

Neues aus dem Energiegarten...

Bestimmen der solaren Tages-Durchschnittleistung ($\text{W}/\text{m}^2/\text{d}$)

und der eingestrahelten Energie ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d}$)



Der solare Leistungsmesser im Energiegarten zeigt, wie viel Leistung die Sonne gerade auf einen Quadratmeter "fallen" lässt.

Je kürzer der Schatten den der vertikale Stab auf den Messtisch fallen lässt, desto mehr Leistung.

Die Abstände der Ringe zum Schattenstab sind so berechnet, dass man die Leistung direkt ablesen kann:

Kein Schatten: 1000 Watt/m²

Erster Ring: 900 Watt/m²

Zweiter Ring: 800 Watt/m² usw.

Bestimmen der solaren Tages-Durchschnittleistung ($\text{W}/\text{m}^2/\text{d}$)

und der eingestrahelten Energie ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{d}$)

Mit den solaren Leistungsmessern lassen sich im Abstand von fünf oder zehn Minuten Werte aufnehmen und daraus die gesamte Tagessumme errechnen. Es wird aber kaum jemanden geben, der die Zeit dafür hat.

Unsere Abwandlung der von Hobbyastronomen verwendeten "Drehbaren Sternkarte" ermöglicht (geltend für Hannover) das grobe Verfolgen des Sonnenlaufs für jeden Tag im Jahr. Man muss nur Tag und Zeit einstellen und sieht, aus welcher Richtung (Azimut) die Sonne und wie hoch sie am Himmel steht. Mit der "Drehbaren Sonnenkarte" gelingt das auch bei bedecktem Himmel am Schreibtisch.

Die Arbeitshilfe 19.47 "Wann und wo geht die Sonne auf und unter und wie hoch steht sie etwa über dem Horizont? Eine einfache Orientierungshilfe zum Selbstbau" (mit Schnittmuster) finden Sie unter www.schulbiologiezentrum.info ("Arbeitshilfen" / "Natur und Technik")

Man kann den Tagesgang auch mathematisch berechnen ("2 x halber Tagbogen"). Die Berechnung der Winkelfunktionen der geographischen Breite und Länge, den im Laufe des Jahres schwankenden Deklinationswerten der Sonne ist aber recht kompliziert.

Im Internet stehen auf mathematischen Formeln basierende Anwendungen ("tools") bereit. Hier kann man Ort und Datum eingeben und erhält grafische Darstellungen des Tagesgangs inklusive Höhe und Azimut (Richtung), zum Beispiel bei "SunEarthTools" oder "Gaisma".

Wir haben hier das Astronomieprogramm "Redshift 4" benutzt und den Sonnenstand (Horizontwinkel α) in Hannover im 10 Minutenrhythmus für den längsten und den kürzesten Tag des Jahres protokolliert, daraus

mit EXCEL nach der Formel $P_{\max}/m^2 = 1000 \text{ W} \times \sin \alpha$ für jeden Zeitabschnitt die Leistung in Watt/m² und die Energie in Wattsekunden (Ws = J) bestimmt (10 Minuten = 10 x 60s = 600s).

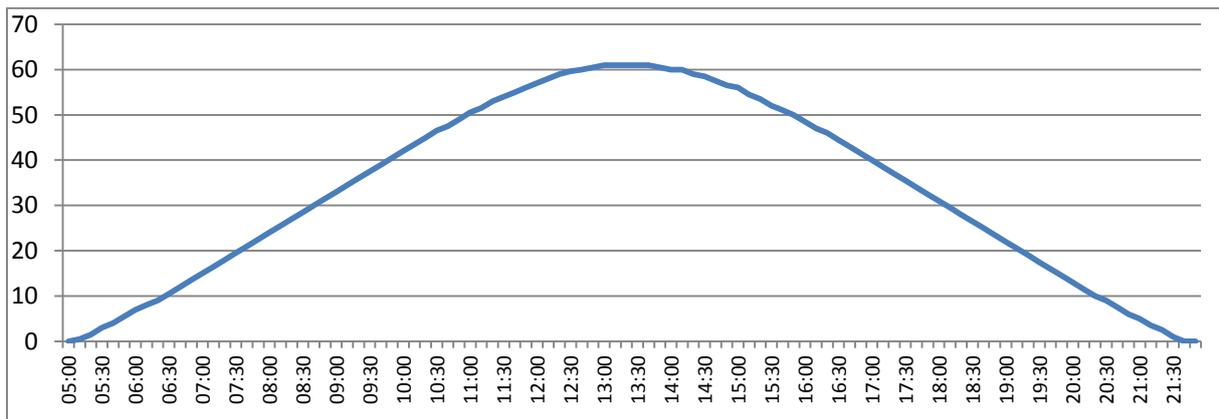
Aus der Summe der 10-minütigen Segmente lässt sich die Gesamtenergie eines Tages ermitteln.

21.06.12:

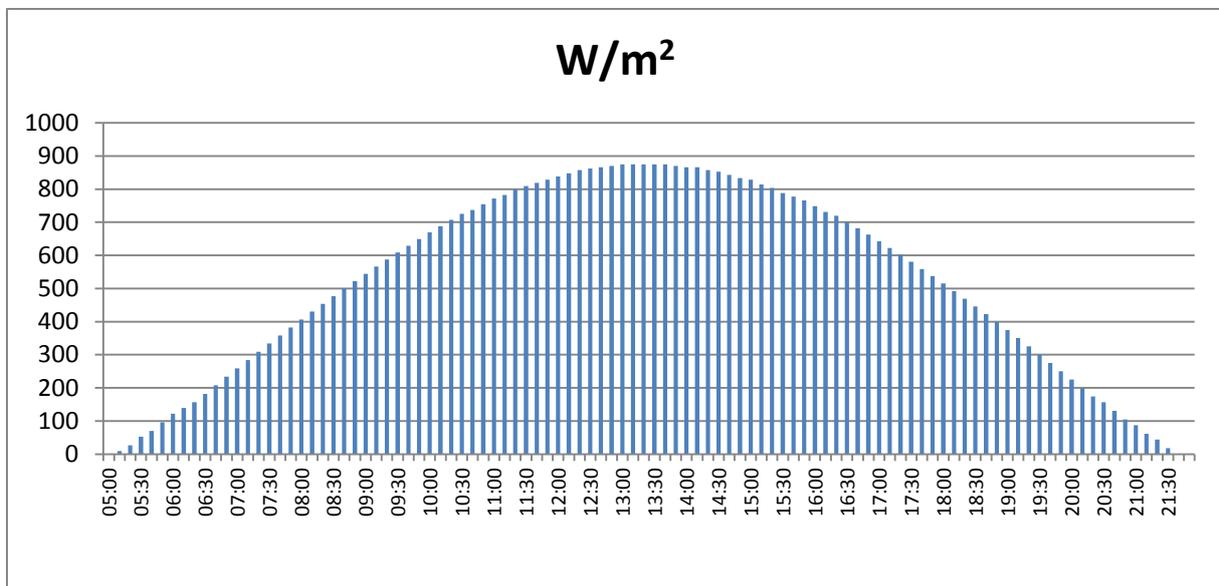
21.06.12	Hannover 09°44' O 52°22' N		
SA: 04:58 SU:21:47 MESZ			

Zeit MESZ	Winkelhöhe α	Sinus α	Watt/m ²		Zeit MESZ	Winkelhöhe α	Sinus α	Watt/m ²
05:00	0	0	0		13:30	61	0,87461971	874,619707
05:10	0,5	0,00872654	8,7265355		13:40	61	0,87461971	874,619707
05:20	1,5	0,02617695	26,1769483		13:50	60,5	0,8703557	870,355696
05:30	3	0,05233596	52,3359562		14:00	60	0,8660254	866,025404
05:40	4	0,06975647	69,7564737		14:10	60	0,8660254	866,025404
05:50	5,5	0,09584575	95,8457525		14:20	59	0,8571673	857,167301
06:00	7	0,12186934	121,869343		14:30	58,5	0,85264016	852,640164
06:10	8	0,1391731	139,173101		14:40	57,5	0,84339145	843,391446
06:20	9	0,15643447	156,434465		14:50	56,5	0,83388582	833,885822
06:30	10,5	0,18223553	182,235525		15:00	56	0,82903757	829,037573
06:40	12	0,20791169	207,911691		15:10	54,5	0,81411552	814,115518
06:50	13,5	0,23344536	233,445364		15:20	53,5	0,80385686	803,856861
07:00	15	0,25881905	258,819045		15:30	52	0,78801075	788,010754
07:10	16,5	0,28401534	284,015345		15:40	51	0,77714596	777,145961
07:20	18	0,30901699	309,016994		15:50	50	0,76604444	766,044443
07:30	19,5	0,33380686	333,806859		16:00	48,5	0,74895572	748,955721
07:40	21	0,35836795	358,36795		16:10	47	0,7313537	731,353702
07:50	22,5	0,38268343	382,683432		16:20	46	0,7193398	719,3398
08:00	24	0,40673664	406,736643		16:30	44,5	0,70090926	700,909264
08:10	25,5	0,4305111	430,511097		16:40	43	0,68199836	681,99836
08:20	27	0,4539905	453,9905		16:50	41,5	0,66262005	662,620048
08:30	28,5	0,47715876	477,15876		17:00	40	0,64278761	642,78761
08:40	30	0,5	500		17:10	38,5	0,62251464	622,514637
08:50	31,5	0,52249856	522,498565		17:20	37	0,60181502	601,815023
09:00	33	0,54463904	544,639035		17:30	35,5	0,58070296	580,702956
09:10	34,5	0,56640624	566,406237		17:40	34	0,5591929	559,192903
09:20	36	0,58778525	587,785252		17:50	32,5	0,53729961	537,299608
09:30	37,5	0,60876143	608,761429		18:00	31	0,51503807	515,038075
09:40	39	0,62932039	629,320391		18:10	29,5	0,49242356	492,42356
09:50	40,5	0,64944805	649,448048		18:20	28	0,46947156	469,471563
10:00	42	0,66913061	669,130606		18:30	26,5	0,44619781	446,197813
10:10	43,5	0,68835458	688,354576		18:40	25	0,42261826	422,618262
10:20	45	0,70710678	707,106781		18:50	23,5	0,39874907	398,749069
10:30	46,5	0,72537437	725,374371		19:00	22	0,37460659	374,606593
10:40	47,5	0,73727734	737,277337		19:10	20,5	0,35020738	350,207381
10:50	49	0,75470958	754,70958		19:20	19	0,32556815	325,568154
11:00	50,5	0,77162458	771,624583		19:30	17,5	0,3007058	300,7058
11:10	51,5	0,78260816	782,608157		19:40	16	0,27563736	275,637356
11:20	53	0,79863551	798,63551		19:50	14,5	0,25038	250,380004
11:30	54	0,80901699	809,016994		20:00	13	0,22495105	224,951054
11:40	55	0,81915204	819,152044		20:10	11,5	0,19936793	199,367934
11:50	56	0,82903757	829,037573		20:20	10	0,17364818	173,648178
12:00	57	0,83867057	838,670568		20:30	9	0,15643447	156,434465
12:10	58	0,8480481	848,048096		20:40	7,5	0,13052619	130,526192
12:20	59	0,8571673	857,167301		20:50	6	0,10452846	104,528463
12:30	59,6	0,86251367	862,513669		21:00	5	0,08715574	87,1557427
12:40	60	0,8660254	866,025404		21:10	3,5	0,06104854	61,0485395
12:50	60,5	0,8703557	870,355696		21:20	2,5	0,04361939	43,6193874
13:00	61	0,87461971	874,619707		21:30	1	0,01745241	17,4524064
13:10	61	0,87461971	874,619707		21:40	0	0	0
13:20	61	0,87461971	874,619707		21:50	0	0	0

Höhe der Sonne über dem Horizont in Grad (Horizontwinkel), 21.06.12



Auf einen Quadratmeter Erdoberfläche von der Sonne eingestrahelte Leistung, 21.06.12



Die für jeweils 10minütige Segmente gemittelten Leistungen (W/m^2) werden in Wattsekunden (Ws) umgerechnet. 10 Minuten sind 600 Sekunden. Die Tagessumme beläuft sich auf 31549987,26 Ws (=J), geteilt durch 3600s also 8763,9 Wh oder 8,7 kWh/ m^2/d .

Man kann aus den Einzelwerten (W/m^2) natürlich auch den Tagesdurchschnitt berechnen:

515,5 W/m^2 multipliziert mit der Tageslänge (16 h 49 min = 60540s) ergibt 31208370 Ws,

Da eine Wattstunde (Wh) 3600 Ws entspricht errechnen sich 8669 Wh/ m^2/d oder etwa 8,7 kWh/ m^2/d .

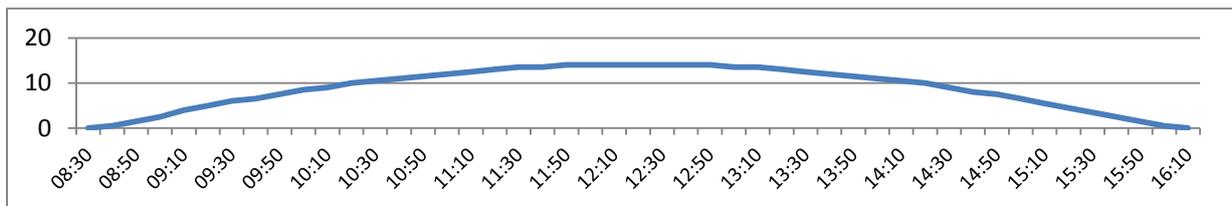
Das heißt, als "Auffangfläche" für eine kWh reicht am längsten Tag des Jahres eine Fläche von etwa $1/9 m^2$ (etwa 33 x 33 cm).

21.12.12:

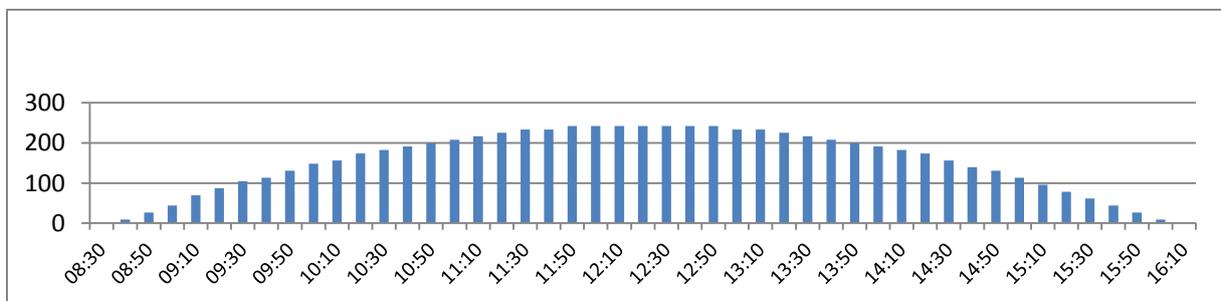
21.12.12	Hannover 09°44' O 52°22' N		
SA: 08:28 SU:16:09 MEZ			

Zeit MEZ	Winkelhöhe α	Sinus α	Watt/m ²	Zeit MEZ	Winkelhöhe α	Sinus α	Watt/m ²
08:30	0	0	0	12:30	14	0,2419219	241,921896
08:40	0,5	0,00872654	8,7265355	12:40	14	0,2419219	241,921896
08:50	1,5	0,02617695	26,1769483	12:50	14	0,2419219	241,921896
09:00	2,5	0,04361939	43,6193874	13:00	13,5	0,23344536	233,445364
09:10	4	0,06975647	69,7564737	13:10	13,5	0,23344536	233,445364
09:20	5	0,08715574	87,1557427	13:20	13	0,22495105	224,951054
09:30	6	0,10452846	104,528463	13:30	12,5	0,21643961	216,439614
09:40	6,5	0,11320321	113,203214	13:40	12	0,20791169	207,911691
09:50	7,5	0,13052619	130,526192	13:50	11,5	0,19936793	199,367934
10:00	8,5	0,14780941	147,809411	14:00	11	0,190809	190,808995
10:10	9	0,15643447	156,434465	14:10	10,5	0,18223553	182,235525
10:20	10	0,17364818	173,648178	14:20	10	0,17364818	173,648178
10:30	10,5	0,18223553	182,235525	14:30	9	0,15643447	156,434465
10:40	11	0,190809	190,808995	14:40	8	0,1391731	139,173101
10:50	11,5	0,19936793	199,367934	14:50	7,5	0,13052619	130,526192
11:00	12	0,20791169	207,911691	15:00	6,5	0,11320321	113,203214
11:10	12,5	0,21643961	216,439614	15:10	5,5	0,09584575	95,8457525
11:20	13	0,22495105	224,951054	15:20	4,5	0,0784591	78,4590957
11:30	13,5	0,23344536	233,445364	15:30	3,5	0,06104854	61,0485395
11:40	13,5	0,23344536	233,445364	15:40	2,5	0,04361939	43,6193874
11:50	14	0,2419219	241,921896	15:50	1,5	0,02617695	26,1769483
12:00	14	0,2419219	241,921896	16:00	0,5	0,00872654	8,7265355
12:10	14	0,2419219	241,921896	16:10	0	0	0
12:20	14	0,2419219	241,921896				

Höhe der Sonne über dem Horizont in Grad (Horizontwinkel), 21.12.12



Auf einen Quadratmeter Erdoberfläche von der Sonne eingestrahelte Leistung, 21.12.12



Die Summe der jeweiligen, für 10minütige Segmente gemittelten Leistung (W/m²) beläuft sich auf 4295466,464 Ws, geteilt durch 3600 also 1193,2 Wh/m²/d oder 1,2 kWh/m²/d.

Der Mittelwert der Einzelwerte beträgt 152,2 W/m²/d, multipliziert mit der Tageslänge von 7 h 41 min (27660s) ergeben sich 4212618 Ws oder 1170,2 Wh/m²/d gleich 1,2 kWh/m²/d.

Als "Auffangfläche" für eine kWh ist am kürzesten Tag des Jahres eine Fläche von etwa 1 m² nötig.

Das Tagesmittel schwankt im Laufe des Jahres sinusförmig zwischen 1,2 kWh/m²/d im Winter und 8,7 kWh/m²/d im Sommer mit einer Jahresamplitude von 7,5 kWh/m²/d und einem Jahres- Mittelwert von 4,95 kWh/m²/d.

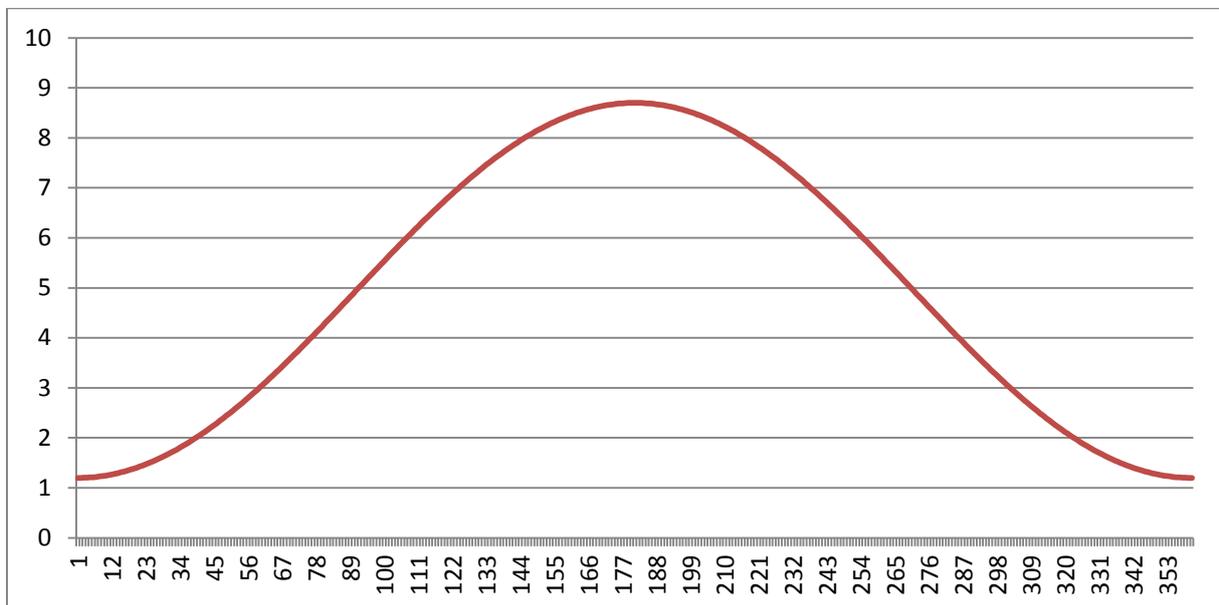
Jahresverlauf der solaren Energiewerte (kWh/m²/d)

Die Zahlen auf der x-Achse entsprechen (nahezu) dem Julianischen Datum, d.h. der Anzahl der Tage nach dem Jahreswechsel.

Berechnung (EXCEL)

Halbe Jahresamplitude x sin(Höhenwinkel-90°) + Jahresmittelwert

$$3,75 \times \sin(\alpha - 90) + 4,95$$



Dieser Text ist Teil einer zur Zeit in Entstehung befindlichen Arbeitshilfe

Ingo Mennerich, Schulbiologiezentrum Hannover, Juni 2012