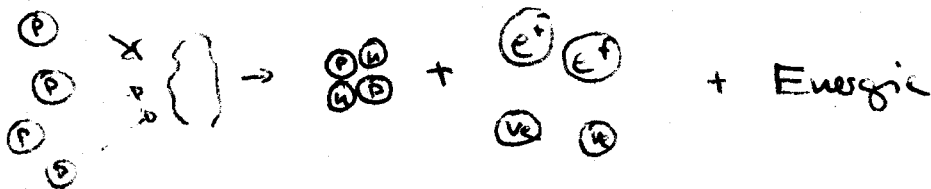
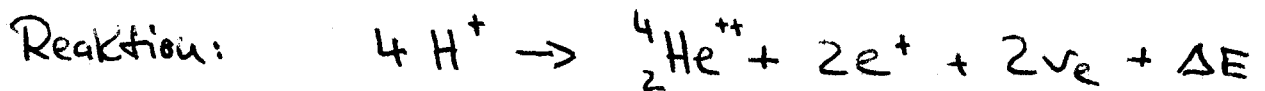


2. Sonne, Sonnenstand u. Spektrum

2.1 Die Fusionsreaktion der Sonne

In der Sonne wird Wasserstoff zu Helium verschmolzen. Der Wasserstoff ist mit Abstand das häufigste Element im Kosmos, ca. 70% der Materie im Universum entfallen auf ihn.



Die dabei erzeugte Energie folgt aus der Massendifferenz vor und nach der Reaktion:

$$m_p = 938.2 \text{ MeV}/c^2$$

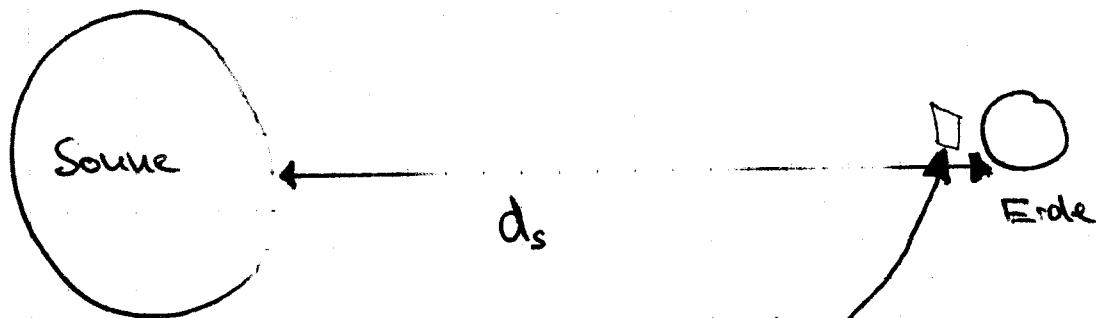
$$m_{e^+} = 0.51 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_{\text{He}^{++}} = 3727.4 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_{\nu_e} \approx 0$$

$$\Rightarrow \Delta m = 4m_p - m_{\text{He}^{++}} - 2m_{e^+} = 24.4 \frac{\text{MeV}}{c^2}$$

Die Gesamtleistung der Sonne kann man berechnen, wenn man die gemessene Leistung im Weltraum direkt über der Erdatmosphäre, die sogenannte Solarkonstante E_0 kennt:



Leistung der Sonne pro m^2
 bei senkrechtem Einfall im
 mittleren Abstand d_s ist
 $E_0 = 1367 \pm 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

Die Strahlungsleistung der Sonne ist die abgestrahlte
 Leistung durch die Kugeloberfläche $A = 4\pi d_s^2$
 multipliziert mit E_0 :

$$P = 4\pi d_s^2 E_0 = 4\pi (1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2 \cdot 1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Die Energie pro Sekunde ist also trivialerweise $3.9 \cdot 10^{26} \text{ J}$.
 Somit verliert die Sonne pro Sekunde

$$\Delta M = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3.9 \cdot 10^{26} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 4.3 \cdot 10^9 \text{ kg}$$

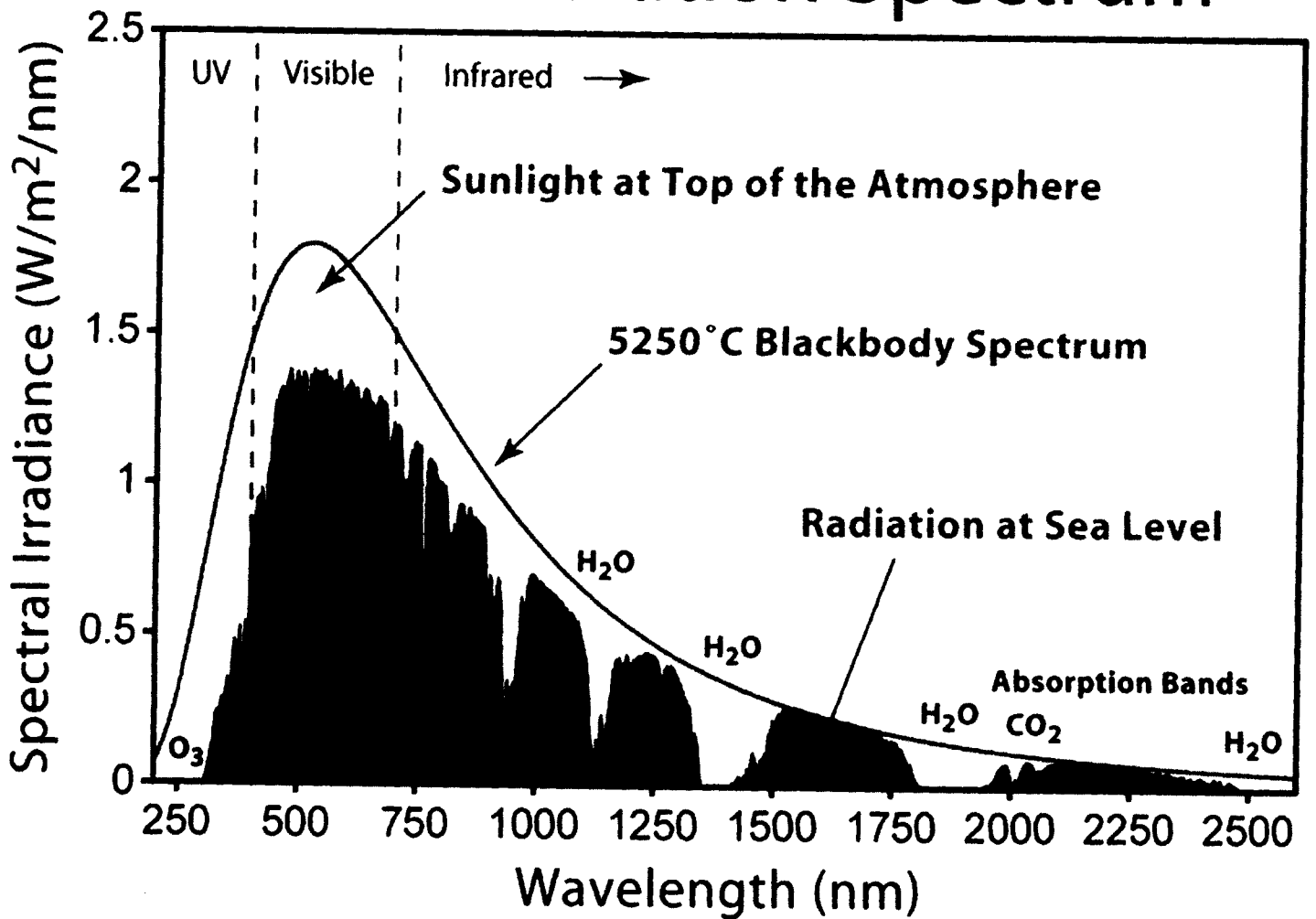
an Gewicht.

2.2. Das Sonnenspektrum

Die Oberfläche der Sonne kann in erster Näherung
 als schwarzes Körper betrachtet werden. Gemäß des
 Stefan-Boltzmann-Gesetzes folgt

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

Solar Radiation Spectrum



$$\text{Wobei } \sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15 h^3 c^2} = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Und die Fläche die Oberfläche der Sonne ist:

$$A_{\text{Sonne}} = 4\pi r_s^2 = 4\pi \cdot (7 \cdot 10^8 \text{ m})^2 = 6.2 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$$

Daher:

$$T_{\text{Sonne}} = \left[\frac{3.9 \cdot 10^{26} \text{ W m}^2 \text{K}^4}{5.7 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot 6.2 \cdot 10^{18} \text{ m}^2} \right]^{1/4} = \underline{\underline{5764 \text{ K}}}$$

2.2.1 Air Mass

Das Sonnenspektrum wird beim durchlaufen der Atmosphäre verändert. Hauptbächtige Mechanismen sind:

- Reflexion an der Atmosphäre
- Absorption (O_3 , H_2O , O_2 , CO_2)
- Rayleigh-Streuung: $\sigma \sim \omega^4 \Rightarrow$ blauer Himmel
- Mie-Streuung

Die Lauftrecke, welches das Licht zurücklegen muß wird dabei als Air Mass bezeichnet und als AM0; AM1.5 etc angegeben.

AM0: Spektrum im Weltall gerade außerhalb der Atmosph

AM1: Spektrum auf der Erdoberfläche bei senkrechtem Einfall

Analog folgen andere AM's aus der geometrischen Betrachtung:

Tabelle 2.4 Reduktionseinflüsse in Abhängigkeit der Sonnenhöhe (nach [Sch70])

γ_s	<i>AM</i>	Absorption	Rayleigh-Streuung	Mie-Streuung	Gesamtschwächung
90°	1,00	8,7 %	9,4 %	0 ... 25,6 %	17,3 ... 38,5 %
60°	1,15	9,2 %	10,5 %	0,7 ... 29,5 %	19,4 ... 42,8 %
30°	2,00	11,2 %	16,3 %	4,1 ... 44,9 %	28,8 ... 59,1 %
10°	5,76	16,2 %	31,9 %	15,4 ... 74,3 %	51,8 ... 85,4 %
5°	11,5	19,5 %	42,5 %	24,6 ... 86,5 %	65,1 ... 93,8 %

Tabelle 2.7 Tägl. Direkt- und Diffusstrahlung im Monatsmittel (1966-75) in Berlin [Pal96]

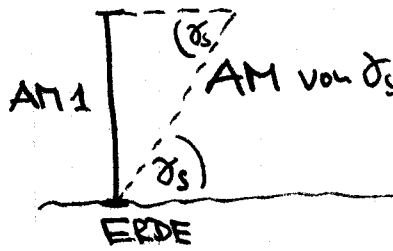
kWh/(m ² d)	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
direkt	0,17	0,40	1,03	1,42	2,13	2,58	2,29	2,05	1,38	0,54	0,22	0,10	1,20
diffus	0,44	0,74	1,41	2,07	2,64	2,86	2,97	2,53	1,67	1,05	0,54	0,35	1,61

Tabelle 2.8 Jahresmittelwerte (1966-75) der täglichen Direkt- und Diffusstrahlung [Pal96]

kWh/(m ² d)	Bergen	Stockholm	Berlin	London	Wien	Nizza	Rom	Lissabon	Athen
direkt	0,86	1,41	1,20	0,99	1,40	2,59	2,41	3,06	2,67
diffus	1,29	1,42	1,61	1,47	1,63	1,66	1,78	1,67	1,66

Quelle: V. Quaschnig

/// Weltraum ///



$$AM = \frac{1}{\sin \delta_s}$$

(Tabelle siehe Powerpoint
Spektrum siehe Powerpoint)

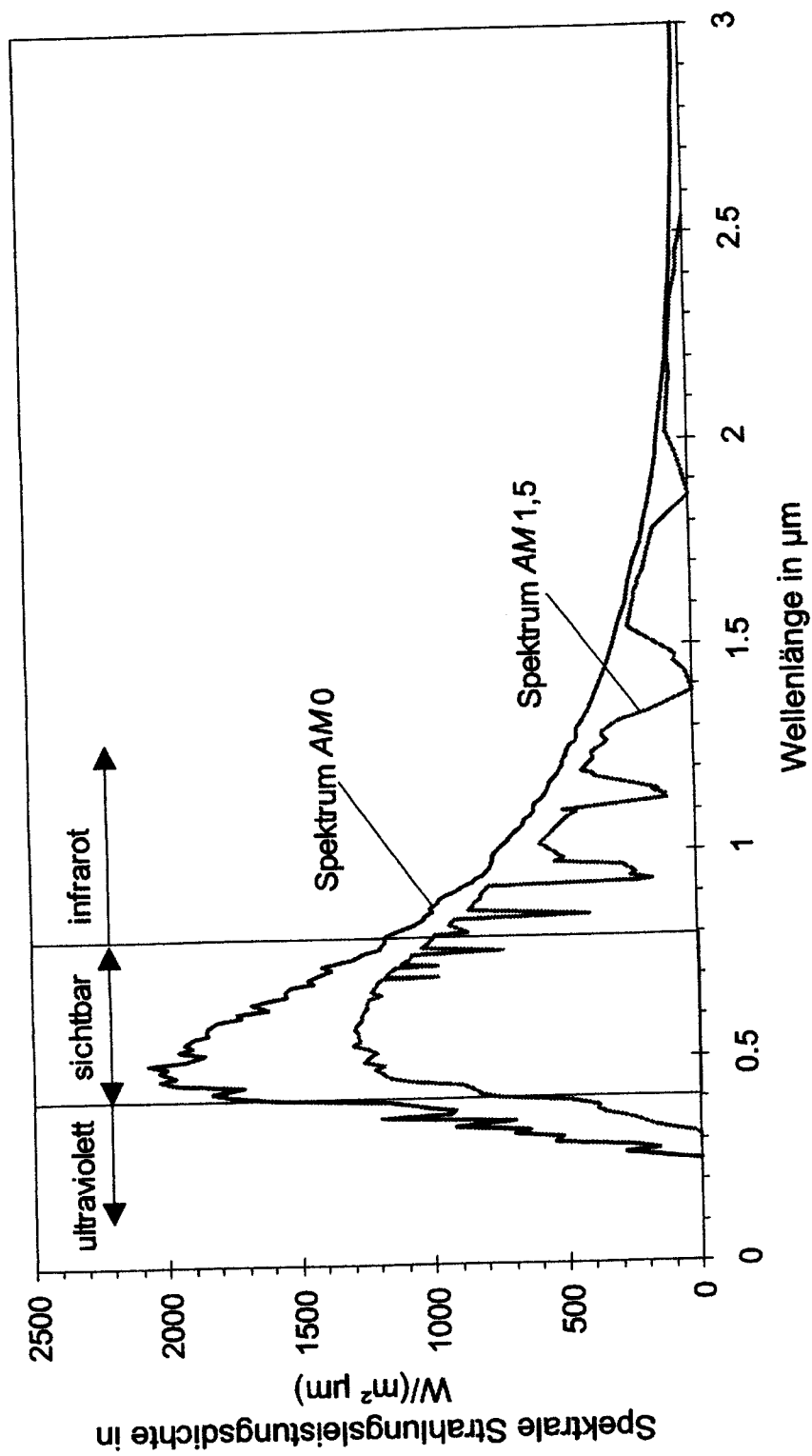
2.2.2 Die Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von geografischer Lage

Die geografische Lage bestimmt zunächst die Air Mass, aber auch das Wetter hat entscheidenden Einfluss. Wolken reflektieren die Sonnenstrahlung zurück ins All. (Siehe Powerpoint Bild)

In Deutschland beträgt die jährliche Globalstrahlung ca. $1000 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. In Südeuropa liegt sie bei ca. $1700 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, in der Sahara bei $\approx 2300 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

Man teilt die Globalstrahlung auf in direkten und diffusen Anteil. Die Anteile sind wiederum stark von der geografischen Lage abhängig. Der diffuse Anteil lässt sich zwar für die Photovoltaik nutzen, für die Solarthermie ist es allerdings nur begrenzt nutzbar.

(siehe Powerpoint Tabellen)



Quelle: V. Quaschnig