

Medizinische Biophysik 10. Vorlesung

Licht in der Medizin

VIII. Das Auge und das Sehen

1. Aufbau des Auges

2. Optik des Auges

- Brechkraft des Auges
- Akkommodation (Brechkraftänderung)
- Augenfehler (Myopie, Hyperopie, Presbyopie, sphärische und chromatische Aberration)
- Bildentstehung im Auge (reduziertes Auge)
- (räumliche) Auflösung des Auges

3. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus

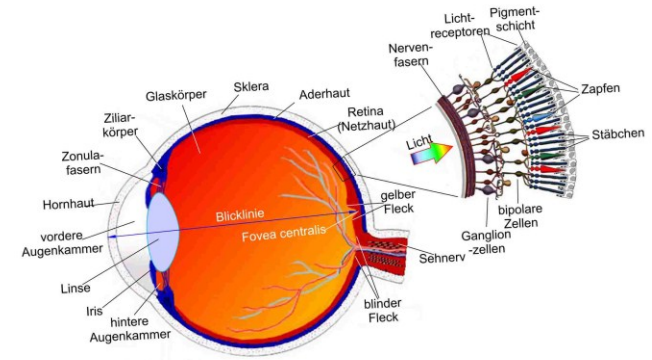
- Adaptation
- Reflexion
- Streuung (Graustar)
- Absorption

4. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit

5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen

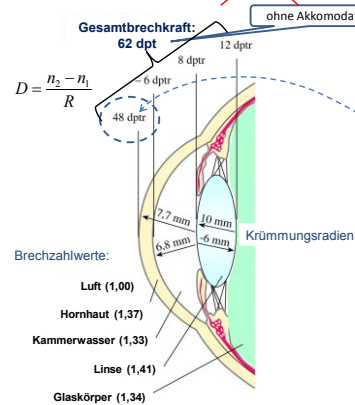
6. Raumsehen

1. Aufbau des Auges

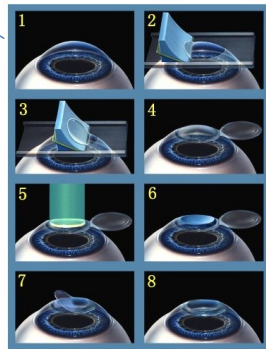


2. Optik des Auges

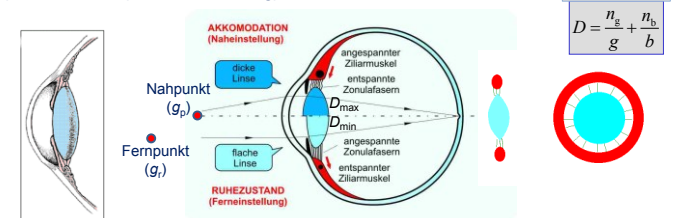
a) Brechkraft des Auges



LASIK:

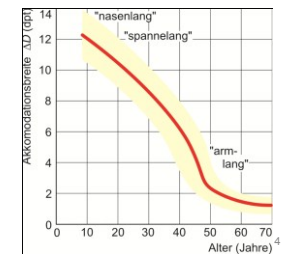


b) Akkommodation (Brechkraftänderung)

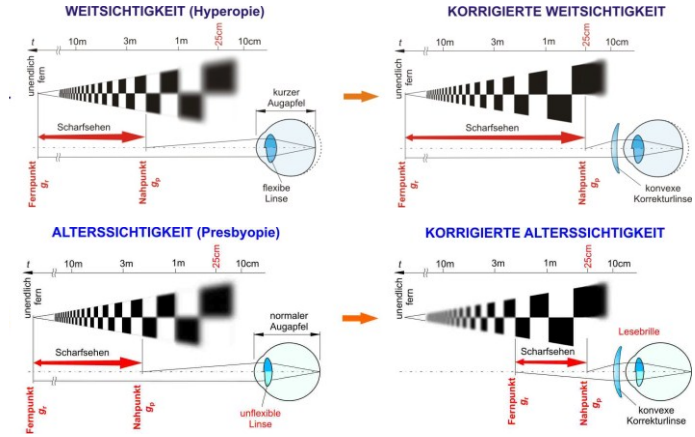
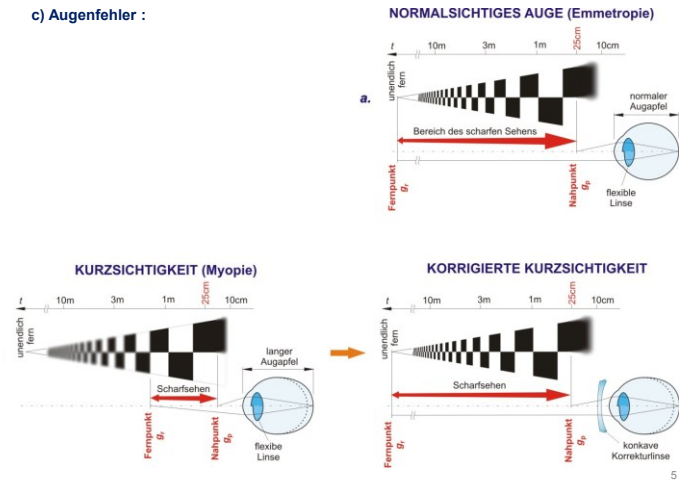


- Akkommodationsbreite (ΔD): $\Delta D = D_{max} - D_{min}$

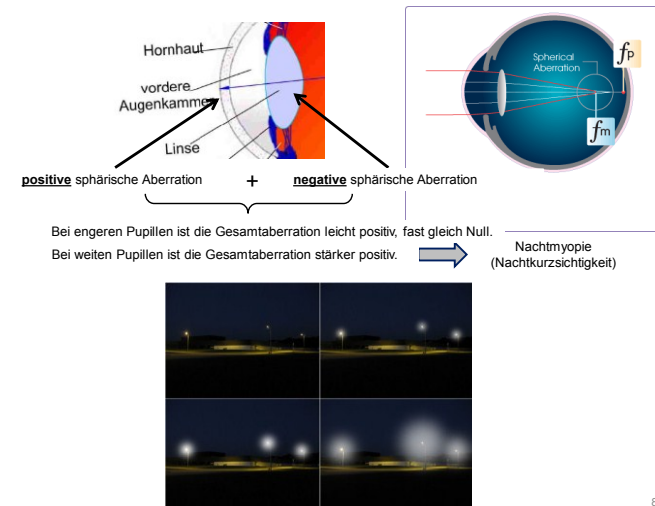
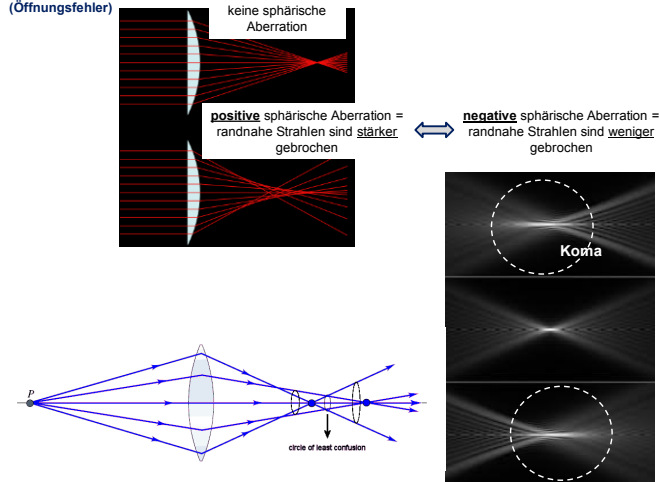
$$\left. \begin{aligned} D_{max} &= \frac{n_g}{g_p} + \frac{n_b}{b} \\ D_{min} &= \frac{n_g}{g_r} + \frac{n_b}{b} \end{aligned} \right\} \Delta D = \frac{1}{g_p} - \frac{1}{g_r}$$



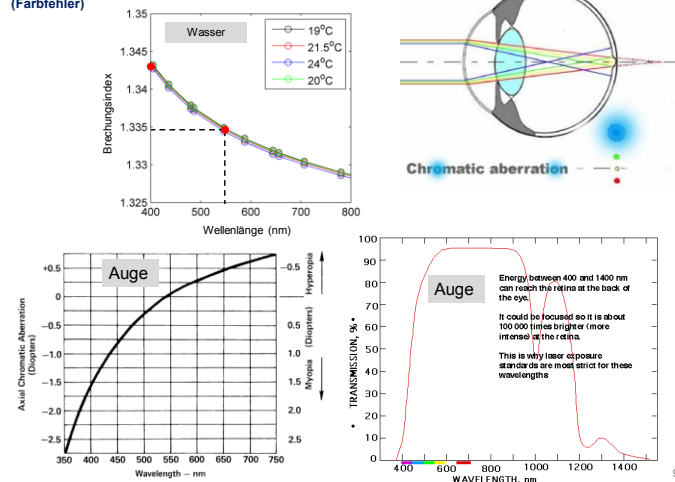
c) Augenfehler :



Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)

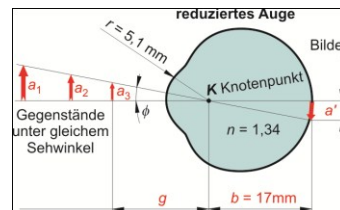
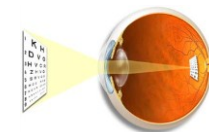


Chromatische Aberration (Farbfehler)



d) Bildentstehung im Auge

- Reduziertes Auge



➤ Brechkraft des reduzierten Auges: ?

$$D = \frac{n_2 - n_1}{R} =$$

- Bild: — verkleinert (a')
— reell
— umgekehrt

? Sehwinkel ϕ : ϕ (rad) =

10

e) (räumliche) Auflösung des Auges

- Sehwinkelgrenze (α):

Der minimale Sehwinkel unter welchem man zwei Gegenstandspunkte noch gerade getrennt sieht.

Referenzwert der Sehwinkelgrenze: 1' (1 Winkelminute)

- Auflösungsvermögen: $= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{7} \right)$

Referenzwert des Auflösungsvermögens: $= \frac{1}{1'}$

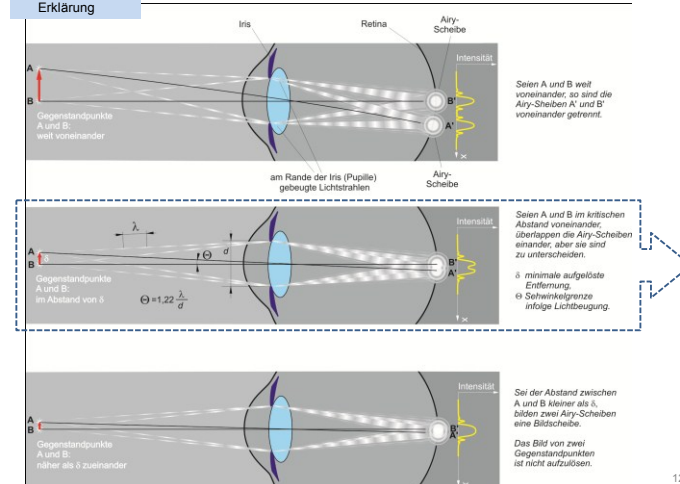
- Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha'} \left(\frac{1}{7} \right)}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha'} \cdot 100\%$

Erklärung:

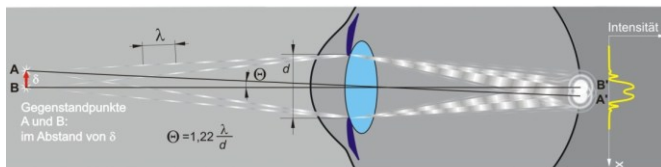
- biologisch
- physikalisch

11

➤ Physikalische Erklärung

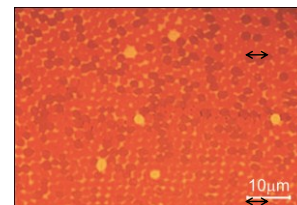
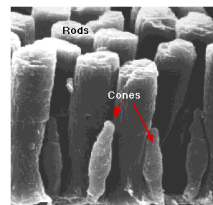


12



Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung (Θ): ?

Biologische Erklärung

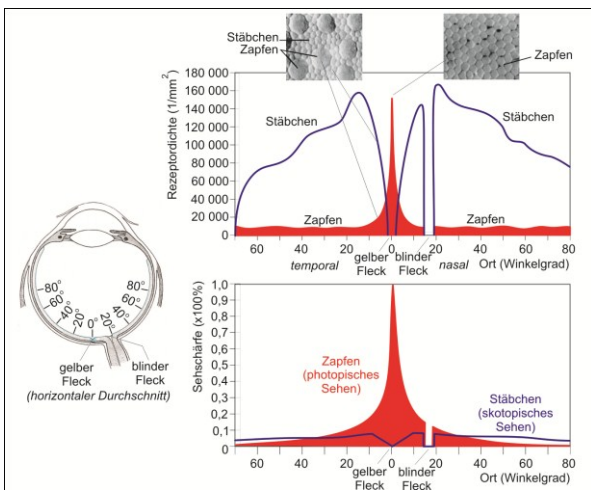


Gegenstandspunkte	Bildpunkte	Empfindung

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptordichte (α):
 $\alpha =$

13

14



15

3. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus \Rightarrow Lichtmenge auf der Retina !

Adaptation ?

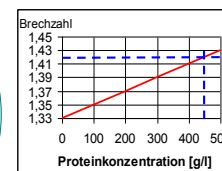


Reflexionen

Brechzahlwerte:
 Luft (1,00)
 Hornhaut (1,37)
 Kammerwasser (1,33)
 Linse (1,41)
 Glaskörper (1,34)

Streuung

Linse - Brechzahlwerte
 1,38
 1,42

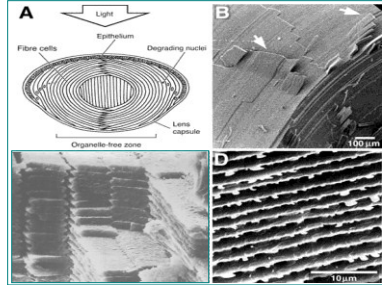


!!!???

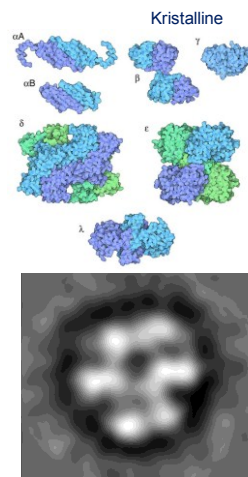


16

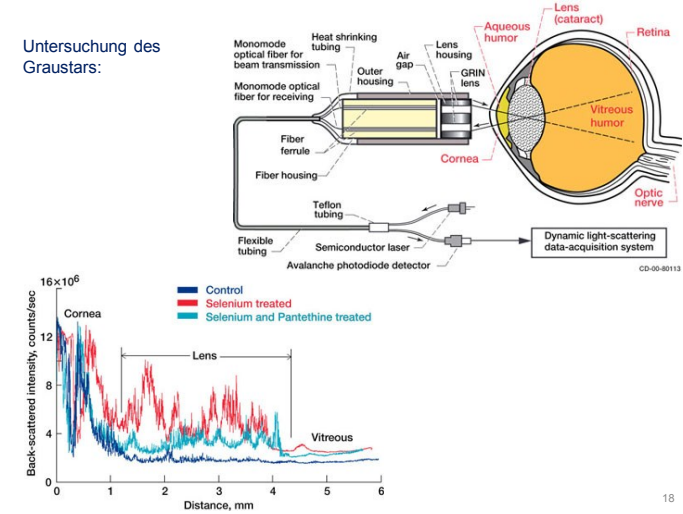
Aufbau der Linse:



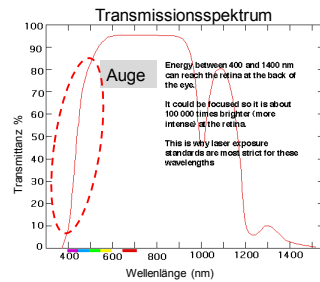
Spezielle Linseproteine:



Untersuchung des Graustars:

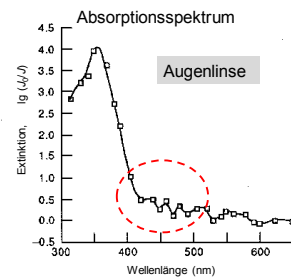


Absorption

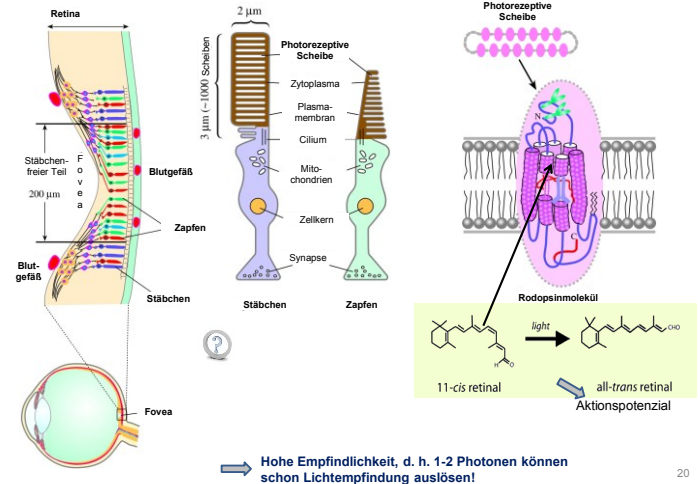


➡ keine starke Absorption

➡ mittelmäßige Absorption in dem blauen/violetten Bereich ➡ Verminderung der Auswirkungen der chromatischen Aberration



4. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit



➡ Hohe Empfindlichkeit, d. h. 1-2 Photonen können schon Lichtempfindung auslösen!

„Technische Probleme“ im Auge
(ähnlich zu den Problemen in technischen Lichtdetektoren):

- Dunkelstrom/Rauschen

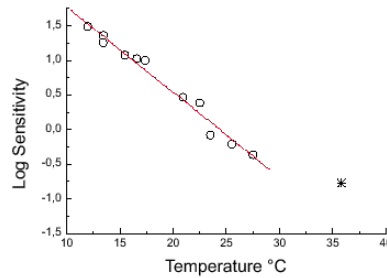
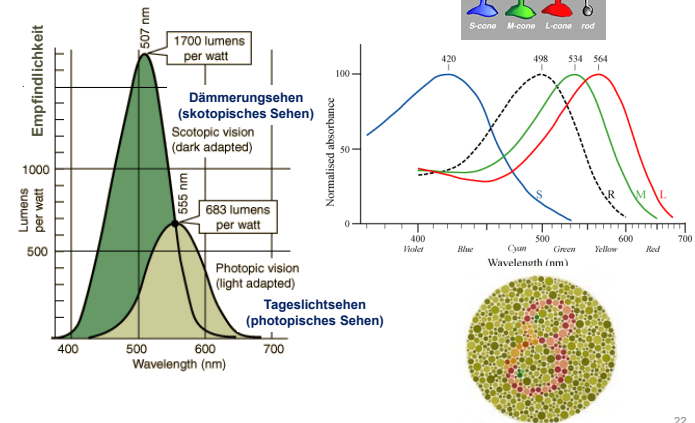


Figure 1. Dark adapted scotopic sensitivity in two frog species (O) and humans (—) as a function of temperature. Ordinate, log sensitivity = $-\log$ threshold (threshold intensity at cornea (quanta $\text{nm}^{-2} \text{s}^{-1}$)). Modified from Aho et al. (1993b) and Donner (1998).

21

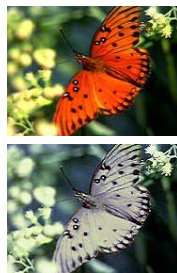
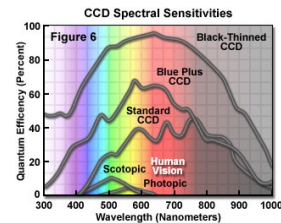
5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



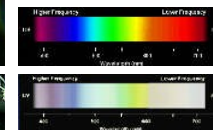
22

„Technische Probleme“ im Auge
(ähnlich zu den Problemen in technischen Lichtdetektoren):

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)



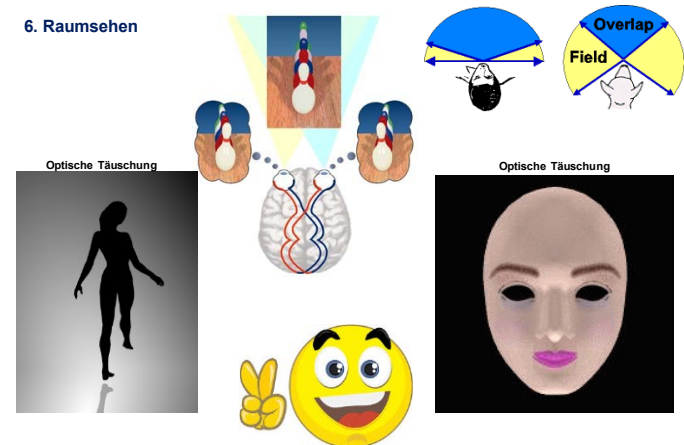
Mensch



Katze

23

6. Raumsehen



Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung 2. Teil
4.1, 3-11, 13-15

24