

## Bemerkenswertes und Erstaunliches zur Empfindlichkeit des Auges

Dr. Reinhard Pieper

Der Energiestrom von der Sonne senkrecht auf die Erde beträgt:  $E_{So} = 1367 \frac{W}{m^2}$ . Wegen der

Absorption und der Reflexion in der Atmosphäre kommen nur ca. 54% auf dem Erdboden

$$\text{an: } E_{\text{Erdboden}} = 0,54 \cdot 1367 \frac{W}{m^2} = 740 \frac{W}{m^2} = 74 \frac{mW}{cm^2}$$

Mit der Größe der Augenpupille kann man damit abschätzen, wie gering die ins Auge fallende Leistung nur ist, die bereits zur Erblindung führt. Stellt man sich vor einen Spiegel, kann man einen mittleren Durchmesser der Pupille von ca. 5 mm messen. Damit lässt sich die Größe der Pupille berechnen zu:  $A = \pi r^2 = \pi \cdot 2,5^2 \text{ mm}^2 = 0,2 \text{ cm}^2$ .

Also führt bereits eine Leistung von  $E_{\text{Erdboden}} A = 74 \cdot 0,2 \text{ mW} \approx 15 \text{ mW}$  zur Erblindung, wenn man ungeschützt in die Sonne schaut. Selbst ein Laser, wie er in Schulen verwendet wird, von lediglich 1 mW kann Augenschäden verursachen. Hier schließt sich eine Frage zum Nachdenken an: Warum kann man in eine Glühlampe von 60 W, die in etwa 3 m Entfernung hängt, ohne Augenschäden schauen?

Um einen Vergleich zu haben, wie gering die Leistung von 15 mW ist, betrachte man die Erwärmung eines Wassertropfens von 1 cm Durchmesser um eine Temperaturerhöhung von 1 K. Für die Masse des Tropfens dieser Größe erhält man:

$$m = \rho \cdot V = \rho \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = 1 \frac{g}{cm^3} \frac{4}{3} \pi \cdot 0,5^3 \text{ cm}^3 = 0,52 \text{ g}$$

Weiter gilt für die benötigte Wärme-Energie:  $P \cdot t = Q = c_{H_2O} \cdot m \cdot \Delta \vartheta \leftrightarrow t = \frac{c_{H_2O} \cdot m \cdot \Delta \vartheta}{P}$

$$t = \frac{4,19 \frac{J}{g \cdot K} \cdot 0,52 \text{ g} \cdot 1 \text{ K}}{0,015 \frac{J}{s}} \approx 145 \text{ s} = 2 \text{ min } 25 \text{ s}$$

Andererseits lässt sich aus dem Befund, dass mit einem unbewaffneten Auge Sterne bis lediglich  $m_1 = 6$  mag sichtbar sind, die Empfindlichkeit des Auges abschätzen. Man braucht dazu lediglich die Helligkeit der Sonne mit  $m_2 = -26,8$  mag und den Zusammenhang zwischen scheinbarer Helligkeit und Energiestrom zu kennen:  $E_1 = E_2 \cdot 10^{0,4 \cdot (m_2 - m_1)}$

Mit  $E_2 = 74 \text{ mW/cm}^2$  und  $m_2 - m_1 = (-26,8 - 6) \text{ mag} = -32,8 \text{ mag}$  ergibt sich:

$$E_1 = 74 \frac{mW}{cm^2} \cdot 10^{-0,4 \cdot 32,8} = 74 \cdot 10^{-13,12} \frac{mW}{cm^2} \approx 56 \cdot 10^{-13} \frac{mW}{cm^2}$$

Mit der Fläche der Pupille ergibt sich dann, welche minimale Licht-Leistung für das Auge noch wahrnehmbar ist:  $E_1 \cdot A = 56 \cdot 10^{-13} \cdot 0,2 \text{ mW} \approx 1,1 \cdot 10^{-15} \text{ W}$  !

Zusatzfrage: Wie viele Photonen pro Sekunde mit der mittleren Wellenlänge von 500 nm rufen im Auge eine entsprechende Wahrnehmung hervor?

Die Energie eines Photons der Wellenlänge 500 nm ist:

$$W = h \frac{c}{\lambda} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Nms} \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ Js}$$

Also rufen  $n = \frac{1,1 \cdot 10^{-16}}{4 \cdot 10^{-19}} \text{ s}^{-1} \approx 3000 \text{ s}^{-1}$  Photonen/Sekunde einen vergleichbaren Sinneseindruck hervor wie ein Stern der Größenklasse 6.