

## **Kurs 4 – Sehen**

### **Arbeitsgruppe D6:**

Clara Dees  
Susanne Duncker  
Anja Hartmann  
Kristin Hofmann

## **Protokoll**

### **1. Einleitung:**

In diesem Kurs wurden zunächst Versuche zur Bestimmung der Sehschärfe und der Fähigkeit zur Helligkeitsunterscheidung durchgeführt. Des Weiteren wurde durch die Herrmann'sche Gittertäuschung die Größe der extrafovealen rezeptiven Felder bestimmt und durch einen Anomaloskopabgleich leichte Störungen der Farbwahrnehmung ermittelt.

### **2. Material und Methoden:**

Bei Versuch 1a ging es um die Bestimmung der Sehschärfe. Dabei wurde eine Doppellochblende zwischen Augen und Leuchtschirm immer weiter von der Versuchsperson entfernt und der Abstand an dem Punkt gemessen, an dem die Versuchsperson die beiden Bohrungen nicht mehr unterscheiden konnte (siehe Skript S. 45 f.).

Mit Versuch 1b wurde mit Hilfe einer Doppellochblende und Graufiltern (hier Objektträger) die Weber-Fechner'sche Regel überprüft. Entgegen der Versuchsanleitung auf S. 47 des Skripts wurden im Kurs zwei gleich helle Lichtpunkte an die Projektionsleinwand mit den relativen Helligkeiten 100%, 50%, 25%, 10% und 0,5% geworfen. Bei jeder Helligkeitsstufe wurden 16 Tests gemacht, wobei immer viermal mit der gleichen Anzahl Graufilter gearbeitet wurde. Die Anzahl der Graufilter variierte von 1-4. Anschließend wurden die Werte der mindestens benötigten Graufilter aller Kursteilnehmer gesammelt und der Mittelwert sowie die Standardabweichung ermittelt.

Im 2. Versuch wurde die Herrmann'sche Gittertäuschung durchgeführt, um die Größe der Rezeptiven Felder zu bestimmen. In einer Reihe von 11 Gittern mit verschiedener Linienbreite (von 0,5 – 11,4 cm) wurde jeweils das Gitter mit der niedrigeren Linienbreite mit der direkt darüber liegenden Breite verglichen und festgehalten, ob der Effekt zu- oder abnimmt oder gleich bleibt. Daraus wurden die Linienbreiten mit maximalem Effekt notiert und daraus der Öffnungswinkel der rezeptiven Felder berechnet. Wiederum wurden Mittelwert Standardabweichung des Kurses bestimmt.

Durch Versuch 3 (Skript S. 51 ff.) wurde die Farbwahrnehmung getestet. Zunächst wurde dafür ein nicht im Skript enthaltener Test durchgeführt, bei dem ein Dia mit verschiedenen farbigen Testbildern an die Leinwand projiziert wurde. Die Kursteilnehmer sollten herausfinden, ob sie die darauf enthaltenen Zahlen lesen konnten. Anschließend wurde der Anomaloskopabgleich durchgeführt, bei dem ein Licht mit einer bestimmten Wellenlänge (589nm) an die Leinwand geworfen wurde. Mit einem zweiten Projektor wurde nun Licht zweier verschiedener Wellenlängen (629nm und 542nm) so gemischt, dass der gleiche Farbeindruck wie beim ersten Lichtfeld entstand.

### 3. Auswertung:

#### Versuch 1a:

Clara:  $E = 1100\text{mm}$ ,  $d = 0,6\text{mm}$   $\varepsilon$   $a = 1,87'$

Susanne:  $E = 1150\text{mm}$ ,  $d = 0,6\text{mm}$   $\varepsilon$   $a = 1,79'$

Anja:  $E = 1290\text{mm}$ ,  $d = 0,6\text{mm}$   $\varepsilon$   $a = 1,6'$

Kristin:  $E = 1490\text{mm}$ ,  $d = 0,6\text{mm}$   $\varepsilon$   $a = 1,38'$

Mittlerer Sehschärfewinkel  $a = 1,93'$

Standardabweichung:  $0,59'$

#### *Berechnung des Abstands der beiden Bildpunkte auf der Retina:*

$$a = (180^\circ \times d) \times 60 / (p \times E) \quad \varepsilon \quad d = a \times p \times E / 180 \times 60 \quad E = 17\text{mm}$$

Clara:  $d = 0,0092\text{mm} = 9,2\mu\text{m}$

Susanne:  $d = 0,0088\text{mm} = 8,8\mu\text{m}$

Anja:  $d = 0,0079\text{mm} = 7,9\mu\text{m}$

Kristin:  $d = 0,0068\text{mm} = 6,8\mu\text{m}$

Mittelwert:  $d = 0,0095\text{mm} = 9,5\mu\text{m}$

*Literaturwert für den Rezeptordurchmesser dieser Retinaregion:*  $D = 2,0\mu\text{m}$

(aus: Wehner / Gehring, Zoologie, S. 420)

Aus dem Vergleich des Abstands der beiden Bildpunkte mit dem Rezeptordurchmesser der Retina ergibt sich, dass zwischen den aktivierten Rezeptoren noch 3-4 nicht-aktivierte Rezeptoren liegen.

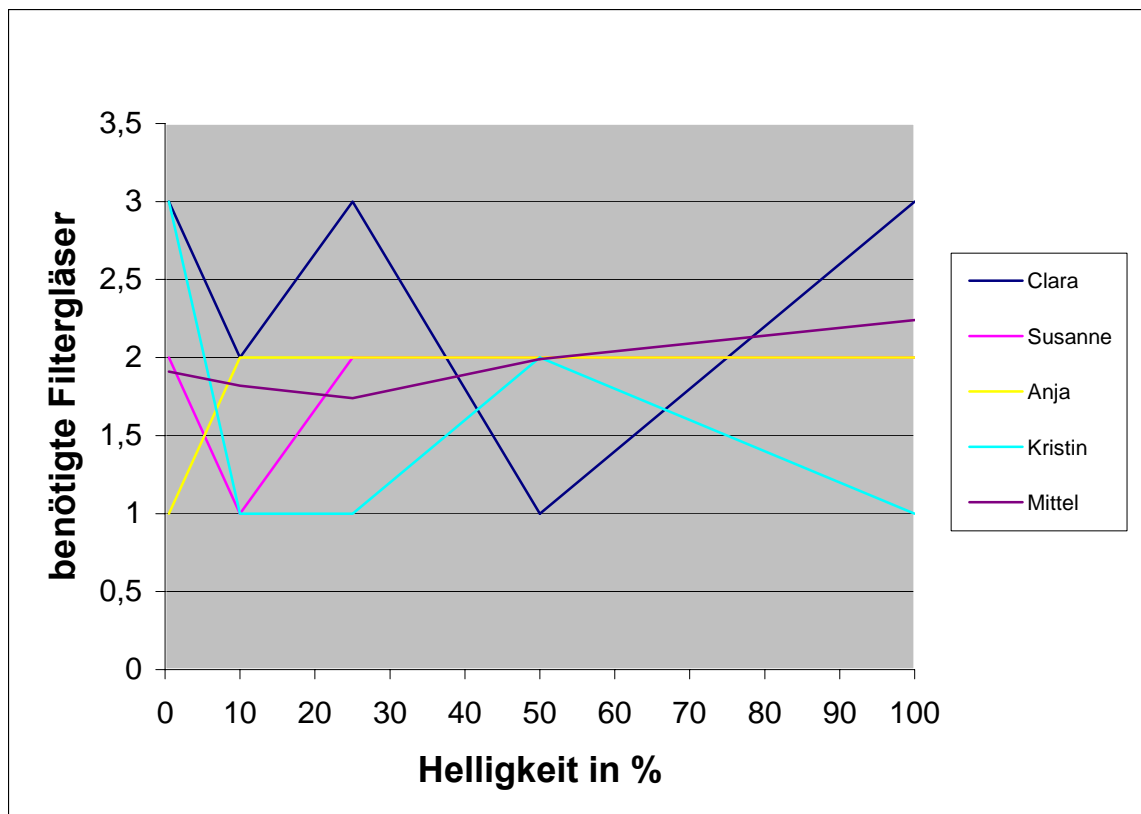
#### *Anatomische Grundlage der Sehschärfe:*

Die Sehschärfe (= Auflösungsvermögen) hängt von der Dichte der Rezeptoren in der Retina ab. Je dichter die Rezeptoren, desto kleiner wird der Sehschärfenwinkel  $a$  und desto besser wird das Auflösungsvermögen. Außerdem hängt die Sehschärfe von der Brennweite, d.h. vom Abstand zwischen dem Knotenpunkt, in dem sich die Lichtstrahlen schneiden, und der Retina ab. Beim Menschen beträgt die Brennweite 17mm. Die Sehschärfe nimmt von der Fovea zur Peripherie hin ab, da die Zäpfchendichte abnimmt (siehe Skript S. 45).

#### Versuch 1b:

#### **Benötigte Filtergläser in Bezug auf Helligkeit**

Helligkeit in %	Clara	Susanne	Anja	Kristin	mittlere Anzahl
100	3	2	2	1	2,24
50	1	2	2	2	1,99
25	3	2	2	1	1,74
10	2	1	2	1	1,82
0,5	3	2	1	3	1,91



**Berechnung des Quotienten  $\Delta I/I_0$ :**

**Clara:**

	$I_0$	$I$	$\Delta I$	$\Delta I/I_0$
<b>100%</b>	8000	6435	1565	$\sim 3/16$
<b>50%</b>	4000	3720	280	$7/100$
<b>25%</b>	2000	1609	391	$\sim 1/5$
<b>10%</b>	800	692	108	$\sim 1/8$
<b>0,5%</b>	40	32	8	$1/5$

**Susanne:**

	$I_0$	$I$	$\Delta I$	$\Delta I/I_0$
<b>100%</b>	8000	6919	1081	$\sim 1/8$
<b>50%</b>	4000	3459	541	$\sim 1/8$
<b>25%</b>	2000	1729	271	$\sim 3/20$
<b>10%</b>	800	744	56	$7/100$
<b>0,5%</b>	40	35	5	$1/8$

**Anja:**

	<b>I<sub>0</sub></b>	<b>I</b>	<b>ΔI</b>	<b>ΔI/I<sub>0</sub></b>
<b>100%</b>	8000	6919	1081	~1/8
<b>50%</b>	4000	3459	541	~1/8
<b>25%</b>	2000	1729	271	~3/20
<b>10%</b>	800	692	108	~1/8
<b>0,5%</b>	40	37	3	3/40

**Kristin:**

	<b>I<sub>0</sub></b>	<b>I</b>	<b>ΔI</b>	<b>ΔI/I<sub>0</sub></b>
<b>100%</b>	8000	7440	560	7/100
<b>50%</b>	4000	3459	541	~1/8
<b>25%</b>	2000	1895	105	~1/20
<b>10%</b>	800	744	56	7/100
<b>0,5%</b>	40	32	8	1/5

**Kursmittel:**

	<b>I<sub>0</sub></b>	<b>Anzahl Filtergläser</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>I</b>	<b>ΔI</b>	<b>ΔI/I<sub>0</sub></b>
<b>100%</b>	8000	2,24	0,79	6919	1081	~1/8
<b>50%</b>	4000	1,99	0,74	3459	541	~1/8
<b>25%</b>	2000	1,74	0,78	1729	271	~1/8
<b>10%</b>	800	1,82	0,81	692	108	~1/8
<b>0,5%</b>	40	1,91	0,93	35	5	1/8

Hiermit ist die Weber-Fechner'sche Regel bestätigt, da der Quotient konstant bei 1/8 liegt. Die mittlere Anzahl mindestens notwendiger Filtergläser pendelt um die zwei. Ebenso bleibt die Standardabweichung etwa konstant.

## Versuch 2:

### *Entstehung der Hermann'schen Gittertäuschung:*

Bei dieser optischen Täuschung erscheinen die Kreuzungspunkte dunkler als die weißen Linien. Der Effekt verschwindet, sobald die wahrgenommene Erscheinung fokussiert wird.

Dies lässt sich durch die rezeptiven Felder erklären:

Sämtliche Rezeptoren, die auf ein Neuron einwirken bilden dessen kreisförmiges rezeptives Feld. Die inneren Rezeptoren des Kreises wirken erregend, die äußeren hemmend. Wenn die Streifenbreite auf der Retina ebenso breit ist wie der Durchmesser des rezeptiven Feldes, so wird kein Effekt wahrgenommen, da sich Erregung und Hemmung gegenseitig aufheben. Wird die Streifenbreite geringer, wird der Effekt wahrgenommen, da ein Teil des hemmenden Umfelds auf die schwarzen Flächen fällt und somit nicht erregt wird. Maximal wird dieser Effekt, wenn die Streifenbreite genau dem Durchmesser des erregenden Zentrums entspricht, da die meisten Rezeptoren aus dem Umfeld nicht erregt sind und keine hemmende Wirkung zeigen. Dass die Kreuzungsstellen dunkler erscheinen erklärt sich dadurch, dass das rezeptive Feld vom Umfeld her stärker gehemmt wird als auf den Linien, da mehr hemmende Rezeptoren erregt werden. (siehe Skript S. 48ff.)

### *Berechnung des mittleren Öffnungswinkels und Durchmesser der rezeptiven Felder:*

Allgemein:  $\alpha = (180^\circ \times d) \times 60 / (\pi \times E)$

Hier: E = Abstand zur Leinwand; d = Linienbreite mit maximalem Effekt;

Rezeptordurchmesser =  $2\mu\text{m}$  (siehe Auswertung Versuch 1a)

Clara: E = 5m; d = 2,1cm  $\varepsilon \alpha = 14,44^\circ$

Verhältnis Sehschärfenwinkel : Öffnungswinkel =  $\sim 1 : 8$

$\varepsilon$  Das rezeptive Feld besteht im Durchmesser aus 8 Rezeptoren, d.h. Durchmesser des rezeptiven Feldes D =  $16\mu\text{m}$

Susanne: E = 5m; d = 2,7cm  $\varepsilon \alpha = 18,56^\circ$

Sehschärfenwinkel : Öffnungswinkel =  $\sim 1 : 9$

$\varepsilon D = 9 \times 2\mu\text{m} = 18\mu\text{m}$

Anja: E = 6m; d = 2,1cm  $\varepsilon \alpha = 12,03^\circ$

Sehschärfenwinkel : Öffnungswinkel =  $\sim 1 : 8$

$\varepsilon D = 16\mu\text{m}$

Kristin: E = 5m; d = 3,2cm  $\varepsilon \alpha = 22,00^\circ$

Sehschärfenwinkel : Öffnungswinkel =  $1 : 16$

$\varepsilon D = 32\mu\text{m}$

Kursmittel:  $\alpha = 15,75^\circ$ ; Sehschärfenwinkel : Öffnungswinkel =  $\sim 1 : 8$

$\varepsilon$  rezeptive Felder bestehen durchschnittlich aus 8 Rezeptoren, d.h. der Durchmesser des rezeptiven Feldes D beträgt  $16\mu\text{m}$

### Versuch 3:

Beim Test mit dem Dia gaben acht von insgesamt 23 männlichen und 45 weiblichen Kursteilnehmern an, eine Farbschwäche zu haben, davon 1 männlicher und 7 weibliche Kursteilnehmer. Beim Anomaloskopabgleich waren es insgesamt 17 (1 männlicher und 16 weibliche) Kursteilnehmer. Dabei gab der männliche Kursteilnehmer zuviel Rot an, bei den weiblichen Kursteilnehmern mit Farbschwäche gaben dies 15 an, 1 weibliches Kursmitglied sah zuviel Grün.

Mittels eines Chi<sup>2</sup>-Tests über den Anomaloskopabgleich wird überprüft, ob die beobachtete Häufigkeit einer Störung der Farbwahrnehmung unter den Kursteilnehmern gleich dem Mittelwert der deutschen Bevölkerung ist.

#### *Chi<sup>2</sup>-Test über den Anomaloskopabgleich:*

Nullhypothese: Die Häufigkeit im Kurs ist gleich dem Mittelwert der deutschen Bevölkerung

Allgemein:  $\chi^2 = (N_{\text{beobachtet}(\text{♂})} - N_{\text{erwartet}(\text{♂})})^2 / N_{\text{erwartet}(\text{♂})} + (N_{\text{beobachtet}(\text{♀})} - N_{\text{erwartet}(\text{♀})})^2 / N_{\text{erwartet}(\text{♀})}$

Übliches Signifikanzniveau  $p = 0,05$

$$\varepsilon \chi^2 = (1/23 - 1,84)^2 / 1,84 + (16/45 - 0,18)^2 / 0,18 = 1,925$$

Bei einem Freiheitsgrad und dem Signifikanzniveau 0,05 wird die Nullhypothese abgelehnt, wenn der Chi<sup>2</sup>-Wert größer oder gleich 3,841 ist.

Hier ist  $\chi^2 < 3,841$ , daher wird die Hypothese bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% angenommen.

Das bedeutet, dass die im Kurs ermittelten Häufigkeiten nicht signifikant vom Mittelwert der deutschen Bevölkerung abweichen.