

8. Optik des Auges

Motivation:

- 1) Verbesserung optischer Geräte
- 2) Beleuchtung

Erinnerung: → Kap. 2 Farbsehen

Ziel: Bionik= Biologie + Technik

8.1 Aufbau des menschlichen Auges

Elemente:

- Hornhaut, $n_H = 1,376$, Hauptbrechung
- Vorderkammer $n_v = 1,336$
- Augapfel (Kugel von 25mm Durchmesser (22...25))
- Linse, bikonvex, transparent, $n_{L(\text{Zentrum})} = 1,41$, $n_{L(\text{Rand})} = 1,38$
- Glaskörper $n_G = 1,336$
- Iris: Öffnung 2-3mm
- blinder Fleck, Nerven zum Gehirn
- Netzhaut mit Lichtsensoren (100 Mio. Stäbchen (Rand), 10 Mio. Zäpfchen (Zentrum))

8.2 Funktionen des Auges als optisches Instrument

Analogie: Auge \approx Kamera mit Objektiv

Brechkraft: via Grenzflächen

(Luft | Hornhaut | Vorderkammer | Linsen | Glaskörper)

Modell von H. von Helmholtz

Linsensystem aus Sammellinsen mit $g > 2f$

(→ Kap. 5: verkleinertes, auf dem Kopf stehendes, reelles Bild auf der Netzhaut mit $b \approx 25\text{mm}$)

Definition: Deutliche Sehweite $s_0 = 25\text{cm}$

Brechweite des Auges:

$$\left. \begin{array}{l} D_H = 41\text{dpt (Hornhaut)} \\ D_L = 20\text{dpt} + (1, \dots, 12\text{dpt}) \end{array} \right\} D \approx 60 \dots 79\text{dpt} = \frac{1}{f} \rightarrow f \approx 15\text{mm}$$

zu D_L :

- erster Teil 20 dpt → rückwärtiger Teil
- zweiter Teil 1-12 dpt → Alter...Jugend, vorderer Linsenteil

8.3 Augenfehler und ihre Korrektur

Analog zu Linsen: Achsenferne Strahlen durch unterschiedlich große Augäpfel

8.3.1 Kurzsichtigkeit

Prinzip: Bild entsteht vor der Netzhaut
Abhilfe: Zerstreuungslinsen

8.3.2 Weitsichtigkeit

Prinzip: Bild entsteht hinter der Netzhaut
Abhilfe: Sammellinsen

→ Brillen (Folge von Lesestein (1305) aus „Beryll“)

9. Von den Strahlungsgesetzen zur Lichttechnik

Frage nach der Lichterzeugung

1) Wie entsteht Licht auf atomarer Ebene?

$$E_{input} = hf + \Delta E \quad (hf = \text{Photon mit Frequenz } f, \Delta E = \text{Energieunterschied})$$

2) Wie Input Energie aus System?

- mechanische Energie: Temperaturerhöhung (Sonne, Glühbirne)
- Elektronenbeschuss (Röhren-TV)
- Elektro-magnetisches Feld (Leuchtstoffröhre, Laser)
- chemische Reaktion (Sonne, Feuer, Glühwürmchen)

Definition: Plasma = ionisiertes Gas (4. Aggregatzustand)

Begriffserläuterung:

- 1) Lichttechnik: Technik von der Anwendung des Lichts (Leuchttechnik = Möglichkeit der Lichterzeugung)
- 2) Beleuchtungstechnik = Verteilung von Lichtstrahlung in geg. Räumen
- 3) Photometrie = Messung des sichtbaren Lichtes

9.1 Physikalische Strahlungsgrößen

9.1.1 Strahlungsenergie, -fluss

Definition:

1. Strahlungsenergie $W_{ph} = h \cdot f$ $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}$

Bsp.: 400 – 700nm

$$\rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\rightarrow W_{ph} = h \cdot f = 5 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

2. Strahlungsleistung/-fluss $P = \frac{dW}{dt} [\text{Watt}]$

Bsp.: 10 Watt Sparlampe → $3 \cdot 10^{19}$ Photonen rot nötig

3. Energiedichte $\omega = \frac{dW}{dv} \left[\frac{J}{m^3} = Pa \right]$

9.1.2

Jetzt: Frage nach dem Anteil der ausgesendeten Strahlung, die beim Empfänger ankommt (Film, CCD)

Geometrie (Vorläufer Lichttechnik)

Empfänger: Fläche A via Öffnungskegel mit 2σ -Öffnungswinkel

$$\Omega = 4 \cdot \pi \cdot \sin^2 \left(\frac{\sigma}{2} \right)$$

Definition: Raumwinkel $\Omega = \frac{A}{R^2} [\text{dim-los, steradian}]$

Bsp. Isotoper Empfänger mit $A = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \Rightarrow \Omega = 4 \cdot \pi$

Definition:

1) Strahlungsstärke: $I_\Omega = \frac{dP}{d\Omega} [W / sr]$

2) Strahlungsdichte: $L_\Omega = \frac{dI_\Omega}{dA} [W / sr \cdot m^2]$

Bemerkung: Abhängigkeit um λ beachten

Definition: Spektrale Strahlungsdichte: $L_\lambda = \frac{dL_\Omega}{d\lambda}$

Definition:

1) Spez. Ausstrahlung: $I = \frac{dP}{dA} \left[\frac{W}{m^2} \right] : \text{zur Quelle}$

2) Intensität am Empfänger $E = \frac{dP}{dA_E} : \text{ankommende Leistung}$

Anwendung Solarkonstante:

Die auf der Erde empfangbare Strahlung $E = 1395 \frac{W}{m^2}$

Definition: Belichtung $H = T \cdot E [J / m^2]$ bei Belichtungszeit T durch Belichtung mit E

9.1.3 Veranschaulichung, Strahlungsdruck

Ergebnis: Strahlungsdruck $p = \frac{E}{c}$ (vgl. kinetischen Druck $P_{kin} = n \cdot K_B \cdot T$)

PA: Strahlungsdruck der Sonne im Vgl. zum kinetischen Druck

$$P_{\odot} = \frac{E}{c} = \frac{1395 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{330.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4,227 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \quad (P_{kin} = 4 \cdot 10^{-29} \text{ Pa})$$

$$P_{\odot} \gg P_{kin}$$

9.2 Emission + Adsorbtion von thermischer Strahlung, kirchhoffsches Strahlungsgesetz

thermische Strahlung, kontinuierliches Spektrum, nicht thermisches Licht hat in der Regel kein kontinuierliches Spektrum

9.2.1 Schwarzer Körper, Absorption + Emission

1) Absorption: Absorptionsgrad $\alpha = 0-1$

gute Absorber sind z.B.:

- schwarzer, dichter Stoff (Bsp. Molton, Samt)
- Hohlräume
- Ruß

2) Reflexion: Reflexionsgrad ρ

gute Reflektoren sind z.B.:

- Seide
- Alu-Folie
- Styropor
- Schnee & Eis
- polierte Flächen

3) Transmissionsgrad τ

gute Transmitter sind z.B.:

- Glas
- Wasser
- Gase