Schulbiologie zentrum Hannover

# Neues aus dem Energiegarten…

# Wie viel Leistung strahlt die Sonne ins All?


Ein einfaches Solar-Wattmeter, etwa das Gerät aus dem im Schulbiologiezentrum ausleihbaren IKS "Solartrainer" zeigt, dass eine zur Sonnenstrahlung senkrechte Fläche von einem Quadratmeter etwa 1000 Watt Leistung empfängt (1 $KW/m^2$).

Können wir, rund 150 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt aus diesem Messergebnis schließen, wie viel Leistung unser "Stern" pro Sekunde, pro Minute, pro Stunde oder pro Tag abgibt?

Ja, wir können!

Auf dem das Sonnensystem im Miniformat darstellenden Planetenpfad des Schulbiologiezentrums erkennt man die Größenverhältnisse im Sonnensystem: Einem Golfball als Modellsonne (42 mm) steht eine stecknadelkopfgroße Modellerde (rechnerisch 0,385 mm) gegenüber. Der Abstand der beiden beträgt 4,5 m.

| | |
|---|---|
| Erde Ø (Äquator): 12,757 x $10^3$ km<br>Sonne Ø (Äquator): 1,392 × $10^6$ km<br>Golfball: Ø 42 mm<br>Erde Ø? | 12,757 x $10^3$ km / 1,392 × $10^6$ km = x / 42 mm<br>X = 0,385 mm<br>Erde Ø = 0,385 mm |
| Mittlere Distanz Sonne - Erde: 1,496 × $10^8$ km<br>Sonne Ø (Äquator): 1,392 × $10^6$ km<br>Golfball: Ø 42 mm<br>Distanz Sonne - Erde (Modell)? | 1,496 × $10^8$ km / 1,392 × $10^6$ km = x / 4,2 cm<br>X = 450,1 cm<br>Distanz Sonne Erde (Modell): 4,5 m |

Ausgehend vom gemessenen Wert 1 $kW/m^2$ können wir versuchen mit einem Taschenrechner herausfinden, welche Leistung die Sonne an ihrer Oberfläche abgibt. Und das, ohne ihr nahe zu kommen und uns die Finger zu verbrennen!

Die Idee: Wir stellen uns eine Kugel vor, deren Mittelpunkt die Sonne ist. Der Radius dieser Kugel entspricht der Entfernung Sonne - Erde.

- Wie groß ist die Oberfläche dieser gedachten Kugel?
- Wie groß ist die Erde im Verhältnis zu dieser Kugel?

Da ich weiß, wie viel Leistung auf der Erde ankommt kann ich - unter der Annahme das auf dem Wege von der Sonne zur Oberfläche der gedachten Kugel (und damit der Erde!) keine Energie verloren geht - berechnen, wie viel Leistung die Sonne abgibt. Die Ungenauigkeiten bei dieser Rechnung sind zu verschmerzen, zumal auch der Wert 1 kW/m$^2$ noch einer näheren Betrachtung bedarf. Jeder der einmal der Frage nachgegangen ist, um welche Länge ein den dem Äquator umspannendes Seil länger bzw. kürzer wäre wenn die Erde nur wenig dicker oder dünner würde kennt das Problem. Geringfügig abweichende Grundwerte können beim Rechnen zu großen Unterschieden führen. Daher: Hier geht es zunächst nur um Größenordnungen und den Versuch, das Rechnen mit großen Zahlen zu üben…

Der Versuch kann mit astronomischen Daten nachgeholt werden und liefert genauere Ergebnisse!

Schritt 1:

Oberfläche der gedachten Kugel mit dem Radius 450 cm= Entfernung Modellsonne - Modellerde

Kugeloberfläche $A_{O(\text{gedachte Kugel})} = 4\pi r^2 \rightarrow 4\pi \cdot 450^2$ cm = 2544690 cm$^2$ = 254469000 mm$^2$

(rund 254,5 m$^2$ entsprechend einer quadratische Fläche mit fast 16 m Seitenlänge!)

Schritt 2

Querschnittsfläche der Modell-Erde (Ø 0,385 mm, r = 0,193)

Querschnittsfläche $A_{(\text{Stecknadelkopf})} = \pi r^2 = 0{,}116$ mm$^2$

Schritt 3

Querschnittsfläche Kugeloberfläche $A_{O(\text{gedachte Kugel})}$ und $A_{E(\text{Stecknadelkopf})}$ ins Verhältnis setzen:

254469000 mm$^2$ / 0,116 mm$^2$ = 2193698276 = $2{,}19 \times 10^9$

→ Die Erde würde danach etwa 2,2 Milliarden Mal auf die gedachte Kugel passen (oder man könnte 2,2 Milliarden kleiner Stecknadelkopf-"Erden" auf eine Fläche von 16 x 16 m streuen…)

Schritt 4

Jetzt müssen wir mit dem Durchmesser bzw. Radius der "richtigen" Erde rechnen und - damit die Zahlen auf das Taschenrechner-Display passen - mit Potenzen:

$d_{(\text{Erde})}$ = 12756 km, $r_{(\text{Erde})}$ 6378 km =

Querschnittsfläche der Erde $A_{Q(\text{Erde})} = \pi r^2 = 1{,}278 \times 10^8$ km$^2$ = $1{,}278 \times 10^{14}$ m$^2$

Bei senkrechter Einstrahlung und 1 kW/m$^2$ fallen $1{,}278 \times 10^{14}$ kW auf die Querschnittsfläche der Erde und auf die gedachte Kugel etwa 2,2 Milliarden Mal so viel, also $2{,}804 \times 10^{23}$ KW

Aufgerundet erhalten wir eine 280 mit 21 Nullen und wenn - was wir der Einfachheit einmal annehmen - auf dem Weg von der Sonne zur der auf der gedachten Kugeloberfläche kreisenden Erde keine Energie verloren ginge wären wir am Ende der Rechnung:

$280 \times 10^{21}$ = 280.000.000.000.000.000.000.000 KW oder 280 Trilliarden Watt

Fachleute sagen 280 Zettawatt.

Die tatsächliche Leuchtkraft der Sonne, von Physikern errechnet und in astronomischen Handbüchern oder bei Wikipedia nachschlagbar beträgt $3{,}846 \times 10^{26}$ W oder $3{,}846 \times 10^{23}$ kW

$385 \times 10^{21}$ = 385.000.000.000.000.000.000.000 KW oder 385 Trilliarden Watt (385 Zettawatt)

Das Rechnen mit astronomischen Daten (Wikipedia) ergibt ein ähnliches Ergebnis:

Mittlere Entfernung Sonne Erde $1{,}496 \times 10^8$ km/
Kugeloberfläche $A_{O(\text{gedachte Kugel})} = 4\pi r^2 \rightarrow = 2{,}812 \times 10^{17}\ km^2 = 2{,}812 \times 10^{23}\ m^2$
Querschnittsfläche der Erde $A_{Q(\text{Erde})} = \pi r^2 = 1{,}278 \times 10^8\ km^2 = 1{,}278 \times 10^{14}\ m^2$
Quotient Kugeloberfläche $A_{O(\text{gedachte Kugel})}$ / $A_{O(\text{Erde})}$ :
$2{,}812 \times 10^{17}\ km^2 / 1{,}278 \times 10^8\ km^2 = 2{,}200312989 \times 10^9 = 2200312989$
→ Die Erde würde über 2,2 Milliarden Mal auf die gedachte Kugel passen
Bei 1 $kW/m^2$ fallen $1{,}278 \times 10^{14}$ kW auf die Querschnittsfläche der Erde und auf die gedachte Kugel etwa 2,2 Milliarden Mal so viel, also $2{,}812 \times 10^{23}$ kW

Errechnete Abstrahlung: $2{,}812 \times 10^{23}$ kW
Tatsächliche Abstrahlung: $3{,}846 \times 10^{23}$ kW

Also fast das 1,367fache unserer Rechnung!

Die Atmosphäre schwächt die Strahlungsleistung der Sonne. Im Weltall ist das Sonnenlicht weiß mit einem starken violetten und blauen Spektralanteil. Auf der Erde ist sie gelblich-weiß, große Teile der energiereichen ultravioletten Strahlen bleiben gewissermaßen "stecken". Je länger der Weg der Strahlung durch die Atmosphäre, desto mehr kurzwellige und energiereiche (blaue) Strahlen werden absorbiert und gestreut. Am Horizont steht eine "schwache" (relativ energiearme) rötliche oder rote Sonne. Der auf Meereshöhe gemessene Wert 1 $kW/m^2$ bei senkrechter Einstrahlung ist außerhalb der Atmosphäre um das 1,37fache höher.
Die so genannte Solarkonstante beträgt entsprechend dem Temperaturmaximum der Sonnenoberfläche und durch damit übereinstimmende Messungen 1,367 $kW/m^2$

Wenn wir jetzt statt mit 1 $KW/m^2$ mit der Solarkonstante 1,367 $kW/m^2$ rechnen fallen $1{,}747 \times 10^{14}$ kW auf die Querschnittsfläche der Erde und auf die gedachte Kugel etwa 2,2 Milliarden Mal so viel Leistung, also $3{,}843 \times 10^{23}$ kW.

Errechnete Abstrahlung: $3{,}843 \times 10^{23}$ kW
Tatsächliche Abstrahlung: $3{,}846 \times 10^{23}$ kW

Dieser Text ist Teil einer zur Zeit in Entstehung befindlichen Arbeitshilfe

Ingo Mennerich, Schulbiologiezentrum Hannover, Juni 2012