Fingerkuppe des kleinen Fingers bei ausgestrecktem Arm
- Oder gemessen mit dem Geodreieck oder dem Sextanten

$$\mathrm{g} = 2 * tan\frac{0{,}5}{2} * 43\mathrm{m}{=}0{,}37\mathrm{m}{=}37\ \mathrm{cm}$$

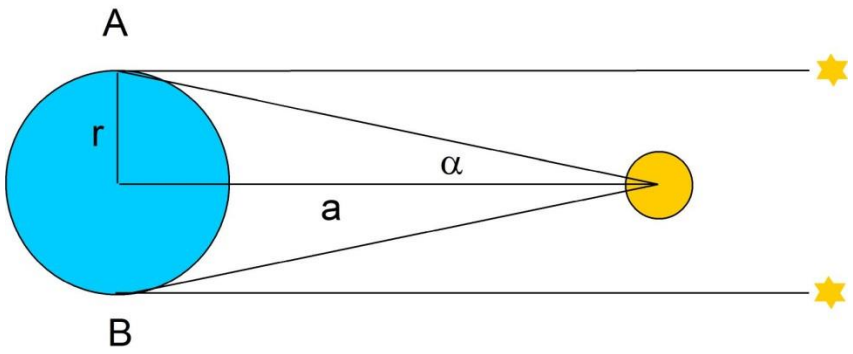
Nachdem die "Sperrung" beseitigt ist, können wir die Strecke abschreiten, den Ball ausmessen und kontrollieren, wie gut unsere Messung aus der Distanz war.

Die tatsächliche Parallaxe, Entfernung und Größe der Sonne

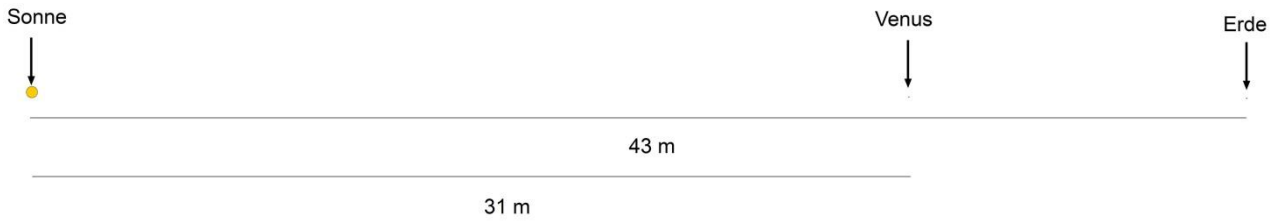
Die wirkliche Sonne ist sehr weit entfernt. Selbst wenn man ihre Position gleichzeitig am Ort des Sonnenaufgangs und am Ort des Sonnenuntergangs vor dem unendlich weit entfernten Sternenhintergrund vermisst erscheint sie nur um einen winzigen Betrag verschoben. Dieser Horizontalparallaxe genannte Winkel ist nur 8,794´´ (Bogensekunden) groß. Eine Bogensekunde ist der 3600ste Teil eines Grades. Beim relativ nah gelegenen Mond ist der Winkel etwa 1° groß.

$$a_{Sonne} = \frac{6371km}{tan\left(\frac{1}{3600} * 8{,}794°\right)} \sim 149{,}6\ Mill.km$$

Zeichnung nicht maßstabgerecht!



Sonne, Venus und Erde im gleichen Maßstab:



Unsere "Modellsonne" und der erbsengroße "Krümel" Erde.
Die genau so große Venus und alle anderen Planeten passen in ein kleines Marmeladenglas…

Das Bild entstand 2004 im Schulbiologiezentrum beim Beobachten des Venustransits
Foto: Ingo Mennerich

Venustransit: Wie Astronomen die Entfernung der Sonne bestimmten

Der "Trick" die Distanz und Größe der Sonne zu messen, bestand aus zwei Teilen:

- Zum ersten wurde die Parallaxe der Venus bei einem Transit vermessen
- Dann wurden die Bahnradien der Erde und der Venus in Beziehung gesetzt

Schritt 1

Bei einem Venustransit wurde festgestellt, dass die Positionen der Venus in London bzw. im 8500 km entfernten Kapstadt um etwa 0,012° vor der Sonnenscheibe verschoben erscheinen. Das ist ein winziger Betrag. Zum Vergleich: Der Vollmond erscheint uns auf der Erde unter einem Sehwinkel von etwa einem halben Grad.

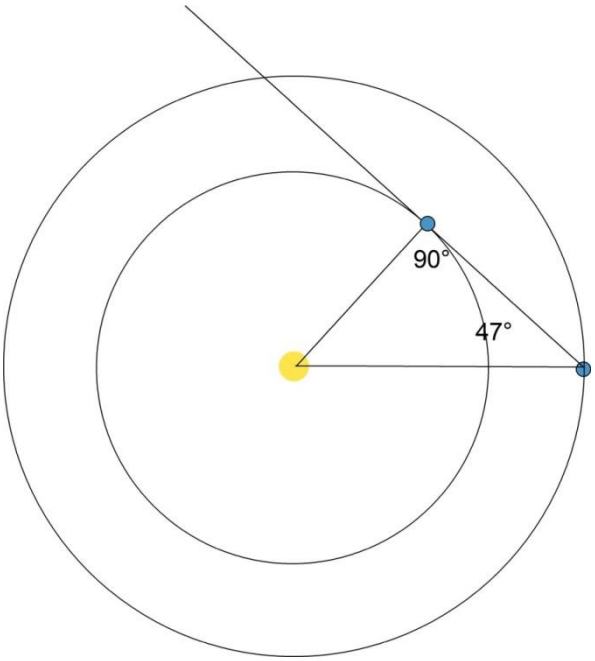
Daraus lässt sich die Entfernung Erde - Venus errechnen:

$$D_{Erde-Venus} = \frac{(D_{London-Kapstadt})/2}{\tan(\alpha/2)}$$

$$D_{Erde-Venus} = \frac{8500km/2}{\tan(0{,}012/2)}$$

$$D_{Erde-Venus} = \frac{4250km}{0{,}0001047} =\approx 40{,}6\ Millionen\ km$$

Schritt 2



Die Venus entfernt sich als "Abendstern" oder "Morgenstern" um maximal 47° von der Sonne ("größte Elongation").
Erde, Venus und Sonne bilden dann ein rechtwinkliges Dreieck mit

- der Ankathete Erde-Venus
- der Gegenkathete Venus-Sonne
- der Hypotenuse

Das Verhältnis Hypotenuse/Gegenkathete ist der Sinus des (Elongations)Winkels.
Setzt man für den (noch unbekannten) Abstand Erde - Sonne den Wert 1 ein folgt für die Distanz der Venus

$$\frac{r_{Sonne-Venus}}{r_{Sonne-Erde}} = sin47$$

$r_{Sonne-Venus}$ = 1* sin47 = 0,73 AE

Der Bahnradius der Venus beträgt das 0,73fache des Bahnradius der Erde (= 0,73AE)

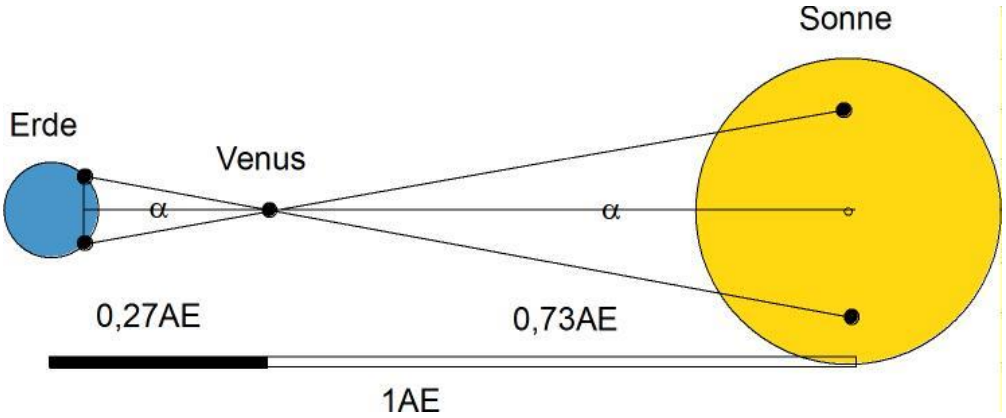
Die mittlere Distanz Erde-Sonne wird in der Astronomie als Astronomische Einheit (1 AE) angegeben.

Da die Venus die Sonne in 0,73 AE Entfernung umkreist ist ihre Distanz 0,27AE.

Daraus folgt

$$D_{Erde-Sonne} = \frac{40{,}6\ Mill.km}{0{,}27\text{AE}} \sim 150{,}3\ Mill.km$$

Die tatsächliche mittlere Distanz beträgt 149,6 Millionen Kilometer.



Nicht maßstabsgerechte Zeichnung!

Umlaufzeiten und Bahnradien: Das dritte Keplersche Gesetz

Alternativ zur oben dargestellten geometrischen Methode, das Verhältnis der Bahnradien der Venus und der Erde zu berechnen kann man auch die Umlaufzeiten der beiden Planeten miteinander vergleichen

Erde und Venus umkreisen die Sonne.

- die Erde auf der äußeren Bahn in einem Abstand von einer Astronomischen Einheit (AE)
- die Venus auf der inneren Bahn in einem Abstand von x*AE
- die Erde in 365 Tagen
- die Venus in etwa 225 Tagen

Das Dritte Keplersche Gesetz lautet, dass es zwischen den Umlaufzeiten (*T*) und Bahnradien (*a*) der Planeten folgende Beziehung gibt:

Die Quadrate der Umlaufzeiten *T* zweier Planeten verhalten sich wie die dritte Potenz ihrer großen Halbachsen *a* (≈ Bahnradien):

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \Rightarrow \frac{{T_{Venus}}^2}{{T_{Erde}}^2} = \frac{{a_{Venus}}^3}{{a_{Erde}}^3}$$

Eingesetzt in die Formel:

$$\frac{225d^2}{365d^2} = \frac{x^3}{1AE^3}$$

$$x^3 = \frac{225d^2}{365d^2}$$

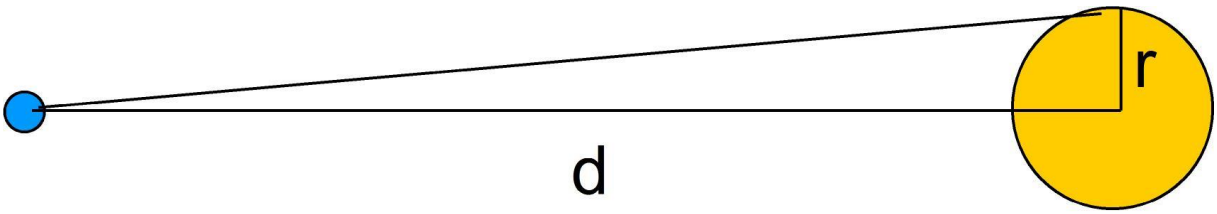
Die relative Entfernung Sonne-Venus ist daher

$$d_{Sonne-Venus} = \sqrt[3]{\frac{225d^2}{365d^2}} \sim 0{,}73AE$$

Wie groß ist die Sonne?

Ist die Entfernung (*d*) bekannt muss man nur noch die scheinbare Größe, also den Sehwinkel der Sonne bestimmen. Er beträgt etwas mehr als ein halbes Grad (32 Bogenminuten = 0,5333°)

Daraus errechnet sich der Sonnenradius



$$r = d * \tan(\frac{a}{2})$$

$$r_{Sonne} = 149{,}6 * 10^6 \text{ km} * \tan\left(\frac{0{,}5333°}{2}\right) = 696275km$$

Daraus lässt sich das Volumen bestimmen

$$V_{Kugel} = \frac{4}{3} * \pi * r^3$$

$$V_{Sonne} = \frac{4}{3} * \pi * 696342km^3 = 1{,}414 * 10^{18}km^3$$

Im "lebensfreundlichen" Abstand: Die Erde im Sonnensystem

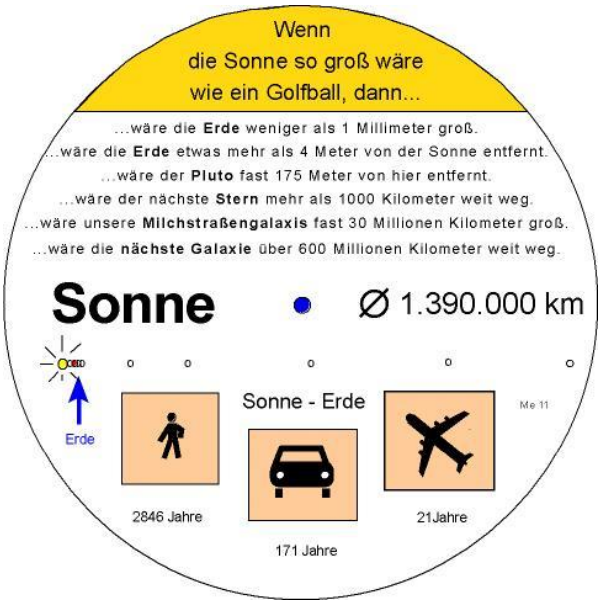
Hätte sich das Leben auf dem Merkur, der Venus oder dem Mars entwickeln können?
Das Leben entstand im Wasser und dieses macht den größten Teil der Lebewesen aus, beim Menschen etwa 2/3 des Körpergewichts. Wasser gefriert bei 0°C und siedet bei 100°C. Nur in diesem Temperaturbereich ist Wasser flüssig und lässt Leben, so wie wir es kennen, zu.

Merkur und Venus sind der Sonne zu nah, der Mars und alle weiteren äußeren Planeten der Sonne zu fern. Wir auf der Erde haben das "Glück", auf einer recht stabilen Bahn und in der gerade "richtigen" Distanz um die Sonne zu kreisen. Und nicht nur dass: Die Oberfläche der Erde ist größtenteils von Wasser bedeckt was durch seine hohe Wärmespeicherfähigkeit für ein recht ausgeglichenes Klima sorgt.

Alles was wir essen ist umgewandelte Sonnenenergie: Ohne die Photosynthese grüner Pflanzen würden auch reine Fleischfresser verhungern. Die Umwandlung von Wasser und CO_2 in Nährstoffe gelingt den Pflanzen nur, wenn ein Mindestmaß an solarer Energie auf die Erde fällt.

Ein schultaugliches und selbst berechnetes Modell des Sonnensystems

Im Schulbiologiezentrum gibt es seit 1999 ein "Sonnensystem" in dem unser zentraler Stern ein Golfball ist und die stecknadelgroßen Planeten in entsprechender Größe und Distanz dargestellt sind.



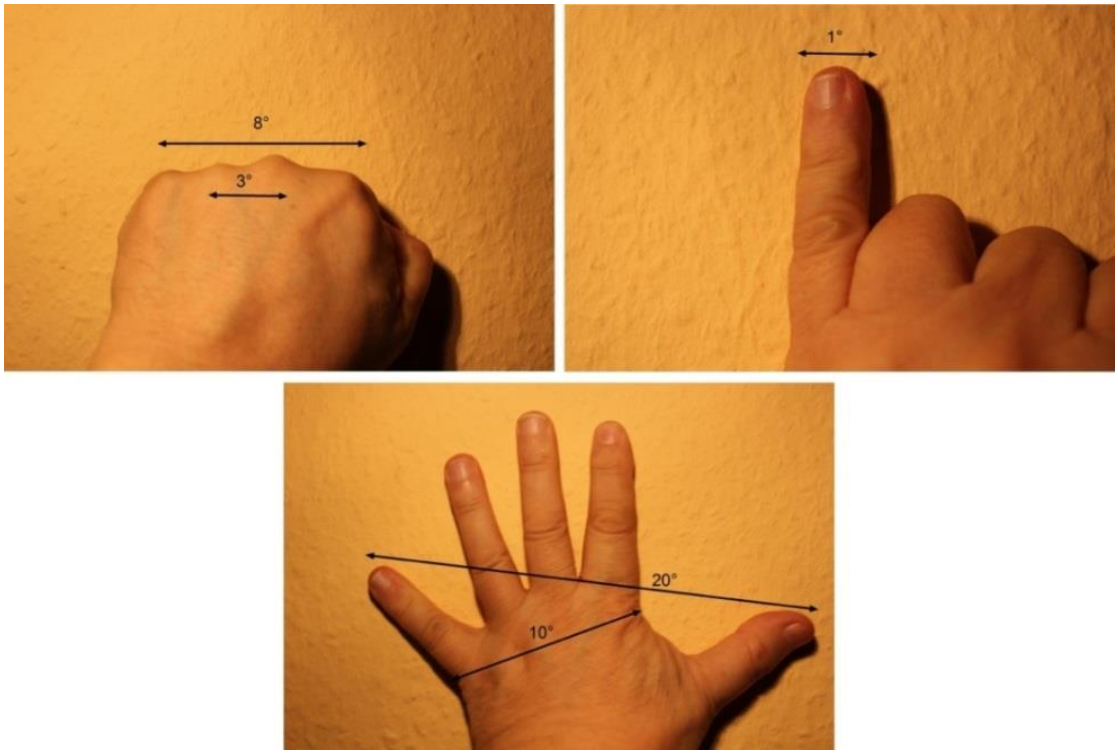
Informationstafel unter der "Sonne"

Wie groß die Sonne und die Erde relativ zueinander sind und wie weit voneinander entfernt lässt sich in einem einfachen Versuch klären: Die Sonne scheint etwa so "groß" wie die halbe Kuppe des kleinen Fingers bei ganz ausgestrecktem Arm (≈0,5°).

Ein gelber Ball stellt die "Sonne" dar. Wie weit muss ich mich entfernen, damit der Ball vollständig von der Fingerkuppe bedeckt ist? Die Distanz ist natürlich abhängig von der Größe der "Sonne", aber unabhängig davon befinde ich mich in der relativen Position der Erde. Die hat nur etwa 1/100 des Sonnendurchmessers. Das kann man gut mit Knetmasse darstellen.

Ein gelber Ball mit 37 cm Durchmesser erscheint in etwa 43 m Distanz so groß wie die Sonne. Die Erde ist dann 0,4 mm groß

Zum Messen des Winkels kann man mit ausgestrecktem Arm die eigene Hand benutzen



Der Lindenallee im hannoversche Georgengarten, vom Königsworther Platz bis zu den Herrenhäuser Gärten etwa 1800m lang, ist gut geeignet um das Sonnensystem darzustellen.

Die dazu gehörigen Entfernungen und Größen findet man (analog) im Atlas oder im Internet.

Mitzubringen ist ein gelber Gymnastikball (Ø etwa 40 cm) Murmeln, trockene Erbsen und Knetmasse. Die Distanzen kann man mit Hilfe der im gleichen Abstand gepflanzten Bäume auch ohne Maßband ermitteln. Gut geeignet ist auch das Ostufer des Maschsees.

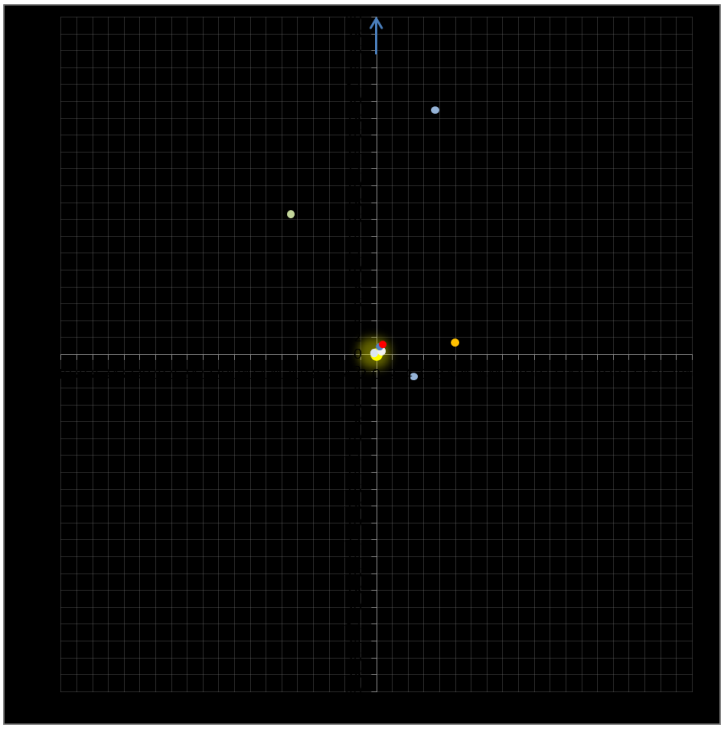
	Abstand zur Sonne in AE	**Entfernung**	Durchmesser in Erddurchmessern	**Durchmesser**
Sonne	-		109,00	**41,87 cm**
Merkur	0,39	**17,6 m**	0,38	**0,15 cm**
Venus	0,72	**32,4 m**	0,97	**0,37 cm**
Erde	1	**45,0 m**	1,00	**0,38 cm**
Mars	1,52	**68,4 m**	0,53	**0,20 cm**
Jupiter	5,2	**234,0 m**	11,20	**4,30 cm**
Saturn	9,6	**432,0 m**	9,47	**3,63 cm**
Uranus	19,3	**868,5 m**	3,75	**1,44 cm**
Neptun	30,1	**1354,5 m**	3,50	**1,34 cm**
Pluto	29,6 - 49,3	**1800,0 m**	0,46	**0,18 cm**

Aus: Arbeitshilfe "Das Sonnensystem im Georgengarten", Schulbiologiezentrum Hannover1995

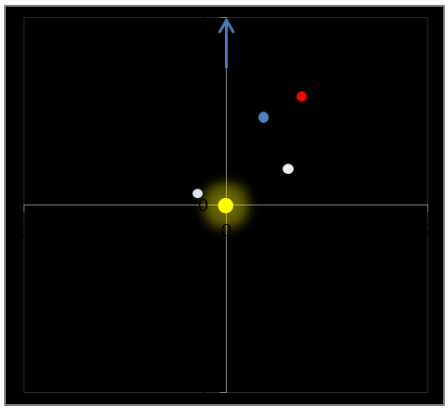
Unser kleines digitales Planetarium

Auf dem "Sonnensystem" genannten Planetenpfad im Schulbiologiezentrum stehen die Sonne und die umkreisenden Planeten in einer Linie hintereinander. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass das einmal genau so stattfindet?

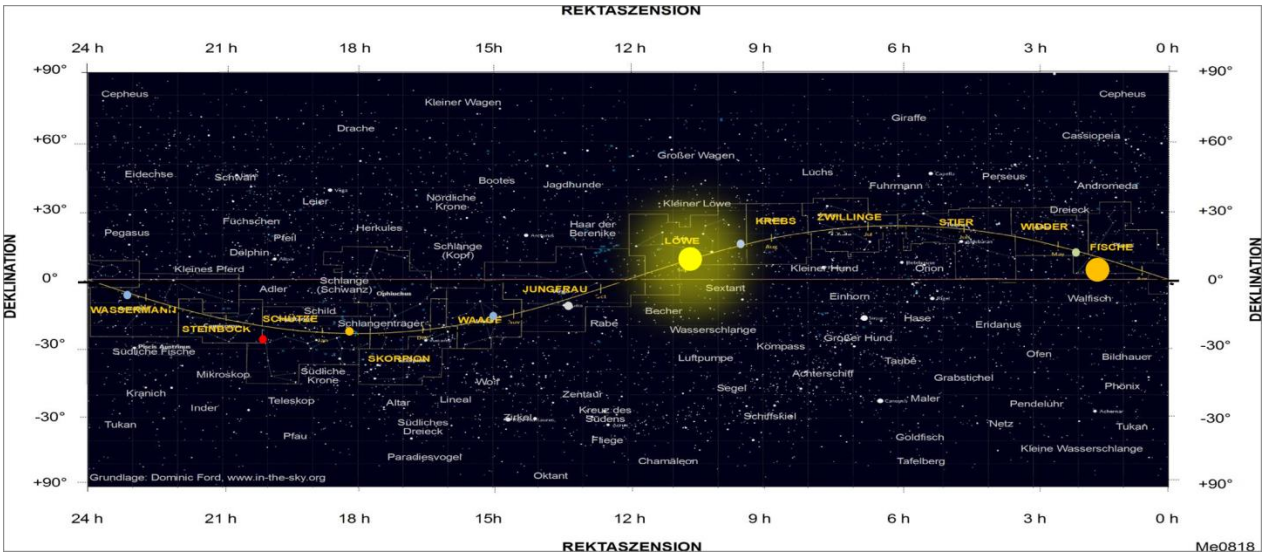
Mitte 2018 haben wir auf Excel-Basis ein kleines "Planetarium" entwickelt und ins Netz gestellt.



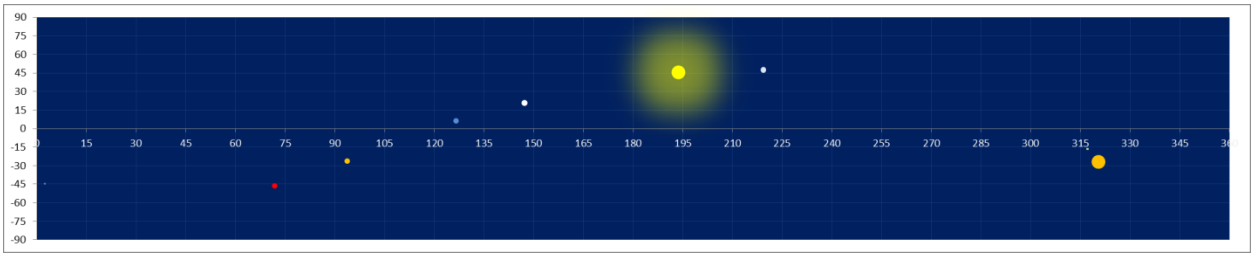
Nach Eingabe eines Datums und einer Uhrzeit errechnet das Programm die Position der Planeten Merkur bis Neptun.
Das innere Sonnensystem (Sonne bis Mars) wird in kleinerem Maßstab dargestellt.



Weiterhin erscheinen Sonne, Mond und Planeten vor dem Sternenhintergrund…



…und so wie sie am Himmel zu sehen sind. Dazu ist noch Eingabe der Koordinaten des Beobachtungsortes erforderlich (Länge, Breite)



Detailliertere Informationen dazu finden Sie in unserer Unterrichtshilfe "Unser kleines digitales Planetarium" (www.schulbiologiezentrum.info, "Unsere Sternenseite")

Reisen zur Sonne?

Ein Flug von Europa nach Australien dauert fast einen Tag.

Wie lange würde ein Flug zur Sonne mit normaler Jetgeschwindigkeit von rund 800 km/h dauern? Zwar gibt es im All keine Luft und damit keinen Auftrieb, auf dem größten Teil des Weges zur Sonne dafür auch nur sehr geringe Schwerkraft. In jede Fall würde die Flugdauer etwa 21 Jahre dauern und somit müsste man für einen Hin- und Rückflug ein halbes Menschenalter veranschlagen. Ein Raumschiff ist natürlich schneller (Apollo brauchte drei Tage zum Mond).

Neben den auf einer so langen Reise auftretenden Versorgungsschwierigkeiten gibt es zwei weitere Probleme:

- Wie warm wird es in der Sonnenumgebung oder gar auf der Sonne?
- Wie ist es mit der Schwerkraft in Sonnennähe?

Kann man das als "Reisevorbereitung" von der Erde aus messen oder auf andere Weise ermitteln?

Wie heiß ist die Sonne?

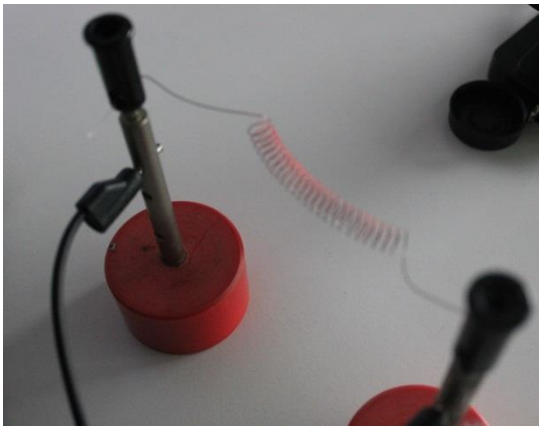
Um es gleich vorweg zu sagen: Es hat noch nie jemand ein Thermometer in die Sonne gehalten und das wird wohl auch nie geschehen. Wenn wir die Oberflächentemperatur heute in wenigen Sekunden im Internet nachschlagen beruht dieser Wert auf indirekten Beobachtungen und Berechnungen.

In der Schule nachzuvollziehen ist die Temperaturbestimmung

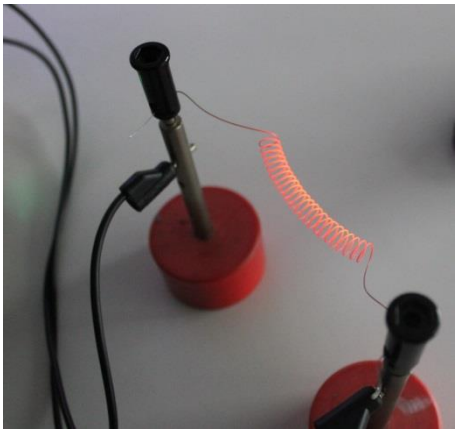
- durch die Glühfarbe bzw. Farbtemperatur
- durch die Spektrale Verteilung des Lichts (Beobachtungen mit dem Spektroskop / Analyse der theoretischen Planck´schen Strahlungskurve)
- durch Feststellung des Strahlungsmaximums (Wien´sches Verschiebungsgesetz)
- durch Berechnung (T^4-Gesetz)

Temperatur und Lichtfarbe

Eine unter Strom gesetzte, aus Konstantandraht gewickelte Glühwendel erzeugt mit steigender Spannung immer mehr Wärme. Hält man (vorsichtig!) die Hand darüber, ist dies deutlich zu spüren (Konvektion): Bei noch höherer Spannung bald auch an der Seite und darunter (Wärmestrahlung).
Bei 12 Volt beginnt die Wendel im Dunkeln schwach rötlich zu glühen, bei 14 Volt schon heller und orange.

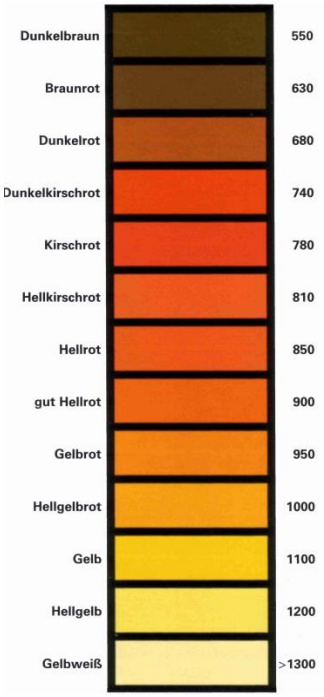


12 Volt:
Rot



14 Volt:
Orange

Mit einem geeigneten Thermometer (z.B. GTH 1150) dessen Temperaturfühler mit dem Glühdraht verbunden ist kann man eine Temperatur-/Farbskala aufstellen bzw. die bei WIKIPEDIA abrufbare Skala der Glühfarben überprüfen. Wenn kein Thermometer zur Verfügung steht kann man die Temperatur nach der Glühfarbe beurteilen.



Glühfarben und Temperatur

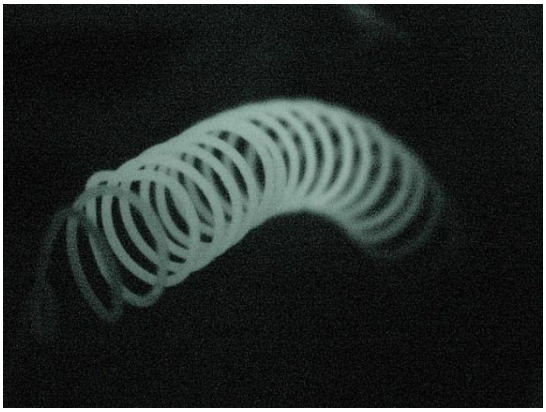
Die Skala der Glühfarben zeigt im Temperaturbereich zwischen 550 und >1300°C eine Abfolge von Dunkelbraun bis Hellgelb.

Unterhalb dieser Spanne ist kein Licht zu sehen aber Wärme zu spüren.

Oberhalb wird sich die Farbe immer mehr einem Weiß nähern.

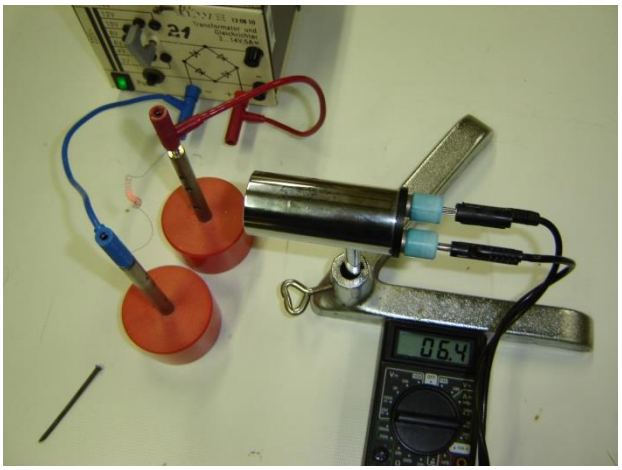
Vorher wird die dem Sauerstoff ausgesetzte Glühwendel aber schon durchgebrannt sein, weswegen sich zur Fortsetzung des Experiments eine Glühlampe und eine regelbare Spannungsquelle (12 V) anbieten.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Anlassfarben.jpg

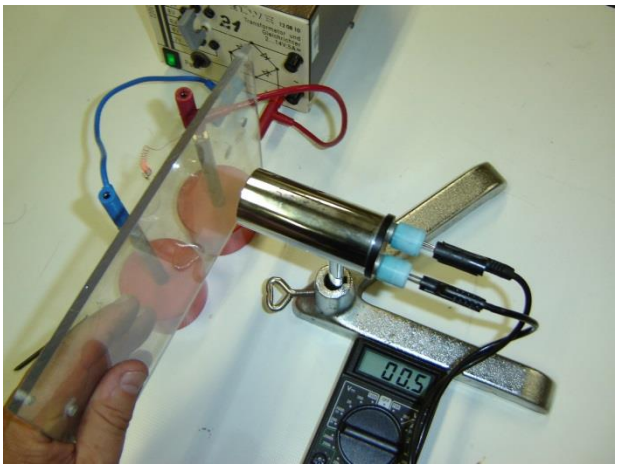


Glühwendel in völliger Dunkelheit mit der "NightShot"-Funktion fotografiert: Während die Wendel für menschliche Auge nicht sichtbar ist nimmt die in diesem Modus für Infrarotes Licht sensible Kamera das "Licht" wahr.

Foto: Ingo Mennerich, SONY Cybershot DSC F828



Nachweis der Wärmestrahlung mit einer Moll´schen Thermosäule
Fotos: Ingo Mennerich



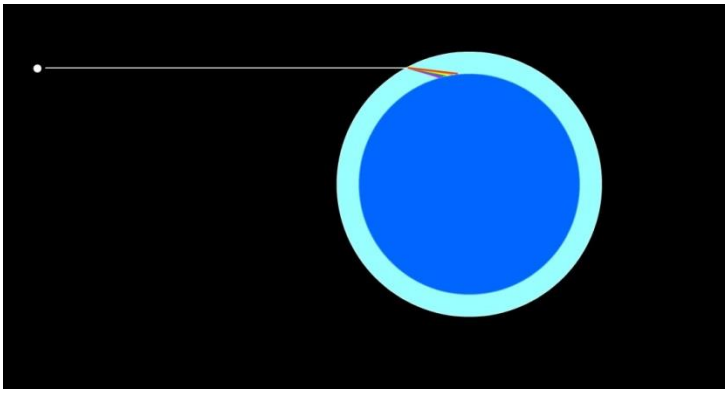
Wärmestrahlung wird durch eine Glasscheibe absorbiert

Funkelnde Sterne geben Hinweise auf ihre Temperatur

Wenn tief am Horizont stehende helle Sterne funkeln ist cdas oft ein Hinweis auf einen Wetterwechsel. Der Grund: Beim Eintritt in die dann unruhige Erdatmospähre wird das sich im luftleeren All geradlinig ausbreitende Licht auf vielfältige Weise gebrochen und mit sich selbst überlagert was zur Verstärkung oder Auslöschung des Lichts führt. Im Fernrohr scheint der Stern zu tanzen. Je länger der Weg des Lichts durch die Atmospähre und je unruhiger die Schichtung der Luft, desto ausgeprägter ist das Funkeln und Tanzen.
Gleichzeitig wird das sich aus den Spektralfarben zusammensetzende weiße Licht in seine Farbanteile zerlegt. Schon im Fernglas scheint der Stern Innerhalb von Sekundenbruchteilen in völlig chaotischer Abfolge zwischen allen Regenbogenfarben zu wechseln.
Dabei fällt auf: Orangefarbene Sterne tendieren blinken häufiger rot und weniger häufig blau, Weiße eher blau und seltener rot auf.

Ein Beispiel für den ersten Typ ist Antares im Sternbild Skorpion der In den kurzen Sommernächten tief am südlichen Horizont steht. Antares heißt aufgrund seiner rötlichen Farbe so viel wie "Gegenmars". Seine Oberflächentemperatur beträgt, spektrographisch gemessen, 3400 Kelvin. In der Nähe liegt der weiß leuchtende Stern Dschubba (δ Scorpii). Er blitzt vorwiegend blau auf. Seine Temperatur beträgt

27400 Kelvin. Im Winter kann man den rötlichen und relativ kühlen Stern Beteigeuze im Orion und den heißen Sirius im Großen Hund miteinander vergleichen.

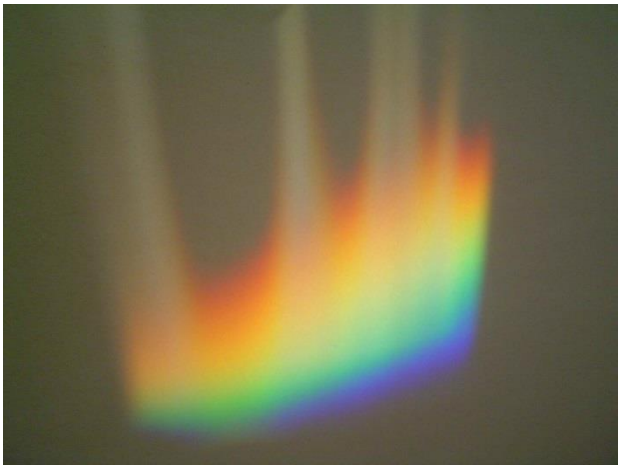


Beim Eintritt in die optisch dichtere Atmosphäre wird das weiße Sternenlicht gebrochen und in seine Farbanteile zerlegt (dispergiert).
Das ist hier idealisiert dargestellt. In Wirklichkeit ist die Atmospähre unruhig und der Strahlengang chaotisch.

Während der Stern für den einen Beobachter für einen kurzen Moment rötlich erscheint, kann er für einen anderen im selben Moment grün leuchten.

Unter der Annahme, dass die vom Stern ausgesandten Spektralanteile mit gleicher Wahrscheinlichkeit gebrochen werden kann man aus der Häufigkeit ihres Auftretens und ihrer relativen Helligkeit in erster Annäherung auf die Intensitätsverteilung schließen.
Dazu eigenen sich nur die Sterne die aufgrund ihrer Helligkeit die farbtüchtigen Zapfen unserer Netzhaut anregen.

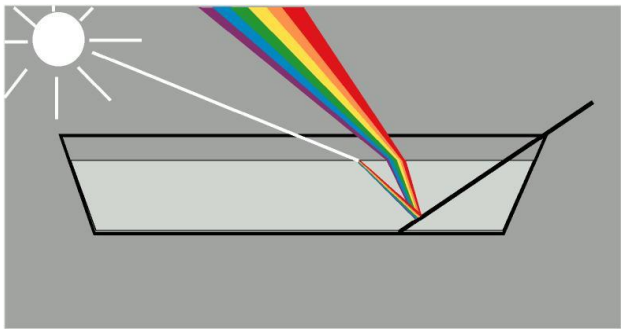
Ein künstlicher "Regenbogen" zum Untersuchen des Sonnenspektrums.



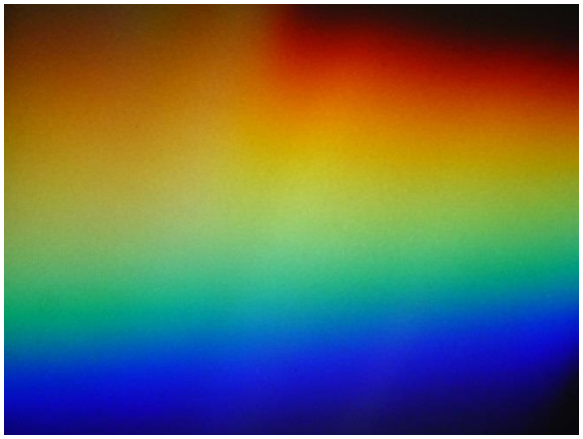
Das durch leicht gekräuselte Wasseroberfläche unruhige "Spektrum" an der Wand

Mit diesem im Prinzip ganz einfachen und unaufwändigen Versuch bringen wir einen "Regenbogen" in die Schule.
Benötigt wird teilweise abgedunkelter Raum mit einer weißen Wand, etwas Sonnenlicht, eine mit Wasser gefüllte flache Schale und ein Spiegel.

Das weiße Licht wird wie bei einem Regenbogen in seine Spektralanteile zerlegt und erscheint als Projektion an der Wand.

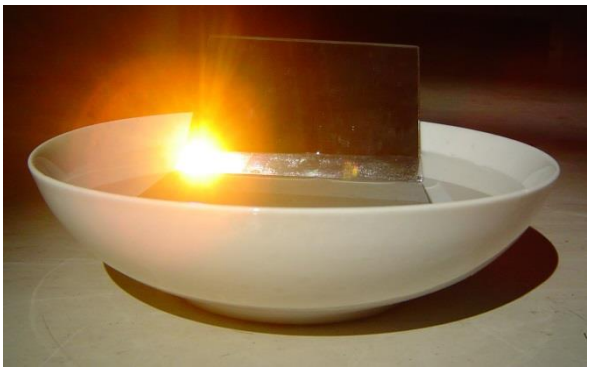


Strahlengang des Sonnenlichts in einer flachen, mit Wasser gefüllten Schale und einem schräg darin liegenden Spiegel:
Das weiße Licht wird an der Wasseroberfläche je nach Spektralfarbe unterschiedlich stark gebrochen, am Spiel an entsprechend unterschiedlichen Orten reflektiert und an der Wasseroberfläche zum tweiten Mal gebrochen.

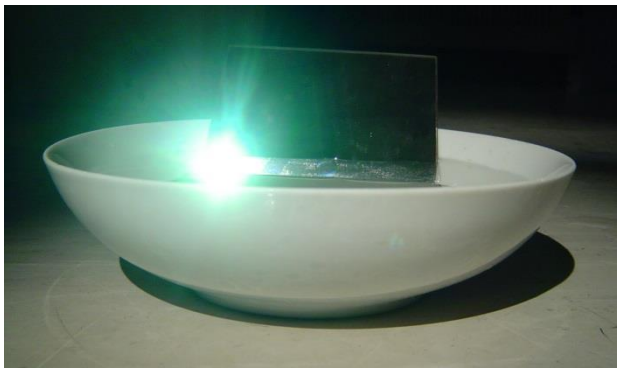


Auf eine weiße Wand projiziertes Sonnenspektrum

Aus: Arbeitshilfe "Licht & Farbe", Schulbiologiezentrum Hannover

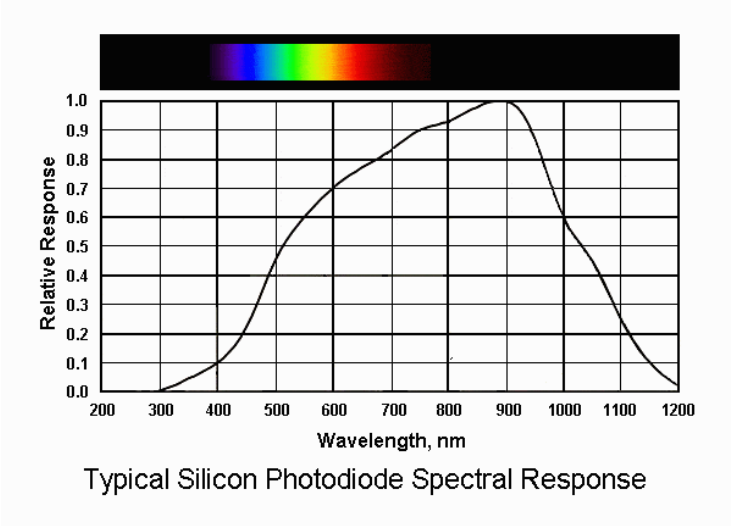


Roter Anteil des Sonnenspektrums



Blauer Anteil des Sonnenspektrums

Man kann das Wand projizierte Spektrum zumindest im Ansatz dazu nutzen, die spektrale Intensitätsverteilung und das Intensitätsmaximum zu bestimmen. Benötigt wird ein Luxmeter oder eine Photodiode mit nachgeschaltetem Verstärker.
Damit wird für jede Farbe ein Messwert aufgenommen, beim Luxmeter in Lux und im Falle der Photodiode eine vom Verstärker abhängige Spannung.
Das ist das Prinzip eines (teuren) Photospektrometers dessen Funktion man auf diese Weise kennen lernen kann, allerdings belastet mit vielen Ungenauigkeiten.
Die im Luxmeter verwendeten Sensoren, in der Regel Photodioden, verwandeln Lichtquanten in eine elektrische Spannung. Das Maß dieser "Übersetzung" ist abhängig von der Wellenlänge des Lichts. Unter der Voraussetzung, dass die spektrale Empfindlichkeit des Sensors bekannt ist, lässt sich der gemessene Wert entsprechend nachbehandeln.



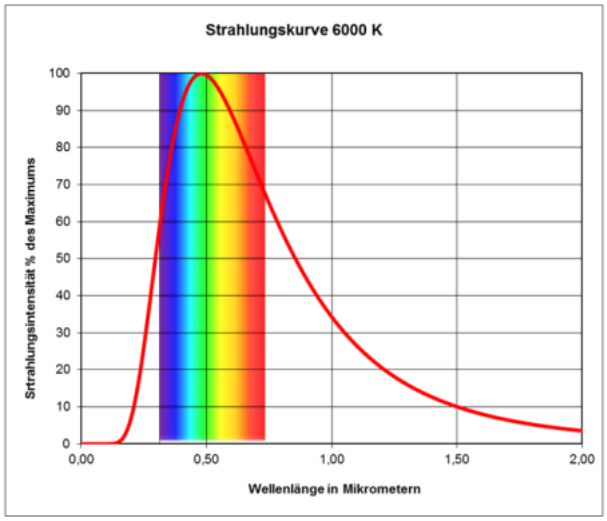
http://www.repairfaq.org/sam/sipdresp.gif

Foto: Testo

Die Aufgabe lautet die Beleuchtungsstärke entlang des Spektrums messen und in Tabelle einzutragen. Dabei ist die spektrale Empfindlichkeit des Gerätes berücksichtigen: Der Messwert muss durch die für die Wellenlänge typische Empfindlichkeit geteilt werden.

	Messwert (Lux)	Empfindlichkeit	Messwert / Empfindlichkeit
		0,1	
		0,3	
		0,45	
		0,55	
		0,6	
		0,65	
		0,7	
		0,75	
		0,8	
		0,85	

Strahlung: Sichtbar und unsichtbar



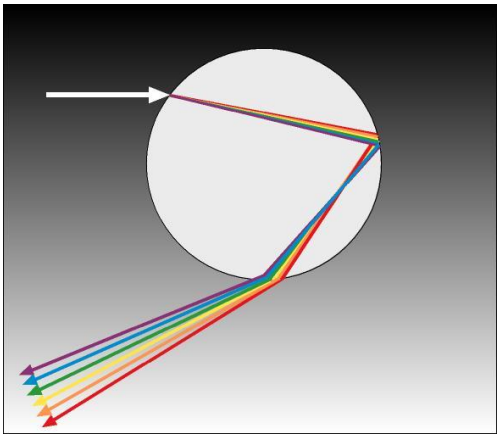
Spektrum und Strahlungsintensität der Sonne
Grafik: Planck´sche Strahlungskurve,
Schulbiologiezentrum Hannover

Das Spektrum einer Strahlungsquelle ist abhängig von ihrer Temperatur. "Heiße" Strahler sind "kurzwelliger" (violett, ultraviolett), kühlere dagegen langwelliger, d.h. rot oder infrarot.
"Licht" ist nur ein schmales Fenster der elektromagnetischen Strahlung, sichtbar für unsere durch viele Millionen Jahre Mutation und Selektion an die Lebensbedingungen der Erde angepassten Augen. Der Regenbogen zeigt uns mit seiner roten und violetten Kanten unsere durch die Evolution gesetzten Grenzen.

Was uns der Regenbogen über die Temperatur der Sonne verraten kann:

Foto: Ingo Mennerich

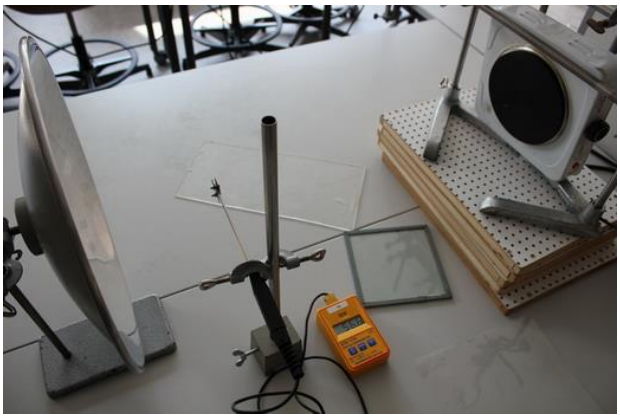
Die Farben des Regenbogens sind das durch die Regentropfen nach Spektralfarben aufgefächerte Licht der der Sonne. Das kann mit Hilfe von gläsernen mit Wasser gefüllten Rundkolben und einer Strahlungsquelle (z.B. Diaprojektor) simulieren.
Hier zeigt sich: Je heißer und damit weißer die Leuchte, desto höher der Blau-Anteil im Spektrum.
Mehr dazu: Arbeitshilfe "Licht & Farbe", Schulbiologiezentrum Hannover



Wenn es zwischen der Temperatur einer Strahlungsquelle und ihrer Lichtfarbe (also der Wellenlängenverteilung) es einen Zusammenhang gibt, müsste man durch die Intensitätsmessung jeder einzelnen Farbe auf die Temperatur schließen können.

Mehr dazu: Arbeitshilfe "Regenbogen-Werkstatt", Schulbiologiezentrum Hannover

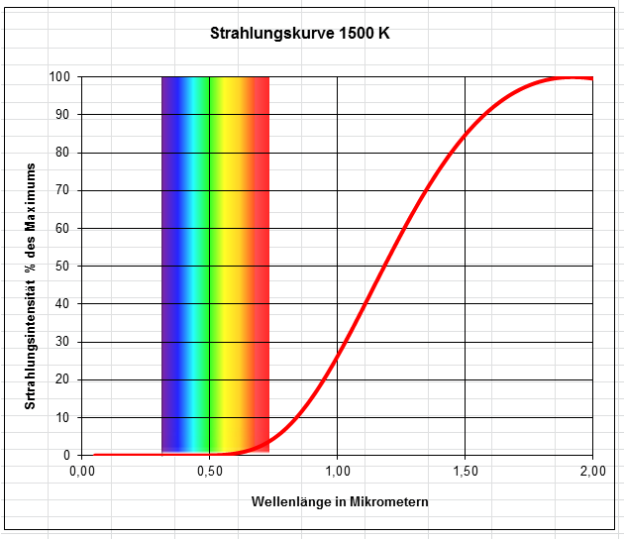
Wärmestrahlung auf den Punkt gebracht



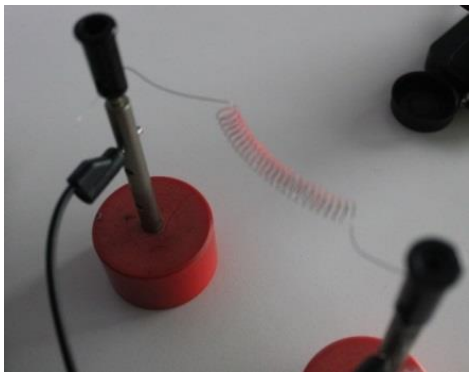
Herdplatte, Metall-Parabol und im unsichtbaren Brennpunkt angebrachter Temperaturfühler
Foto: Energie-LAB / Schulbiologiezentrum Hannover

Für Infrarot- oder Wärmestrahlung sind unsere Augen nicht empfänglich. Wir können sie aber über die Haut fühlen.
Ein einfaches Experiment zeigt, dass Wärmestrahlung nichts anderes ist als für unsere Augen unsichtbares "Licht".
So lässt sie sich mit einem metallenen Hohlspiegel bündeln.
Ein Parabolspiegel bündelt die unsichtbare Wärmestrahlung einer heißen, aber nicht leuchtenden Herdplatte. Im Brennpunkt kann man bei optimalen Verhältnissen einen Streichholzkopf entzünden.

Hält man eine Glasplatte zwischen die Herdplatte und den Spiegel bzw. zwischen Spiegel und Streichholzkopf bleibt dieser kalt. Glas ist für sichtbare Strahlung (Licht) transparent, für Wärmestrahlung nicht. Deshalb klappt der Versuch mit einem gläsernen Spiegel nicht.

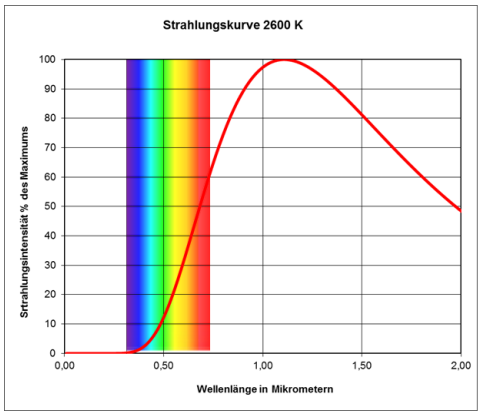


Bei 1500 Grad hat die Konstantanwendel die Temperatur erreicht bei der die Strahlungskurve gerade in den sichtbaren Bereich hineinreicht.

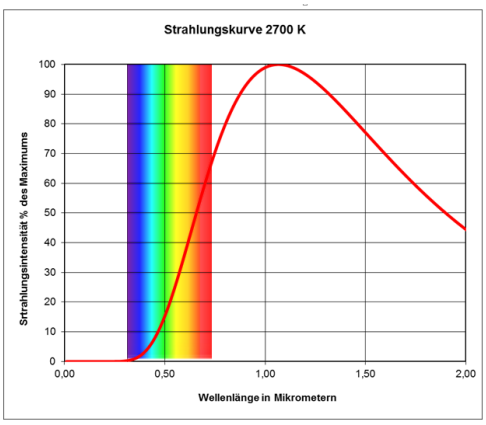


Glühlampen und Farbtemperatur

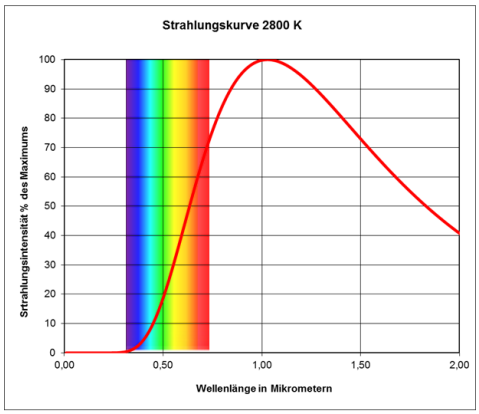
Die Farbtemperatur einer Glühlampe hängt von ihrer Leistung ab.
Beim Vergleich von Glühlampen wird deutlich, dass eine höhere Leistung nicht nur helleres sondern aufgrund der zunehmenden Verschiebung des Intensitätsmaximums zum kurzwelligen (blauen) Bereich ein immer weißeres Mischprodukt ergibt.



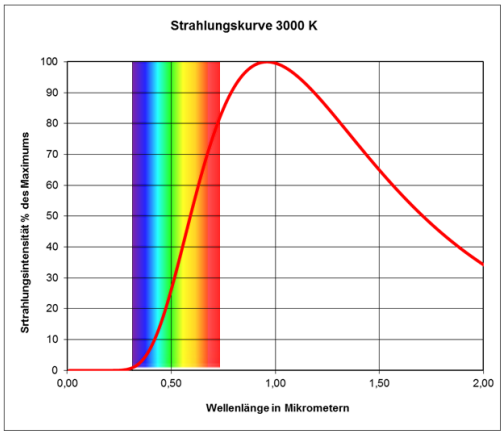
Glühlampe 40W, Farbtemperatur, 2600K, Strahlungsmaximum 1114 nm



Glühlampe 60W, Farbtemperatur, 2700K, Strahlungsmaximum 1073 nm



Glühlampe 100W, Farbtemperatur, 2800K, Strahlungsmaximum 1035 nm



Glühlampe 200W, Farbtemperatur, 3000K, Strahlungsmaximum 966 nm

Aus Schulbiologiezentrum Hannover/Energie-LAB; „Deutschland sucht das Superlicht!“

Planck´sche Strahlungsverteilung zum Ausprobieren

Auf der Basis der Planck´schen Strahlungsformel

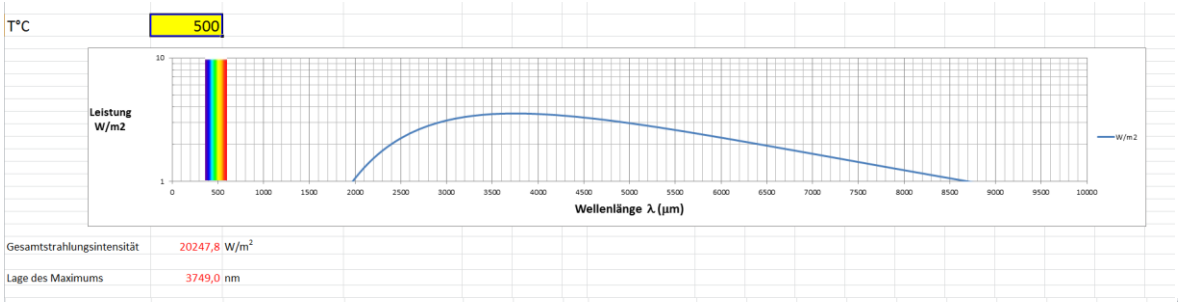
$$I(\lambda, T) := \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1\right)}$$

haben wir ein EXCEL-Programm erstellt, mit dem man ausprobieren kann wie sich die Temperatur eines Strahlers auf das Strahlungsmaximum und die Strahlungsverteilung auswirkt

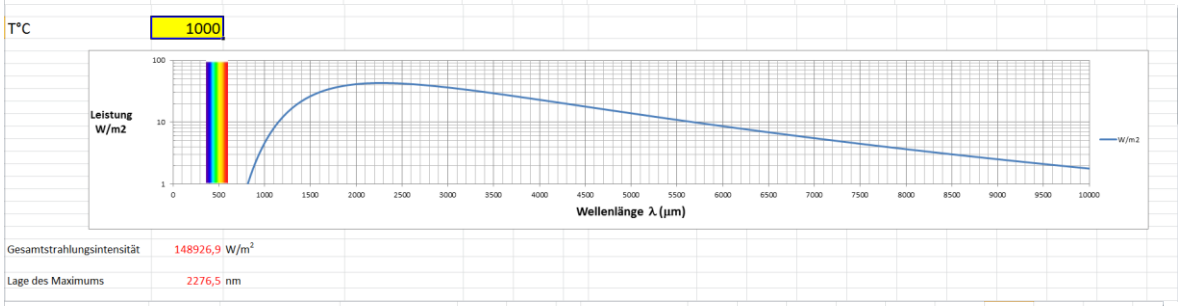
- Das Programm „Planck´sche Strahlungsverteilung“ zeichnet nach Eingabe der Temperatur in Grad Celsius den zwischen 0 und 10000 Nanometer liegenden Teil der Strahlungskurve.
- Zusätzlich wird die Gesamtstrahlung P_{ges} in Watt/Quadratmeter und die Wellenlänge des Scheitelpunktes (d.h. des Maximums) der Kurve angezeigt.

Der Vergleich der Kurven bei beispielsweise 500°C, 1000°C und 5000°C zeigt eine steigende Gesamtstrahlung und ein kurzwelligeres Maximum an.
Dabei nähert sich die kurzwellige steile Flanke der Kurve der langwelligen roten Seite des für unsere Augen sichtbaren Lichts.

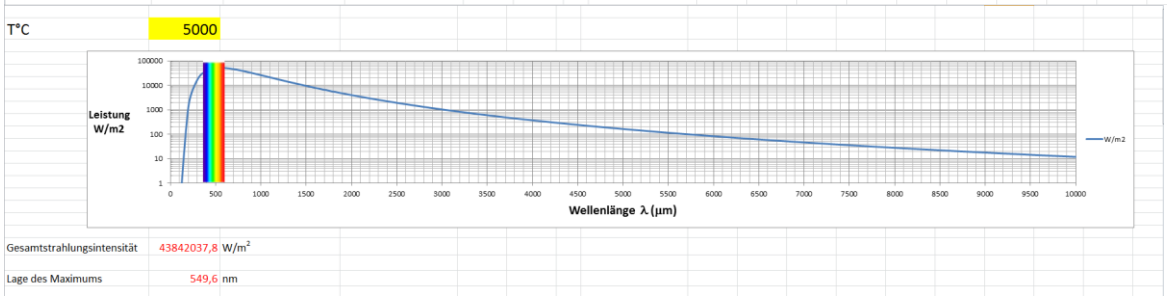
500°C



1000°C



5000°C



Die Temperatur der Sonne mit dem T^4-Gesétz errechnen

Wir können kein Thermometer zur Sonne schicken, es dort ablesen und unbeschädigt auf die Erde zurückholen. Dafür ist sie zu heiß und zu weit weg. Die Temperatur der Sonnenoberfläche kann aber berechnet werden. In Kenntnis der bisher bekannten Daten (Distanz Sonne-Erde, Radius der Sonne, solare Leistung W/m^2), der so genannten Stefan-Boltzmann-Gleichung und einem Taschenrechner und ist das durchaus möglich.
Die einzige Voraussetzung ist eine gewisse "Angstfreiheit" gegenüber großen Zahlen (Zehner-Potenzen) und dass man weiß, wie man diese mit dem Taschenrechner eingibt, dividiert und multipliziert. Die in der relativ einfachen Gleichung enthaltene und durch Experimente gefundene Naturkonstante Sigma (σ) müssen wir als gegeben betrachten.

Die Stefan-Boltzmann-Gleichung lautet

$$P = \sigma * A * T^4$$

mit der Strahlungsleistung der Sonne *P* in Watt, der Naturkonstanten Sigma (σ), der Oberfläche *A* in Metern und der Temperatur *T* in Kelvin.

Die Stefan-Boltzmann-Konstante (σ)ist stark verkürzt ausgedrückt $5{,}67*10^{-8}$ W/m^2

Aufgrund der vierten Potenz der Temperatur (T) ist die Gleichung auch als T4-Gesetz bekannt. Durch Umstellen nach T erhalten wir

$$T^4 = \frac{P}{\sigma * A}$$

und

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{\sigma * A}}$$

$$\mathrm{T} = \sqrt[4]{\frac{\text{Strahlungsleistung der Sonne}}{\text{Stefan} - \text{Boltzmann} - \text{Konstante} \quad \text{x} \quad \text{Oberfläche der Sonne}}}$$

$$\mathrm{T} = \sqrt[4]{\frac{3{,}846 \times 10^{\,26}\ \mathrm{W}}{5{,}67\ \mathrm{x}\ 10^{-8}\ \ \mathrm{x}\ \ 6{,}09\ \mathrm{x}\ 10^{18}\ \mathrm{m}^2}} = \sqrt[4]{1{,}114^{15}} = 5777K$$

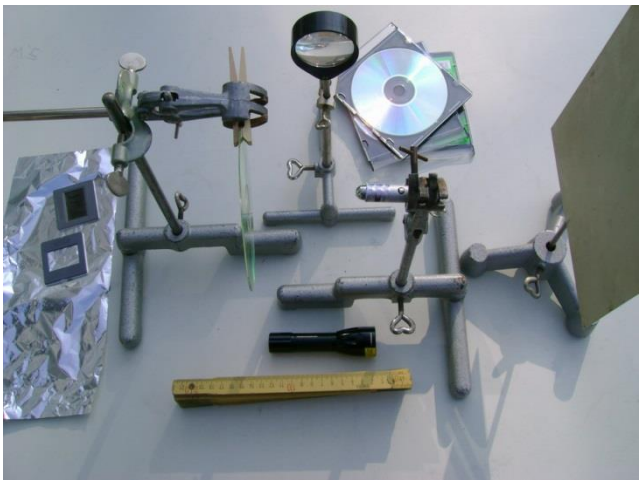
Die Umrechnung nach T = K + 273,15 ergibt 5777,7 K + 273,15 = 6050,9 °C

Diese Werte entsprechen den Werten, die man in astronomischen Handbüchern, Lexika und bei Wikipedia nachschlagen kann und die sich auch aus anderen, komplizierteren Berechnungsmethoden ergeben.

Aus: Wie kann ich auf der Erde die Temperatur der Sonne messen? Schulbiologiezentrum Hannover, 2012

Die Wellenlänge des Lichts

Die Wellenlänge(n) des sichtbaren Lichts kann man mit einer weißen LED-Taschenlampe, einer CD und einem Projektionsschirm bestimmen:

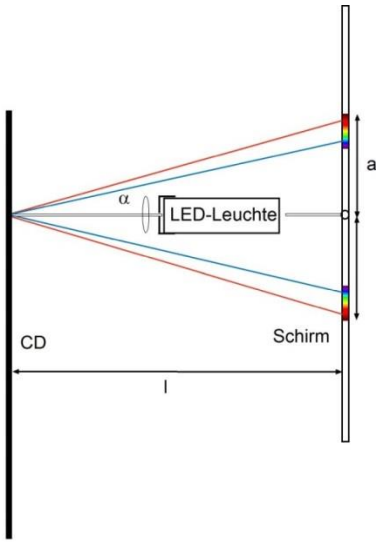


Messung der Lichtwellenlängen mit einer CD

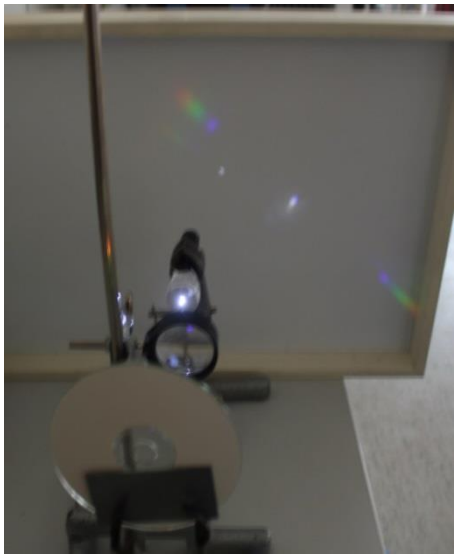
Die CD fächert das weiße Licht auf in seine Farbanteile. Langwelligeres rotes Licht wird dabei stärker abgelenkt als kurzwelligeres blaues Licht. Aus dem Ablenkungswinkel und der von der Datenspurbreite abhängigen Gitterkonstante lässt sich die Wellenlänge bestimmen.

Unten:
Zu erkennen sind die beiden Spektren links und rechts des von der CD auf den Projektionsschirm gespiegelten Lichts der LED-Leuchte.
Eine Sammellinse zwischen LED-Leuchte und

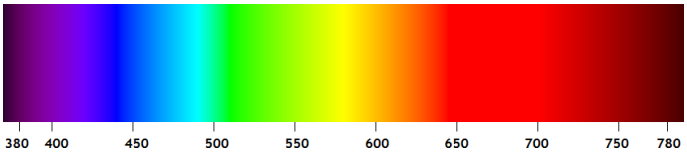
Fotos: Ingo Mennerich



CD fokussiert das Licht auf die CD



Die Gitterkonstante lässt sich im Umkehrverfahren mit einem Laserpointer von bestimmter Wellenlänge mit hinreichender Genauigkeit bestimmen.
Idealerweise kommt man zu dieser Wellenlängenverteilung (in Nanometern)



Aus: Mit einer CD die Wellenlängen des sichtbaren Lichts messen, Schulbiologiezentrum Hannover, 2014

Temperaturmessung mit Hilfe eines digitalen Spektrometers

Eine bereits angedeutete Möglichkeit die Temperatur der Sonne (und anderer Strahler) zu bestimmen besteht darin, selbst die spektrale Verteilung der Intensität zu messen. Die Wellenlänge des Intensitätsmaximums ist temperaturabhängig (Wiensches Verschiebungs-gesetz), dazu unten mehr.

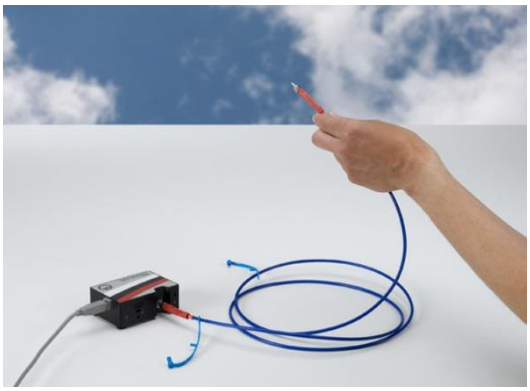


Foto: Leybold

Spektrometer (hier ein Gerät der Fa. Leybold) sind heute leichte und kompakte Geräte mit hohem Auflösungsvermögen. Die Aufnahme eines Spektrums gelingt damit ohne großen Aufwand. Die Kosten allerdings liegen bei etwa anderthalbtausend Euro.

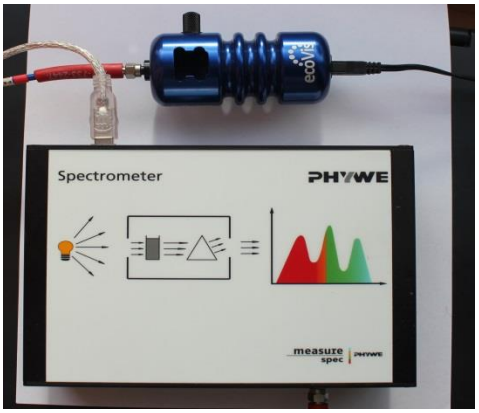
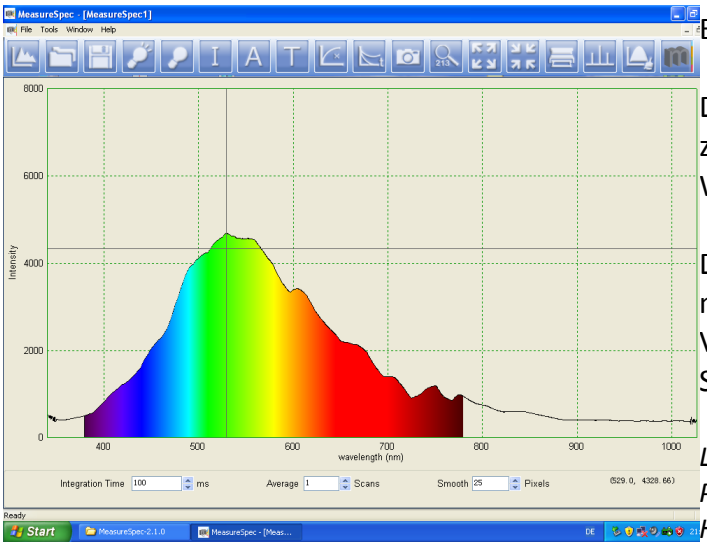


Foto: IM

Das Schulbiologiezentrum leiht Schulen ein Spektrometer der Fa. PHYWE (MeasureSpec) aus. In der Biologie wird damit z.B. das Absorptionsspektrum des Blattgrüns Chlorophyll vermessen. Das dazu notwendige Zubehör, Leuchte, Küvette und Küvettenhalter wird zur Messung eines Emissionsspektrums nicht gebraucht.
Mit der dazugehörigen Software ist das Spektrum auf dem PC darstellbar (Auflösung 2 Nanometer)



Einfacher geht´s nicht:

Die farbig dargestellte Strahlungskurve zeigt die relative Intensität für jede Wellenlänge an.

Das Maximum ist leicht erkennbar wodurch mit Hilfe des Wien´schen Verschiebungsgesetzes auch die Strahlungstemperatur zu errechnen ist.

Links: Tageslichtspektrum, dargestellt mit PHYWE MeasureSpec (Schulbiologiezentrum Hannover)

Wellenlängenlängenverteilung des Sonnenlichts und die Temperatur der Sonne

Zwischen der Temperatur des strahlenden Körpers und der Wellenlänge des Intensitäts-maximums besteht eine einfache Beziehung: Je heißer der Strahler, desto kurzwelliger das Maximum. Mit dem Wien´schen Verschiebungsgesetz es leicht zu berechnen:

$$\lambda_{\max} = \frac{2897{,}8\text{mm} * \text{K}}{T}$$

Oder nach der Temperatur aufgelöst:

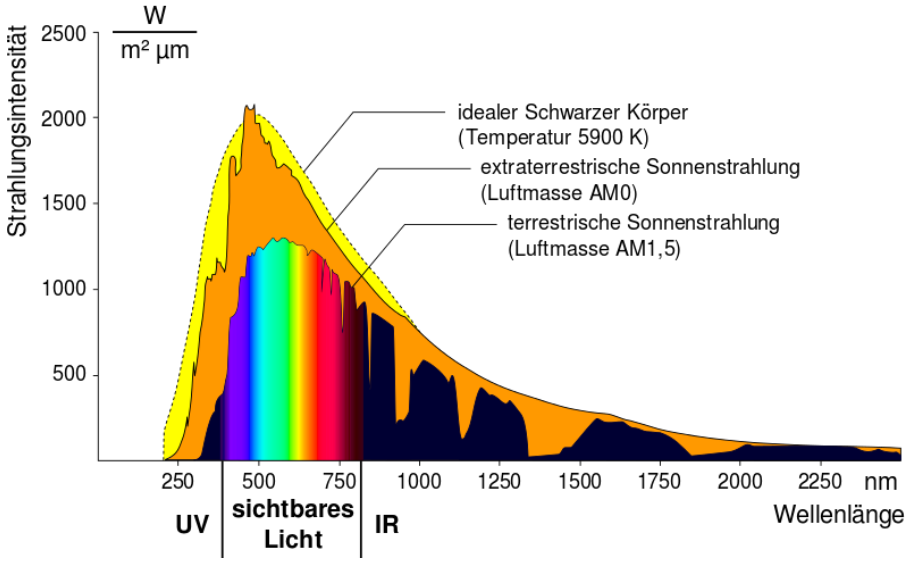
$$T = \frac{2897{,}8\text{mm} * \text{K}}{\lambda_{\max}}$$

Dabei ist λ_{max} (lambda) die Wellenlänge in Mikrometern (µm) und T die Temperatur in Kelvin (K). Beide sind über die Konstante 2897,8mm*K miteinander verknüpft.

Ermittelt wurde das Maximum bei 530 Nanometern

$$T = \frac{2897{,}8\text{mm} * \text{K}}{0{,}53\mu\text{m}} = 5467{,}5K$$

Das entspräche einer Sonnenoberflächentemperatur von 5741°C.



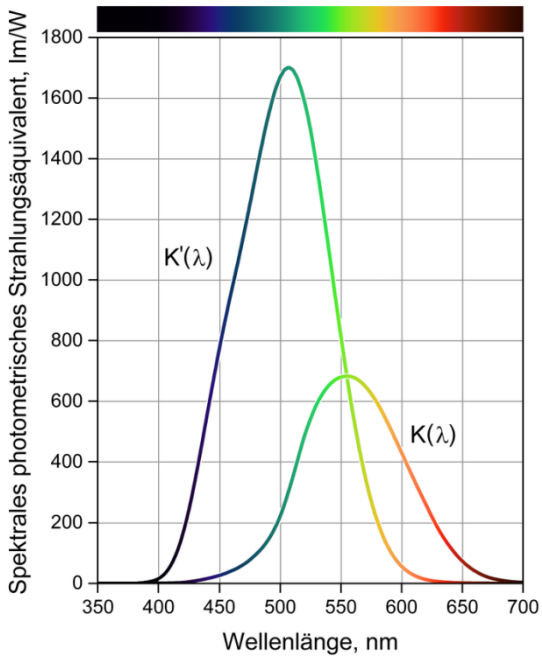
https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung#/media/File:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg
http://solardat.uoregon.edu/SolarRadiationBasics.html

Die tatsächliche Temperatur nach WIKIPEDIA ist 5778K. Daraus errechnet sich ein Maximum bei

$$\lambda_{max} = \frac{2897{,}8\text{mm*K}}{5778\text{K}} = 0{,}502\mu\text{m} = 502\text{nm}$$

Das Maximum der Strahlungsintensität außerhalb der Atmosphäre (AM0) ist etwas kurzwelliger als auf Meeresniveau (AM1,5) gemessen.

Ein weiterer Ansatz orientiert sich am Farbsehvermögen unserer Augen:



Bei Tag ist das menschliche Auge am empfindlichsten im gelb-grünen Bereich des sichtbaren Spektrums (Wellenlänge 555 Nanometer).
Man könnte darüber diskutieren, ob dieses Empfindlichkeitsmaximum evolutiv als Antwort auf das Strahlungsmaximum der Sonne entstanden ist.
Gäbe es hier einen eindeutigen Zusammenhang wäre zu errechnen, welche Temperatur ein Strahler mit einem Intensitätsmaximum von 555nm hat.

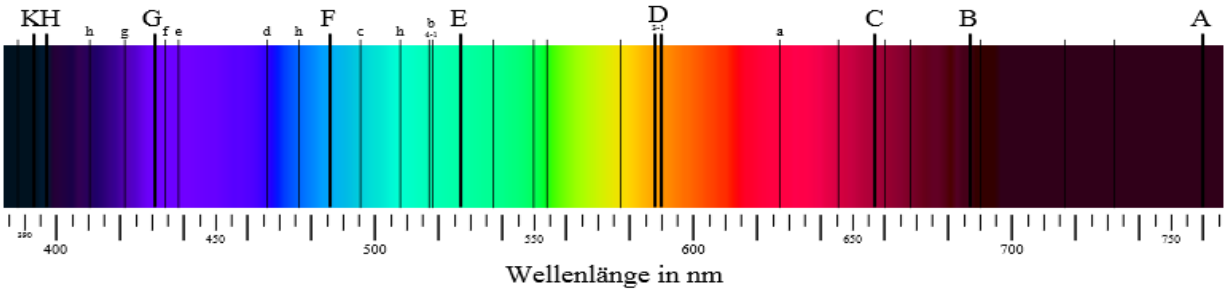
$$T = \frac{2897{,}8\text{mm} * \text{K}}{0{,}555\mu\text{m}} = 5221K$$

5221 K entspricht 5221K + 273K = 5494°C

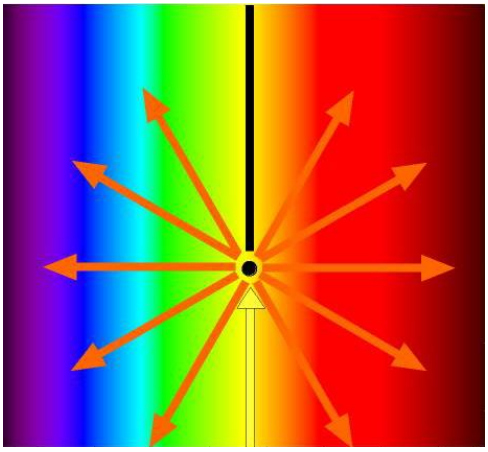
Grafik:https://de.wikipedia.org/wiki/Photometrisches_Strahlungsäquivalent

Fraunhofer-Linien weisen auf Wasserstoff als solare Energiequelle hin

Schon ein einfaches Handspektrometer (Gruppensatz ausleihbar im Schulbiologiezentrum) zeigt im Sonnenlicht und selbst an bedeckten Tagen eine Fülle senkrechter dunkler Linien im Spektrum.



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fraunhofer_lines_DE.svg



Grafik: Ingo Mennerich

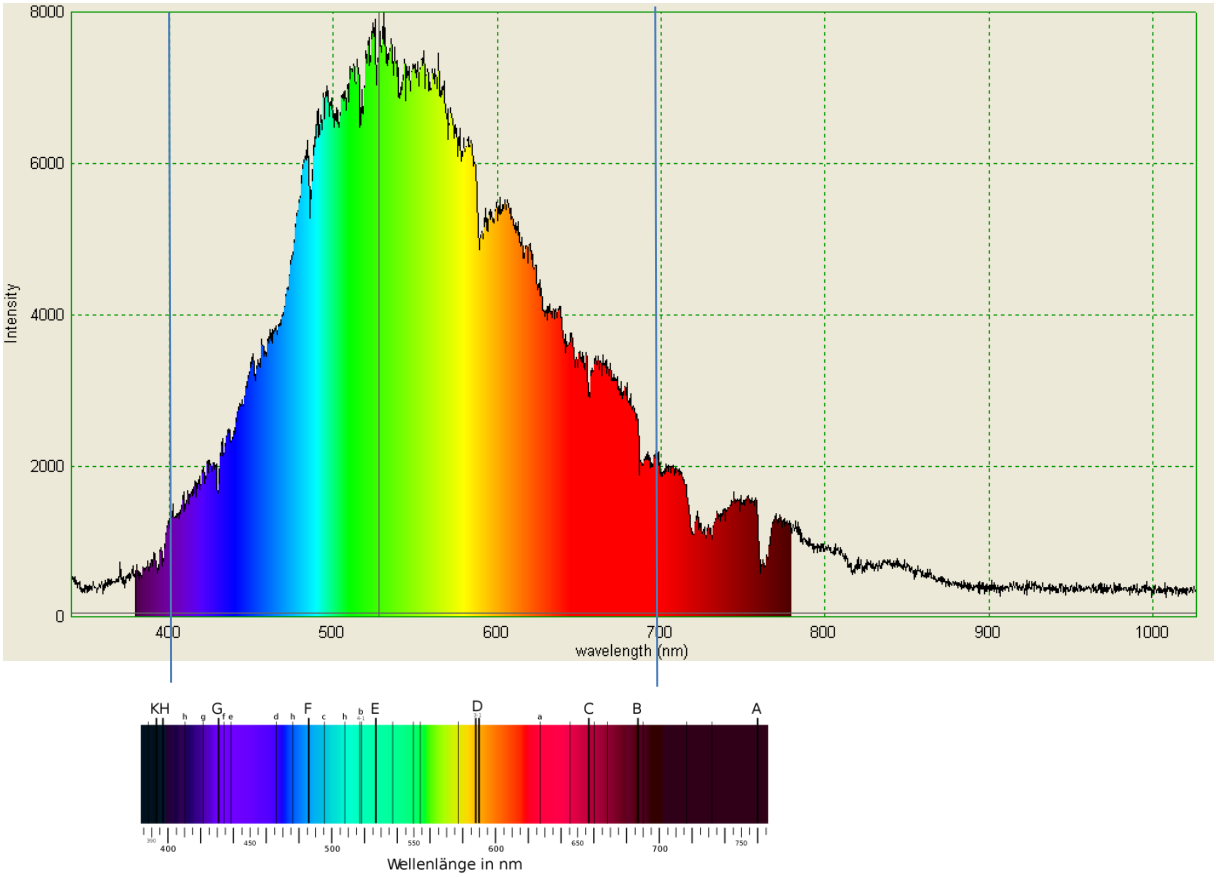
Dabei handelt es sich um Absorptionslinien bestimmter in der Sonnen- bzw. Erdatmosphäre vorkommender Elemente. Angeregt durch Strahlung bestimmter Wellenlängen beginnen Atome zu schwingen und geben die aufgenommene Energie auf einer niedrigeren Wellenlänge wieder ab. Die Wellenlänge die zur Anregung des Elements führt fehlt daher im Spektrum. Hier erscheint ein dunkler Strich.

Das mit MeasureSpec aufgenommene Sonnenspektrum zeigt tiefe Einschnitte die mit den Fraunhoferlinien gut in Übereinstimmung zu bringen sind.

Oben: Mit MeasureSpec aufgenommenes Tageslichtspektrum
Unten: Fraunhoferlinien (Wikipedia)

Fraunhoferlinien (Auswahl)

Linie	Element	Wellenlänge (gerundet)	Linie	Element	Wellenlänge (gerundet)
A	O_2	759	B1/b2	Mg	517 / 518
B	O_2	687	F	H β	486
C	H α	656	G	Fe / Ca^+	431 / 431
D	Na	590/ 589	H	Ca^+	397
E	Fe	527	K	Ca^+	393



Das zeigt: Die Sonne besteht aus Wasserstoff. Dieses leichte Element kann von der relativ massearmen Erde nicht festgehalten werden. Die Metalle Fe, Ca, und Na sind nur bei Temperaturen wie sie auf der Sonne herrschen gasförmig. Die Absorptionslinien des durch Photosynthese entstehenden und für uns lebenswichtigen Sauerstoffs dagegen entstehen in der Erdatmosphäre.

Der Wasserstoff der Sonne ist die Energiequelle, die unser Leben möglich macht: Durch die Fusion von Wasserstoffatomen zu Helium im Zentrum der Sonne entsteht die Strahlung die uns schließlich in für uns glücklicherweise sehr abgemilderten Form als Licht und Wärme erreicht und die die Photosynthese der Pflanzen möglich macht.

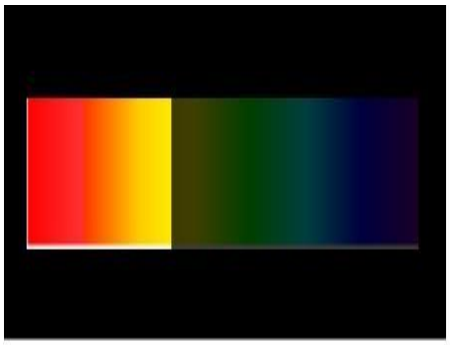
Zwei für das Leben wichtige, durch Spektroskopie nachweisbare Elemente sind Magnesium (Chlorophyll) und Eisen (Hämoglobin).

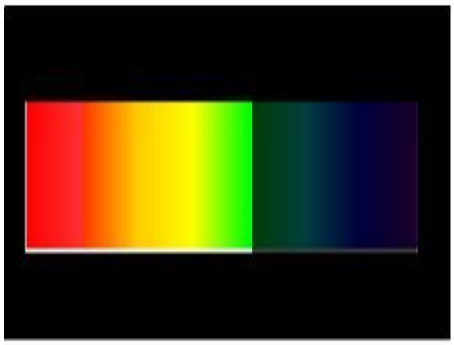
Die Spektroskopie ist somit eine Methode der Fernerkundung des sonst für uns unzugänglichen Sterns "Sonne".

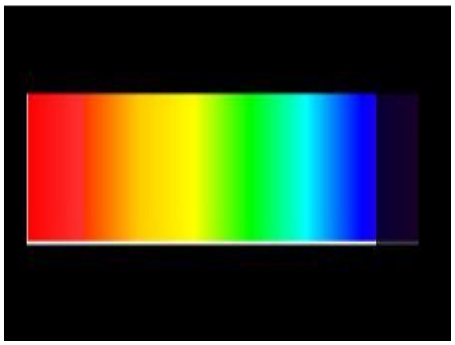
ARBEITSBLATT

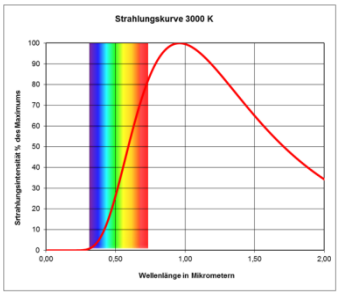
Temperatur des Strahlers, Spektrum und Intensitätsverteilung

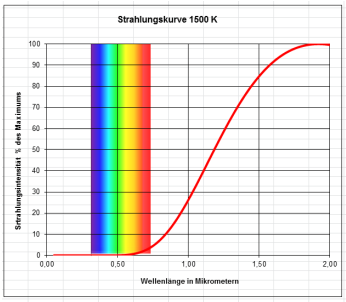
- Schneide die drei fehlerhaft zugeordneten Strahlungskurven aus
- Klebe sie in der richtigen Reihenfolge neben die drei abgebildeten Spektren

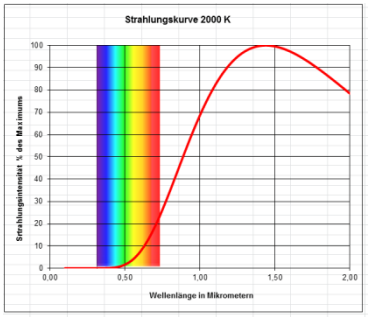










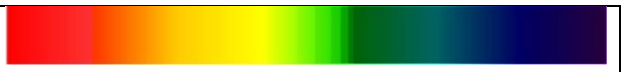


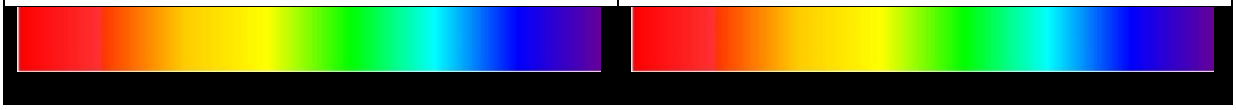
ARBEITSBLATT

Spektrum einer Glühlampe mit einem Dimmer

- Regele die Helligkeit der Glühlampe mit dem Dimmer
- Betrachte das Licht durch das davor aufgestellte Spektroskop
- Übermale mit einem **Bleistift** die Bereiche des Spektrums die du nicht oder nur schwach siehst.

Beispiel:

	
Vollständiges Spektrum (Sonne)	Spektrum einer gedimmten Glühlampe

Glühlampe nicht gedimmt	Glühlampe gedimmt
	

Versuche die "Lichtfarbe" der Glühlampe mit Farbstiften zu treffen!

Du kannst die Glühlampen oben auch entsprechend anfärben!

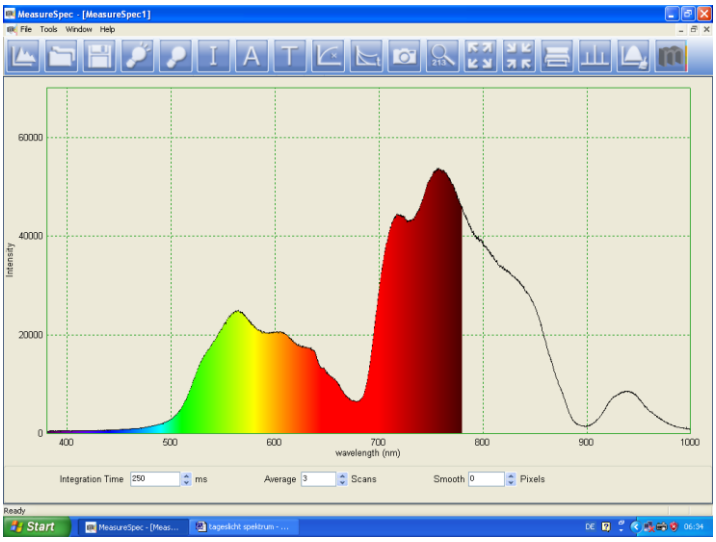
Chlorophyll: Der Stoff der uns am Leben erhält

Das im Schulbiologiezentrum ausleihbare Spektrometer MeasureSpec ermöglicht die Aufnahme von Absorptionskurven chemischer Substanzen.

Dazu dient eine Wolfram-Leuchte mit einer Intensität die über die Empfindlichkeit des Spektrometers hinausgeht. Deshalb erscheint ein Spektrum so wie es auch das Spektroskop zeigt.

Die Leuchte ist mit einem Schacht versehen in die normalerweise eine Küvette mit der zu untersuchenden Lösung gesteckt wird. Eine Chlorophyll-Lösung entsteht z.B. wenn man grüne Blätter in Alkohol (Brennspiritus) sieden lässt (Wasserbad, nur zum Teil gefülltes, verschlossenes Gefäß) oder sie zerkleinert, in der Reibschale mörsert und dann mit kaltem Alkohol aufgießt.

Einfacher ist es, ein frisch abgepflücktes Blatt in den Schacht zu schieben. Das Ergebnis stimmt mit einer professionell aufgenommenen Absorptionskurve gut überein:



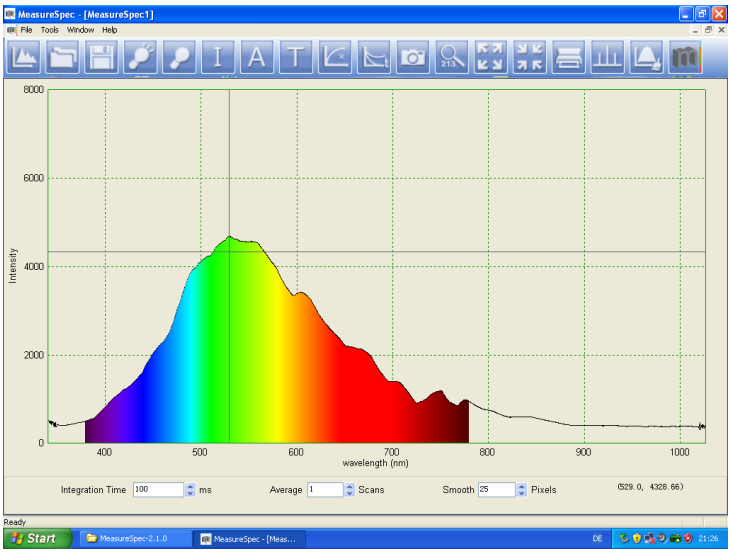
Große Anteile des blauvioletten Lichts werden absorbiert, wie auch ein Teil des roten Lichts.

Die Energie dieser Wellenlängen wird zur Photosynthese und zur Produktion von Nährstoffen (Zucker) verwendet.

Der grüne, gelbe und orange Bereich durchstrahlt das Blatt.

Mit diesen Wellenlängen kann das Chlorophyll nur wenig anfangen.

Deshalb sind Blätter hellgrün.

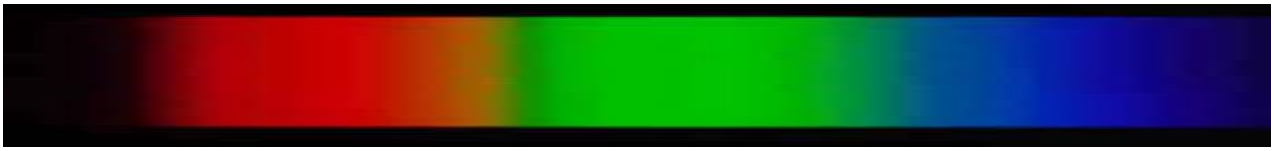


Man kann darüber spekulieren, weshalb der vom Blattgrün reflektierte Teil gerade im Bereich des solaren Intensitätsmaximums liegt.
Die kurzwelligere blauviolette Schulter des Sonnenspektrums fällt in der Intensität zwar stark ab, die blauen Photonen sind aber energiereicher als die grünen und gelben.
Das Leben ist im Meer entstanden.
Jeder der einmal etwas tiefer abgetaucht ist weiß, dass das Licht zunehmend bläulich wird weil die langwelligeren Spektralanteile zunehmend absorbiert oder gestreut werden

Was wäre, wenn unser Leben in der Nähe eines heißeren oder kälteren Sterns entstanden wäre?

Mit dem Spektroskop erhält man dieses Ergebnis

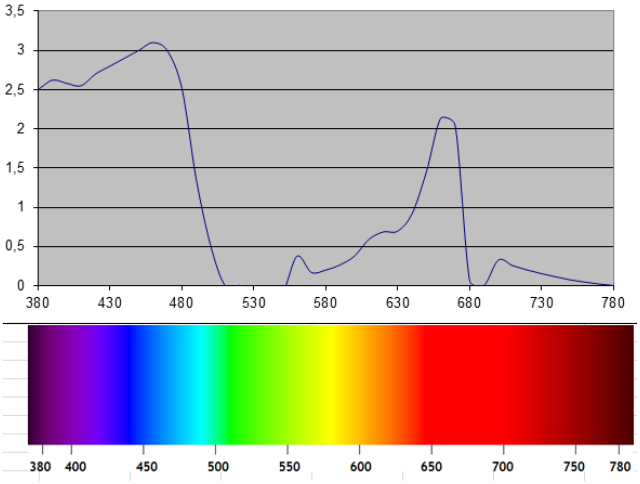
Zum Vergleich das "normale" Spektrum des Tageslichts



Der dunkle "Balken" im roten Spektralbereich entspricht dem tiefen Einschnitt im Transmissionsspektrum. Der blauviolette Bereich ist völlig dunkel weil durch das Chlorophyll absorbiert.

Mit unserem "analogen" Spektrometer wird das Spektrum wie bei einem Radiotuner Wellenlänge für Wellenlänge "durchgescannt". Die Absorptionswerte (Extinktion) des Chlorophylls werden in einer EXCEL-Tabelle notiert und in ein Diagramm verwandelt.

Das Ergebnis ist eine Absorptions- und keine Transmissionskurve. Sie ist praktisch das Negativ der mit dem Spektrometer erzeugten Intensitätsverteilung.



Dieses Ergebnis entstand bei einem Photosynthese-Kurs im Schulbiologiezentrum. Während der blauviolette und ein Teil des roten Spektralbereichs erwartungsgemäß eine große Extinktion aufweist, ist die Transmission (Durchlässigkeit) im grün-gelb-orangenen Bereich sehr hoch.

Das dazugehörige EXCEL-Programmm finden Sie auf unserer Webseite www.schulbiologiezentrum.info

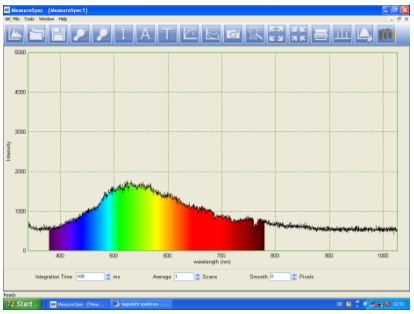
Farbige Flächen: Absorption und Reflektion

Warum ist mein T-Shirt blau? Warum ist Kirschsaft rot?

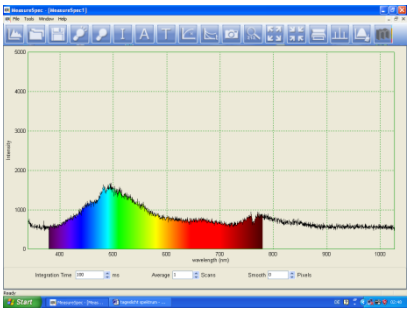
Farben gibt es nur wenn Licht vorhanden ist. Entweder sind es farbige Lichter oder nicht selbst leuchtende farbige Gegenstände. Im Dunkeln sind sie schwarz, wobei "schwarz" hier nur zeigt, dass kein Licht darauf fällt.

Farbige Flächen sind deshalb farbig, weil ein Teil der auf sie treffenden Strahlung absorbiert wird während ein anderer Teil reflektiert wird (siehe das "Blattgrün")

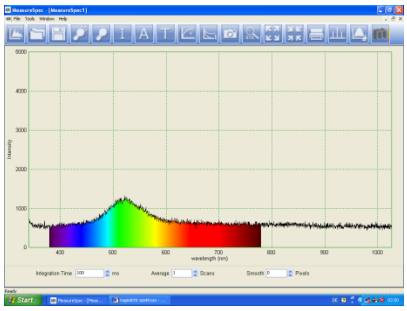
Mit dem Spektrometer erhält man im Sonnenlicht auf folgenden Flächen diese Ergebnisse:



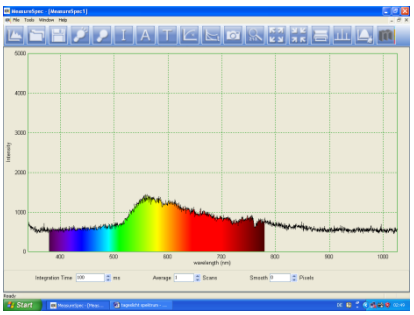
Weiß



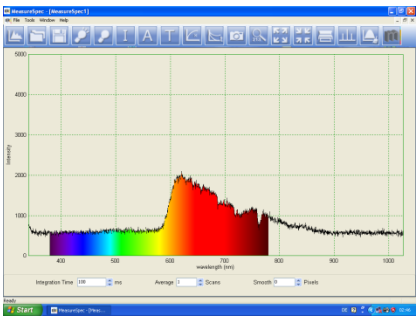
Blau



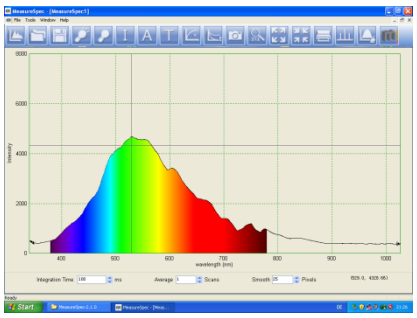
Grün



Gelb



Rot



Tageslicht (Direktstrahlung)

Im Licht von Energiesparlampen (Kompaktleuchtstoffröhren, LEDs) ergeben sich veränderte Spektren was zu anderen Farbeindrücken führt. Eine Erfahrung, die wohl schon jeder beim Kauf von Textilien gemacht hat. Das ist extrem unter den monochromatischen Natrium-Dampflampen die nachts unsere Straßen beleuchten. Hier erscheint alles in "Shades of Yellow". Wenn die Fleischtheke oder die Gemüseabteilung im Supermarkt in "warmem" rötlichen Licht gehalten ist, wirkt die Ware wohl appetitlicher.

Zum Thema "Licht & Farbe" bietet unser Energie-LAB viele Untersuchungen und Experimente an (siehe die gleichnamige Unterrichtshilfe).

Kernkraftwerk "Sonne"

Die Erde umkreist einen strahlenden Riesen: mit etwa 1,39 Millionen Kilometern Durchmesser ist sie 109mal so groß wie die Erde.

Spannender noch ist die Frage: Wie oft würde die Erde in die Sonne hineinpassen?

Mehr als 1,3 Millionen mal!

$$V_{Erde} = \frac{4}{3} * \pi * 6378km^3 = 1{,}087 * 10^{12} km^3$$

$$V_{Sonne} = \frac{4}{3} * \pi * 696342km^3 = 1{,}414 * 10^{18} km^3 =$$

$$\frac{1{,}414 * 10^{18} km^3}{1{,}087 * 10^{12} km^3} = 1{,}3 * 10^6$$

Sie besteht aus den leichtesten Gasen die wir auf der Erde kennen: Wasserstoff (≈92%) und Helium (≈8%) (. Mit beiden kann man Luftballons befüllen, beide steigen auf. Wasserstroff brennt, Helium nicht. Es gibt aber praktisch keinen Sauerstoff auf oder in der Umgebung der Sonne. "Brennen" kann der Wasserstoff auf der Sonne daher nicht.

Wer ist leichter, die aus den beiden leichtesten Gasen bestehende Sonne oder die aus sich aus Gesteinen zusammensetzende Erde?

Aus der Erkenntnis, dass die Erde um die Sonne kreist und nicht, wie früher angenommen, die Sonne um die Erde kann man schließen, dass die Masse der Sonne größer sein muss als die der Erde. Wären sie gleich groß würden sie um einen gemeinsamen Schwerpunkt herumtanzen..

Weder die Sonne noch die Erde kann man auf die Waage legen. Ihre Massen könnte man schätzen, wenn man ihren Durchmesser und die durchschnittliche Dichte kennt. Aber weder Sonnenmaterie noch Gestein aus den tiefsten Tiefen der Erde konnten jemals direkt untersucht werden. Wie sollte man so die tatsächliche Dichte bestimmen können?

Es gibt eine Lösung: Wenn die Bahnradien und die Umlaufzeiten der um einen Zentralkörper kreisenden Objekte bekannt sind kann man seine Masse mit Hilfe der Newton´schen Fassung des Dritten Keplerschen Gesetzes bestimmen.

$$M_{\odot} = \frac{4\pi^2 * a^3}{G * T^2}$$

Erde
Umlaufendes Objekt: ISS
Bahnradius *a* (Erdradius + Flughöhe) in m
Umlaufzeit *T* in Sekunden
Gravitationskonstante
$G = 6{,}67*10^{-11} m^3/kg*s^2$

Sonne
Umlaufendes Objekt: Erde
Bahnradius *a* (Sonne - Erde) in m
Umlaufzeit *T* in Sekunden
Gravitationskonstante
$G = 6{,}67*10^{-11} m^3/kg*s^2$

Aus der Beobachtung, dass die Internationale Raumstation, wenn sichtbar, etwa 93 Minuten nach einem Überflug wiederkehrt und der von zwei Positionen aus gleichzeitig vermessenen Flughöhe (≈ 400 km) lässt sich so die Masse der Erde bestimmen. Aus der Distanz Sonne - Erde und der Umlaufzeit (1 Jahr) folgt die Masse der Sonne. *(Unterrichtshilfe "Wir wiegen den Mond und die Sonne mit Uhr und Taschenrechner, Schulbiologiezentrum Hannover 2016)*.

$M_{Erde} \sim 5{,}97 * 10^{24} kg$	5,97 Trilliarden Tonnen
$M_{Sonne} \sim 1{,}99 * 10^{30} kg$	1,99 Quadrilliarden Tonnen

Die Sonne "wiegt" damit etwa 333000 Erdmassen.

Aus der Masse und dem bereits ermittelten Volumen folgt die mittlere Dichte (ρ) der Sonne:

$$\rho = \frac{1{,}99 * 10^{30} kg}{1{,}414 * 10^{18} km^3} = 1{,}407 * 10^{12} kg/km^3 = 1{,}407 g/cm^3$$

Zum Vergleich: Die mittlere Dichte der Erde beträgt 5,515g/cm^3. Dafür ist die Erde aber viel kleiner und ihre Masse entsprechend viel geringer.

Aus der Masse folgt die Fallbeschleunigung: Auf der Erde beschleunigt ein fallendes Objekt 9,81 m/s^2. Auf der Sonne wäre das ein Vielfaches. Man sollte ihr daher also nicht nur wegen der Hitze zu nahe kommen!

$$g = \frac{m * G}{r^2}$$

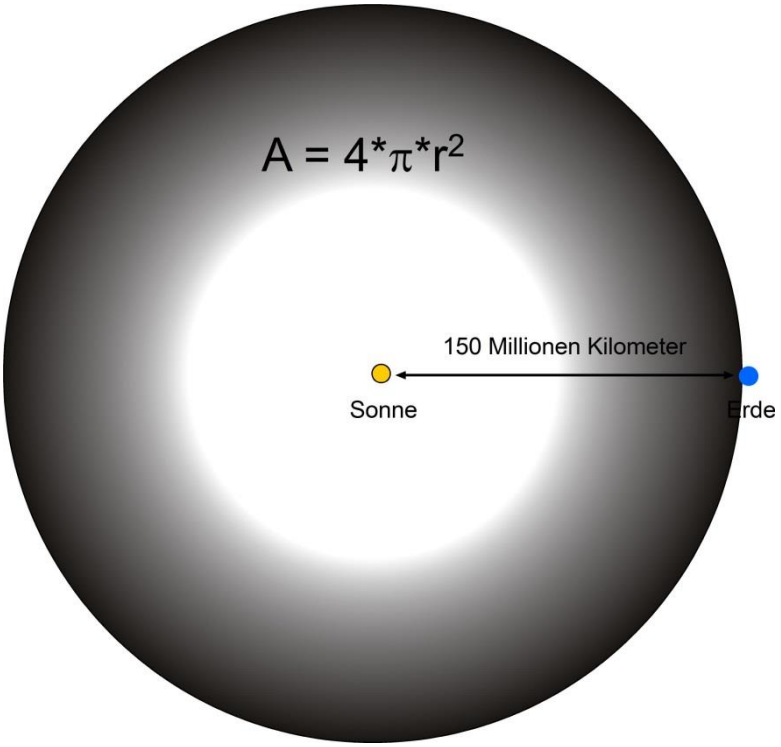
$$g_{Erde} = \frac{m_{Erde} * G}{{r_{Erde}}^2} = \frac{5{,}97 * 10^{24} kg * 6{,}67 * 10^{-11}}{6371000^2 m} = 9{,}81 m/s^2$$

$$g_{Sonne} = \frac{m_{Sonne} * G}{{r_{Sonne}}^2} = \frac{1{,}99 * 10^{30} kg * 6{,}67 * 10^{-11}}{696342000^2 m} = 273{,}7 m/s^2$$

Warum ist es wichtig, diese Größenverhältnisse zu kennen?

- Wäre die Sonne nicht so "schwer" würde die Erde nicht um sie kreisen können.
- Ohne die gleichmäßige Bewegung um die Sonne hätte sich das Leben auf der Erde wohl nicht in der Form entwickelt wie wir es heute kennen und schätzen.
- Die große Masse der Sonne und die damit verbundene Gravitation ("Schwerkraft") schafft die Bedingung für ihre Energieabgabe und damit ihr Leuchten.
- Die im Vergleich zu anderen Sternen geringe Sonnenmasse macht sie zu einem "ruhigen" Stern auf den wir uns energetisch noch relativ lange verlassen können.

In einem Plakat haben wir in den neunziger Jahren versucht, die Sonne als ein "freundliches" und glücklicherweise weit entferntes Kernkraftwerk darzustellen:



Können wir, rund 150 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt aus der auf die Erde fallenden Strahlung schließen, wie viel Leistung unser "Stern" pro Sekunde, pro Minute, pro Stunde oder pro Tag abgibt?
Nehmen wir an, zwischen Sonne und Erde ginge keine Energie verloren und auf die Erde falle bei senkrechter Einstrahlung eine Leistung von 1000 Watt pro Quadratmeter.

Denken wir uns eine Kugel mit der Sonne als Mittelpunkt und dem Radius 150 Millionen Kilometer, also der Distanz Sonne - Erde. Die Kugel hätte eine Oberfläche von

$$A_{(Kugel)} = 4 * \pi * r^2$$

$$A_{(Kugel)} = 4 * \pi * 150000000^2 km \sim 280 * 10^{15}\ km^2$$

Die Erde befände sich irgendwo auf dieser 280 Billiarden Quadratkilometer großen Kugel.

Da 1 km^2 einer Million Quadratmeter entspricht sind das 280 *10^{21} m^2, oder in Worten:

280 Trilliarden Quadratmeter

Wenn auf der Erde jeder Quadratmeter 1000 Watt empfängt errechnet sich auf diese Weise eine Gesamtleistung von

280 Quadrillionen Watt

Tatsächlich empfängt die Erde außerhalb der Atmosphäre nicht 1000 sondern 1367 W/m^2. Die tatsächliche Gesamtstrahlung der Sonne, von Physikern errechnet und in astronomischen Handbüchern oder bei Wikipedia nachschlagbar, beträgt damit 3,846 × 10^{26} W oder 3,846 × 10^{23} kW. also

385 Quadrillionen Watt

Die Oberfläche der Sonne ergibt sich aus ihrem Radius:

$$A = 4 * \pi * r^2$$

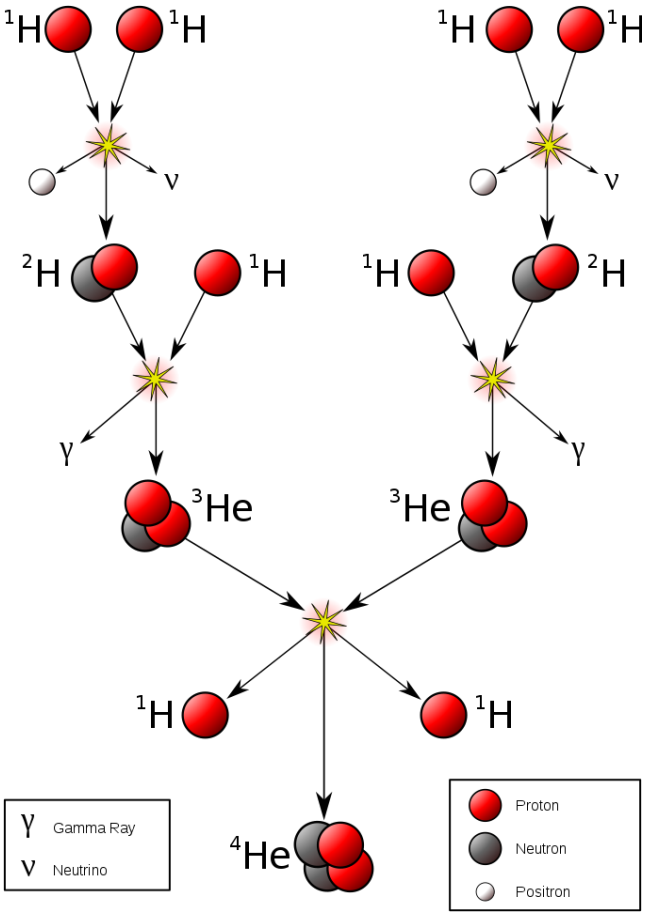
$$A = 4 * \pi * (696342km)^2 = 6{,}09 * 10^{12} km^2 = 6{,}09 * 10^{18} m^2$$

Die Strahlungsleistung der Sonne (3,846 × 10^{26} W) heruntergerechnet auf einen Quadratmeter ihrer Oberfläche ergibt:

$$P_{m^2} = \frac{P_{Sonne}}{A_{Sonne}} = \frac{3{,}846 * 10^{26}\mathrm{W}}{6{,}09 * 10^{18} m^2} \sim 6{,}3 * 10^6\mathrm{W}$$

Das sind 63 Megawatt pro Quadratmeter!

Dieser Zusammenhang erhält uns am Leben: $E = m * c^2$



https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrennen#/media/File:FusionintheSun.svg

Im Zentrum der herrschen extrem hohe Temperaturen (15 Millionen Kelvin) und gewaltiger Druck (200 Milliarden bar).
Im Kern hat 1 cm^3 eine Masse von 150g!

Unter diesen Bedingungen verliert der Wasserstoffkern sein Elektron und kann mit anderen Wasserstoffkernen fusionieren.

Ein unter den Druck- und Temperaturbedingungen im Sonnenkern mögliches Ergebnis des "Wasserstoffbrennens" ist Helium.

Der Heliumkern hat eine geringfügig geringere Masse als die vier am Fusionsprozess beteiligten wasserstoffkerne

- Wasserstoff 1,008
- 4 x H = 4,032
- Helium 4,002602

Die Massendifferenz von 0,029398 Atommassen wird als Energie abgestrahlt.

Die Einstein´sche Formel

$$E = m * c^2$$

heißt, dass wenn Masse in Energie verwandelt wird, die Energie *E* das Produkt der Masse *m* mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit *c* ist

- *E* (Energie, J)
- *m* (Masse, kg)
- *c* (Lichtgeschwindigkeit, 300000000 m/s)

Wie viel Wasserstoff verwandelt die Sonne pro Sekunde in Helium?

$$m = \frac{E}{c^2}$$

Die Strahlungsleistung der Sonne beträgt $3{,}846 \times 10^{26}$ W,

d.h. die Sonne gibt $3{,}846 \times 10^{26}$ Joule pro Sekunde ab.

$$m = \frac{3{,}864 * 10^{26}}{(3 * 10^8 m/s)^2} = 4273333333\text{kg}$$

Das heißt: Die Sonne verliert Sekunde für Sekunde 4,27 Millionen Tonnen Masse.

Dabei werden

$$\frac{x}{4{,}27} = \frac{4{,}032}{0{,}029398}$$

= 585,6 Millionen Tonnen Wasserstoff in Helium verwandelt.

Nach Wikipedia werden "… in jeder Sekunde etwa 564 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 560 Millionen Tonnen Helium „verschmolzen“ , wobei "der Massendefekt also 4 Millionen Tonnen beträgt".

https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrennen

Das was im Kern der Sonne geschieht könnten wir nicht sehen, selbst wenn seine Umgebung durchsichtig wäre. Das für 15 Millionen Kelvin typische Maximum der Strahlungskurve liegt im für uns i Bereich der extrem kurzwelligen, unsichtbaren und absolut tödlichen Gammastrahlen.

Auf dem langen und zickzackförmigen Weg zwischen der Energieerzeugung im Zentrum und der Abstrahlung an der Oberfläche geht viel Energie verloren so dass die Temperatur auf etwa 6000 K abfällt. Die am heutigen Tage empfangene Sonnenenergie ist statistisch gesehen ("Random Walk") irgendwann vor 10000 bis 170000 Jahren entstanden.

So viel ihrer Masse "schenkt" uns die Sonne…

In Deutschland wurden 2016 etwa 38,1 Terawattstunden Strom durch Photovoltaik erzeugt. (https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik_in_Deutschland). Aus wie viel Sonnenmasse entstand diese Energie?

- 1 TWh sind 1 Billion Wattstunden.
- 1 Wattstunde sind 3600 Wattsekunden oder 3600 Joule

$$E = m * c^2$$

- *E* (Energie, J)
- *m* (Masse, kg)
- *c* (Lichtgeschwindigkeit, 300000000 m/s)

$$m = \frac{E}{c^2}$$

$$m = \frac{38{,}1 * 10^{12} * 3600J}{(3 * 10^8 m/s)^2} \sim 1{,}5\text{kg}$$