Regenerative Energien

Energiequelle Sonne – Grundlage unserer Existenz

Unser Planetensystem ist nur ein Staubkorn in den nahezu unendlichen Weiten des uns bekannten Universums. Seine räumliche Dimension ist nach menschlichen Maßstäben unfassbar groß und verdeutlicht die verschwindend geringe Größe des Raumschiffs Erde in unserem Sonnensystem und erst recht in galaktischen Maßstäben.

Die einzige unmittelbare Energiequelle ist die Sonne als Zentralgestirn, welches die Planeten auf mehr oder weniger konzentrischen Bahnen umlaufen. Nur der günstige Abstand der Erde zur Sonne schafft Oberflächentemperaturen, die gemeinsam mit dem Vorhandensein von Wasser die Entstehung organischen Lebens ermöglichten. Das alles entstand vor vielen Millionen Jahren und ist heute noch die Voraussetzung für den Fortbestand der terrestrischen Biosphäre.

Bild 1 zeigt unser Planetensystem, dessen Mittelpunkt die Sonne ist. Der maßstäblichen Abstandsskala kann man entnehmen, dass auf keinem anderen Planeten (möglicherweise außer dem Mars) Temperaturen herrschen, die uns ähnliche Lebensvoraussetzungen bieten.

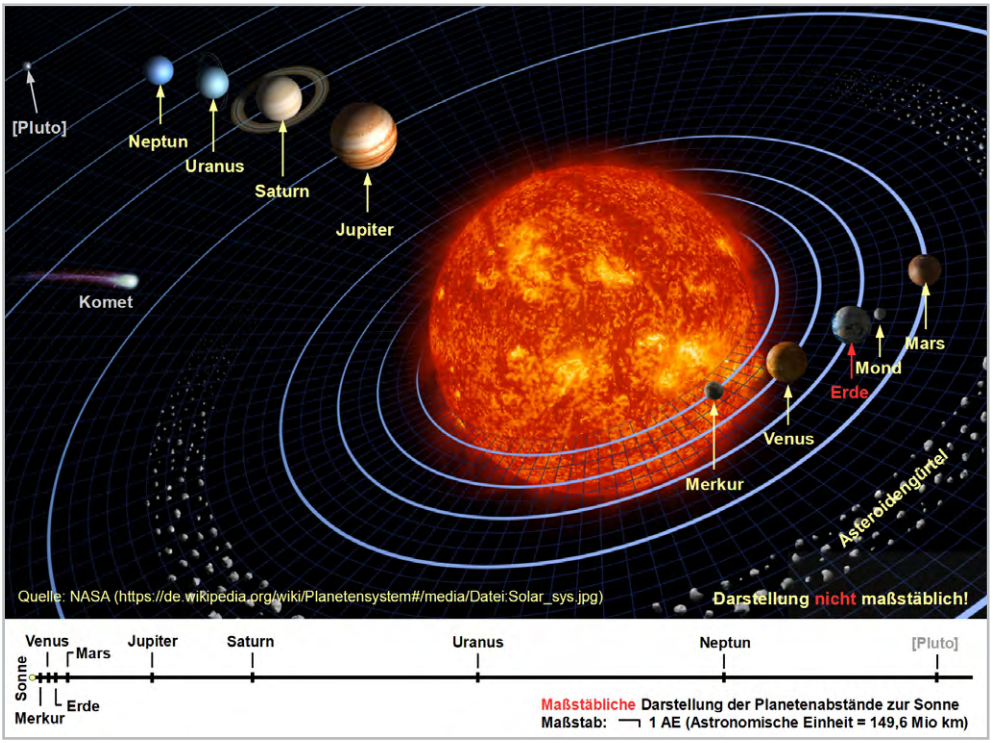


Bild 1: Unser Planetensystem besteht aus der Sonne als Zentralstern, den die Planeten auf nahezu kreisförmigen Bahnen umrunden. Nur der Radius der Erdbahn lässt Temperaturen zu, die Voraussetzung für biologisches Leben nach unseren Maßstäben sind.

Solarkonstante

Zur Berechnung der von der Sonne in eine Fläche von 1 m² im Erdabstand eingestrahlten Energie denken wir uns eine Kugel um die Sonne, deren Radius der Entfernung Erde – Sonne von etwa 150 Millionen Kilometern entspricht. Die Erde liegt dann auf der Oberfläche dieser Kugel. Weil die Sonne als idealer Kugelstrahler ihre durch Kernfusion ständig entstehende Energie gleichförmig in alle Richtungen ausstrahlt (isotroper Strahler), lässt sich der auf einem Quadratmeter bei der Erde ankommende Leistungsbruchteil berechnen. Diese Leistungsdichte mit der Einheit W/m² bezeichnet man langjährig gemittelt als Solarkonstante E_0. Man ermittelt sie gemäß Gleichung (1) zu $E_0 = 1{,}361\ kW/m^2$ senkrecht zur Strahlungsrichtung ohne den absorbierenden Einfluss der Atmosphäre.

$$\begin{aligned} &Mittlerer\ Abstand\ Sonne-Erde:\ L = 149.597.870.000\ m \\ &Strahlungsleistung\ der\ Sonne: P_S = 382{,}8 \cdot 10^{24}\ W \\ &Kugeloberfläche: F = 4 \cdot \pi \cdot L^2 = 281{,}229 \cdot 10^{21}\ m^2 \end{aligned} \qquad (1)$$

$$E_0 = \frac{P_S}{F} = \frac{382{,}8 \cdot 10^{24}\ W}{281{,}229 \cdot 10^{21}\ m^2} = 1.361\ \frac{W}{m^2} = 1{,}361\ \frac{kW}{m^2}\ \ (Solarkonstante)$$

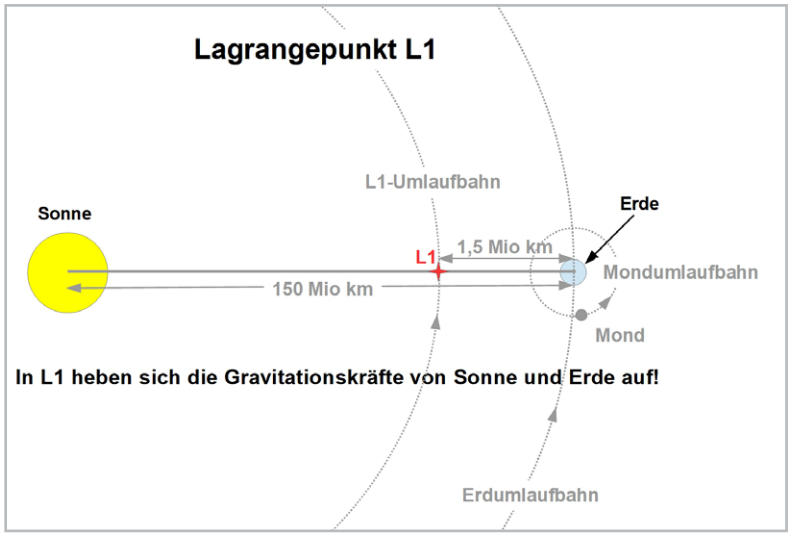


Bild 2: Der Lagrangepunkt L1 ist zur Positionierung von Sonnenbeobachtungssatelliten ideal geeignet, weil sich in ihm die Anziehungskraft von Erde und Sonne aufhebt und ein Satellit antriebsfrei gemeinsam mit der Erde die Sonne umrundet. Zeichnung ist nicht maßstäblich!

Bei E_0 handelt es sich wegen der jahreszeitlichen Schwankungen des Radius der Erdumlaufbahn um die Sonne (periodische Exzentrizität) um einen Mittelwert, der zwischen 1,325 kW/m² im sonnenfernsten Bahnpunkt (Aphel) und 1,420 kW/m² im sonnennächsten (Perihel) pendelt.

Weil die Solarkonstante die Sonnenstrahlungsdichte vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre beschreibt, kann sie dort am besten durch Satelliten ermittelt werden. Um den Atmosphäreneinfluss auszuschließen, werden seit 1978 satellitengestützte Messungen zur Bestimmung der Solarkonstante im Weltraum vorgenommen. Der Ende 1995 gestartete Satellit SOHO (SOlar and Heliospheric Observatory) führt kontinuierliche Beobachtungen der Sonne mit einem Radiometer (Detektor zur Messung der Bestrahlungsstärke) durch. Der Satellit kreist um den Lagrangepunkt L1 des Planetensystems Sonne – Erde. L1 ist ca. 1,5 Millionen Kilometer von der Erde in Richtung Sonne entfernt und ein für die Sonnenbeobachtung besonders interessanter Ort (Bild 2). In L1 hebt sich die Gravitationskraft der Sonne mit jener der Erde auf, was den antriebslosen Sonnenumlauf des Satelliten synchron mit der Erde ermöglicht. Von L1 aus gesehen ist es auf der Erde immer Tag und der Blick auf die Sonne dauerhaft unverstellt. Die SOHO-Mission ist für eine Lebensdauer von ca. 30 Jahren ausgelegt und wird vom Königlichen Meteorologischen Institut (KMI) von Belgien koordiniert.

Bei klarem Himmel (clear sky condition) erreicht Strahlung mit einer Leistungsdichte von etwa 1000 W/m² die Erdoberfläche. Wolken, Regen, Nebel oder Luftverschmutzung im Strahlengang des Sonnenlichts können je nach ihrer Stärke dessen Intensität um 30 bis 90 Prozent schwächen. Weil die Absorption von Sonnenlicht beim Durchlaufen der Erdatmosphäre von der Länge der Laufstrecke abhängt, ist die im Tagesverlauf in einen Quadrat-

meter senkrecht eingestrahlte Leistung um die Mittagszeit (höchster Sonnenstand) am größten, morgens und abends bei niedrigem Sonnenstand entsprechend kleiner. Das Gleiche gilt für den Verlauf der Jahreszeiten.

Eingestrahlte Leistung

Die Sonne strahlt eine Leistung in den ihr zugewandten Teil der Erdatmosphäre ein, die problemlos den heutigen Energiebedarf der Menschheit decken kann. Dazu die folgenden Gedanken. Die Fläche der Erdkontur F_{Erde} in m² multipliziert mit der Solarkonstante E_0 entspricht der auf die Erde eingestrahlten Leistung. Der Vergleich mit dem globalen Jahresenergieverbrauch 2023 ergibt, dass dieser über die in knapp einer Stunde eingestrahlte Energie abgedeckt wird (Gleichung (2)). Das ist natürlich nur ein rein hypothetischer Wert, der voraussetzt, dass die komplette Erdoberfläche mit Kollektoren bedeckt wäre, welche die eingestrahlte Energie restlos aufnehmen könnten, um sie anschließend zu 100 Prozent in eine nutzbare Form (Elektrizität, Prozesswärme, Bewegung, etc.) umzuwandeln.

$$\begin{aligned}
&\textit{Fläche der kreisförmigen Erdkontur}: && F_E = \pi \cdot R_E^2 \quad \textit{mit } R_E = 6{,}371 \cdot 10^6\, m \\
& && F_E = 3{,}1416 \cdot 40{,}59 \cdot 10^{12}\, m^2 \\
& && \boldsymbol{F_E = 127{,}52 \cdot 10^{12}\, m^2} \\
&\textit{In } F_E \textit{ eingestrahlte Leistung}: && P_{FE} = E_0 \cdot F_E = 1361 \frac{W}{m^2} \cdot 127{,}52 \cdot 10^{12}\, m^2 \\
& && \boldsymbol{P_{FE} = 173{,}55 \cdot 10^{15}\, W} \\
&\textit{Globaler Energieverbrauch } 2023: && W_{Global} = 172\ PetaWh \\
& && \boldsymbol{W_{Global} = 172 \cdot 10^{15}\, Wh} \\
&\textit{Erforderliche Einstrahlungsdauer}: && T = \frac{W_{Global}}{P_{FE}} = \frac{172 \cdot 10^{15}\, Wh}{173{,}55 \cdot 10^{15}\, W} \\
& && \boldsymbol{T = 0{,}99\, h}
\end{aligned} \tag{2}$$

Bild 3: Das Sonnenlicht erreicht die Erdoberfläche entweder als direkte Strahlung oder in der Atmosphäre diffus gestreut. Beide Anteile überlagern sich zur Globalsstrahlung.

In Deutschland wäre nach Abschätzungen in Bernd Stoys Buch „Wunschenergie Sonne" (ISBN 3-87200-611-S) im Jahr 2000 eine Flächennutzung von 7 Prozent entsprechend einem Quadrat mit ca. 130 km Seitenlänge zur Energiebedarfsdeckung in Form von Elektrizität und Niedertemperaturwärme (Warmwasser, Heizung ...) erforderlich. Dem lag eine Prognose auf der Grundlage des Stands der Technik von 1980 und des Energieverbrauchszuwachses bis zum Jahr 2000 zugrunde.

Allerdings erreichen nicht 100 Prozent der in die Atmosphäre eingestrahlten Sonnenenergie den Erdboden. Beträchtliche Teile der Strahlung werden an Wolken, Eisschichten, Wasserflächen und der Erdoberfläche reflektiert, an Feuchtigkeits- und Schmutzpartikeln in der Atmosphäre gebeugt, absorbiert oder reflektiert. Dadurch verliert dieser derartigen Veränderungen unterworfene Strahlungsanteil seine eindeutige Ausbreitungsrichtung und nimmt mehr oder weniger diffuse Eigenschaften an Bild 3. Im Jahresmittel trifft dies in Deutschland auf ca. 50 Prozent der Gesamtstrahlung zu.

Einem Fact-Sheet der NASA zufolge hat der auf der Erdoberfläche auftreffende solare Energiestrom eine Leistung von $4{,}4 \cdot 10^{16}$ W, was der Leistung von 44 Millionen modernen Kraftwerken mit je $1 \cdot 10^9$ W (1000 MW) entspricht.

Die von der Jahreszeit abhängigen Größenverhältnisse der direkten und diffusen Einstrahlung zeigt Bild 4. Man sieht, dass die direkte Strahlung in den Sommermonaten überwiegt und gegen Frühjahr und Herbst abnimmt. Weil die Tageslichtdauer im Sommer länger ist, führt das zusätzlich zu höherer Effizienz von solarthermischen und photoelektrischen Energiegewinnungsanlagen.

Direkte Sonneneinstrahlung ist grundsätzlich nur während des „Lichten Tags" möglich. Darunter versteht man die Zeitspanne zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, die von Jahreszeit und Standort abhängt. Bild 5 zeigt dies für einige Städte auf der Nordhalbkugel. Man erkennt, dass am Äquator (Breitengrad 0) das ganze Jahr

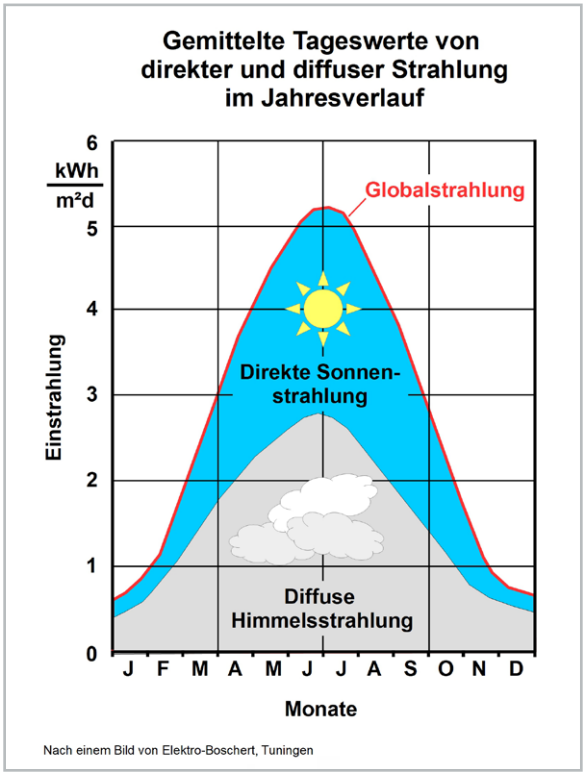


Bild 4: Der Verlauf der Anteile der direkten und der diffusen Sonneneinstrahlung im Verlauf eines Jahres

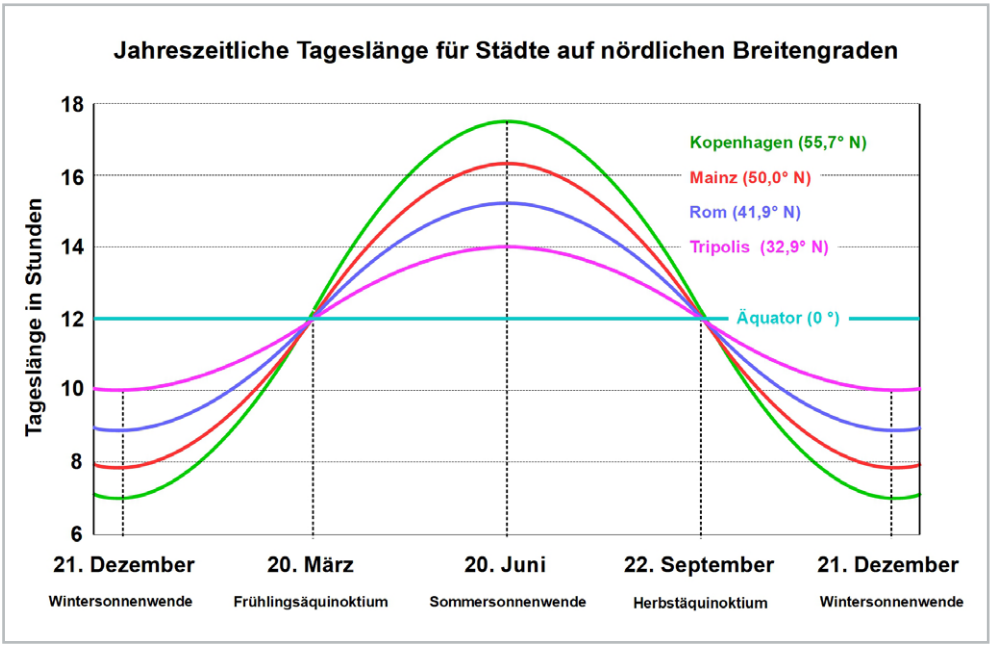


Bild 5: So verändern sich die Tageslängen über ein Jahr auf verschiedenen Breitengraden der nördlichen Erdhalbkugel.

über Tag- und Nachtgleiche (Äquinoktium) herrscht. Mit zunehmender nördlicher Breite steigt die Tageslänge an. Am Nordpol geht die Sonne sogar ein halbes Jahr lang nicht unter (Polartag) und verweilt ein halbes Jahr unter dem Horizont, geht also nicht auf (Polarnacht).

Wegen der Rotationssymmetrie der Erdkugel sind an jedem Ort auf dem selben Breitengrad zur gleichen Zeit die Tage gleich lang. Zum Beispiel gilt das für Städte auf dem 50. Breitengrad wie Mainz, Michelstadt, Krakau, Kiew, Pilsen, Winnipeg und Vancouver.

Im Norden Deutschlands (List auf Sylt: 55,9° N, 17,37 h) sind die längsten Tage in etwa 1,4 Stunden länger als im Süden (Berchtesgaden: 47,6° N, 15,97 h), wie man Bild 6 entnehmen kann. Allerdings beschreibt die Sonne einen flacheren Bogen, was sich in einer geringeren Globalstrahlung niederschlägt.

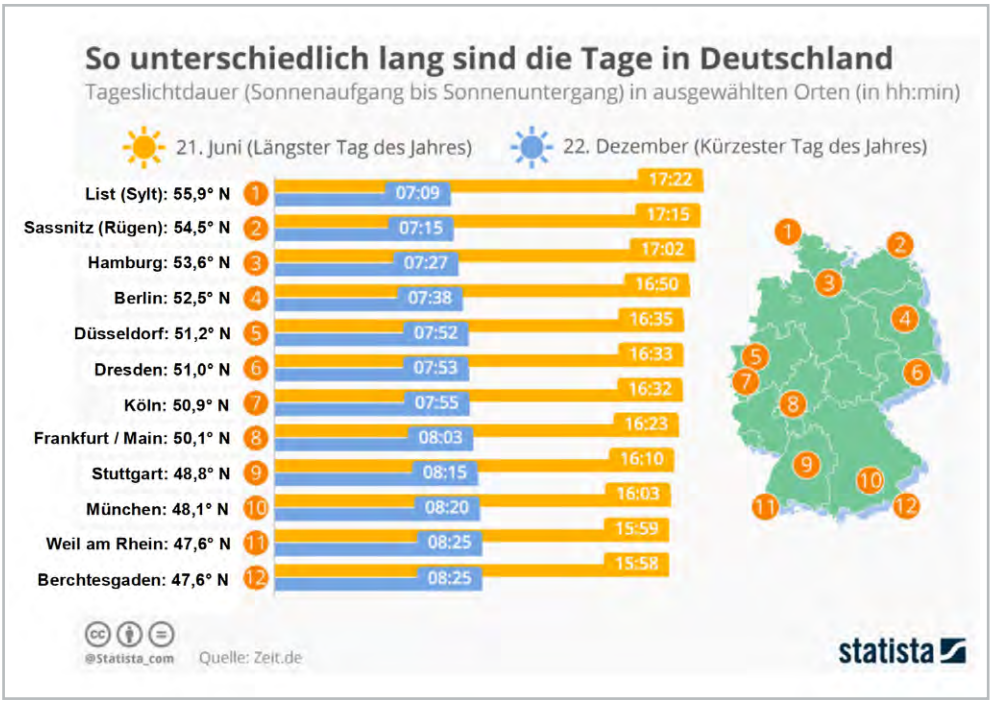


Bild 6: Bereits in Deutschland sind die Tageslängenunterschiede zwischen Nord und Süd deutlich erkennbar. Auf Sylt übertrifft der längste Tag mit 17 Stunden 22 Minuten den von Berchtesgaden mit 15 Stunden 58 Minuten um 1 Stunde 24 Minuten.

Die **spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts** beschreibt die Stärke seiner elektromagnetischen Frequenzkomponenten. Bild 7 zeigt drei Intensitätskurven:

1. die des idealen schwarzen Strahlers bei einer Oberflächentemperatur von 5900 K (5630 °C);
2. die von extraterrestrischem Sonnenlicht vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre. Luftmasse AM0 bedeutet dabei, dass keine Atmosphäre durchstrahlt wird;
3. die mit einem Winkel von 48,19 Grad einfallende solare Strahlung. Luftmasse AM1,5 bedeutet bei dem Einfallswinkel von 48,19 Grad eine 1,5 mal größere Weglänge der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre als bei senkrechter Einfallsrichtung von 90 Grad (AM1). Auf AM1,5 als Standardspektrum (STC: Standard Test Condition) haben sich die Metrologen (Messtechniker) weltweit geeinigt, um vergleichbare Messergebnisse für Photovoltaikzellen zu erzielen. Das Spektrum AM1,5 ist in der Norm IEC 904-3 (1989) Teil III beschrieben (IEC: International Electrotechnical Commission).

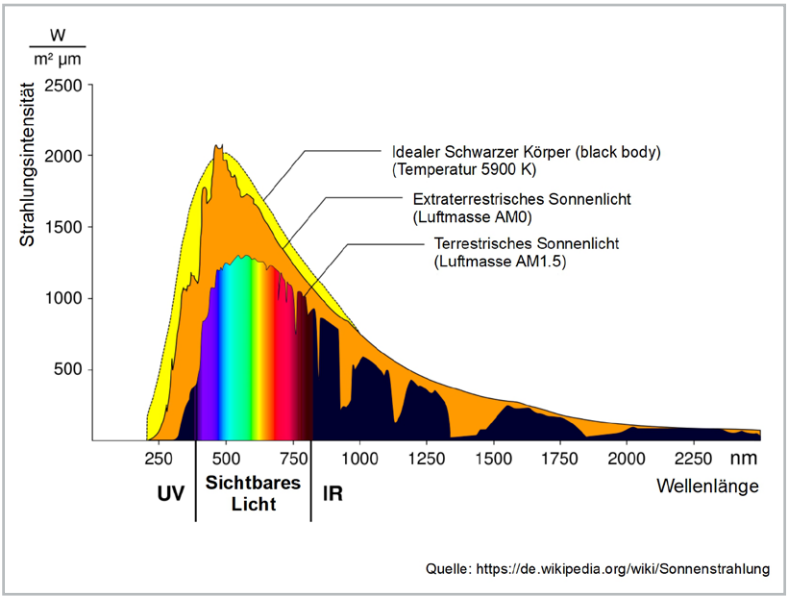


Bild 7: Die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts unter drei verschiedenen Randbedingungen weist unterschiedliche Intensitätsverläufe auf.

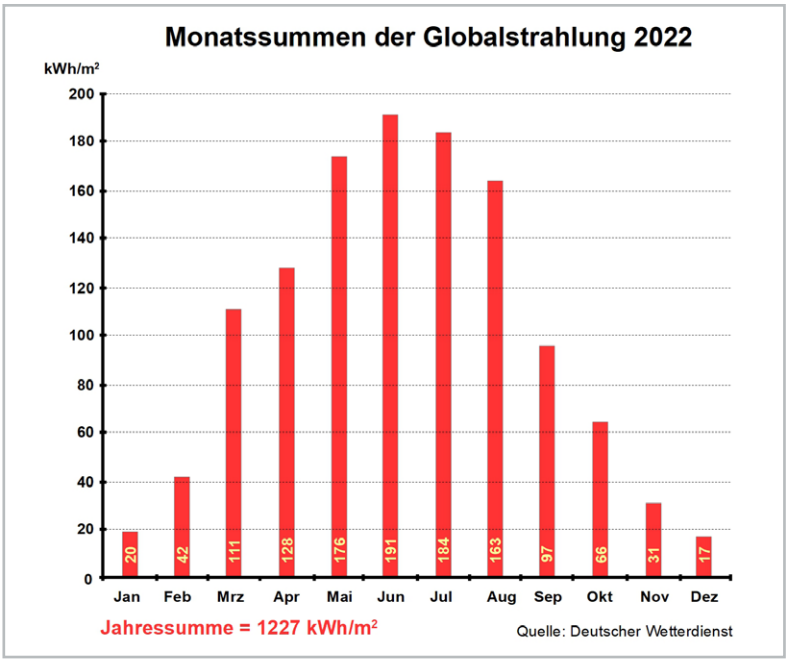


Bild 8: Im statistischen Mittelwert ist in Deutschland der Juni mit 191 Sonnenstunden der sonnenreichste Monat und der Dezember mit 17 Sonnenstunden der sonnenärmste.

Globalstrahlung

Unter Globalstrahlung versteht man die auf der Erde in einer waagerechten Fläche ankommende Summe aus direkter und durch Wolken, Wasser- und Staubpartikel (Aerosole) in der Atmosphäre gestreuter (diffuser) Sonnenstrahlung. Deren Relation variiert räumlich und zeitlich und hängt von zahlreichen Faktoren ab, nämlich von

- der Jahreszeit,
- der Tageszeit und dem Sonnenstand,
- der Bewölkung, dem Nebel etc.
- dem Breitengrad (am Äquator maximal, an den Polen minimal),
- der Höhe über dem Meeresspiegel,
- der Luftreinheit.

Das hat zur Folge, dass der Direktstrahlungsanteil an der Globalstrahlung zwar stärker als der diffuse ist, aber niemals 100 Prozent erreicht. Vielmehr liegt in Deutschland im Jahresdurchschnitt das prozentuale Verhältnis von direkter zu diffuser Sonneneinstrahlung bei 50:50 Prozent.

Ein Charakteristikum der Direktstrahlung ist ihr scharfrandiger Schattenwurf von Objekten im Strahlengang. Diffuses Licht hingegen weist alle Ausbreitungsrichtungen auf und erzeugt daher keine ausgeprägten Objektschatten.

Bei einer typischen Sonnenscheindauer von 1000 Sonnenstunden pro Jahr hat im Jahr 2022 die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung in Deutschland 1227 kWh/m² betragen. Die einzelnen Monatsbeiträge sind Bild 8 zu entnehmen.

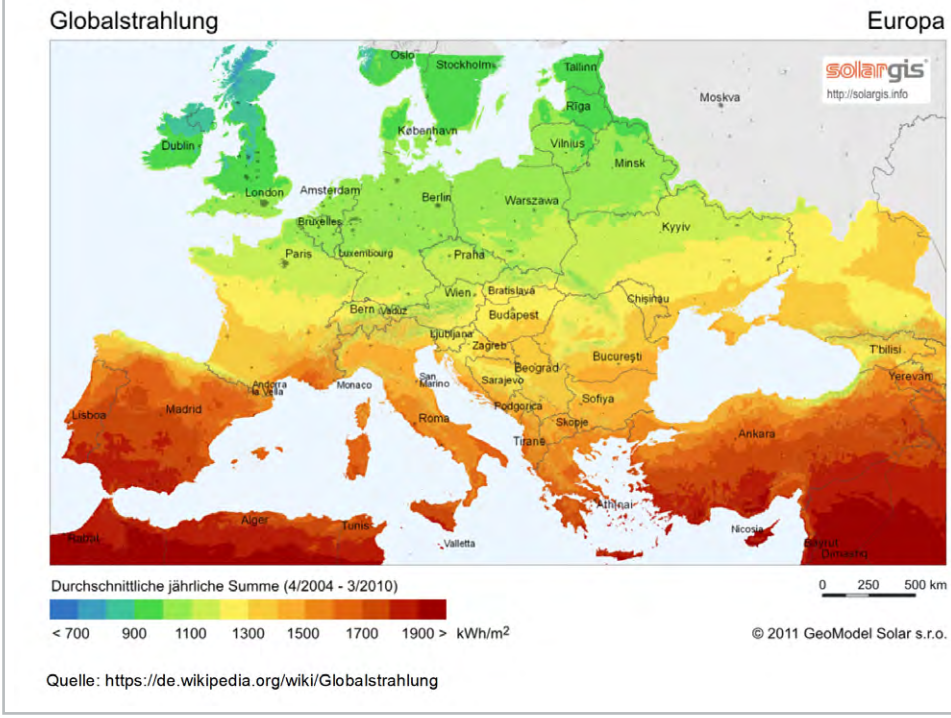
Der Anteil der direkten Sonneneinstrahlung an der Globalstrahlung ist am höchsten, wenn der Sonnenstand bei wolkenfreiem Himmel seinen Gipfelpunkt erreicht hat. Tendenziell nimmt die Globalstrahlung in Richtung des Äquators zu, wie Bild 9 am Beispiel Europas zeigt. Während sie in den Polargebieten unter 800 kWh/m² liegt, kann sie in äquatorialen Zonen 2000 kWh/m² deutlich überschreiten.

Zusammenfassend: Die Globalstrahlung gibt an, wie viel Energie der Strahlung von der Sonne auf der horizontalen Erdoberfläche ankommt. Daher ist sie zum Beispiel eine wichtige Eingangsgröße für die Planung und den Betrieb von Photovoltaik-Anlagen.

Entwicklung der Globalstrahlung in Deutschland

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) bietet auf seiner Homepage einen hochinteressanten Bericht über die Globalstrahlung in Deutschland in den letzten vier Jahrzehnten zum Download. An vier aus den Dekadenmittelwerten gebildeten Karten der Globalstrahlung in Deutschland (Bild 10) lässt sich ein Nord-Süd-Anstieg der Globalstrahlung erkennen. Dieser beruht nicht nur auf dem Klimawandel, sondern auch auf einer als positiv zu wertenden Aufhellung der Atmosphäre („Brightening-Effekt") durch Rückgang der Emissionen und Veränderungen in der Bewölkung. Am deutlichsten wird dies in Nordrhein-Westfalen, Brandenburg und entlang der polnischen Grenze. Es bleibt also festzuhalten, dass die Globalstrahlung in Deutschland eine steigende Tendenz aufweist.

Bild 9: Die Globalstrahlung in Europa nimmt im Nord-Süd-Verlauf deutlich zu.



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Globalstrahlung

Rückstrahlung der Erde

Man könnte sich die Frage stellen, warum sich die Erde nicht unaufhaltsam aufheizt, wenn ihr doch stetig Sonnenenergie zugeführt wird. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass die Erde selbst auch ein Strahler ist, der seine Wärmenergie entsprechend seiner Oberflächentemperatur in das kalte Weltall abstrahlt. Offensichtlich besteht wegen der im Mittel konstanten Erdtemperatur ein Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener Strahlungsenergie. Weil das Abstrahlen über die gesamte Oberfläche der Erdkugel ($4\,\pi\,R_E^2$) erfolgt, das Einstrahlen aber nur über deren Konturfläche ($\pi\,R_E^2$), kann man daraus schließen, dass die Abstrahlung mit einem Viertel der Solarkonstante $E_0/4 = 1361\ W/m^2/4 = 340\ W/m^2$ stattfindet.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die solare Einstrahlung auf die Erde überwiegend kurzwelliger Natur ist, die Abstrahlung der Erdoberfläche (Land- und Wassermassen) und der Atmosphäre hingegen überwiegend im langwelligen Bereich stattfindet. Die Erde übernimmt dabei die Rolle eines Energiewandlers.

Nur etwa der tausendste Teil der einfallenden Strahlungsenergie führt mit der Photosynthese zum Pflanzenwachstum, von dem nur ein geringer Bruchteil als organische Substanz langfristig gespeichert wird. Deshalb hat es Jahrmillionen gedauert, bis die gewaltigen Lagerstätten von Brennstoffen pflanzlichen Ursprungs (fossile Brennstoffe) als Kohle, Erdöl und Erdgas entstanden sind, die der Mensch nun – in erdgeschichtlichen Maßstäben betrachtet – in explosionsartiger Geschwindigkeit ausbeutet und das enthaltene Kohlendioxid (CO_2) quasi schlagartig freisetzt. Der so durch die Aktivitäten des Menschen verursachte (anthropogene) Anstieg der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre hat die Wärmeabgabe der Erde inzwischen empfindlich beeinträchtigt und zu lokalen und globalen Klimaveränderungen geführt.

Den einzig denkbaren Ausweg aus dem bedrohten natürlichen „Wärmegleichgewicht" bietet die direkte Verwertung der Sonnenenergie und aller von ihr abgeleiteten indirekten Energieformen mit ihren Trägern Wind und Wasser.

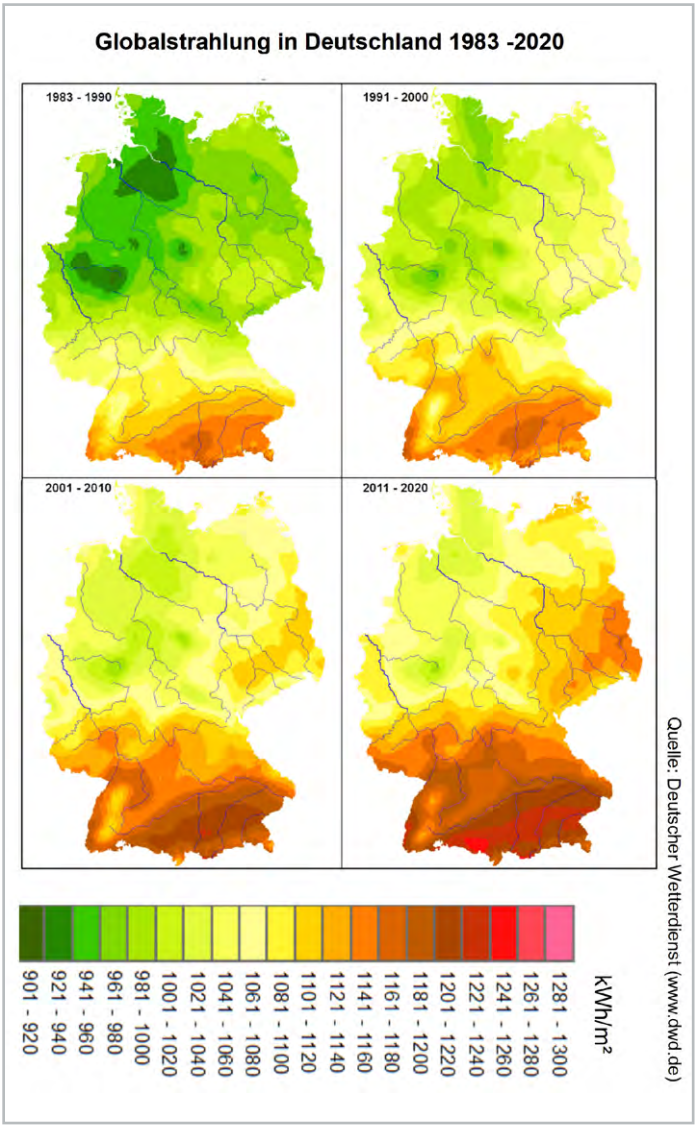


Bild 10: Die lokalen Durchschnittswerte der Globalstrahlung der letzten vier Jahrzehnte weisen als Folge des Klimawandels einen deutlichen Anstieg auf.

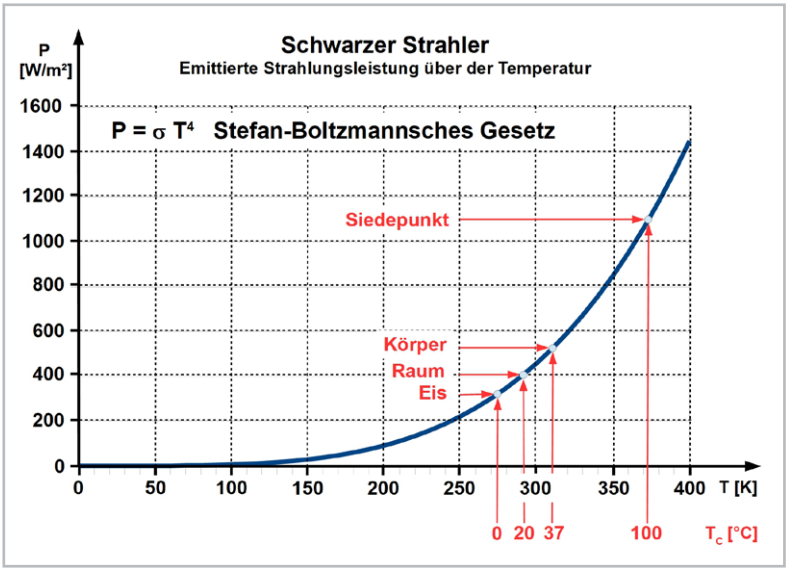


Bild 11: Ein idealer schwarzer Körper „verschluckt" alle ihn erreichenden Strahlungen restlos (keine Reflektionen) und gibt sie als Wärmestrahlung nach dem Stefan-Boltzmannschen-Gesetz wieder ab.

Einfluss der CO_2-Konzentration in der Erdatmosphäre

Die nachfolgende Energiebilanzbetrachtung wurde den Ausführungen des Instituts für Umweltphysik IUP der Universität Bremen nachempfunden.

Im Gleichgewichtsfall strahlt die Erde die durch kurzwellige Sonnenbestrahlung aufgenommene Leistung P_{ein} wieder vollständig im langwelligen Bereich (Wärme) als P_{aus} ab. So ergeben sich gleichbleibende Temperaturverhältnisse auf der Erdoberfläche. Wenn die CO_2-Konzentration in der Erdatmosphäre jedoch ansteigt, behindert das die kurzwellige Einstrahlung kaum, aber die Leistungsemission P_{aus}. Der dadurch verursachte Temperaturanstieg wird als Treibhauseffekt bezeichnet. In Gleichung (3) wird die stark vereinfachte Strahlungsbilanz ausgewertet und die Temperatur ermittelt, bei der sich ein thermisches Gleichgewicht zwischen ein- und ausgestrahlter Leistung einstellt.

Dabei ist zu beachten, dass die Energierückstrahlung der Erdkugel ins Weltall überwiegend im langwelligen Bereich (also als Wärmestrahlung) stattfindet. Deshalb kommt dafür das Stefan-Boltzmannsche-Gesetz zur Anwendung, benannt nach den österreichischen Physikern Josef Stefan (1835-1893) und Ludwig Boltzmann (1844-1906). Danach ist die emittierte Leistung eines rein thermisch abstrahlenden Körpers (Schwarzer Strahler, Black Body) proportional zu dem Produkt aus seiner Oberfläche und der vierten Potenz seiner Temperatur (T^4). Der Proportionalitätsfaktor ist die Stefan-Boltzmann-Konstante ($\sigma = 5{,}67037\ldots \cdot 10^{-8}\ W/m^2K^4$). Bild 11 zeigt grafisch den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines schwarzen Strahlers und der von ihm abgestrahlten Leistung.

Man kann Gleichung (3) entnehmen, dass das Rückstrahlvermögen (die Albedo) α und der Transmissionsgrad für die Wärmerückstrahlung τ das Temperaturniveau auf der Erde bestimmen, bei dem sich ein thermisches Gleichgewicht einstellt. τ wird stark durch die Konzentration von CO_2 und anderen Treibhausgasen (Methan, Kälte- und Lösungsmittel...) beeinflusst. $\alpha = 0{,}3$ und $\tau = 0{,}6$ kennzeichnen eine „normale" Atmosphäre mit einer Durchnittstemperatur von ca. 16 °C. Wenn man aber von einem Rückgang der Albedo auf $\alpha = 0{,}2$ infolge des Abschmelzens von reflektierenden polaren Eismassen und Gebirgsgletschern und einer geringfügigen Abnahme des Transmissionsgrades τ auf $\tau = 0{,}59$ durch eine erhöhte Treibhausgaskonzentration ausgeht, steigt die thermische Gleichgewichtstemperatur bereits auf ca. 27 °C an.

Es führt also kein Weg an einer Verringerung der Treibhausgaskonzentration in der globalen Atmosphäre vorbei!

Thermisches Gleichgewicht: $P_{ein} = P_{aus}$

$P_{ein} = Querschnittsfläche \cdot Solarkonstante \cdot Absorption$
$P_{aus} = Oberfläche \cdot thermische\ Ausstrahlung\ ins\ Weltall$

$$\pi r_E^2 \cdot E_0 \cdot (1-\alpha) = 4\pi r_E^2 \cdot \tau \cdot \sigma T^4 \quad mit \quad r_E: Erdradius$$

E_0: *Solarkonstante* $\left(1361\ \frac{W}{m^2}\right)$
α: *Albedo (diffuses Rückstrahlvermögen)*
τ: *Transmissionsgrad der Atmosphäre für thermische Rückstrahlung*
σ: *Stefan–Boltzmann–Konstante* $\left(\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{W}{m^2 K^4}\right)$
T: *absolute Temperatur in Kelvin*

(3)

nach T aufgelöst:

$$T = \sqrt[4]{\frac{E_0(1-\alpha)}{4\tau\sigma}}$$ ***Thermische Gleichgewichtstemperatur***

Nutzbare erneuerbare Energien

Wikipedia definiert erneuerbare Energien (regenerative Energien) als Energiequellen, die nach den Zeitmaßstäben des Menschen praktisch unerschöpflich zur Verfügung stehen oder sich verhältnismäßig schnell erneuern. Das unterscheidet sie von fossilen Energiequellen, deren Ausbeutung sie dauerhaft vernichtet oder deren Regeneration wieder Millionen von Jahre dauern würde. Zudem ist die gegenwärtig immer deutlicher werdende negative Beeinflussung der globalen Ökosysteme durch Schadstoffemissionen aller Art zu erwähnen. Unter diesen Gesichtspunkten ist die Nutzung aller vom Menschen nutzbaren regenerativen Energien die unabdingbare Voraussetzung für eine langfristige Existenz des Menschen auf der Erde.

Letzten Endes haben sowohl fossile als auch regenerative Energien ihren Ursprung in solarer Strahlung. Gleichgültig, ob die solare Strahlungsenergie direkt verwertet wird oder ihre Gewinnung mittelbar aus Biomasse und den Bewegungen von Luft und Wasser erfolgt – ihr Ursprung liegt stets in den gigantischen Kernfusionsvorgängen im Inneren der Sonne. Von der gesamten in das Weltall abgestrahlten Leistung der Sonne ($3{,}86 \cdot 10^{26}$ W) erreicht die Erde nur ein winziger Bruchteil ($1{,}74 \cdot 10^{17}$ W) von 0,00000045 Promille ($4{,}5 \cdot 10^{10}$ W), der aber einem Vieltausendfachen der von der Menschheit benötigten Energie entspricht.

Ausblick

In weiteren Folgen dieser Artikelreihe wollen wir uns mit der Gewinnung regenerativer Energien beschäftigen. Photoelektrische und solarthermische Methoden werden zum Abschluss ausführlich behandelt. ELV