

Ueber die radiale Ausdehnung des Sehfeldes und die Allometropie des Auges bei indirectem Sehen.

Von

Prof. Dr. Ludwig Matthiessen
in Rostock.

Wenn man kleinere Objecte, auf weissem Grunde verzeichnete Buchstaben, Zahlen, Linien, äquidistante Kreise oder Quadrate aus verschiedenen Richtungen indirect und monocular betrachtet, während das Auge unbewegt auf einen festen, beliebig entfernten Punkt accommodirt ist, so bemerkt man leicht, dass zur deutlichen Erkennung des Objectes in einem Maximalabstande, dieses um so näher an das Auge geführt werden muss, je mehr sich das Object dem Rande des Gesichtsfeldes nähert. Wenn dann bei einem festen Azimuth das Object dem Auge näher gebracht wird, so erscheint das Bild zwar anfangs schärfer und deutlicher, schliesslich aber treten wie bei directem Sehen immer mehr die Zerstreuungskreise hervor, bis das Bild eine zweite Grenze der Deutlichkeit überschreitet. Es ist nun die Maximaldistanz distinct gesehener Punkte, welche im horizontalen Meridian gelegen sind, bei einer Incidenz von 90° lateralwärts, also am Rande des Gesichtsfeldes beispielsweise für Emmetropen ca. 5 Cm., für einen Myopen ca. 2,5 Cm. Es folgt hieraus, dass für eine äusserst schiefe Incidenz der von einem Objecte ausgehenden Lichtstrahlen in das Auge, dieses als excessiv myopisch zu betrachten ist. Während das Ge-

sichtsfeld im horizontalen Meridian lateralwärts im äusseren Raume eine transversale oder anguläre Ausdehnung von 90° hat, wird man demselben in dieser Richtung für Emmetropen eine radiale Ausdehnung von 5 Cm. zuzuschreiben haben. Bei einem Incidenzwinkel von 45° steigert sich die radiale Ausdehnung auf 44 Cm. u. s. f. Weiter unten mitzutheilende Beobachtungen ergeben, dass während das Auge irgend einen Punkt in axialer Richtung fixirt, das Sehfeld eine räumliche Flächenausdehnung um die Sehnlinie herum besitzt, deren Radien abhängig sind von der Orientirung des Meridians und dem Polarwinkel der indirecten Sehaxe mit der directen. Die Oberfläche des ganzen räumlichen Sehfeldes erhält auf diese Weise eine Art von ovoidischer Gestalt, indem die verschiedenen Meridiane desselben sehr verschiedene, wenn auch unter sich ähnliche Curven bilden, deren gegenüberliegende Aeste sich im Innern des Auges und jenseit des fixirten Punktes nahezu zu geschlossenen Curven vereinigen.

Die ersten genaueren Beobachtungen in dieser Richtung sind von Aubert (Moleschott's Untersuch. IV. S. 16 1857, Physiologie d. Netzhaut S. 243 u. Physiolog. Optik § 54. S. 587. 1876) mit seinem Perimeter angestellt worden. Bei seinen früheren in Gemeinschaft mit Förster über die anguläre Ausdehnung des Gesichtsfeldes angestellten Versuchen war ihm aufgefallen, dass die Entfernung der Objecte Veränderungen der Grenzen der Wahrnehmbarkeit auf der Peripherie der Netzhaut bedingte und zwar, dass bei gleichem Gesichtswinkel für die Objecte kleine Ziffern und Buchstaben weiterhin peripherisch erkannt werden konnten als grosse." Dieser Zusatz wird auch so gefasst und verstanden werden können, dass nähere Objecte weiterhin peripherisch erkannt werden konnten als entferntere, was mit den Thatfachen insofern übereinstimmt, als der gleiche Gesichtswinkel nicht so massgebend für die Vergleichung der Grenzen der Wahr-

nehmung zu sein scheint, als die radialen Entfernungen der Objecte. Einige Gründe hierfür werde ich weiter unten anführen. Die von Aubert beobachtete und durch spätere Messungen von ihm bestätigte Thatsache findet ihre Erklärung in einer Allometropie des Auges für verschiedene Richtungen, wozu kommt, dass, wie gleichfalls von Aubert beobachtet worden ist, die Accommodationsfähigkeit und Accommodationsbreite des Auges einen desto geringeren Grad besitzt, je weiter die indirect betrachteten Objecte nach der Seite gelegen sind.

Zu meinen Messungen benutzte ich denselben mir gütigst zur Verfügung gestellten perimetrischen Apparat, welcher von Aubert beschrieben und gebraucht worden ist; die Methode war nach meinen Vorbemerkungen insofern von der seinigen abweichend, als Aubert bei gleicher radialer Entfernung und unter gleichem Gesichtswinkel des fixirten und indirect gesehenen Objects beobachtete und so den Grenzwinkel der Wahrnehmbarkeit bestimmte, während ich für ein gegebenes Azimuth die radiale Ausdehnung des Sehfeldes mass, wobei der gleiche Gesichtswinkel ohne eine grosse Anzahl der verschiedensten Objectgrössen nicht gewahrt werden konnte. Als Objecte wurden je sechs Buchstaben von nur vier verschiedenen Grössen aus der Monoyer'schen Tabelle, welche eine nahezu quadratische Flächenausdehnung haben, verwendet. Die Perimetertafel hatte die Länge 280 Cm. und war von dem Auge des Beobachters aus von 5 zu 5 Graden radial eingetheilt. Bei gutem und möglichst constantem Tageslichte wurden jedesmal vorher dem Beobachter unbekannte Buchstaben auf jedem der Radien von aussen her in das Sehfeld eingeführt und die Entfernung vom Auge notirt. Als Buchstabengrössen wurden benutzt bei einem Fixpunkt von 280 Cm. Abstand und der

Objectdistanz 280—130 Cm. die Grösse $\Delta = 8,33$ M.

„ 120—96 „ „ „ $\Delta = 10,0$ „

Objectdistanz 72—45 Cm. die Grösse $\triangle = 12,5$ M.
 „ 40— 5 „ „ „ $\triangle = 16,33$ „

Es könnte incorrect erscheinen, dass die Objecte nicht genau so gewählt wurden, dass die äussern Gesichtswinkel constant blieben. Abgesehen von dem Umstande, dass die radiale Ausdehnung des Sehfeldes nicht merklich verändert wurde, wenn zwischen den obenangeführten Intervallen die aufeinander folgenden Objectgrössen wechselten, so werden für seitlich gelegene Objecte die Bedingungen gleich grosser Netzhautbilder in mehrfacher Beziehung keineswegs erfüllt. Für das directe Sehen „projiciren wir unsere Empfindungen in den Raum ungefähr nach den Richtungslinien der Objecte, also nach Linien, welche wir uns von den Objectpunkten oder Netzhauptpunkten durch den hinteren Knotenpunkt gelegt denken können.“ (Aubert, *Physiol. Optik*, § 59). Es degeneriren nun für seitliche Objecte die Knotenpunkte, d. h. die Kardinalpunkte des parallelen Durchganges in die Directions- und Seitenpunkte von Hermann (*Pflüger's Arch. f. Physiol.* XVIII. S. 454), wobei es (innerhalb gewisser Grenzen aber nur) noch einen parallelen Durchgang und einen optischen Mittelpunkt geben kann, so dass also die scheinbare Grösse des Bildes bezüglich der Directions- und Seitenpunkte der des Objectes congruent bleibt. Bei weiterem Vorrücken der Objecte gegen die äussersten Grenzen des Sehfeldes hören diese Verhältnisse auf; die gebrochenen Strahlenbündel, welche durch die Pupille noch einzutreten vermögen, weichen von der Richtung der äusseren Strahlen um einen beträchtlichen Winkel ab, der innere Gesichtswinkel oder Bildwinkel bleibt an Grösse hinter dem äusseren oder Objectwinkel zurück; es ändern sich die Dimensionen des verzerrten Netzhautbildes gegen das centrale.

Eine weitere und zwar absolute Grössenveränderung des Netzhautbildes bei constantem äusseren Gesichtswinkel wird veranlasst durch die verschiedenen Abstände der

Netzhautschale von den Directions- und Seitenpunkten. Die äussersten stehen zu dem centralen Abstände im Verhältniss 13:19. Da die äussersten Abstände oder Richtlinien zur Netzhautfläche geneigt stehen unter einem Winkel von ungefähr 65° , so wird dadurch dies Verhältniss etwas grösser, aber immer noch nicht grösser als 13:17, also kleiner als die Einheit. Zu diesen Beeinträchtigungen der Bildgrössen kommt hinzu die Reduction der Lichtmenge in Folge der schiefen Lage der Pupille gegen die eintretenden Strahlenbündel. Ferner sind die Empfindungskreise von Einfluss auf die Grössenerscheinung und die Wahrnehmbarkeit der Objecte. Auch dürfte nicht zu unterschätzen sein der Umstand, dass ein gesundes Auge nicht geübt wird, seitliche Objecte genauer zu beobachten. Endlich ist die Beleuchtung der Objecte von sichtbarem Einflusse auf die radiale Ausdehnung des Sehfeldes.

Die hier mitgetheilten Beobachtungen sind angestellt an einem etwas presbyopischen und einem etwas myopischen Augenpaare und zwar sind es die Mittelwerthe zweier Beobachtungsreihen. Das erste Augenpaar ist das meinige, das zweite das meines zweiten Assistenten Stud. math. Ruchhöft. Die I. Tabelle enthält die Resultate der Messungen, welche von mir mit möglichster Genauigkeit angestellt sind; diesen Anspruch erhebt wegen Mangel an Uebung im Beobachten die II. Tabelle freilich nicht, indessen theile ich sie mit, weil sie den Werth der Unmittelbarkeit für sich hat und von genaueren theoretischen Instructionen, welche derartige Beobachtungen beeinflussen können, unabhängig gemacht ist.

Bei meinen Augen wurde die Distanz 280 Cm. für den Fixpunkt des monocularen Blicks gewählt; bei dem anderen etwas myopischen Augenpaare sein Fernpunkt im Abstände von 200 Cm. Die Werthe x und y sind die rechtwinkligen Coordinaten des horizontalen Meridianes, bezogen auf die Augenaxe und die Frontalebene. Das

I. Tabelle.

Polar- winkel	R. A. lateral	R. A. median	L. A. lateral	L. A. median	Mittel lateral	beob.		ber.	
	cm	cm	cm	cm	cm	x cm	y cm	x cm	y cm
1° 42'	—	—	900	—	—	900	26,6	—	—
2°	—	900	—	—	—	900	31,3	—	—
5°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10°	227	233	241	241	234	230,4	40,6	—	—
15°	blind	170	blind	199	(185)	178,7	47,9	—	—
20°	131	128	132	130	131,5	123,6	45,0	—	—
25°	118	87,5	106	98	112	101,5	47,3	—	—
30°	95	68	98	73	96,5	83,6	48,2	—	—
35°	66	59,5	79	58,5	72,5	59,4	41,6	—	—
40°	55,5	47	57	45	56	42,9	36,0	—	35,0
45°	44	29,5	44,5	33	44	31,1	31,1	—	31,1
50°	36,7	20	36,8	23	36,7	23,6	28,1	—	27,9
55°	31,5	18	33,5	18	32,5	18,6	26,6	—	25,4
60°	22,7	15,5	21,2	17,1	22	11,0	19,0	—	20,3
65°	19,6	blind	18,0	blind	18,8	7,9	17,0	—	17,7
70°	17,1	"	15,4	"	16,2	5,5	15,2	—	15,2
75°	13,5	"	12,3	"	13,0	3,4	12,6	—	12,5
80°	11,0	"	9,1	"	10,0	1,7	9,8	—	9,9
85°	9,0	"	7,4	"	8,2	0,7	8,2	—	7,8
90°	5,8	"	5,8	"	5,8	0,0	5,8	—	5,8
180°	—	—	—	—	—	—	—	—0,9	0,0

laterale Sehfeld des ersten Augenpaares wird zwischen 45° und 90° nahezu begrenzt von einer Ellipse von der Gleichung $y^2 = 33,64 + 37,100 x - 0,24910 x^2$. Ihr Scheitel liegt 9 Mm. hinter der Hornhaut. Die Curve der II. Tabelle ist innerhalb derselben Grenzen hyperbolisch: $y^2 = 11,92 + 24,670 x + 0,2103 x^2$.

Wenn man die Curven graphisch darstellt, so erkennt man auf den ersten Blick das für beide Augenpaare Gemeinsame, dass von 0° bis etwa 20° lateral- und medianwärts die Curven symmetrisch zu beiden Seiten der Augenaxe verlaufen, von da aber die radiale Ausdehnung des Sehfeldes medianwärts immer mehr zurückweicht gegen die des äusseren Sehfeldes und zwar nahezu auf die Hälfte.

II. Tabelle.

Polar- winkel	R. A. lateral	R. A. median	L. A. lateral	L. A. median	Mittel lateral	beob.		ber.	
	cm	cm	cm	cm	cm	x cm	y cm	x cm	y cm
5°	230	240	210	193	220	—	—	—	—
10°	200	189	187	161	193	—	—	—	—
15°	blind	150	blind	118	(134)	—	—	—	—
20°	127	113,5	108	103	117,5	—	—	—	—
25°	102	79,5	85	86,4	93,5	—	—	—	—
30°	85	61,5	71,6	53,3	78,3	—	—	—	—
35°	73,5	47	60,3	43,7	66,9	—	—	—	—
40°	61	35	48,9	34,6	55	42,1	35,4	—	37,7
45°	50	29,5	40,4	27,7	45,2	32,0	32,0	—	32,0
50°	36,5	21	34,9	17,6	35,7	23,0	27,3	—	26,3
55°	24,5	11,9	24,0	12,5	24,2	13,9	19,8	—	19,9
60°	19,7	blind	15,5	blind	17,6	8,8	15,2	—	15,7
65°	16,8	"	12,0	"	14,4	6,1	13,0	—	13,0
70°	10,8	"	9,1	"	9,9	3,4	9,3	—	9,9
75°	10,1	"	6,2	"	8,1	2,1	7,9	—	8,0
80°	8,0	"	4,7	"	6,3	1,1	6,3	—	6,3
85°	6,2	"	3,4	"	4,8	0,4	4,8	—	4,8
90°	3,7	"	3,3	"	3,5	0,0	3,5	0,0	3,4
180°	—	—	—	—	—	—	—	—0,5	0,0

Hiermit stimmen auch die Beobachtungen von Aubert überein, wenn auch hier der Unterschied für gleiche Radien nur einige Grade betrug, und bei der von ihm angewandten verhältnissmässig kurzen Distanz des fixirten Punktes das Sehfeld nur eine verhältnissmässig geringe radiale Ausdehnung hatte. Für zunehmende Distanzen des Fixpunktes erweitern sich die radialen Sehfelder und umschliessen einander. Hinter dem Fixpunkte convergiren sie gegen die Augenaxe.

Die hier beobachteten Erscheinungen der Myopie des Auges bei schiefer Incidenz der Strahlen ist völlig analog zu dem Verhalten von biconvexen Glaslinsen in Luft. Die astigmatische Brennweite verkürzt sich bei zunehmender Schiefe der Strahlen; die Bilder werden in beiden Dimen-

sionen kleiner bei gleichem Bildwinkel und nähern sich der Linse bei gleicher Objectweite. Bei dem Auge ist die Verkürzung der Brennweite scheinbar stärker als wie die Annäherung der Netzhaut an die Krystalllinse; das Object muss näher an das Auge gerückt werden, um in das Sehfeld einzutreten. In diesem Verhalten weichen die Augen der in Luft lebenden Thiere wesentlich ab von dem der Fische.

Von Interesse würde es gewesen sein, horizontale und verticale Liniensysteme als Objecte zu benutzen, um das seitliche Auge für die verschiedenen Azimuthe auf seinen Astigmatismus zu prüfen. Im Falle eines Astigmatismus bei indirectem Sehen würde für horizontale Liniensysteme die radiale Ausdehnung des Sehfeldes grösser gefunden werden müssen, als für verticale. Aus Mangel an Zeit habe ich hierüber keine genauern Versuche anstellen können. Directe Versuche sind übrigens schon früher von Schön (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1879. Suppl.-Bd. S. 163) mit dem Augenspiegel bei Anwendung von Liniensystemen angestellt worden. Derselbe fand an 16 Augen für das Azimuth 60° , dass der verticale Meridian des Incidenzpunktes durchschnittlich $\frac{1}{13}$ weitsichtiger war als der horizontale. Es leuchtet ein, dass eine Wiederholung der Messungen an andern Augen, auch in den übrigen Meridianen für die Theorie der Periskopie des Auges von wesentlicher Bedeutung sein muss. Wenn jedoch für schiefe Incidenz der Strahlen seitlicher oder peripherischer Objecte die Beobachtungen einen merklichen Astigmatismus des Auges ergeben, so folgt daraus keineswegs, dass dasselbe auch schief nach dem Rande der Linse gerichtete Strahlen paraxialer Objecte astigmatisch breche, da hier die Strahlen in einer ganz andern Weise die geschichtete Linse durchsetzen. Theoretische Untersuchungen, gestützt auf die physikalische Beschaffenheit der Krystalllinse ergeben, dass für solche Strahlen der Astigmatismus nur ein sehr geringer ist.