

Physiologische Optik

(Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit)

1 Ziel des Praktikumsversuches

Es sollen die Grundlagen der physiologischen Optik vermittelt werden. Im Praktikum wird die Abhängigkeit der Sehleistungskomponenten Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit des menschlichen Auges von verschiedenen Parametern gemessen.

2 Grundlagen

Aufbau des Auges

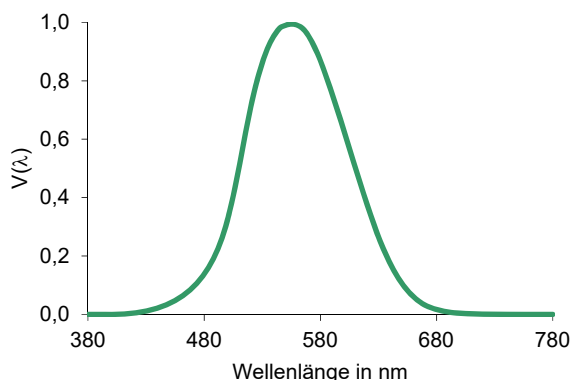
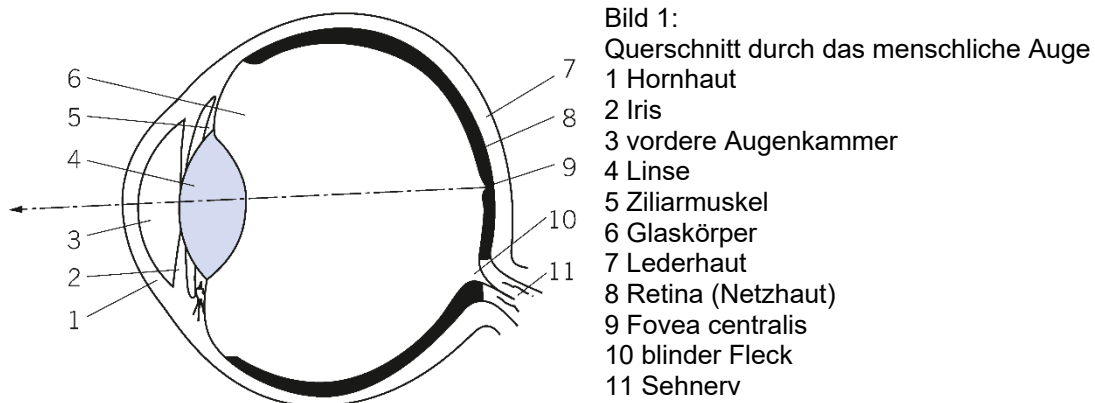


Bild 2:
Spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges $V(\lambda)$

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch das menschliche Auge. Die dingseitige Brechkraft beträgt 58 dpt (1 Dioptrie = 1/m). Damit ergibt sich eine Brennweite von 17 mm. An der Abbildung im Auge sind die Linse, die Hornhaut, das Kammerwasser und der Glas-

körper beteiligt. Das auf der Retina entstehende Netzhautbild löst in den lichtempfindlichen Rezeptoren eine fotochemische Reaktion und damit entsprechende Erregungsprozesse aus.

Das Auge hat zwei Arten von Rezeptoren, die Zapfen, die für das Tages- und damit für das Farbsehen verantwortlich sind, und die Stäbchen, die sehr lichtempfindlich, dafür aber farbunempfindlich sind. Die 120 Millionen Stäbchen und die 7 Millionen Zapfen sind ungleichmäßig über die Netzhaut verteilt. Die Zapfen sind in einem Winkelbereich von $2,5^\circ$ um die Blicklinie konzentriert, die Stäbchen haben ihre größte Dichte bei etwa 20 bis 30° um die Blicklinie. Die spektrale Empfindlichkeit der Zapfen ist in Bild 2 angegeben.

Akkommodation

Akkommodation ist die Anpassung des Auges an unterschiedliche Gegenstandsweiten. Sie erfolgt hauptsächlich durch die Veränderung der Linsenform mittels der Zirkularmuskeln. Die Akkommodationsbreite wird von der Adaptationsleuchtdichte und vom Lebensalter bestimmt.

Adaptation

Adaptation ist die Anpassung des Auges an unterschiedliche Leuchtdichteniveaus (= Adaptationsleuchtdichte). Dabei sind mehrere Adaptationsmechanismen beteiligt (Veränderung der Pupillengröße, Übergang von Zapfen- zu Stäbchensehen, neuronale Vorgänge in der Netzhaut). Um für den entsprechenden Leuchtdichtebereich maximal mögliche Leistung zu erbringen, benötigt das Auge eine gewisse Adaptationszeit. Zur Charakterisierung dieser Leistung wird bei Adaptationsangaben oft der gerade wahrnehmbare Kontrast (Schwellenkontrast C_{th}) angegeben.

Sehleistung

Die Sehleistung hängt in starkem Maße von den Beleuchtungsbedingungen ab und setzt sich aus einer Vielzahl elementarer Sehfunktionen (z. B. Kontrastempfindlichkeit, Sehschärfe, Wahrnehmungsgeschwindigkeit) zusammen, die ihrerseits eine Funktion der Beleuchtung sind.

Dabei spielen folgende Parameter eine dominierende Rolle:

- Leuchtdichte des Sehobjektes
- Umfeldleuchtdichte und deren Verteilung (Adaptationsleuchtdichte)
- spektrale Zusammensetzung des Lichtes und der Körperfarben
- Sehobjektgröße und -form
- Wahrnehmungszeit
- Pulsation der Wahrnehmungsbedingungen
- Ort der Darbietung (bezogen auf die Blicklinie)
- Bewegungsablauf

Zur Bestimmung von elementaren Sehfunktionen werden Sehobjekte verwendet (Bild 3).

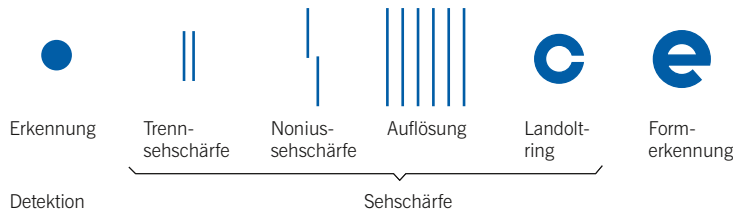


Bild 3: Elementare Sehschärfezeichen

Sehschärfe

Die Sehschärfe V ist die Fähigkeit des Auges, zwei getrennte Objekte gerade als getrennt zu sehen (Auflösungsvermögen). Form, Kontrast und Umfeld des Sehschärfes haben zum Teil erheblichen Einfluß auf die Sehschärfe. Die Sehschärfe V wird als V_{vis} (Reziprokwert des Sehwinkels β in Bogenminuten) angegeben.

$$(1) \quad V = \frac{1}{\beta}$$

Kontrastempfindung

Es ist zu unterscheiden, ob man es mit Schwellenkontrasten oder überschwelligen Kontrasten zu tun hat. Der Kontrast C ist folgendermaßen definiert:

$$(2) \quad C = \frac{L_u - L_o}{L_u} \quad L_o - \text{Leuchtdichte des Objektes, } L_u - \text{Leuchtdichte des Umfeldes}$$

Der Schwellenkontrast C_{th} ist derjenige Kontrast, bei dem das Sehschärfes gerade noch wahrgenommen wird (Erkennungswahrscheinlichkeit 50 %). Der Schwellenkontrast hängt von Objektgröße, Darbietungszeit, Adaptationsleuchtdichte und anderen Parametern ab.

Die Kontrastempfindlichkeit CS ist der Reziprokwert des Schwellenkontrastes:

$$(3) \quad CS = \frac{1}{C_{\text{th}}}$$

3 Versuchsdurchführung und Auswertung

Im Praktikum sollen die Sehschärfe und der Schwellenkontrast jedes Studenten in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern gemessen werden.

Folgende Messaufgaben sind zu absolvieren:

1. Bestimmen Sie die Sehschärfe jedes Versuchsteilnehmers in Abhängigkeit vom Kontrast. Stellen Sie den Zusammenhang grafisch dar.
2. Bestimmen Sie den Einfluss der optischen Korrektur auf die Sehschärfe.
3. Bestimmen Sie die Sehschärfe jedes Versuchsteilnehmers in Abhängigkeit von der Adaptationsleuchtdichte. Beachten sie, dass vor der Messung eine Adaptationszeit von 10 min eingehalten wird. Stellen Sie den Zusammenhang grafisch dar.

4. Bestimmen Sie den Schwellenkontrast in Abhängigkeit von der Sehzeichengröße (= Sehwinkel). Verwenden Sie als Sehzeichen den Landolt-Ring. Stellen Sie den Zusammenhang grafisch dar.
5. Bestimmen Sie den Schwellenkontrast für verschiedene Adaptationsleuchtdichten L_{ad} . Stellen Sie den Zusammenhang grafisch dar.
6. Bestimmen Sie den Schwellenkontrast in Abhängigkeit von der Blendung durch eine kleine Lichtquelle.

4 Vorbereitungsaufgaben

1. Machen Sie sich mit den physiologischen Grundfunktionen des menschlichen Auges und den Begriffen Sehzeichen, Sehschärfe, Sehwinkel, Kontrast, Schwellenkontrast, Adaptationsleuchtdichte und Visus vertraut
2. Was versteht man unter der Leuchtdichte? Welche Rolle spielt die $v(\lambda)$ -Kurve?
3. Was versteht man unter physiologischer Blendung? Welchen Einfluss hat sie auf die Kontrastempfindlichkeit? Worin besteht der Unterschied zur psychologischen Blendung?

5 Literatur

1. Baer, R.: Beleuchtungstechnik