

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

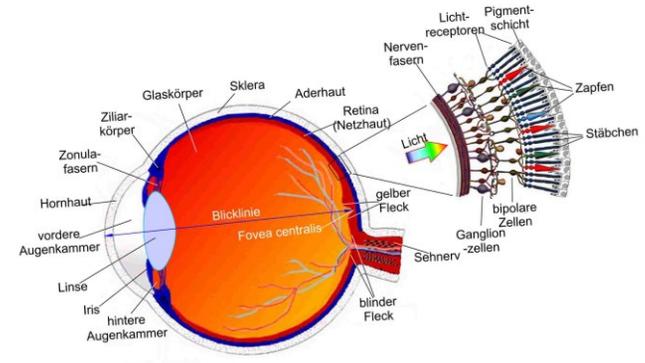
- Adaptation
- Reflexion
- Streuung (Graustar)
- Absorption

4. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit

5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen

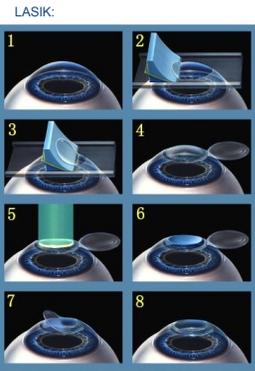
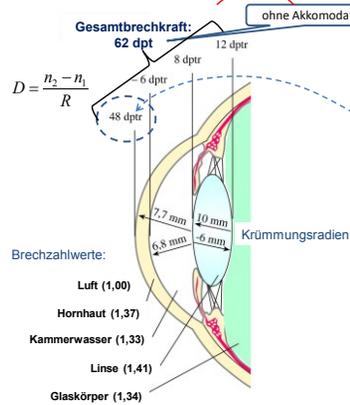
6. Raumsehen

1. Aufbau des Auges



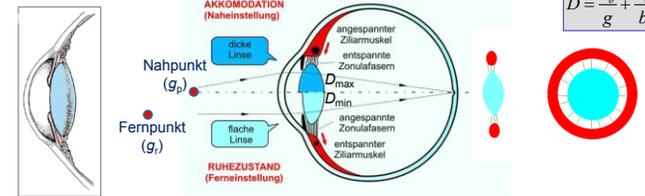
2. Optik des Auges

a) Brechkraft des Auges



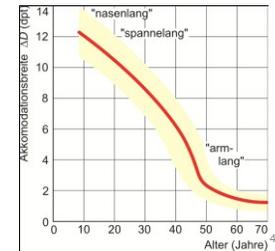
1

b) Akkommodation (Brechkraftänderung)



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

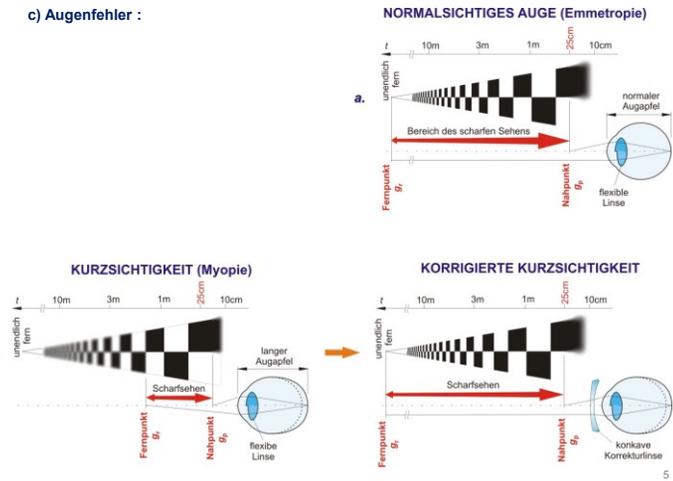
$$\left. \begin{aligned} D_{max} &= \frac{n_g}{g_p} + \frac{n_b}{b} \\ D_{min} &= \frac{n_g}{g_f} + \frac{n_b}{b} \end{aligned} \right\} \Delta D = \frac{1}{g_p} - \frac{1}{g_f}$$



3

2

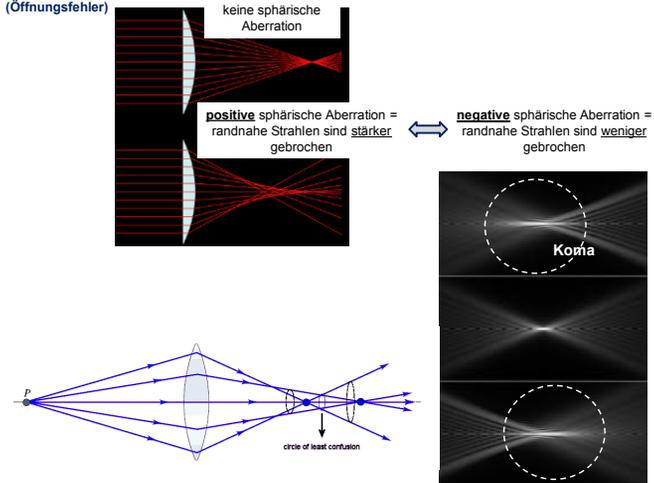
c) Augenfehler :



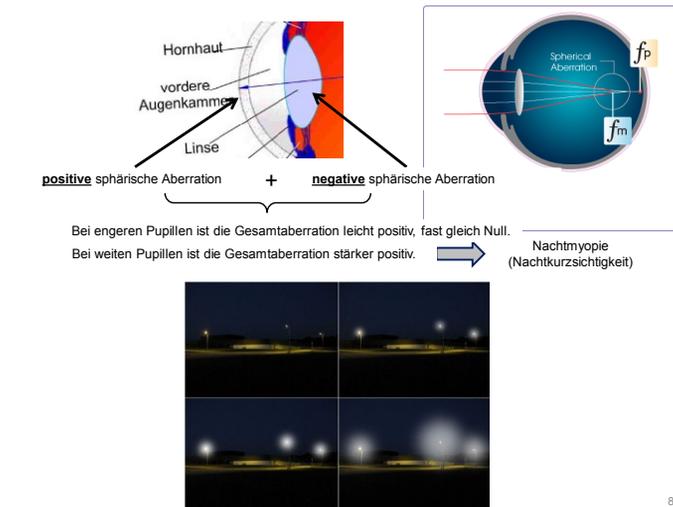
5

6

Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)

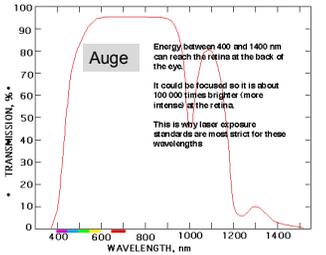
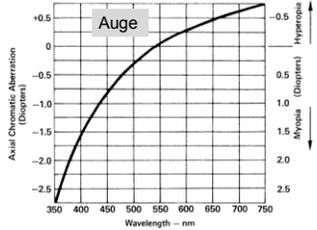
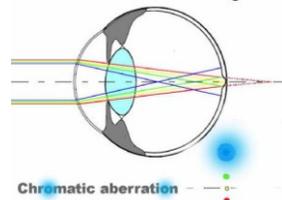
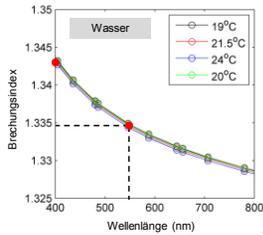


7



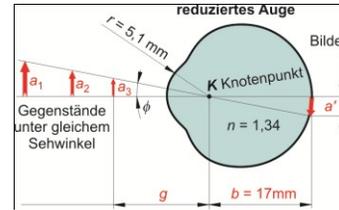
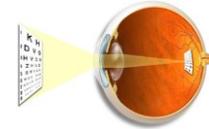
8

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 : $\phi \text{ (rad)} =$

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)

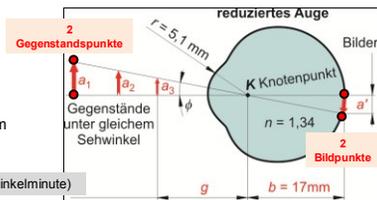
- Auflösungsvermögen: $= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{7} \right)$

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

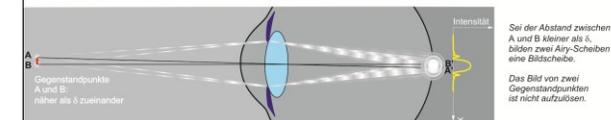
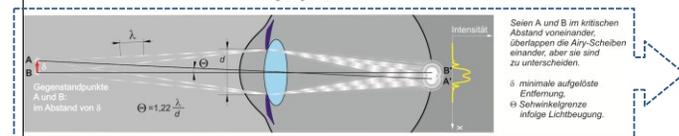
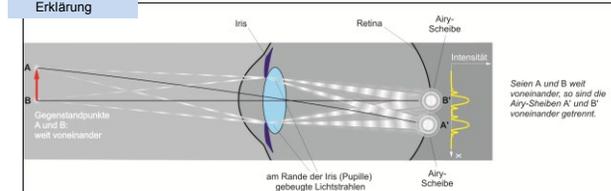
- Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{1/\alpha''}{1/1'} = \frac{1'}{\alpha''} \text{ (100\%)}$

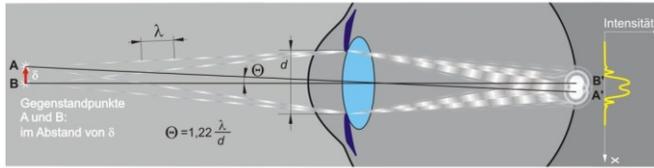
Erklärung:

- biologisch
- physikalisch



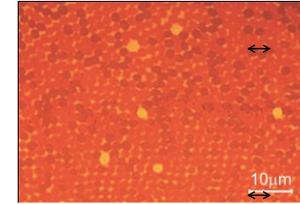
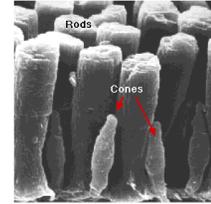
➤ Physikalische Erklärung





Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung (Θ):

➤ Biologische Erklärung



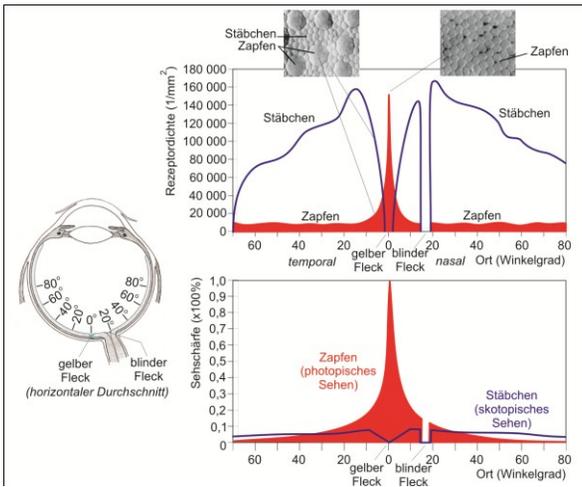
Gegenstandspunkte	Bildpunkte	Empfindung
••		•
••		•
••		••

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptordichte (α):

$\alpha =$

13

14



15

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

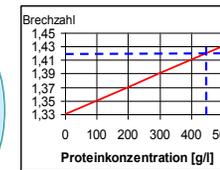
- Adaptation



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

- Streuung

Linse - Brechzahlwerte

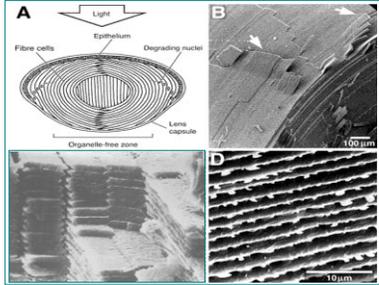


Linse - Graustar

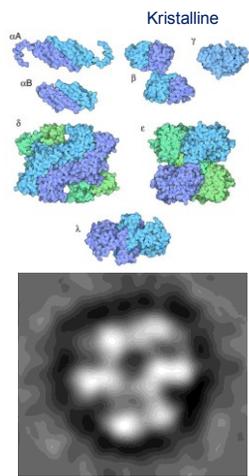


16

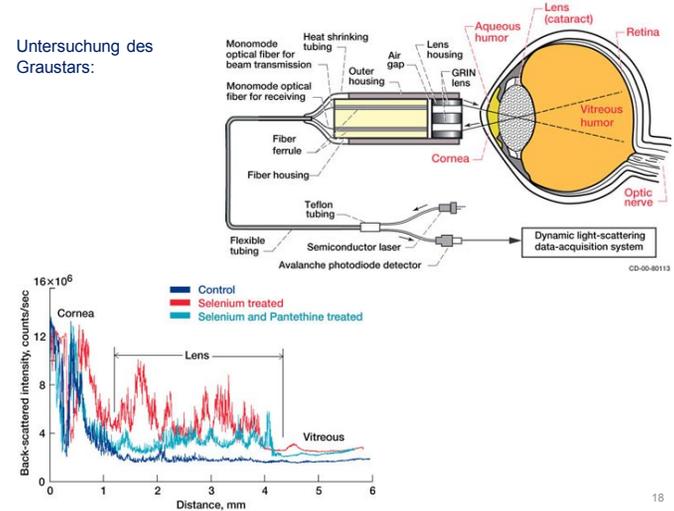
Aufbau der Linse:



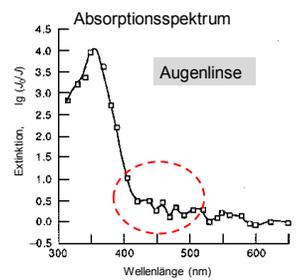
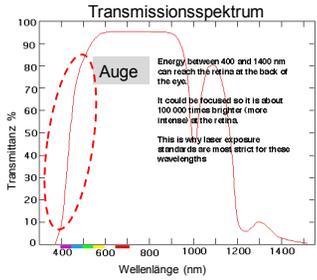
Spezielle Linseproteine:



Untersuchung des Graustars:

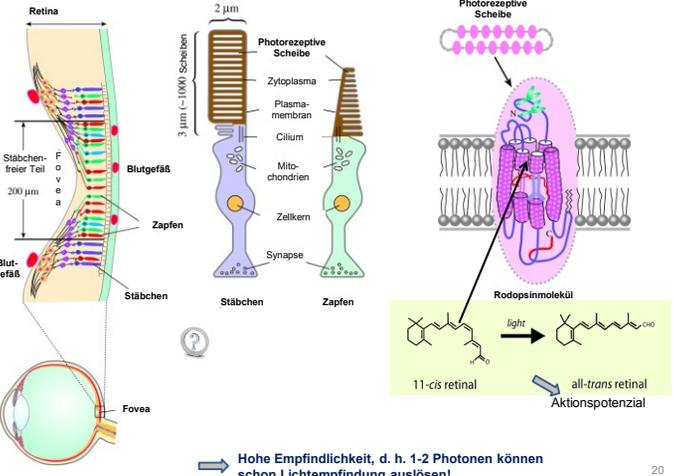


Absorption



- ➔ 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

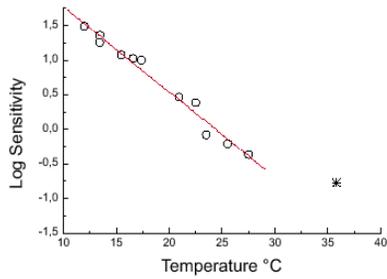
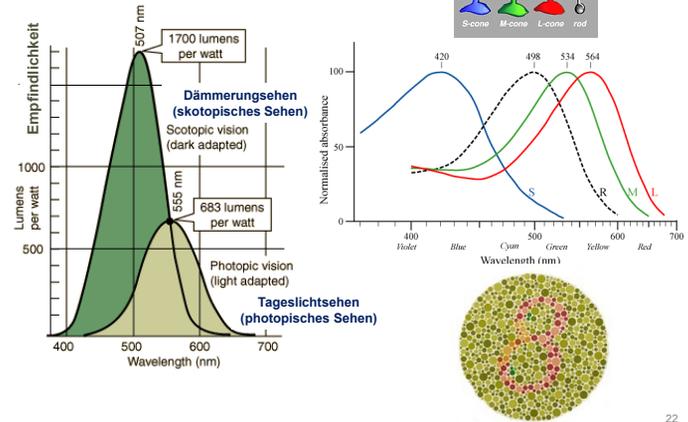


Figure 1. Dark adapted scotopic sensitivity in two frog species (O) and humans (—) as a function of temperature. Ordinate, log sensitivity = $-\log$ threshold (threshold intensity at cornea (quanta $\text{mm}^{-2} \text{s}^{-1}$)). Modified from Aho et al. (1993b) and Donner (1998).

21

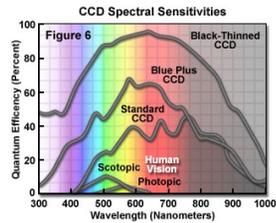
5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



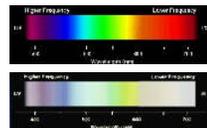
22

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

- Effizienzkurve (Empfindlichkeitskurve)



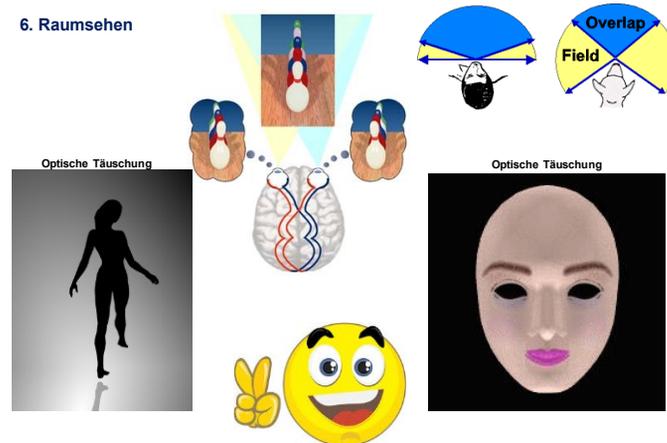
Mensch



Katze

23

6. Raumsehen



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

24