

Medizinische Biophysik 10. Vorlesung

Licht in der Medizin

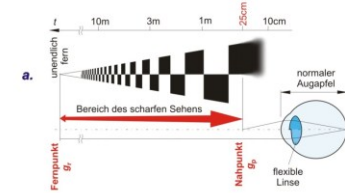
VIII. Das Auge und das Sehen

1. Entwicklung des Sehorgans
2. Aufbau des menschlichen Auges
3. Optik des menschlichen Auges
 - a) Brechkraft des Auges
 - b) Akkomodation (Brechkraftänderung)
 - c) Augenfehler (Myopie, Hyperopie, Presbyopie, sphärische und chromatische Aberration)
 - d) Bildentstehung im Auge (reduziertes Auge)
 - e) (räumliche) Auflösung des Auges
4. Wechselwirkungen des Lichts bis zum Augenfundus
 - Adaptation
 - Reflexion
 - Streuung (Graustar)
 - Absorption
5. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit
6. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen
7. Raumsehen

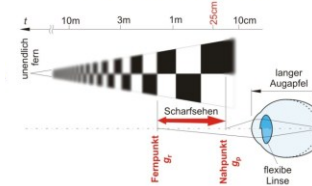
1

c) Augenfehler :

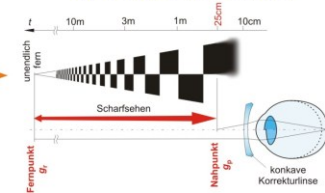
NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



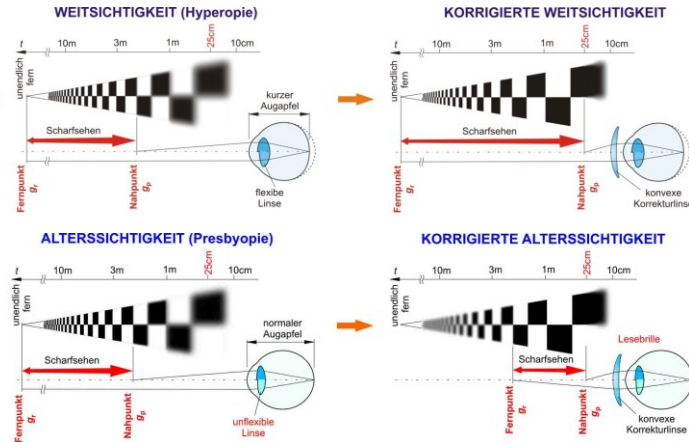
KURZSICHTIGKEIT (Myopie)



KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

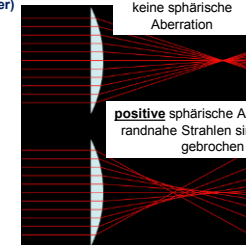


2



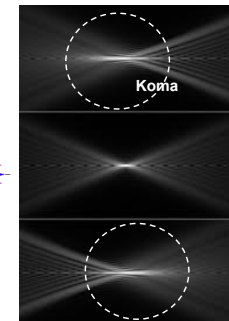
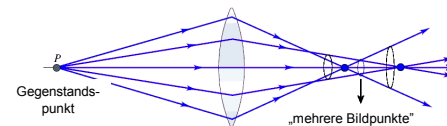
3

Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)

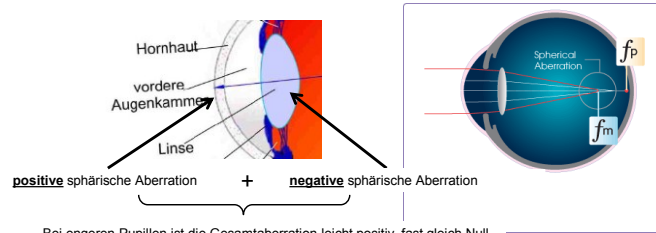


positive sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind **stärker** gebrochen

negative sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind **weniger** gebrochen



4



Bei engeren Pupillen ist die Gesamtaberration leicht positiv, fast gleich Null.

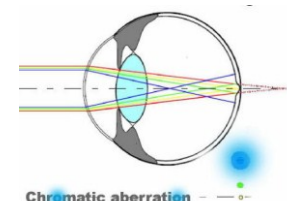
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.

Nachtmyopie
(Nachtkurzsichtigkeit)

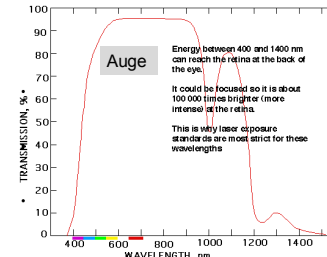
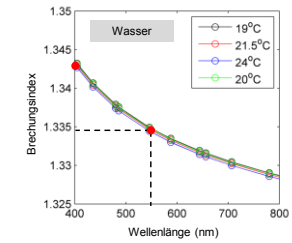
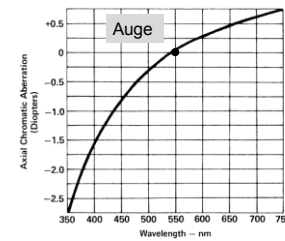


5

Chromatische Aberration (Farbfehler)



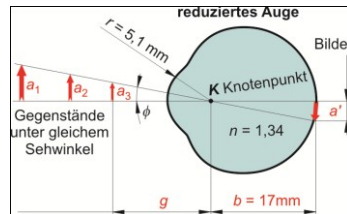
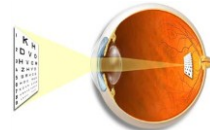
Chromatic aberration



6

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) =

7

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: $= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{r} \right)$

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

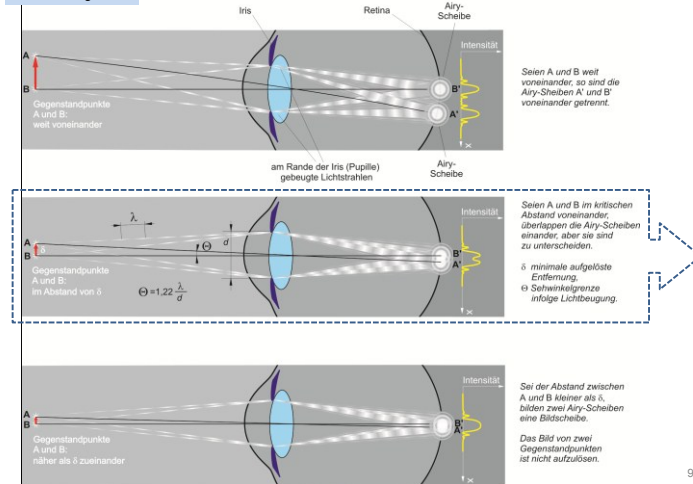
- Sehschärfe (Visus): $= \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha'(\prime)}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha'(\prime)} (\cdot 100\%)$

Erklärung:

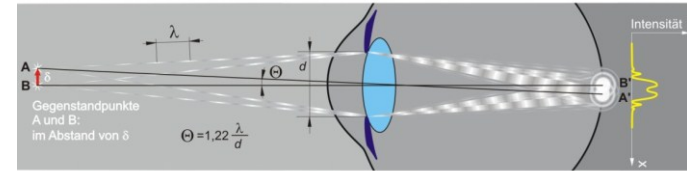
- biologisch
- physikalisch

8

➤ Physikalische Erklärung



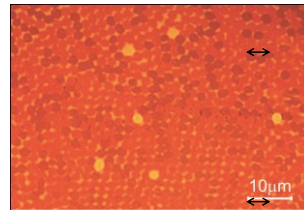
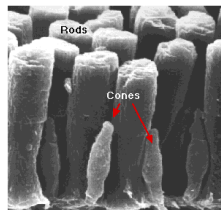
9



Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung (Θ): ?

10

➤ Biologische Erklärung



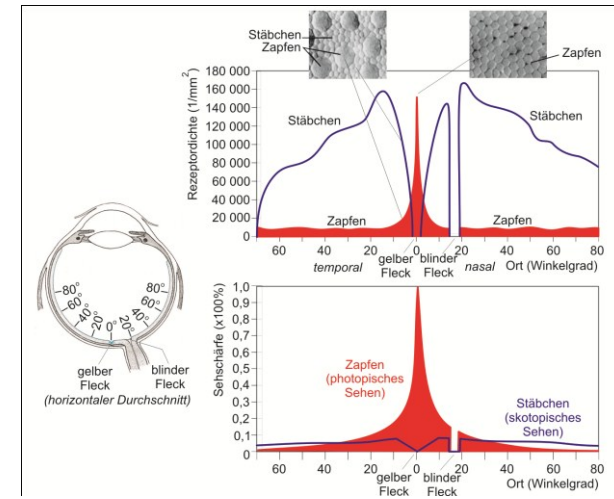
Gegenstandspunkte	Bildpunkte	Empfindung

Sehwinkelgrenze infolge Rezeptordichte (α):

$\alpha =$



11



12

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

Adaptation

Wir wird die eingelassene
Lichtleistung reguliert?



Reflexionen in dem Auge

An welcher Grenzfläche ist
die Reflexion am stärksten
und wie groß ist ρ ?

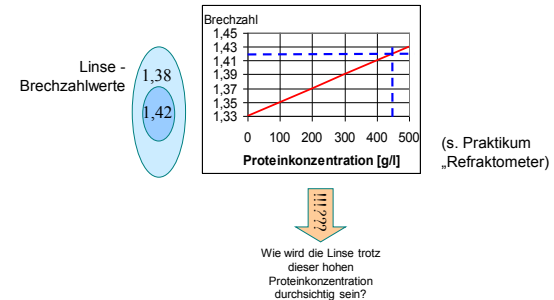
Brechzahlwerte:
Luft (1,00)
Hornhaut (1,37)
Kammerwasser (1,33)
Linse (1,41)
Glaskörper (1,34)

13

Streuung in dem Auge

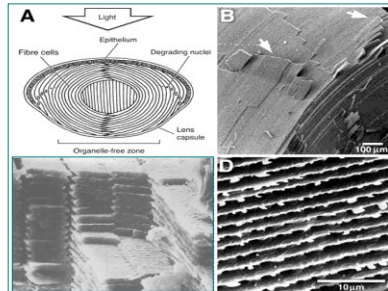
Wo ist die Brechzahl am
höchsten?
Wie wird diese hohe
Brechzahl erreicht?

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

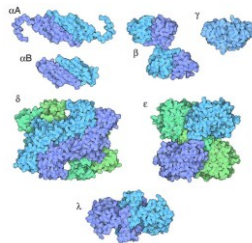


14

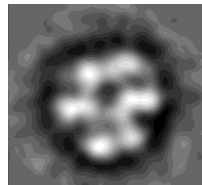
Aufbau der Linse:



Spezielle Linsenproteine: Kristalline



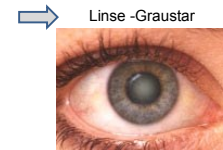
Alpha-Kristallin
--- hat den größten Anteil
--- besitzt eine Chaperone-Funktion



(elektronenmikroskopische Aufnahme von Alpha-Kristallin)

15

Und wenn die Linsenproteine doch koagulieren und sich ausscheiden würden?



Sicht ohne Linsentrübung (Computersimulation).



Sicht mit Linsentrübung (Computersimulation).



Sicht ohne Linsentrübung (Computersimulation).



Sicht mit Linsentrübung (Computersimulation).

Dies ist ein Textbeispiel

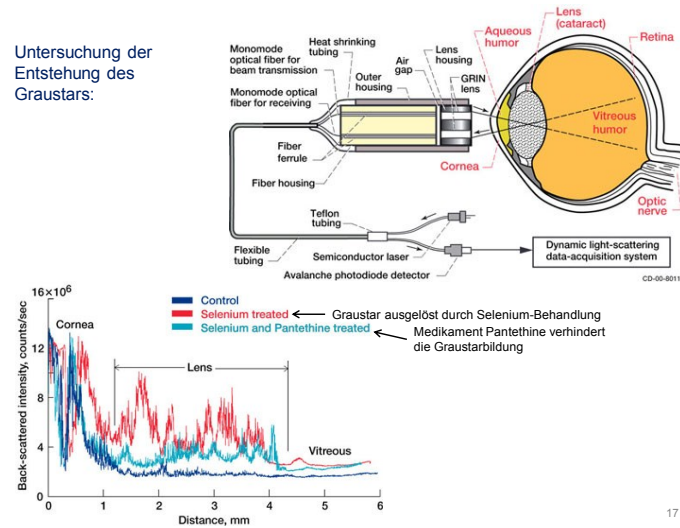
Wie man sieht, ist die Schriftgröße ein wichtiges und entscheidendes Kriterium, wenn es um die Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit von Text bei verschiedenen Sehhindernissen geht.

Dies ist ein Textbeispiel

Wie man sieht, ist die Schriftgröße ein wichtiges und entscheidendes Kriterium, wenn es um die Erkennbarkeit bzw. Lesbarkeit von Text bei verschiedenen Sehhindernissen geht.

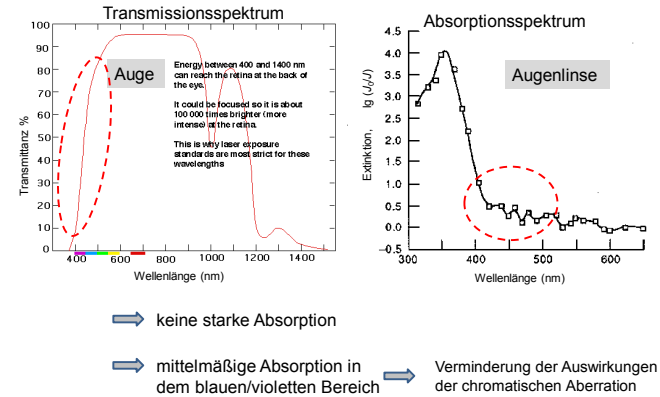
16

Untersuchung der Entstehung des Graustars:



17

Absorption in dem Auge

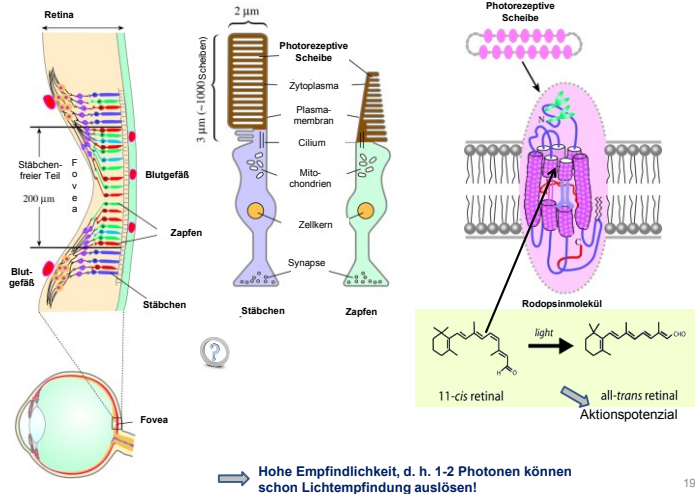


→ keine starke Absorption

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

18

4. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit



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

19

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

Dunkelstrom/Rauschen

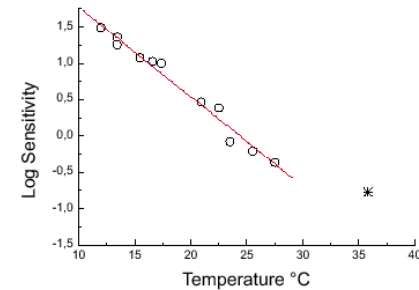
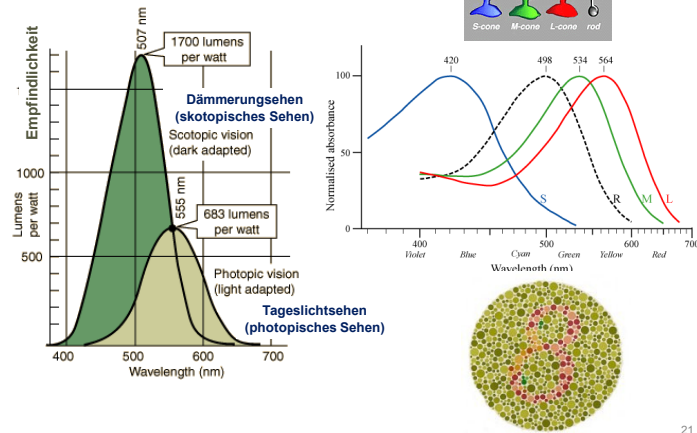


Figure 1. Dark adapted scotopic sensitivity in two frog species (O) and humans (—) as a function of temperature. Ordinate, log sensitivity = - log threshold (threshold intensity at cornea (quanta $\text{mm}^{-2}\text{s}^{-1}$). Modified from Aho et al. (1993b) and Donner (1998).

20

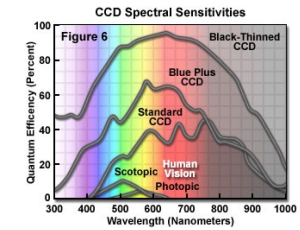
5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



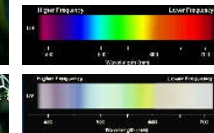
21

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

- Effizienzkurve
(Empfindlichkeitskurve)



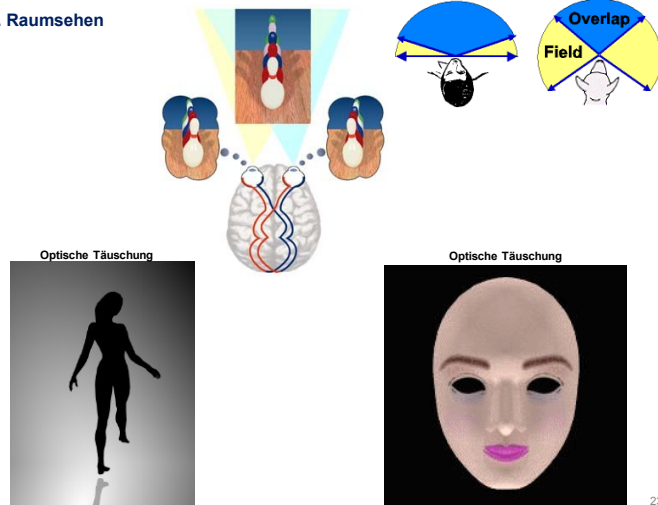
Mensch



Katze

22

6. Raumsehen



23

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung
4.1-2 und 5-15



24