

Das Sonnenstrahlungsangebot in Deutschland

Von Dr. Fritz Kasten, Hamburg

Für die Planung und Auslegung wirtschaftlich arbeitender Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie werden Daten über das zu erwartende Angebot an einfallender Strahlung benötigt. Die Leistung der auf die Erdoberfläche auftreffenden Sonnenstrahlung hängt einerseits von astronomischen und geographischen, andererseits von meteorologischen Parametern ab¹⁾.

Die astronomischen Parameter sind durch die elliptische Bahn der Erde um die Sonne im Verlaufe eines Jahres und durch die Drehung der Erde um ihre eigene Achse während eines Tages (24 h) bedingt. Zusammen mit der geographischen Breite des betreffenden Ortes bestimmen sie die augenblickliche Sonnenhöhe, d. h. den Winkelabstand der Sonne über dem Horizont, sowie die Tageslänge von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang an dem betreffenden Tag. Für einen Ort mit bekannter geographischer Breite läßt sich die augenblickliche Sonnenhöhe aus Jahreszeit (Datum) und der Tageszeit berechnen, für die Tageslänge genügt das Datum.

Die meteorologischen Parameter beschreiben die Schwächung der Sonnenstrahlung auf ihrem Wege durch die Atmosphäre. Sie sind u. a. von dem Wetter bestimmt, das im Augenblick an dem betreffenden Ort herrscht, oder im langjährigen Mittel vom Klima des betreffenden Ortes. Die Schwächung der von der Sonne quasi-parallel einfallenden Strahlung erfolgt durch Streuung, d. h. Ablenkung ihrer Richtung, und durch Absorption, d. h. Umwandlung in andere Energieformen, insbesondere Wärme.

Die Streuung der Sonnenstrahlung findet vor allem an den Molekülen der Luft statt, aber auch an den Staubteilchen in der Atmosphäre, den sogenannten Aerosolpartikeln, und an den Tröpfchen und Eiskristallen, aus denen die Wolken bestehen. Diese nach allen Richtungen gestreute Sonnenstrahlung geht teils zurück in den Weltraum, erreicht aber zum Teil auch die Erdoberfläche und sorgt als sogenannte diffuse Himmelsstrahlung dafür, daß uns der Himmel hell erscheint.

Absorption erleidet die Sonnenstrahlung vor allem in bestimmten Gasen, die der reinen Atmosphäre stets beigemengt sind, insbesondere in Ozon und Wasserdampf, sowie in den Aerosolpartikeln und auch in den Wolkenpartikeln. Die absorbierte Energie geht der Sonnenstrahlung verloren.

Auf die Erdoberfläche fallen somit zwei solare Strahlungsflüsse ein: der

nach Streuung und Absorption verbliebene Rest der von der Sonne kommenden Parallelstrahlung, der als direkte Sonnenstrahlung S , und ein Teil der gestreuten Sonnenstrahlung, der als diffuse Himmelsstrahlung D bezeichnet wird. Die Summe von beiden, also die aus dem gesamten Halbraum über der horizontalen Empfangsfläche am Erdboden einfallende solare Strahlung, nennt man Globalstrahlung $G = S + D$.

Da die Globalstrahlung infolge wechselnder Bewölkung häufig stark schwankt, summiert man ihre Leistung pro Flächeneinheit, in W/m^2 , über 1 Stunde oder über 1 Tag auf und nennt die so erhaltenen Energien pro Flächeneinheit, in J/m^2 oder kWh/m^2 , Stundensummen bzw. Tagessummen der Globalstrahlung G . Für die Leistung pro Flächeneinheit = Bestrah-

lungsstärke ist zur Unterscheidung das Symbol \dot{G} vorgeschlagen worden.

Mittlere jährliche Sonnenscheindauer

Die Gewinnung zuverlässiger Daten der Globalstrahlung erfordert einigen meßtechnischen Aufwand und kritische Sorgfalt bei der Datenaufbereitung und -verarbeitung²⁾. Daher wurden langjährige Meßreihen der Globalstrahlung bisher nur an einigen ausgesuchten Stationen bzw. Observatorien der nationalen Wetterdienste durchgeführt. Erst die Anforderungen von Seiten der Sonnenenergienutzung haben sowohl den Bedarf an einem möglichst engmaschigen Globalstrahlungsmessnetz als auch die dazu notwendigen Mittel gesteigert³⁾.

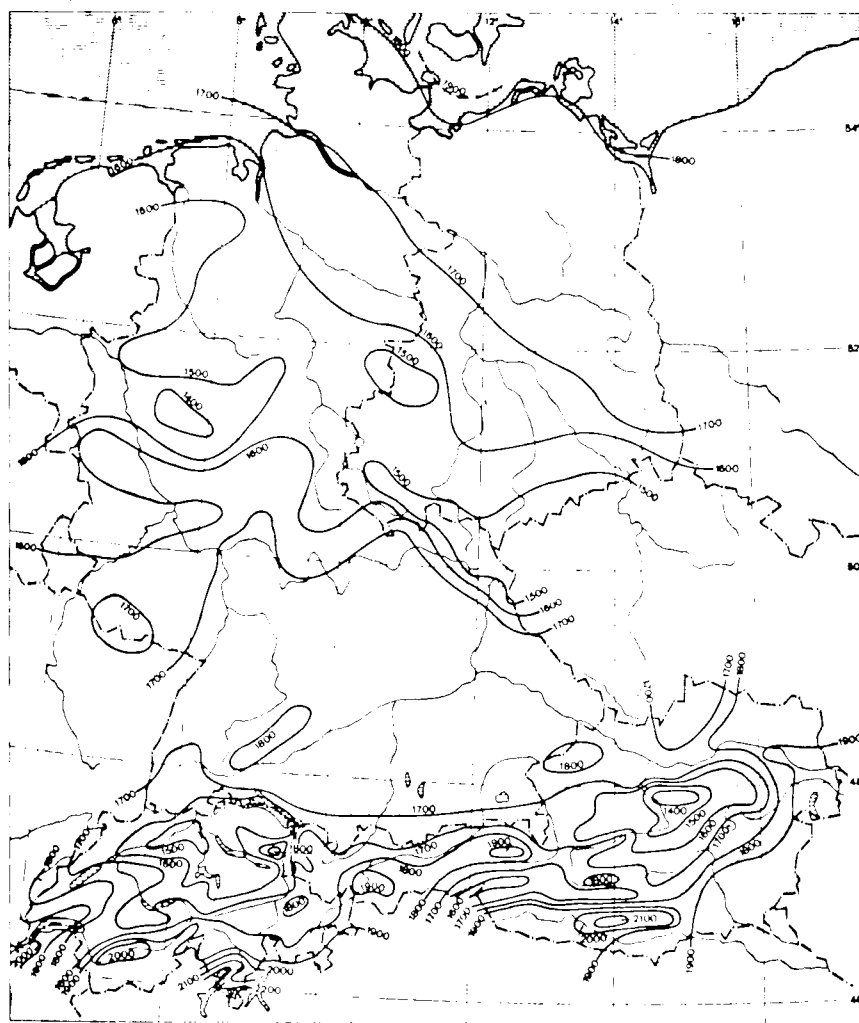


Bild 1: Mittlere jährliche Sonnenscheindauer in Stunden, 1931-1960

(Schüpp und Schirmer)

Fachbeiträge

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Monatssummen von ss												
Maximum	101,8	100,6	182,1	238,1	299,9	325,8	288,3	245,9	239,8	235,7	69,2	62,9
Mittel	46,6	61,4	116,0	168,9	209,5	232,5	205,2	185,9	157,7	98,1	45,7	32,2
Minimum	13,7	34,3	61,7	100,7	121,7	139,5	136,5	127,6	88,8	44,0	14,0	9,8
Monatliche Höchstwerte von ss												
Maximum	7,8	9,7	11,7	13,6	15,5	16,2	16,1	14,0	12,9	11,0	8,2	7,2
Mittel	6,8	8,6	10,5	12,6	14,1	14,9	14,4	12,8	11,3	9,0	6,6	5,5
Minimum	5,5	5,6	9,2	10,8	8,5	10,6	11,9	10,8	9,8	6,6	3,9	2,1
Anzahl der Tage pro Monat mit ss 1 h												
Maximum	20	20	26	30	30	29	31	30	29	29	16	14
Mittel	10,9	13,4	19,8	23,9	26,6	26,8	27,6	27,3	25,1	19,3	11,9	9,3
Minimum	4	6	13	14	22	23	25	25	19	11	5	5
Anzahl der Tage pro Monat mit ss 5 h												
Maximum	11	12	20	24	24	26	26	22	25	24	8	6
Mittel	4,3	5,5	11,1	15,8	19,0	20,3	18,5	17,5	15,4	8,8	3,2	1,9
Minimum	1	2	5	9	13	11	12	10	8	3	0	0
Anzahl der Tage pro Monat mit ss 10 h												
Maximum	0	0	6	11	18	20	15	15	11	5	0	0
Mittel	0	0	2,0	6,0	8,8	11,3	7,7	6,0	3,7	0,6	0	0
Minimum	0	0	0	1	0	2	2	1	0	0	0	0

Tabelle 1: Monatssummen und monatliche Höchstwerte der täglichen Sonnenscheindauer ss in Stunden (h) sowie Häufigkeit von ss oberhalb vorgegebener Mindestwerte in Hamburg, 1951 bis 1970 (Mohr und Helmiss)

Demgegenüber wurde bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts begonnen, die tägliche Sonnenscheindauer mit Hilfe des ebenso ingeniosen wie einfachen Helioautographen nach *Campbell-Stokes* ⁴⁾ zu messen und im Laufe der Zeit immer mehr Stationen mit diesem Gerät auszurüsten. Das verhältnismäßig engmaschige Netz dieser Stationen erlaubte, eine Karte mit Isolinen der mittleren jährlichen Sonnenscheindauer in Mitteleuropa zu zeichnen ⁵⁾ (Bild 1). Man erkennt ein Minimum über dem rheinisch-westfälischen Industriegebiet, das wahrscheinlich von der Dunsttrübung herrührt, weitere Minima über den Mittelgebirgen, deren Stationen häufig von Wolken eingehüllt sind, und im Salzburger Land, das durch seinen "Schnürlregen" infolge Wolkenstau am Alpenrand bekannt ist.

Beispielwerte für Hamburg

Wesentlich detailliertere Informationen lassen sich durch gezielte statistische Bearbeitung gewinnen, wie sie jetzt u. a. für Hamburg vorliegen ⁶⁾. Tabelle 1 beschreibt die mittlere Sonnenscheindauer in den einzelnen Monaten in Hamburg. In den ersten drei Zeilen sind der Reihe nach die höchste, die mittlere und die niedrigste monatliche Sonnenscheindauer angegeben, die in den 20 Jahren des betrachteten Zeitraums 1951 bis 1970 in dem betreffenden Monat gemessen worden sind. Aus den angegebenen Zahlenwerten wird die starke, durch die Bewölkung bedingte Variabilität der Sonnenscheindauer von Jahr zu Jahr deutlich: Im Sommer kann die einzelne Monatssumme um bis zu 50 % über oder unter dem langjährigen Mittel liegen, im Winter sogar um mehr als 100 %; die ex-

trem niedrigen Winterwerte sind z. T. auf die Dunsttrübung zurückzuführen, die von der flach einfallenden Sonnenstrahlung nicht mehr durchdrungen wird.

Die nächsten drei Zeilen geben die monatlichen Höchstwerte der täglichen Sonnenscheindauer ss an, wiederum aufgeteilt nach Maximum, Mittel und Minimum. Im Juni z. B. ist die absolut höchste jemals im Zeitraum 1951 bis 1970 gemessene tägliche Sonnenscheindauer 16,2 h, der mittlere Höchstwert beträgt 14,9 h, und der niedrigste Juni-Höchstwert innerhalb dieses Zeitraums 10,6 h. Auch in der Variabilität dieser Höchstwerte spiegelt sich der Wechsel von sonnenscheinreichen und -armen Jahren wider.

Aussagen über die Wahrscheinlichkeit, daß die Sonne scheint, sind den übrigen Zeilen in Tabelle 1 zu entnehmen. Zunächst wird die Anzahl der Tage pro Monat angegeben, in denen die tägliche Sonnenscheindauer ss mindestens 1 h betrug, wieder für das "beste" Jahr (Maximum), dann im 20jährigen Mittel und schließlich für das "schlechteste" Jahr (Minimum) innerhalb 1951 bis 1970. Für die Anwendung wichtiger sind die nächsten drei Zeilen, die die entsprechenden Häufigkeiten von mindestens 5 h Sonnenschein enthalten; man beachte die "schwachen" Monate November bis Februar. Schließlich sind in den letzten drei Zeilen die entsprechenden Anzahlen für ss 10 h eingetragen. Hier fallen die Monate mit kurzen Tageslängen natürlich aus. Mit mindestens 6 h täglichem Sonnenschein kann man in Hamburg im Mittel von April bis August rechnen.

Zehnjahresmittel der Globalstrahlung

Für energetische Überlegungen und Anwendungen der Sonnenstrahlung ist die Sonnenscheindauer kein quantitatives Maß. Sie gibt zwar an, wann oder wie lange oder wie häufig direkte Sonnenstrahlung S an der Erdoberfläche empfangen wurde, jedoch nicht mit welcher Bestrahlungsstärke = Strahlungsleistung pro Flächeneinheit. 6 Stunden Sonnenschein an einem Dezembertage z. B. liefern nur einen Bruchteil der Energie von 6 Stunden Sonnenschein um die Mittagszeit im Juni. Außerdem wird der Beitrag der diffusen Himmelsstrahlung D zur Globalstrahlung G, der in unseren geographischen Breiten im Mittel zwischen rund 50 % im Sommer und rund 80 % im Winter liegt ⁷⁾, von der Messung der Sonnenscheindauer überhaupt nicht erfaßt.

Als Standardmaß für die energetische Wirkung der Sonnenstrahlung dient die Globalstrahlung $G = S + D$ auf die horizontale Empfangsfläche, aus der sich für spezielle Aufgabenstellungen die Globalstrahlung auf eine geneigt Empfangsfläche mittels geeigneter Rechenmethoden und unter bestimmten Annahmen, auf die hier nicht eingegangen werden kann, berechnen bzw. abschätzen läßt.

Tabelle 2 gibt die mittleren Monatsmittel der Tagessummen der Globalstrahlung in kWh/m² von den sieben Stationen des Globalstrahlungsmessnetzes des *Deutschen Wetterdienstes* wieder, von denen mindestens 10-jährige ununterbrochene Meßreihen vorliegen. In der letzten Spalte sind zusätzlich die 10jährigen Jahresmittel der Tagessummen angegeben. Die Statio-

Ort	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Norderney	0,553	1,269	2,544	4,092	5,111	5,883	5,328	4,639	3,028	1,608	0,725	0,428	2,942
Hamburg	0,511	1,108	2,183	3,478	4,589	5,322	4,717	4,247	2,7525	1,456	0,656	0,392	2,623
Braunschweig	0,600	1,142	2,192	3,358	4,550	5,086	4,672	4,119	2,728	1,469	0,689	0,408	2,592
Würzburg	0,800	1,561	2,622	3,953	4,925	5,419	5,231	4,389	3,458	1,903	0,903	0,636	2,990
Trier	0,708	1,439	2,467	3,797	4,781	5,139	5,156	4,333	3,239	1,750	0,819	0,550	2,855
Weihenstephan	1,047	1,789	2,897	4,019	4,967	5,275	5,342	4,503	3,619	2,183	1,156	0,817	3,141
Hohenpeißenberg	1,347	2,011	3,097	4,058	4,786	5,022	5,286	4,522	3,769	2,561	1,397	1,092	3,252

Tabelle 2: Mittlere Monatsmittel der Tagessummen der Globalstrahlung in kWh/m², 1966 bis 1975

(Quelle: Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hamburg)

nen sind von Norderney bis Hohenpeißenberg/Oberbayern geographisch von Nord nach Süd geordnet. Auffällig ist im Winter die stetige Zunahme der Globalstrahlung von Norden nach Süden von rund 0,5 kWh/m² in Norderney auf rund 1 kWh/m² in Hohenpeißenberg, die in erster Linie auf die unterschiedlichen Tageslängen zurückzuführen ist. Im Frühling und Sommer dagegen übertrifft die Globalstrahlung in Norderney alle anderen Stationen, offensichtlich nicht nur wegen der größeren Tageslänge, sondern auch infolge der schwächeren Wolkenbildung über dem relativ kühlen Meer.

Die Jahre 1976 und 1977

Um einen Eindruck von der Variabilität der Globalstrahlung von Jahr zu Jahr zu erhalten, sind in den Tabellen 3 und 4 die einzelnen Monatsmittel des "Rekordjahres" 1976 und des gerade vergangenen, eher "mittelmäßigen" Jahres 1977 eingetragen. Hier wurden die beiden Stationen List

auf Sylt und Freiburg im Breisgau hinzugenommen. Obwohl z. B. die Sommerwerte von 1976 um etwa 20 % über den Mitteln der vorangegangenen 10-Jahres-Periode liegen, sind doch die Unterschiede zwischen den beiden Einzeljahren 1976 und 1977 und den 10jährigen Mittelwerten verhältnismäßig gering. Insbesondere sind in beiden Einzeljahren der Nord-Süd-Anstieg im Winter sowie die Überlegenheit der Nordseestationen, hier List noch mehr als Norderney, nach wie vor deutlich zu erkennen.

Diese Tatsachen stehen ganz im Gegensatz zu dem oben besprochenen Verhalten der Sonnenscheindauer; sie sind offensichtlich eine Folge davon, daß auch bei bedecktem Himmel, wenn die Sonne nicht "scheint", ein erheblicher Teil der in den Wolken gestreuten Sonnenstrahlung die Erdoberfläche als diffuse Himmelstrahlung erreicht und zur gemessenen Globalstrahlung beiträgt. In dieser Erkenntnis werden bei dem weiteren Ausbau des Globalstrah-

lungsmessnetzes des Deutschen Wetterdienstes eine größere Anzahl der Stationen auch mit Geräten zur Messung der diffusen Himmelsstrahlung ausgerüstet.

Literatur

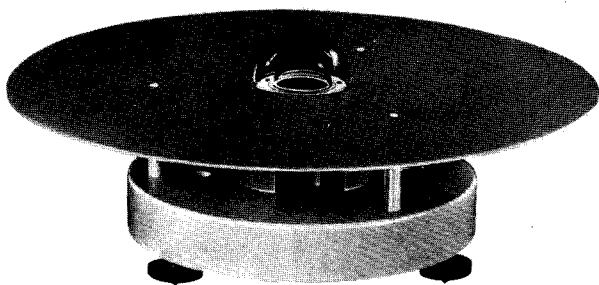
- (1) *Kasten, F.*: Die Sonnenstrahlung im Energiehaushalt der Erde. In: Informationswerk Sonnenenergie, Bd. 2, München 1977, S. 143-149
- (2) *Dehne, K.*: Meßinstrumente zur Beobachtung der Strahlungsintensität. In: Informationswerk Sonnenenergie, Bd. 3, München 1977, S. 199-217
- (3) *Rosenhagen, W.*: Stationsnetze und Beobachtungsreihen zur Strahlungsmessung in Deutschland. In: Informationswerk Sonnenenergie, Bd. 1, München 1976, S. 69-74
- (4) *Stokes, G. G.*: Description of the Card Supporter for Sunshine Recorders adopted at the Meteorological Office. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 6 (1880), S. 83-94
- (5) *Schiëpp, M. u. Schürmer H.*: Climates of Central Europe. In: World Survey of Climatology, Bd. 6, Elsevier, Amsterdam 1977, S. 3-73
- (6) *Mohr, Monika u. Hellmiss, W.*: Sonnenscheindauer und Bewölkung. In: Informationswerk Sonnenenergie, Bd. 1, München 1976, S. 41-68
- (7) *Kasten, F.*: Typische Tages- und Jahresgänge der solaren und terrestrischen Strahlungsflüsse. Informationswerk Sonnenenergie, Bd. 2, München 1977, S. 135-142

Ort	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
List	0,601	1,343	3,048	4,638	5,344	6,729	6,523	5,531	2,649	1,034	0,546	0,496	3,212
Norderney	0,628	1,174	2,855	4,868	5,216	6,446	6,247	5,220	2,699	1,210	0,514	0,503	3,137
Hamburg	0,568	1,075	2,465	4,489	4,666	6,024	5,875	4,814	2,567	1,112	0,665	0,508	2,906
Braunschweig	0,568	1,227	2,421	3,975	4,906	5,987	5,663	4,483	2,541	1,311	0,674	0,582	2,867
Würzburg	0,708	1,074	3,074	4,368	5,595	6,054	5,468	4,725	2,748	1,628	0,749	0,669	3,078
Trier	0,669	1,241	2,858	4,289	4,941	6,001	4,684	4,494	2,562	1,693	0,809	0,596	2,907
Weihenstephan	0,879	1,399	3,606	4,493	5,669	6,655	5,531	4,767	2,896	1,683	0,864	0,857	3,280
Freiburg	0,617	1,564	3,351	4,324	5,542	6,294	5,237	4,915	2,974	1,926	0,929	0,680	3,200
Hohenpeißenberg	1,168	2,400	3,609	4,601	5,237	6,806	5,181	4,449	3,146	2,274	0,937	1,201	3,418

Tabelle 3: Monatsmittel der Tagessummen der Globalstrahlung in kWh/m², 1976 (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hamburg)

KIPP-SOLARIMETER

IM EINSATZ IN
ALLER WELT!



KIPP & ZONEN

LIEFERPROGRAMM:

- 1. Solarimeter CM 6
- 2. Solarimeter mit Schattenring CM 8
- 3. Albedometer CM 7
- 4. Aktinometer CM 1 (Linke + Feußner)
- 5. Solarimeter-Integrator CC 1
- 6. Solarimeter-Integrator mit Drucker CC 2

Fordern Sie bitte ausführliche Unterlagen bei uns an!

Wiesenu 5, 6242 Kronberg/Ts.
Tel. (061 73) 5071 · Telex 415417 kipp d