

Medizinische Biophysik 10. Vorlesung

Licht in der Medizin

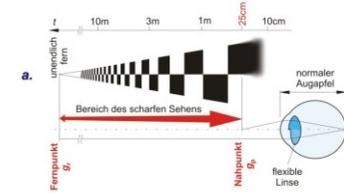
VIII. Das Auge und das Sehen

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

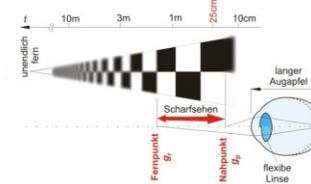
1

c) Augenfehler :

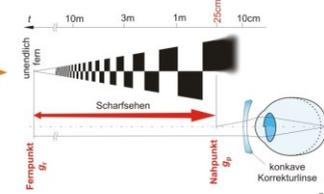
NORMALSICHTIGES AUGE (Emmetropie)



KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

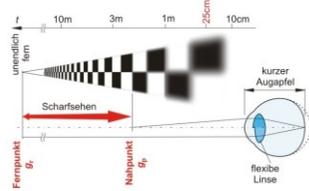


KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

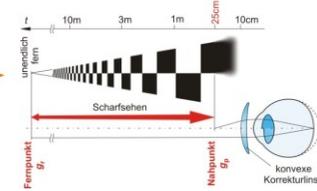


2

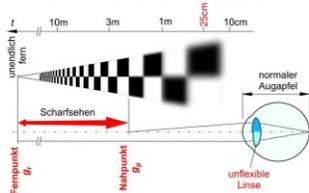
WEITSICHTIGKEIT (Hyperopie)



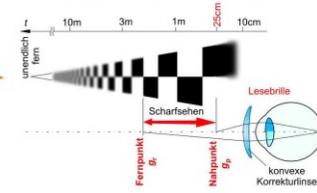
KORRIGIERTE WEITSICHTIGKEIT



ALTERSICHTIGKEIT (Presbyopie)

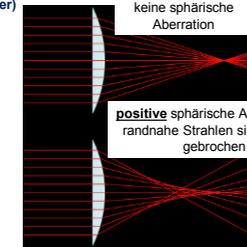


KORRIGIERTE ALTERSICHTIGKEIT



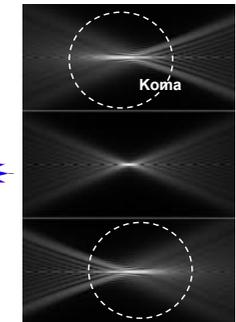
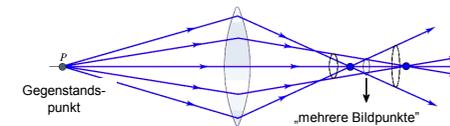
3

Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)

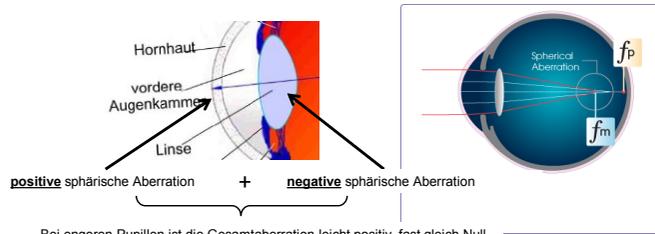


positive sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind stärker gebrochen

negative sphärische Aberration = randnahe Strahlen sind weniger gebrochen



4



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

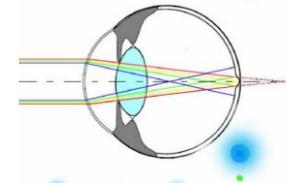
Bei weiten Pupillen ist die Gesamtaberration stärker positiv.

Nachtmyopie (Nachtkurzsichtigkeit)

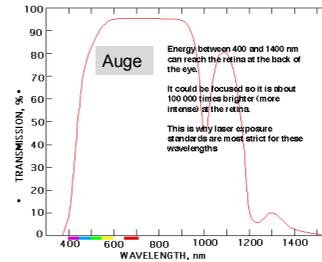
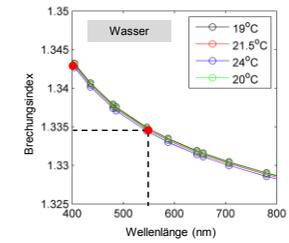
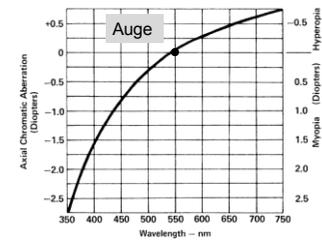


5

Chromatische Aberration (Farbfehler)



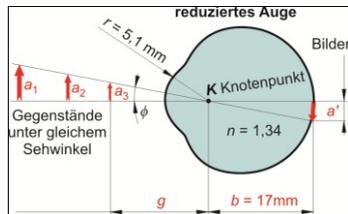
Chromatic aberration



6

d) Bildentstehung im Auge

- Reduziertes Auge



Brechkraft des reduzierten Auges:

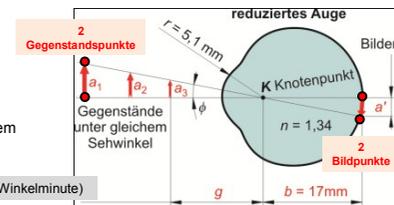
$$D = \frac{n_2 - n_1}{R} =$$

- 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)

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

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

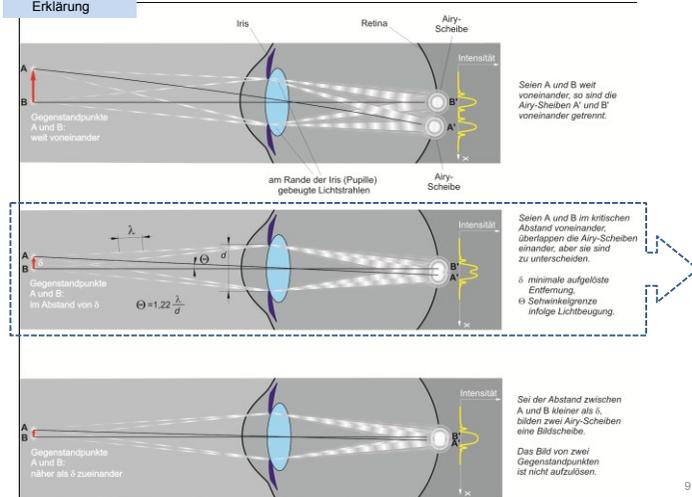
$$\text{Sehschärfe (Visus)} = \frac{\text{Auflösungsvermögen des Patienten}}{\text{Referenzwert des Auflösungsvermögens}} = \frac{\frac{1}{\alpha(\prime)}}{\frac{1}{1'}} = \frac{1'}{\alpha(\prime)} \quad (< 100\%)$$

Erklärung:

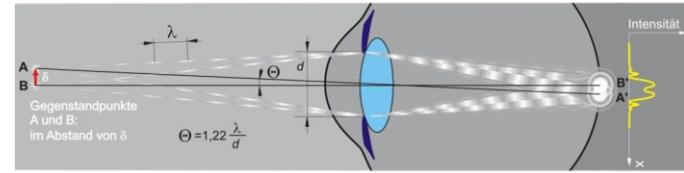
- biologisch
- physikalisch

8

➤ **Physikalische Erklärung**

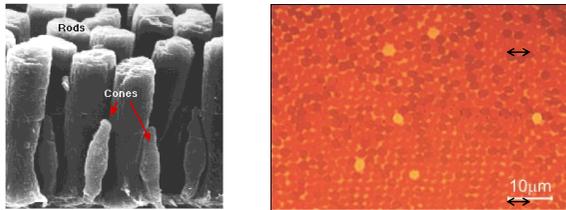


9



10

➤ **Biologische Erklärung**



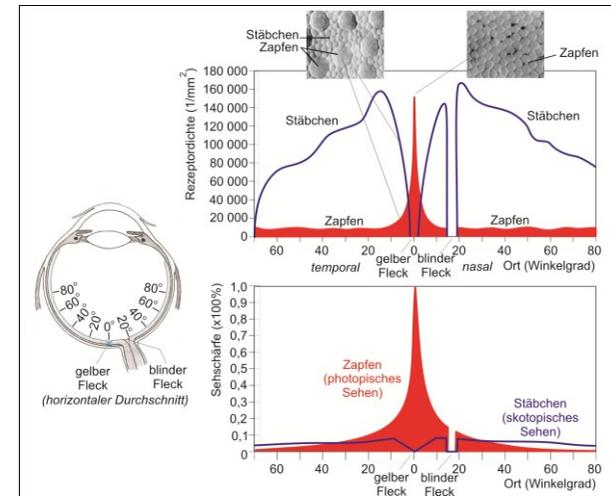
Gegenstandspunkte	Bildpunkte	Empfindung
••		•
••		••
••		••

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 ?

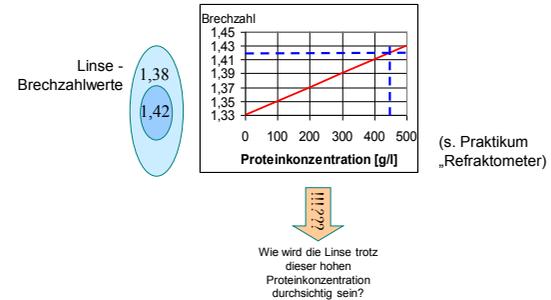
Brechzahlwerte:
Luft (1,00)
Hornhaut (1,37)
Kammerwasser (1,33)
Linse (1,41)
Glaskörper (1,34)

13

▪ Streuung in dem Auge

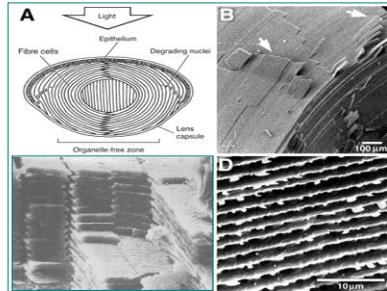
Wo ist die Brechzahl am höchsten?
Wie wird diese hohe Brechzahl erreicht?

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

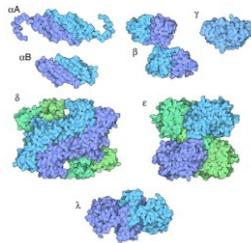


14

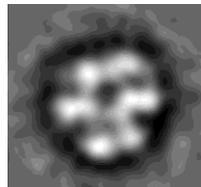
Aufbau der Linse:



Spezielle Linsenproteine: Kristalline



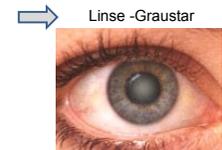
Alpha-Kristallin
--- hat den größten Anteil
--- besitzt eine Chaperone-Funktion



(elektronenmikroskopische Aufnahme von Alpha-Kristallin)

15

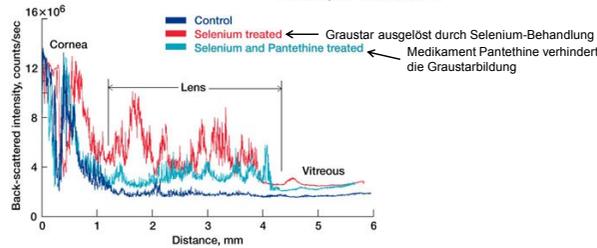
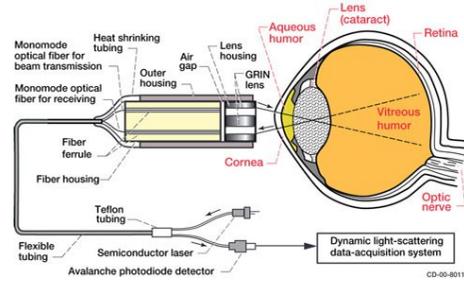
Und wenn die Linsenproteine doch koagulieren und sich ausscheiden würden?



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

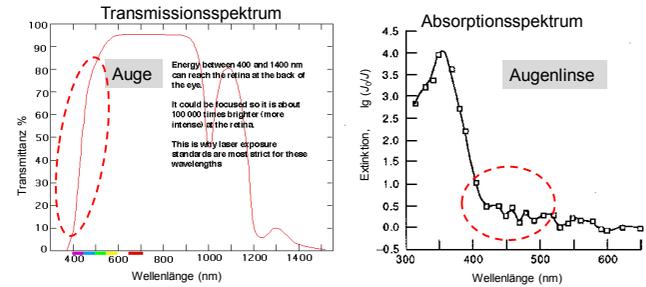
16

Untersuchung der Entstehung des Graustars:



17

Absorption in dem Auge

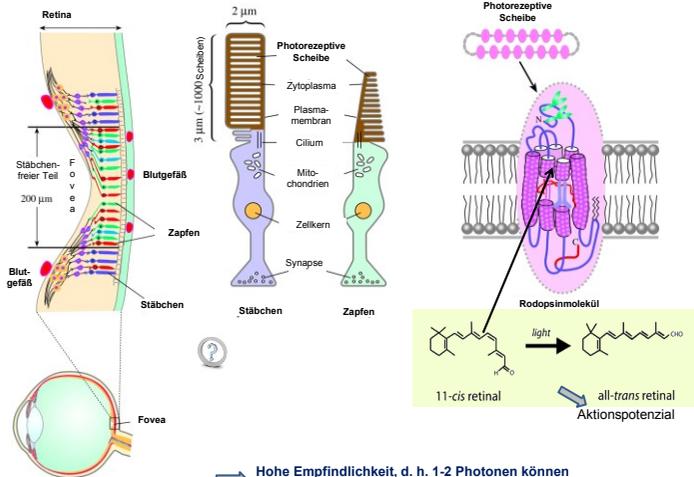


keine starke Absorption

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

18

4. Absorption in den Rezeptorzellen der Netzhaut - Empfindlichkeit



19

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

Dunkelstrom/Rauschen

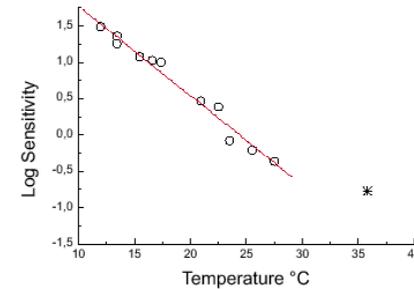
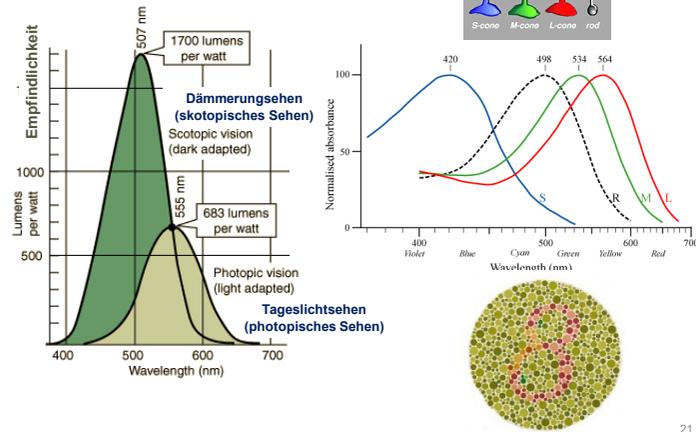


Figure 1. Dark adapted scotopic sensitivity in two frog species (O) and humans (L) as a function of temperature. Ordinate, log sensitivity = - log threshold (threshold intensity at cornea (quanta mm⁻²s⁻¹). Modified from Aho et al. (1993b) and Donner (1998).

20

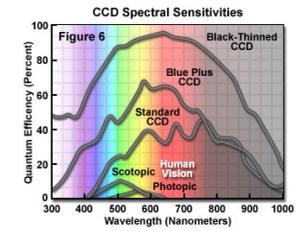
5. Spektrale Empfindlichkeit des Auges - Farbsehen



21

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

- Effizienzkurve
(Empfindlichkeitskurve)



Mensch

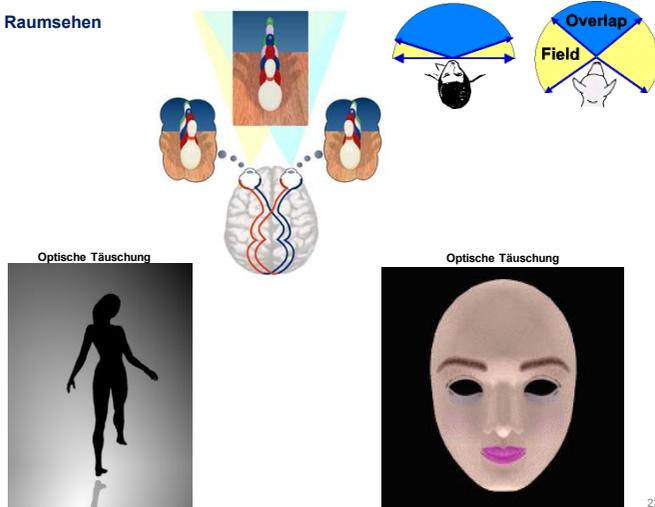


Katze



22

6. Raumsehen



23

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



24