

Sehen und gesehen werden

Ein bisschen Physik rund um's Auge

Freihandversuche 07 12 01

Kittel Matthias
9502020
kittel@astro.univie.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1	Der <i>Schlafzimmer-Blick</i>	1
2	Wie viele Dioptrien haben Ihre Augen?	1
3	Der aktive Seh-Winkel	2
4	Ihre persönliche Seh-Schärfe	2
5	Ihr persönlicher Blickwinkel	5
6	Physikalisches Rätsel	5
7	Beilage	6
7.1	Das Auge in Zahlen	6
7.2	Anatomie und Sehfunktion	6

Abbildungsverzeichnis

1	subjektiver Eindruck der Flamme beim Schlafzimmerblick	1
2	Skizze des menschlichen Auges	3
3	Versuchsordnung - Messung der Brechzahl von Wasser	6

Tabellenverzeichnis

1	Messung des Geradenabstandes - mit Brille	3
2	Messung des Geradenabstandes - ohne Brille	3
3	Parameter k - mit Brille	3
4	Parameter k - ohne Brille	4
5	Sehschärfe in Prozent - mit Brille	4

6	Sehschärfe in Prozent - ohne Brille	4
7	Bestimmung der Bildgröße im Auge	4
8	Blickwinkel	5
9	Messergebnisse - Physikalisches Rätsel	6

1 Der *Schlafzimmer-Blick*

Bei diesem Versuch wird ein Teelicht durch die Wimpern bei gesenkten Augenlidern betrachtet, gerade so, als würde man sich unmittelbar vor dem Einschlafen befinden. Die subjektive Beobachtung ist in *Abbildung 1* wiedergegeben. Für die Doppelbeziehungsweise Dreifachbilder, sowie für den Lichtstrahl in der Mitte bieten sich mehrere Erklärungsmöglichkeiten. Zum einen die Beugung der Lichtstrahlen an den Wimpern. Für die Beugung k -ter Ordnung gilt folgende Gleichung

$$\sin \varphi_k = \frac{k * \lambda}{d} \quad . \quad (1)$$

Für die erste Ordnung, sowie für eine Lichtwellenlänge von zirka 500 nm und der Wimperbreite von 100 μm gelangt man über

$$\sin \varphi_k = \frac{1 * \lambda}{d} \sim \frac{\lambda}{d} = \frac{5 * 10^{-7}}{10^{-4}} = 5 * 10^{-3} \quad (2)$$

zu einem Beugungswinkel von 0.3 Grad. Das allein erklärt das Bild aber noch nicht vollständig. Weiters kommt es zur Streuung und vorallem zur Lichtreflexion an den Lidern und der Pupille, der senkrechte Lichtstrahl wird durch die Vorzugsrichtung der Reflexion an den Lidern erzeugt.

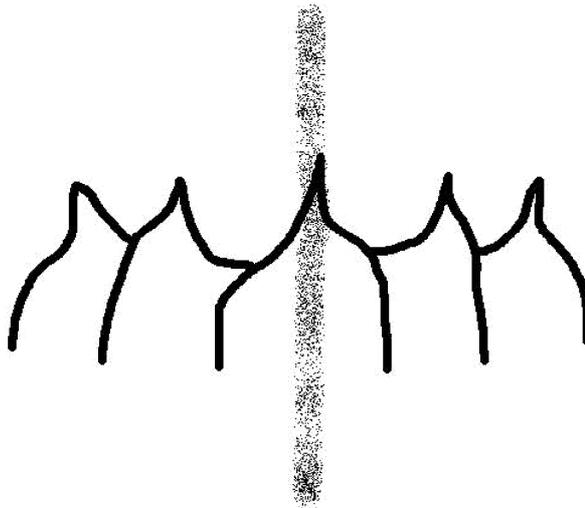


Abbildung 1: Hier wird in der Mitte die *reale* Flamme, rechts und links die Mehrfachbilder derselben skizziert. Der senkrechte Strich symbolisiert einen erscheinenden Lichtstrahl.

2 Wie viele Dioptrien haben Ihre Augen?

In diesem Beispiel geht es um die Bestimmung die Dioptrienanzahl der Augen, und zwar für den Zustand *Lesen* und den des *Blickes ins Unendliche*. Wie angegeben kann das Auge als durchsichtige Kugel von der Größe von 22 bis 24 Millimetern modellweise angesehen werden.

Für den Kehrwert der Brennweite f gilt die Relation,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad , \quad (3)$$

wobei g die Gegenstands- und b die Bildweite bezeichnet. Letztere ist schon durch oben getroffene Annahme mit ungefähr 23 Millimeter festgelegt. Die Gegenstandsweite wird beim Lesen zu zirka 30 Zentimetern bestimmt. Eingesetzt in die *Formel 3*, führt das zu

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0.023} + \frac{1}{0.300} = 43.5 + 3.3 \quad (4)$$

und das zu einer Dioptrienanzahl von 47.

Für den Fall, dass man ins Unendliche blickt, wird auch die Gegenstandsweite annähernd unendlich groß. Dadurch wird der in der Gleichung auftretende Kehrwert der Gegenstandsweite annähernd Null, weil der Nenner unendlich groß wird. Die nun bestimmte Dioptrienanzahl für den Blick ins Unendliche ist 43.5.

3 Der aktive Seh-Winkel

Die Bestimmung des *aktiven Seh-winkels* wird wie folgt durchgeführt: Auf eine Tafel wird ein kleiner Kreidepunkt gezeichnet, den man von einigen Metern Entfernung mit einem Auge fokussiert. Dabei ist es wichtig, den Blick nicht umherschweifen zu lassen, da der Mensch darauf programmiert ist, immer dorthinzublicken, wo gerade Bewegung stattfindet.

Während man nun auf diesen Punkt sieht, wird von oben ein Gegenstand (Lineal) auf den Punkt zubewegt. Wenn der Punkt nun fokussiert bleibt, erscheint der Gegenstand zuerst unscharf, ab einer bestimmten Entfernung sind der Punkt und der Gegenstand aber gleichzeitig scharf. Der Winkelbereich, in dem man beide Objekte scharf sieht, wird als aktiver Seh-Winkel bezeichnet.

Der Versuch wird in einem Abstand von 2.48 m von der Tafel durchgeführt, auf der ein Punkt von 4 Millimetern Durchmesser aufgezeichnet ist. Bei einer Entfernung von 4 Zentimetern von Punkt zu Lineal werden die beiden Gegenstände scharf gesehen. Aus dem dadurch definierten rechtwinkligen Dreieck mit den Kathetenlängen von 0.04 und 2.48 Metern, lässt sich unter der Beziehung

$$\alpha = \arctan \frac{0.04}{2.48} \quad (5)$$

ein halber aktiver Sehwinkel von 0.92 Grad und somit ein aktiver Sehwinkel von 1.84 Grad ableiten.

4 Ihre persönliche Seh-Schärfe

Ziel dieses Versuches ist es, unter Verwendung einer Strichkeil-Kopiervorlage die persönliche Sehschärfe, sowie die Größe der lichtempfindlichen Sensoren im Auge zu bestimmen.

An der Wand wird ein sogenanntes Strichkeilblatt in Augenhöhe angebracht, das zuerst abgedeckt ist. Auf diesem Blatt sind keilförmig Geraden angebracht. Der Abstand zwischen den Geraden entspricht ihrer Dicke. Dadurch kommt es zur Auffächerung der Geraden und deshalb zur Keilbildung. Das Blatt wird mit einem Auge fokussiert und danach das Blatt langsam weggezogen. Zuerst ist nur der Graukeil ersichtlich, da die Lichtsensoren im Auge die Geraden noch nicht auflösen können. Erst ab einem bestimmten Abstand zwischen den Geraden kann das Auge diese als einzeln erkennen. Die Breite der Geraden lässt sich nun anhand des Keilblattes leicht bestimmen.

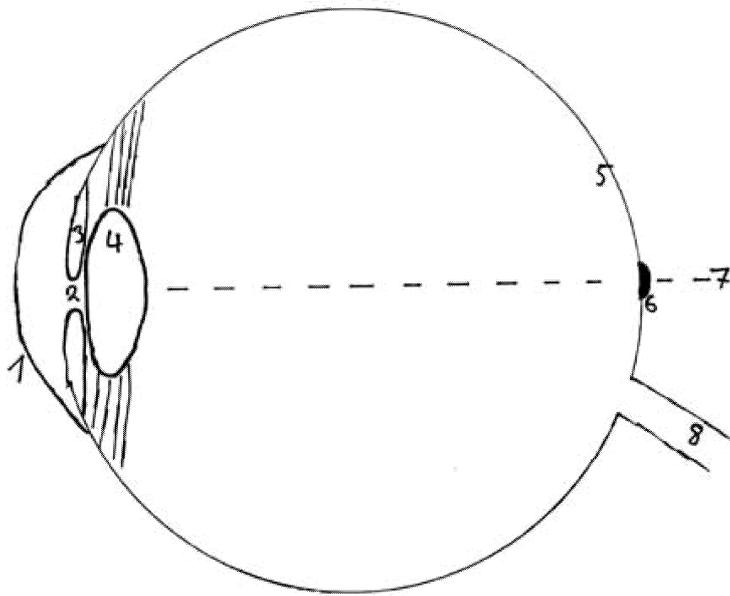


Abbildung 2: 1...Hornhaut, 2...Pupillenöffnung, 3...Regenbogenhaut, 4...Linse, 5...Netzhaut, 6...Gelber Fleck, 7...Sehachse des Auges, 8...Sehnerv; von www.astronomie.de

Entfernung [m]	Geradenabstand links [mm]	Geradenabstand rechts [mm]
3.5	1.5	1.4
2.5	1.0	1.0
1.5	0.7	0.7

Tabelle 1: Messung des Geradenabstandes - mit Brille

Entfernung [m]	Geradenabstand links [mm]	Geradenabstand rechts [mm]
3.5	3.8	2.9
2.5	3.8	1.8
1.5	1.3	0.9

Tabelle 2: Messung des Geradenabstandes - ohne Brille

Entfernung [m]	Parameter k links	Parameter k rechts
3.5	0.00043	0.00040
2.5	0.00040	0.00040
1.5	0.00047	0.00047

Tabelle 3: Parameter k - mit Brille

Der Parameter k wird durch

$$k = \frac{G}{g} \quad (6)$$

bestimmt, je kleiner k ist, desto kleiner ist die minimale Gegenstandsgröße G , die man bei fester Gegenstandsweite g noch erkennen kann. Der Standardwert für k

Entfernung [m]	Parameter k links	Parameter k rechts
3.5	0.00110	0.00083
2.5	0.00112	0.00072
1.5	0.00087	0.00060

Tabelle 4: Parameter k - ohne Brille

Entfernung [m]	Sehschärfe links	Sehschärfe rechts
3.5	0.67	0.73
2.5	0.73	0.73
1.5	0.67	0.67
Mittelwert	0.69	0.71

Tabelle 5: Sehschärfe in Prozent - mit Brille

Entfernung [m]	Sehschärfe links	Sehschärfe rechts
3.5	0.26	0.35
2.5	0.26	0.40
1.5	0.33	0.48
Mittelwert	0.28	0.41

Tabelle 6: Sehschärfe in Prozent - ohne Brille

beträgt $k_{standard} = 0.00029$. Die Sehschärfe S berechnet sich nun mit

$$S = \frac{k_{standard}}{k} \quad (7)$$

und wird in Prozent angegeben.

Man erkennt deutlich, dass die Sehschärfe selbst ohne Brille in einem bedenklichen Maß vom Optimum abweicht, ohne Brille ist die Sehschärfe gerade noch zu einem Drittel vorhanden. Das linke Auge ist in jedem Fall fehsichtiger als das rechte, die Korrektur der Brille erfolgt aber gleichmäßig.

Die Größe der lichtempfindlichen Sensoren lässt sich nun über

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (8)$$

bestimmen, wobei B die Bildgröße, G die Gegenstandsgröße, b die Bildweite (23 mm) und g die Gegenstandsweite bezeichnet.

Entfernung [m]	Gegenstandsgröße [mm]	Bildgröße [μm]
3.5	1.5	10
2.5	1.0	11
1.5	0.7	10
Mittelwert	—	10.3

Tabelle 7: Bestimmung der Bildgröße im Auge

Zwei Objekte werden vom Auge getrennt aufgelöst, wenn zwischen zwei erregten Sehzellen mindestens eine nicht erregte liegt. Wenn man den Abstand der Sehzellen ungefähr ihrer Größe gleichsetzt, gelangt man zu folgender Konfiguration für gerade noch aufgelöste Objekte: erregte Sehzelle - Abstand - nicht erregte Sehzelle -

Abstand - erregte Sehzelle \rightarrow 5 Zellen. Die Bildgröße wird zu $10.3 \mu\text{m}$ bestimmt, diesen Wert durch die Anzahl der Zellen dividiert, ergibt die Größe einer Sehzelle: $2.1 \mu\text{m}$.

5 Ihr persönlicher Blickwinkel

In diesem Versuch soll bestimmt werden, welchen Blickwinkel das Auge in der Lage ist abzudecken. Zu diesem Zweck wird ein Punkt auf ein Blatt Papier gemalt, in angenehmer Leseentfernung aufgehängt und fokussiert. Jetzt wird von links beziehungsweise rechts ein Gegenstand (Blatt Papier) eingebracht. Sobald dieser Gegenstand im Blickfeld wahrgenommen wird, dieser ist dabei meistens noch unscharf, wird die Bewegung desselben gestoppt. Mit der Entfernung von Punkt zu Gegenstand kann unter Verwendung des Abstandes Auge-Papier über ein rechtwinkeliges Dreieck der persönliche Blickwinkel bestimmt werden.

Abstand	Betrag [m]
Auge-Kreidepunkt	0.36
Kreidepunkt-linker Wahrnehmungspunkt	0.78
Kreidepunkt-rechter Wahrnehmungspunkt	0.84

Tabelle 8: Blickwinkel

Der Blickwinkel wird nun über die Beziehung

$$\alpha = \arctan \frac{0.36}{0.78} + \arctan \frac{0.36}{0.84} \quad (9)$$

bestimmt. In diesem Fall beträgt der Blickwinkel 157 Grad. Der Menschen hat üblicherweise je nach Alter einen Blickwinkel zwischen 138 und 176 Grad.

6 Physikalisches Rätsel

Hier soll die Brechzahl des Wassers bestimmt werden und zwar nur mit einem quaderförmigen Plexiglastrog, einer Stecknadel, einem Maßband und Wasser. Kein weiteres Hilfsmittel ist erlaubt.

Folgende Methode scheint simpel und führt mit mit überraschender Genauigkeit zum richtigen Ergebnis (nur d'raufkommen muss man). In *Abbildung 3* ist die Versuchsanordnung skizziert. Mit einem Auge wird die untere dem Auge abgewandte Seite des Wassertroges anvisiert (Sehstrahl durch strichlierte Linie angedeutet). Danach versucht man, diese Kante mit der vorderen Oberkante C zum Überdecken zu bringen. Man markiert an der Seitenwand des Behälters in Höhe der Wasseroberfläche mit der Stecknadel den Punkt S , an dem die anvisierte Unterkante B erscheint. Über trigonometrische Beziehungen lassen sich nun die Winkel α und β berechnen und daraus die Brechzahl des Wassers.

Im rechtwinkligen Dreieck ASC gilt

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{AS}} = \tan(90^\circ - \alpha) \quad (10)$$

und daraus lässt sich der Winkel α zu 74.5 Grad bestimmen. Ebenso gilt im rechtwinkligen Dreieck $SA'B$ die Relation

$$\frac{\overline{BA'}}{\overline{SA'}} = \tan(90^\circ - \beta) \quad , \quad (11)$$

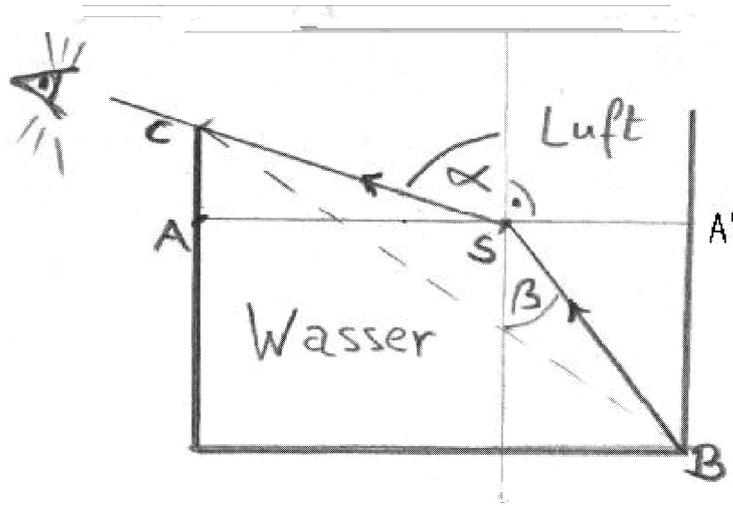


Abbildung 3: Versuchsanordnung - Messung der Brechzahl von Wasser

Strecke	Betrag [mm]
Behälterlänge	160
Behälterhöhe	80
Füllhöhe	50
$\bar{A}S$	108

Tabelle 9: Messergebnisse - Physikalisches Rätsel

sodass β zu 46.1 Grad bestimmt wird.

Aus der Beziehung

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (12)$$

erhält man schlussendlich die Brechzahl des Wassers mit $n_2 \sim 1.33$.

7 Beilage

Diesem Protokoll sind zwei Beilagen angefügt. Es sind Ausdrucke von der Internetseite <http://www.onjoph.com> und zwar: *Das Auge in Zahlen* und *Anatomie und Sehfunktion*.

7.1 Das Auge in Zahlen

7.2 Anatomie und Sehfunktion