

Die Perspektive in ihren Beziehungen zur Sehschärfe und zum Lesen.

Von

Giuseppe Ovio,
Direktor der Kgl. Augen-Klinik in Modena.

Mit Taf. III—VII, Fig. 1—10, und 14 Figuren im Text.

Die Gegenstände, welche wir sehen, erscheinen uns in ihrer Grösse und Form, perspektivisch verschieden, je nach ihrer Lage. Die Modifikationen der Form und Grösse in der Perspektive können die Sehschärfe, welche bekanntlich eine Funktion der Grösse und Form ist, und folglich auch das Lesen, beeinflussen. Um dies festzustellen, untersuchte ich den Einfluss der Perspektive: 1. auf die Grösse und Form der Netzhautbilder, 2. auf die Sehschärfe, 3. auf das Lesen.

Soweit mir bekannt, sind derartige Untersuchungen bis jetzt noch nicht gemacht worden.

Vorbemerkungen.

Ich glaube, dass allen bekannt ist, was Perspektive ist, dennoch scheint es mir zweckmässig, einige Vorbemerkungen zum Verständnis dieser Arbeit voranzuschicken.

In der grossen Mehrzahl der Fälle sieht man die Gegenstände in einer scheinbaren Form, d. h. perspektivisch, weil sie in dieser Weise auf der Retina entworfen werden. Das Netzhautbild ist also ein perspektivisches. Die Perspektive befasst sich mit diesen Bildern. Gewöhnlich aber werden nicht die Bilder untersucht, welche, wie es bei den Augen der Fall ist, alle in einer Ebene entstehen, die jenseits des Kreuzungspunktes der Strahlen liegen, welche von einem Gegenstande ausgehen, sondern solche, die diesseits davon liegen d. h. in einer zwischen dem Auge und dem Gegenstand gelegenen Ebene, welche die Bildebene heisst. Dieser Unterschied ist jedoch bedeutungslos, weil die Bilder desselben Gegenstandes, gleichgültig ob sie in einer vor oder hinter dem Kreuzungspunkte der Lichtstrahlen gelegenen Ebene

liegen, geometrisch ähnlich sind, wenn jene Ebenen parallel stehen; wenn diese in gleicher Entfernung vom Kreuzungspunkte sich befinden, dann sind die Bilder auch in der Grösse untereinander gleich.

Die Perspektivbilder stellen also gewöhnlich die scheinbaren Formen der Objekte dar, ebenso die Netzhautbilder, während die wirkliche Gestalt der Gegenstände nur durch Übung erkannt werden kann.

Erster Teil.

Einfluss der Perspektive auf die Grösse und Form der Bilder.

Wegen der Einfachheit sollen, im ersten und zweiten Teile dieser Arbeit, die Augen als ein einziges Organ, das unbeweglich und gerade nach vorn gerichtet ist, angesehen werden; ferner die Bildebene parallel der Gesichtsebene, die Netzhaut- oder Bildebene den beiden ersteren parallel.

Die Gesetze der Perspektive und die perspektivischen Konstruktionen gehen von demselben Gesichtspunkte aus.

Als Gegenstände sollen die gerade Linie, das Quadrat und die Kreislinie dienen, weil diese die Elemente der Alphabetbuchstaben darstellen, und zwar in folgenden Hauptstellungen:

aufrecht

geneigt

mit den jeweiligen Verschiedenheiten:

frontal

lateral

und in jedem Fall in diesen Entfernungen:

in unendlicher Entfernung

in endlicher Entfernung.

Unter aufrechter Stellung verstehe ich diejenige, in welcher der aufrechte Gegenstand in einer der Gesichtsebene parallelen Ebene (Objektebene) steht; unter geneigter Stellung (*objectum proclivem ad latera*) eine solche, bei welcher das Objekt in einer Ebene liegt, die mit der Gesichtsebene einen Winkel bildet. Von der aufrechten Stellung geht der Gegenstand in die geneigte über, bei Drehung um eine seiner Seiten. Bei Rotation um eine der vertikalen Seiten entsteht die Profil-Neigung nach rechts oder links; bei Drehung um eine horizontale Seite haben wir die Neigung nach hinten und vorn. Diese letztere kommt beim Lesen nur ganz ausnahmsweise vor und ist diejenige, welche als von „unten nach oben“ bezeichnet wird.

Die Frontalstellung (*objectum oppositum*) haben wir bei Stellung des Objektes vor dem Gesichte.

In der aufrechten Stellung wird der Gegenstand voll, in den geneigten Lagen verkürzt gesehen.

Der Einfachheit wegen und weil nicht absolut notwendig, sehe ich von der schiefen und zusammengesetzten Stellung ab, z. B. von solchen, bei welchen der Gegenstand um eine auf seiner Oberfläche senkrechten Achse gedreht wird.

1. Veränderungen in der Grösse.

1. Aufrechte Gegenstände.

A. Frontalstellung.

In dieser Lage wirkt als Faktor zur Modifikation der Grösse der Bilder nur die Entfernung und es kommt also das fundamentale Gesetz für die Entfernung in Betracht, welches heisst: Die Grösse der Bilder steht in geradem Verhältnisse zur Grösse und in umgekehrtem Verhältnisse zur Entfernung des Objektes.

B. Lateralstellung.

Die Bildgrösse ist dieselbe wie vorher und unterliegt deshalb demselben Gesetze.

Der Grund hierfür ist ganz einfach: Wenn von zwei gleichen Segmenten AB und BC , eines vor dem Auge, bei V , das andere seitlich steht, dann sieht man ohne weiteres, dass sie gleiche Bilder ab und bc geben, weil die Objekte und die Lichtstrahlen zwei Dreiecke von gleicher Basis und Höhe bilden, und die Bilder ab und bc , welche gleiche Schnitte parallel an den Basen jener Dreiecke darstellen, untereinander gleich sein müssen.

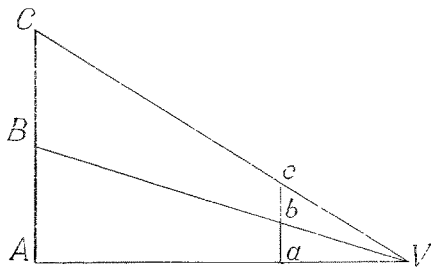


Fig. 1.

Wenn im Gegenteil der Gegenstand ein Viereck ist, dann bilden sich beim Halten desselben erst in Frontstellung, dann in Lateralstellung, zwei Pyramiden von Lichtstrahlen (*radiosae pyramides*) von gleicher Basis und Höhe, und die Bilder desselben sehen aus wie Schnitte dieser Pyramide, die in einer der Basis parallelen Ebene geschnitten wurden und die also den Basen proportional sind. Es

folgt hieraus, dass, nachdem die Basen gleich sind, auch die Schnitte der Pyramiden, d. h. also auch die Bilder, gleich werden.

Dies ist der Fall sowohl bei einer endlichen als auch bei unendlicher Entfernung des Gegenstandes, und es kann die Sache in folgender Weise definiert werden: Aufrechte Gegenstände in Lateralstellung geben Bilder von derselben Grösse wie Objekte in Frontalstellung.

2. Geneigte Gegenstände.

Bei dieser Stellung rotiert das Objekt um eine seiner Seiten und bildet mit der Gesichtsebene und folglich auch mit der Bildebene einen Winkel, den Neigungswinkel. Wir betrachten auch bei dieser Lage das Objekt in Frontal- und Lateralstellung; ausserdem müssen wir noch die Entfernung desselben berücksichtigen, weil in dieser Stellung die Verhältnisse sich ändern, je nachdem die Gegenstände sich in einer endlichen oder in einer unendlichen Entfernung befinden.

A. Gegenstand geneigt und in Frontalstellung.

Bezüglich der Grösse der Bilder habe ich, von dem gewöhnlichen Einflusse der Entfernung Abstand nehmend, zwei Gesetze feststellen können: 1. Die Grösse des Bildes ist kleiner als bei aufrechter Stellung des Objektes. 2. Die Grösse des Bildes nimmt mit der Zunahme der Neigung ab.

Dies erfolgt, weil in der in Rede stehenden Lage das Objekt verkürzt gesehen wird; aber um dies recht zu verstehen, ist eine

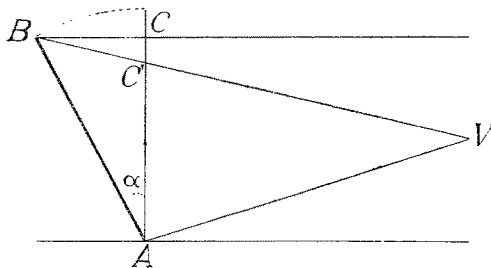


Fig. 2.

gründlichere Erwägung notwendig. Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall, in welchem das Objekt das Segment einer geraden Linie bildet. Es sei dasselbe z. B. AB , das mit der Gesichtsebene oder einer mit dieser parallelen Ebene, z. B. AC , einen beliebigen Winkel α bildet. Wenn der Gegenstand in unendlicher Entfernung sich befindet, dann werden von ihm parallele Strahlen ausgehen. Das Bild kann in diesem Falle durch das Segment AC , das die Projektion von AB ist, repräsentiert werden, und es ist ersichtlich, dass AC

gründlichere Erwägung notwendig. Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall, in welchem das Objekt das Segment einer geraden Linie bildet. Es sei dasselbe z. B. AB , das mit der Gesichtsebene oder einer

kleiner ist als AB , weil ja AC die Kathete, AB aber die Hypothenuse eines rechtwinkligen Dreiecks darstellt. Wenn hingegen das Objekt in einer endlichen Entfernung ist, dann kommen zum Auge in V konvergente Strahlen, und es ist klar, dass diese das Segment AC , welches kleiner ist als AB , auffangen, weil ja AC kleiner ist als AB .

Es ist ohne weiteres klar, dass beim Grösserwerden der Neigung von AB das Bild kleiner wird, weil das von den Strahlen aufgefangene Segment, das dem Bilde entspricht, sich verkleinert.

Die angegebenen zwei Gesetze gelten bei geneigter und Frontalstellung des Gegenstandes sowohl für unendliche wie für endliche Entfernungen; allein je nach der Grösse dieser kommen auch noch andere Gesetze in Betracht.

A. Objekt bei unendlicher Entfernung. Bei Frontalstellung sind die Grössenveränderungen der Bilder sehr einfach. Kompliziert ist aber die Erklärung der Erscheinung und wir wollen hierbei nochmals als Objekt das Segment einer geraden Linie annehmen:

Das Segment AB (Fig. 2) sei um einen bestimmten Winkel α gegen die Gesichtsebene geneigt. Wichtig ist, wegen der Klarheit der Darstellung, dass man, da es sich um eine unendliche Entfernung handelt und vom Objekte also zum Auge parallele Strahlen ausgehen, als Gesichts- oder Netzhautenebene eine beliebige Ebene annehmen kann, zu der die Strahlen normal gelangen können, also auch die Gerade AC . Infolgedessen wird das Bild des Segmentes AB durch das Segment AC dargestellt.

Dieses stellt aber die Projektion von AB und den Cosinus des Winkels α dar.

Es handelt sich hier also um ein Grundprinzip der analytischen Geometrie, dass die Projektion eines Segmentes auf eine Ebene dem Cosinus des eingeschlossenen Winkels gleich ist. Dieses Prinzip ist hier von der grössten Wichtigkeit, weil in unserm Falle die Projektion des Segmentes dem perspektivischen Bilde entspricht, und es resultiert daraus ein Gesetz, das wir das Gesetz des Cosinus nennen dürfen, nämlich: Die Grösse des perspektivischen Bildes eines geneigten Segmentes in unendlicher Entfernung ist gleich dem Cosinus des Neigungswinkels.

Es muss jedoch folgendes bemerkt werden: Ein geneigtes oder aufrechtes Objekt erscheint — nach dem Gesetze der Entfernungen — je nach der Grösse dieser verschieden gross; aber, abgesehen hiervon, erleidet die Grösse des Objektbildes bei geneigter Stellung eine Ver-

minderung, je nach der Neigung. Im Gegenteil ist bei aufrechter Stellung, abgesehen, wie gesagt, von der Entfernung, die Bildgrösse eines Objektsegmentes diesem gleich. Es sei die Grösse $= 1$. Wenn der Gegenstand geneigt ist, dann tritt das Gesetz des Cosinus in Wirksamkeit und die Bildgrösse ist dann nicht $= 1$, sondern dem Werte des Cosinus gleich.

Die Trigonometrie lehrt uns, dass der Wert des Cosinus eines Winkels mit der Vergrösserung des Winkels abnimmt. Dies erfolgt aber nicht in gleichmässiger Weise, sondern es nimmt der Wert des Cosinus, beim Wachsen eines Winkels um gleiche Grössen, immer zunehmend ab. Infolgedessen verkleinert sich die Grösse des Perspektivbildes beim Wachsen der Neigung des Objektes, und bei successiv gleichen Neigungen wird die Verminderung der Bildgrösse progressiv grösser; das Wechseln der Grösse des Bildes, das zuerst ein langsames ist, wird also progressiver und bei gleichmässiger Zunahme der Neigung immer rascher.

Dies findet nicht nur bei einem einfachen Segmente, sondern bei jedweder ebenen Figur statt. Betrachten wir jetzt z. B. ein viereckiges Objekt:

Bei einem viereckigen Gegenstande, der geneigt und in der Front in unendlicher Entfernung liegt, wird als Höhe die Distanz bezeichnet, welche zwischen der Seite, um welche herum man die Neigung zu stande gekommen denkt, und der gegenüberliegenden Seite besteht. Die Höhe ist nichts anderes als ein geneigtes Segment, welches im Bilde, wie im vorausgegangenen Falle, dem Gesetze des Cosinus folgt. Seine Grösse, im Beginne $= 1$, wird somit einen dem Cosinus entsprechenden Wert annehmen. Nun wird die Fläche einer jeden ebenen Figur aus der Grösse einer der Seiten, die als Höhe angesehen wird, und im Verhältnisse zu andern Elementen deduziert. Da aber beim Variieren nur eines der Elemente das ganze Verhältniss sich ändert, so wechselt in unserm Falle die Grösse des ganzen Bildes beim Variieren des Cosinus.

Wenn also bei einem gegebenen Segmente von der Grösse 1, der Cosinus wegen der besonderen Neigung $= 0,7$, $0,5$ usw. ist, so muss gefolgert werden, dass die Grösse des ganzen Bildes um $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ usw. reduziert wird.

Die folgende Figur, welche durch Berechnung erhalten wurde, zeigt die successive Veränderung der Grösse des Bildes eines Quadrats bei Zunahme der Neigung von 0° bis 90° .

Bei Betrachtung dieser Figur sieht man sofort, dass die Grösse

des Bildes bei gleichmässiger Zunahme der Neigung immer mehr und mehr abnimmt, weshalb die Verminderung der Grösse des Bildes nicht proportional dem Grade der Neigung erfolgt, sondern erst langsam und dann, bei starken Neigungen, sehr rasch.

So z. B. beträgt bei einer Neigung von 45° , die schon die Hälfte des Weges von 0° zu 90° darstellt, die Reduktion nicht $\frac{1}{2}$, sondern

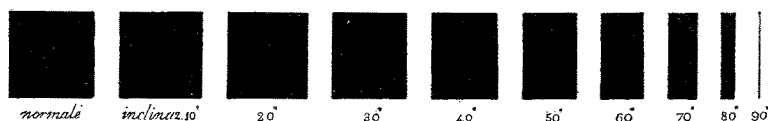


Fig. 3.

kaum $\frac{1}{3}$; bei der Neigung von 60° , d. h. bei $\frac{2}{3}$ des Weges von 0° zu 90° , erreicht sie $\frac{1}{2}$, und erst auf dem Wege von 60° zu 90° , d. h. bloss im letzten Drittel des Weges, wird die Reduktion so stark, dass das Bild zu einer einfachen Linie wird.

Alle perspektivischen Änderungen der Grösse der Bilder von geneigten Gegenständen bei unendlicher Entfernung stehen also unter dem Einfluss des Gesetzes des Cosinus.

Dieser Fall ist der denkbar einfachste, doch muss er als ein ganz spezieller angesehen werden, der die Basis darstellt, auf welcher die sog. parallele Perspektive oder Kavalierperspektive (nach welcher z. B. die Figuren von soliden Körpern in den Lehrbüchern der Grundzüge der Geometrie gezeichnet werden) aufgebaut ist, es ist nichts anderes als eine konventionelle Perspektive, von welcher praktisch sehr selten Gebrauch gemacht wird. Mit dem Lesen hat sie nichts zu tun, da das Lesen ein Sehakt ist, der von der Nähe ausgeübt wird.

Bei Prüfungen der Sehschärfe auf Entfernung hat dieselbe auch nur eine sehr geringe Bedeutung. Allerdings sehen wir eine Distanz, die 5 m über die gewöhnlichen Sehproben hinausgeht, als einer unendlichen Entfernung fast entsprechend an. Dies ist jedoch nur rein konventionell (in der Praxis aber ganz gut annehmbar), weil, wenn auch angenommen werden kann, dass die kleinsten Buchstaben parallele Strahlen aussenden, dies jedenfalls nicht bei den grossen stattfindet, da die von diesen kommenden Strahlen ansehnliche Winkel bilden. Wenn nun infolge der Perspektive die Sehschärfe abnimmt und z. B. auf $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$ usw. herabsinkt, dann kann sich unser Urteil nicht mehr auf das Lesen der kleinen, sondern nur derjenigen Buchstaben gründen, welche der konstatierten Sehschärfe entsprechen; diese

sind die grossen Buchstaben, von denen nicht parallele Strahlen ausgehen.

B. Objekt bei endlicher Entfernung. Dies ist eine gewöhnliche und praktisch einfache Stellung. Es gelten auch hierbei vor allem die zwei oben angegebenen Gesetze, nach welchen die Bilder kleiner sind als die der nicht geneigten Gegenstände und beim Anwachsen der Neigung mehr und mehr an Grösse abnehmen.

Das Gesetz des Cosinus ist hier aber nicht annehmbar, da es sich bei Objekten in endlicher Entfernung um konvergierende und nicht um parallele Strahlen handelt.

Das fundamentale Gesetz der Entfernung kann aber auch in diesem Falle Anwendung finden, da dasselbe von allgemeiner Bedeutung ist, allein die Entfernung übt hier auf die Grösse eine andere spezielle Wirkung aus. Es muss deshalb die Entfernung in besonderer Weise berücksichtigt werden, und wir können zwei Fälle annehmen, in denen bei einem die Distanz unverändert bleibt, aber die Neigung sich ändert, im andern hingegen umgekehrt die Neigung konstant ist und die Entfernung variiert.

1. Bei Gleichbleiben der Distanz variiert die Grösse des Bildes, bei Neigung des Gegenstandes in komplizierterer Weise als bei unendlicher Entfernung. Dies hängt von zwei Faktoren ab, und zwar von der Projektion und von den verschiedenen Entfernungen, die rücksichtlich des Auges für die einzelnen Teile eines Gegenstandes bestehen.

a) Projektion. Es ist uns aus der Geometrie bekannt, was unter Projektion verstanden werden muss: Wenn wir von den Punkten AB (siehe Fig. 2) eines Segmentes eine Senkrechte auf die Horizontalebene ziehen, dann entsteht das Segment AC . Dies ist die Projektion des ersteren Segmentes. Diese ist die sog. Orthogonalprojektion. Wenn die Ebene, auf welcher sie entworfen wird, als die Bildebene angesehen wird, dann haben wir den Fall der Perspektive eines Gegenstandes in unendlicher Entfernung, wobei vom Objekte ein Bündel paralleler Strahlen zum Auge geht.

Wenn hingegen der Gegenstand in messbarer Entfernung steht (das Auge in V), dann gelangt ein Bündel von konvergenten Strahlen zum Auge. Ist das Objekt, unter solchen Bedingungen, eine ebene Figur und nicht ein einfaches Segment, dann bilden die Strahlen, welche die Umrisse desselben umgeben und zum Auge gehen, nicht ein Bündel (zwei Dimensionen), sondern einen Stern (drei Dimen-

sionen), d. h. eine konische Figur, deren Scheitel gegen das Auge gerichtet ist.

Das Bild, welches in der Bild- oder Netzhautenebene entsteht, ist auch jetzt die Projektion des Objektes auf diese Ebene; allein wir haben es hier, da es sich um konvergente Strahlen handelt, nicht mit einer rechteckigen, sondern mit einer konischen Projektion zu tun. Der Gegenstand stellt die Basis des Conus, der Konvergenzpunkt der sternförmigen Strahlen (mit welchem der Zielpunkt des Auges zusammenfällt) das Projektionszentrum dar.

Die beiden Arten von Projektion können jedoch in letzter Linie vereinigt werden, da ja die orthogonale nichts anderes als eine konische Projektion ist, deren Projektionszentrum in unendlicher Entfernung ist, und es ist auch klar, dass die Bilder Schnitte von Kegeln darstellen, und dass sie eine bedeutendere Reduktion in der Grösse erleiden, als wenn das Objekt in unendlicher Entfernung sich befindet. In der Tat haben Schnitte von Kegeln, unter sonst gleichen Bedingungen, eine kleinere Oberfläche, wenn die Höhe des Kegels kleiner ist, während bei Zunahme der Höhe die Grösse ihrer Oberfläche sich der Grösse der Basis nähert.

b) Unterschiede in der Entfernung der einzelnen Teile des Gegenstandes. Denken wir uns ein Viereck in aufrechter Stellung auf der Seite *AB* (Fig. 2). Es ist klar, dass die senkrechte Seite im Punkte *B* dem Auge näher ist als die Seite auf *A*, und dass deshalb die erstere — nach dem Gesetze der Entfernung — grösser erscheint als die zweite Seite, woraus wieder folgt, dass das Bild, auch wegen der verschiedenen Entfernung der einzelnen Punkte des Objektes vom Auge, eine Reduktion in der Grösse erleidet.

Komplexiv und wegen der gedachten zwei Faktoren wird also die Grösse des perspektivischen Bildes relativ kleiner, als wenn der Gegenstand in unendlicher Entfernung ist; relativ, weil das Objekt, in unendlicher Entfernung, wegen der grossen Distanz in Wirklichkeit ein Bild gibt, das im absoluten Sinne kleiner ist. Man muss jedoch auch hier, wie immer, von der durch die Entfernung bedingten Verkleinerung absehen und bloss der Verkleinerung Rechnung tragen, welche von der Perspektive abhängig ist. Dies ist der Grund, dass in unserm Falle die Verkleinerung geringer ist, als wenn das Objekt in unendlicher Entfernung wäre.

Es ist also von der grössten Wichtigkeit, die Unterschiede in der Distanz von nahe und entfernt liegenden Teilen eines Gegenstandes

zu kennen, um sich ein Urteil über die Reduktion der Grösse, welche die perspektivischen Bilder erleiden, bilden zu können.

Mit Hilfe der bekannten Regeln der Perspektive können diese Bilder in exakter Weise konstruiert werden, und man kann dann die Abnahme der Grösse derselben auch messen. Die Reduktionen können aber auch direkt und in leichter Weise durch die Rechnung bestimmt werden. Nehmen wir hierzu nochmals Fig. 2, in welcher AB das Segment eines Objektes darstellt, als Beispiel an. Wir sahen schon, dass die Projektion desselben dem Cosinus des Winkels α , der das Segment mit der Ebene bildet, entspricht, wenn also z. B. dieser Winkel 15° , 20° , 60° usw. beträgt, dann nimmt die Projektion denselben Wert an, den der Cosinus eines Winkels von 15° , 20° , 60° usw. hat. Auch ist es leicht einzusehen, dass die Distanz AA' , in der sich infolge der Neigung eine Extremität (A) des Segmentes befindet, dem Sinus desselben Winkels entspricht. Bei Inklinationen z. B. von 15° , 20° , 60° usw. wird also die Distanz dem Sinus des Winkels von 15° , 20° , 60° usw. gleich sein.

Die Werte der Sinuse können nun mit derselben Leichtigkeit bestimmt werden, wie die der Cosinuse, und im konkreten Falle, in welchem fast immer erst die Cosinuse der Winkel berechnet werden müssen, können die Sinuse direkt von den Cosinussen abgeleitet werden, da ja der Sinus eines Winkels dem Cosinus des Komplementärwinkels gleich ist.

Es kann mit Leichtigkeit auch die Grösse des Bildes der mehr entfernten im Verhältnisse zur näheren Seite berechnet werden. Zu diesem Zwecke kann die Formel:

$$i' = \frac{d}{d'}$$

dienen, in welcher i' die Grösse des Bildes der entfernten Seite, d' die Distanz dieser Seite vom Auge und d die Distanz der näheren Seite bedeutet.

Wenn z. B. das Objekt ein Quadrat von 10×10 darstellt, das um 45° geneigt ist und von der Entfernung 30 gesehen wird, so wird, da d' von d um 0,71 (Sinus von 45°) entfernt ist,

$$i' = \frac{30}{37} = 0,81$$

sein. Dies zeigt an, dass, wenn die Grösse des Bildes der nahen Seite = 1 ist, die der entfernten = 0,81 sein wird.

2. Bei Gleichbleiben der Neigung variiert die Grösse des Bildes, je nach der Entfernung, in einer komplizierteren

Weise als bei aufrechter Stellung des Objektes. Auch dies hat seinen Grund in der verschiedenen Entfernung der einzelnen Teile des Gegenstandes, und deshalb erscheinen, infolge des Gesetzes der Entfernung, die Bilder in verschiedener Grösse; beim Variieren der Distanz des Auges aber ändern sich die Verhältnisse der Distanz der entfernteren und näheren Teile des Gegenstandes mit Bezug auf das Auge, und dieser Umstand kompliziert die Reduktion der Grösse der Bilder.

Es diene zum Verständnisse folgendes Beispiel: es sollen die beiden Segmente o und o' eine vertikale Seite eines Vierecks darstellen, das successiv in zwei Positionen sich befindet, zwischen denen die Strecke $= a$ sich ausdehnt.

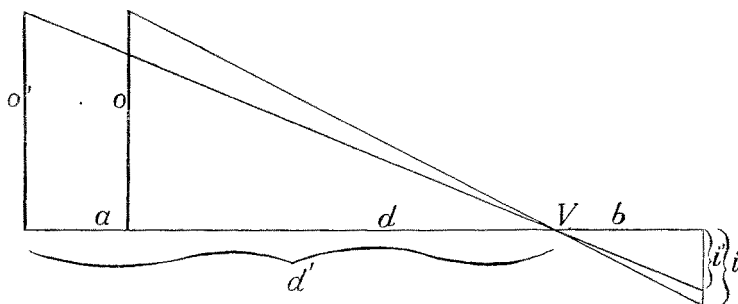


Fig. 4.

i und i' sollen die Bilder von o und o' anzeigen; dann erhält man:

$$i : o = b : d$$

$$i' : o' = b : d'$$

woraus, wenn $o = o'$ ist:

$$\frac{i}{i'} = \frac{d'}{d} \text{ resultiert.}$$

Die letztere Formel kann auch folgendermassen ausgedrückt werden:

$$\frac{i}{i'} = \frac{d + a}{d};$$

und wenn:

$$\frac{d + a}{d} = R$$

dann ist:

$$\frac{i}{i'} = R.$$

Wenn die Distanz des Auges statt d nd wird, dann ist $i : i'$ nicht mehr $= R$, sondern man erhält

$$\frac{i}{i'} < R.$$

In einem konkreten Falle, wenn z. B. $d = 1$ und $d' = 2$ ist, dann erhält man

$$\frac{i}{i'} = \frac{2}{1}$$

d. h.:

$$i' = i \frac{1}{2}$$

und es erhellt, dass das entferntere Bild $\frac{1}{2}$ des näheren ist.

Wenn hingegen das Auge um das Doppelte von d entfernt ist, so dass man $d = 2$ und $d' = 3$ hat, dann resultiert die Formel

$$\frac{i}{i'} = \frac{3}{2}$$

d. h.

$$i' = i \frac{2}{3}$$

woraus hervorgeht, dass das entferntere Bild, welches früher $\frac{1}{2}$ des näher gelegenen war, jetzt $\frac{2}{3}$ desselben geworden ist¹⁾.

Im zweiten Falle ist also die scheinbare Differenz zwischen den beiden Seiten kleiner als früher. Bei successiven Distanzen erfolgt eine Art von Kompensation in den successiven Verminderungen der Grösse, so dass man folgenden Satz aufstellen kann: die Grösse der Bilder variiert bei geneigten Gegenständen in messbarer Entfernung und in Frontstellung, je nach der Distanz, weniger als bei aufrechten Gegenständen.

Die Differenzen der Distanz zwischen näher und entfernter gelegenen Teilen eines Gegenstandes können bei Objekten in unendlicher Entfernung, wegen der grossen Entfernung vom Auge, ganz vernachlässigt werden. Andererseits gewinnen sie, bei Objekten in messbarer Entfernung, einen grösseren Wert, wenn diese Distanz kleiner ist. Hieraus folgt ein anderes Gesetz, nämlich: Das perspektivische Bild erleidet bei geneigten Objekten in der Frontstellung, unter übrigens gleichen Bedingungen, eine stärkere Reduktion in der Grösse, wenn die Distanz des Auges kleiner ist.

Die folgende Figur zeigt, dass das perspektivische Bild eines Vierecks deren Grösse in unendlicher Entfernung, dem Cosinus entspricht, in derselben Bildebene, bei Abnahme der Distanz des Auges, immer kleiner wird.

Es ist dies das Bild eines Vierecks von 10×10 , mit 45° Nei-

¹⁾ Andeutungen über diese Änderungen der Verhältnisse fand ich nur bei Donders (Anomalien usw.) in den Angaben über die durch Augengläser hervorgerufenen Änderungen.

gung, das auf einem der nahen Seite des Vierecks anliegenden Bild-

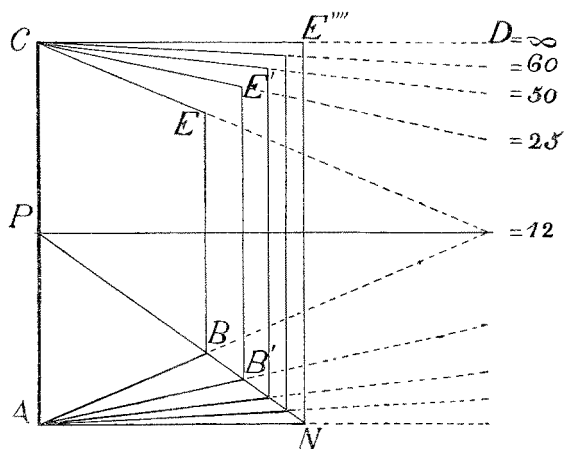


Fig. 5.

rahmen, in successiven Entfernungen, gesehen wird. Es ergeben sich aus der Figur und auch durch Rechnung die folgenden Masse:

Entferng. des Auges	Nahe Seite	Entfernte Seite	Höhe	Area ¹⁾
∞	10	10	7,1	71
60	10	9,3	6,6	64
50	10	8,7	6,2	58
25	10	7,7	5,5	49
12	10	6,3	4,4	36

B. Objekt geneigt und in Lateralstellung.

In dieser Lage des Gegenstandes gilt von den zwei Gesetzen für Objekte in Frontstellung nur eines, wonach die Grösse des Bildes bei Zunahme der Neigung abnimmt.

Dies bedarf auch für den vorliegenden Fall keines weiteren Beweises. Dagegen muss das andere Gesetz, nach welchem die Grösse des Bildes kleiner ist als bei aufrechten Objekten, und das nur für Gegenstände in unendlicher Entfernung Gültigkeit hat, näher auseinandergesetzt werden.

A. Objekt in unendlicher Entfernung. Wie bei geneigten Gegenständen und in Frontstellung bewahrheitet sich, bezüglich der Grösse der Bilder, auch hier das Gesetz des Cosinus, d. h. die

¹⁾ Einheit = 100.

Grösse des perspektivischen Bildes eines geneigten Segmentes, in unendlicher Entfernung, ist gleich dem Cosinus des Neigungswinkels.

Hieraus folgt, dass, da der Neigungswinkel eines Objektes derselbe bei Frontstellung wie bei der Seitenstellung ist, auch der entsprechende Cosinus gleich bleibt, und folglich wird auch das Bild eines geneigten Gegenstandes, in unendlicher Entfernung, in der Frontstellung sowohl wie in der Seitenstellung, immer von derselben Grösse sein.

A priori scheint dies nicht richtig zu sein und man sollte meinen, dass die Grösse des Bildes von Objekten in Seitenstellung von der Grösse des Bildes aufrechter Gegenstände verschieden sein müsste.

Es seien z. B. die drei gleichen Segmente a , b und c , in gleicher Weise gegen die Bildebene geneigt, und das Auge, in unendlicher Entfernung, sei gegenüber dem Segmente a gelegen.

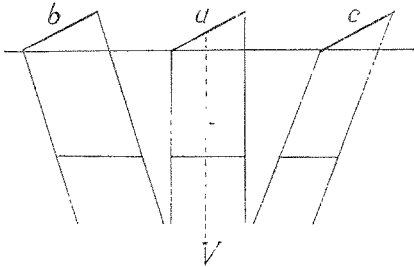


Fig. 6.

Nach dem, was früher bezüglich der Objekte in Frontstellung gesagt wurde, wird Segment a , gemäss seiner Projektion, gesehen; aber es würde scheinen, dass Segment b in einer stärkeren und Segment c in einer geringeren Projektion gesehen werden müssten, und dass also die Grösse der Bilder

in folgender Ordnung folgen müsste:

$$b > a > c.$$

Allein die Sache verhält sich in anderer Weise. Das Bild nämlich ist in allen Fällen gleich, weil es sich um eine unendliche Entfernung handelt und die Strahlen deshalb parallel sind, und zwar nicht nur die Strahlenbündel, welche den einzelnen Segmentobjekten entsprechen, sondern auch die Bündel des einen und des andern Segmentes untereinander. Die Winkel, welche in der Figur, von den Strahlen eines Bündels mit andern gebildet werden, sind irrtümlich gezeichnet worden; sie würden nur in Fällen bestehen, in welchen das Auge in messbarer Entfernung sich befindet; da dies jedoch nicht der Fall ist, so können nur Winkel mit dem Scheitel in unendlicher Entfernung zugegeben werden. In diesem Falle aber sind die Strahlen untereinander alle parallel.

Wenn nun der Parallelismus der Strahlen, welche von den verschiedenen Segmenten ausgehen, in der angegebenen Weise verstan-

den wird, dann ist es verständlich, dass die drei obigen Segmente gleiche Projektionen und also auch gleiche Bilder ergeben.

Hieraus folgt aber ein Gesetz, welches analog ist dem Gesetze für nicht geneigte Objekte in Seitenstellung, nämlich: die Grösse des Bildes eines Objektes in Seitenstellung ist gleich der Grösse desselben Objektes in Frontstellung.

Die zwei Gesetze, welche für geneigte Objekte in Frontstellung gelten, sind also auch für geneigte Gegenstände in Seitenstellung wirksam. Für die Fälle von geneigten Objekten in Seitenstellung und in unendlicher Entfernung sind demnach dieselben Gesetze anwendbar, welche für geneigte Gegenstände in Frontstellung, in unendlicher oder endlicher Entfernung gelten, nämlich: 1. Die Grösse des perspektivischen Bildes ist kleiner als beim aufrechten Objekte. 2. Die Grösse desselben nimmt bei Zunahme der Neigung ab.

B. Objekt in endlicher Entfernung. Von den zwei zuletzt genannten Gesetzen ist in diesem Falle nur das zweite anwendbar. Das erste, dass nämlich die Grösse der Bilder kleiner als bei aufrechten Gegenständen ist, ist es nicht immer.

Zum Verständnisse dieser Annahme müssen wir zwei Fälle von Lateralstellungen des Objektes berücksichtigen. 1. Lateralstellung nach der Drehungsachse, um welche die Neigung erfolgte. 2. Lateralstellung senkrecht auf die Drehungsachse.

1. Lateralstellung nach der Drehungsachse. In dieser Lage gilt folgendes Gesetz: Die Grösse des Bildes ist gleich derjenigen, welche dasselbe Objekt in Frontstellung gibt. Mit andern Worten: die Grösse des Bildes bleibt unverändert, wenn das Objekt im obigen Sinne aus der Frontstellung in Seitenstellung gebracht wird.

Dies ist der Fall, weil das Objekt in beiden Lagen in derselben Ebene bleibt. Unter diesen Bedingungen sind die Pyramiden von Strahlen, welche vom Objekte, das successiv in Front- und Seitenstellung ist, zum Auge gehen, von gleicher Basis und Höhe, also äquivalent. Die betreffenden Bilder sind wie Schnitte von jenen Pyramiden, welche in einer Ebene gemacht wurden, die nicht den Basen parallel ist, sie können folglich nicht gleich sein.

Die Bildebene jedoch ist, wenn nicht parallel der Objektebene, doch parallel der Drehungsachse, um welche das Objekt geneigt ist, und dies verursacht, dass die Bilder, wenn nicht gleich, doch äquivalent, d. h. gleich gross sind.

Ein geneigtes Viereck, das im obigen Sinne einmal von der Front, das andere Mal von der Seite gesehen wird, erscheint im Bilde in den beiden Fällen vierseitig, und ein jedes der vierseitigen Bilder hat zwei entgegengesetzte parallele Seiten, die in dem einen untereinander gleich und denen des andern angereiht sind.

Dies genügt, um eine Äquivalenz, aber nicht um eine Gleichheit hervorzubringen, weil beim Übergange aus der Frontstellung in die Seitenlage, die beiden parallelen Seiten des Bildes, da sie zwei Seiten des Objektes entsprechen — die zwar parallel sind, aber in verschiedener Entfernung von der Bildebene stehen —, eine paralleelseitige Verlagerung erleiden, wodurch das Bild deformiert wird.

In jedem Falle ist das Bild des Objektes in Seitenstellung bezüglich der Grösse dem Bilde des Objektes in Frontstellung gleich, und folglich, da in derselben Weise das Bild bei geneigten Objekten und in der Frontstellung kleiner ist als bei aufrechten Gegenständen, so ist auch dasselbe bei geneigten Gegenständen und in Seitenlage, nach der Rotationsachse, kleiner als bei aufrechten Objekten.

Es bewahrheitet sich also auch hier das erste der hier oben angegebenen Gesetze.

2. Lateralstellung senkrecht auf der Rotationsachse. In dieser Lage ist das Bild mehr oder weniger gross, je nachdem sich der Gegenstand auf der einen oder der andern Seite derjenigen Lage befindet, welche der Frontstellung entspricht.

Nehmen wir ein Viereck an, das im Profile geneigt, erst in

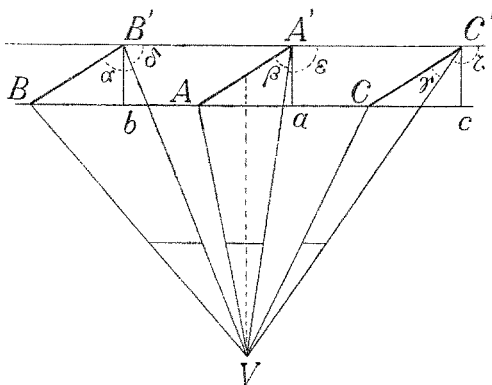


Fig. 7.

Frontstellung, dann in Seitenlage (nach rechts oder nach links) sich befindet. In diesen Stellungen bilden sich Pyramiden von Strahlen, die gleiche Basen, aber ungleiche Höhen haben. Die Bildebene schneidet also von diesen Pyramiden zwei verschiedene Sektionen.

Dies erhellt aus der folgenden schematischen

Figur: Es seien AA , BB und CC drei gleiche Segmente in der gleichen Neigung und Entfernung vom Auge.

Das Auge, in V , erhält in evidenter Weise Bilder von verschied-

dener Grösse, das von BB ist grösser als AA und dieses ist grösser als CC . Die Projektionen Bb , Aa und Cc wären gleich, allein wegen der eigenartigen Schiefheit der Strahlen, welche zum Auge gelangen, entsprechen die reellen Bilder nicht diesen Projektionen und sind von verschiedener Grösse.

Will man eine geometrische Darstellung dieser Tatsachen, dann ziehe man die gerade $B'A'C'$ und es wird sich ergeben, dass zwischen den drei Winkeln α , β , γ die folgende Ungleichheit vorhanden ist:

$$\alpha > \beta > \gamma.$$

Gleich sind die Winkel

$$\alpha + \delta = \beta + \varepsilon = \gamma + \zeta,$$

weil sie Parallelen entsprechen, die durch eine Transversale geschnitten werden.

Anderseits haben wir auch die folgende Ungleichheit:

$$\zeta > \varepsilon > \delta$$

weil sie äussere bzw. innere Winkel von Dreiecken sind. Es ist also:

$$\alpha > \beta > \gamma.$$

Wir haben gesehen, dass zwischen den Bildern von Objekten in Frontstellung und denen in Seitenstellung, in unendlicher Entfernung, nicht jene Differenz in der Grösse vorhanden ist, weil wegen der unendlichen Entfernung die verschiedenen Strahlenbündel, die zum Auge gelangen, als parallel angesehen werden; bei messbarer Entfernung aber konvergieren die verschiedenen Strahlenbündel, und die Projektionen sind wegen dieser Konvergenz von verschiedener Grösse.

In den Fällen von geneigten Objekten, in messbarer Entfernung und Seitenlage, senkrecht auf der Rotationsachse, ist die Grösse des Bildes nicht gleich derjenigen, die dasselbe Objekt in Frontstellung hat. Das Bild verhält sich also anders als die Bilder von Objekten, welche unter übrigens gleichen Bedingungen nach der Rotationsachse verlagert sind.

In den Seitenstellungen senkrecht auf der Rotationsachse kommt es auch vor, dass das Bild einmal grösser, das andere Mal kleiner ist als das Bild in der Frontstellung. In dem in der Figur dargestellten Falle ist das Bild links grösser als das mittlere und dieses grösser als das rechtsseitige. Dies hängt offenbar von der Neigung des Objektes ab, und es ist klar, dass, wenn dasselbe in entgegengesetzter Richtung geneigt wäre, die Reihenfolge in der Grösse sich umkehren würde.

Auch ist es klar, dass derartige Lateralstellungen des Objektes vorkommen können, dass sie, wenn sie z. B. ein Segment darstellen, als Punkte, wenn hingegen eine ebene Figur, als Linien erscheinen. Und es können ausserdem Stellungen entstehen, in denen Segmente oder ebene Figuren Bilder ergeben, die grösser sind als die Bilder, welche dieselben Gegenstände in Frontstellung und aufrechter Lage ergeben würden. Man sieht dies in der folgenden perspektivischen Figur eines Vierecks, das im Profil um 45° geneigt ist, in einer Distanz, welche $2\frac{1}{2}$ mal den Durchmesser beträgt und successiv in der Front und von der Seite gesehen wird.

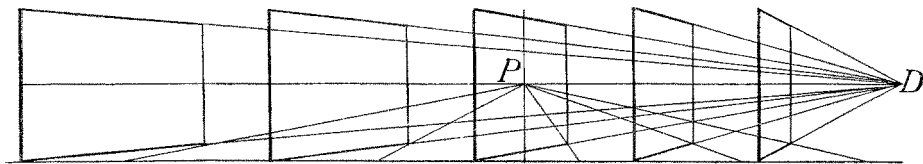


Fig. 8.

Man kann also folgern, dass im zweiten Falle das Bild kleiner und gleich oder grösser sein kann als das Bild desselben Objektes in Frontstellung, und kann die Grösse des Bildes, welches derselbe Gegenstand in aufrechter Stellung liefert, übertreffen.

Zusammenfassend kann man sagen: die Grösse der Bilder von Objekten in geneigter Stellung, in messbarer Entfernung, in Seitenlage, ist grösser, gleich oder kleiner als das Bild, welches dasselbe Objekt in Frontstellung gibt.

Man berücksichtige noch in der obenstehenden Figur, dass die vertikalen Seiten des Bildes konstant gleich bleiben, gleichgültig ob das Objekt nach rechts oder nach links gelagert wird, dass sie hingegen sich voneinander entfernen oder sich nähern, je nach der Verlagerung des Gegenstandes. Die Verschiebung erfolgt wegen der verschiedenen Schiefheit, welche die Lichtstrahlen auf dem Wege zum Auge annehmen, während die Konstanz der Grösse daher rührt, dass trotz der Verlagerung die Verhältnisse der Distanz vom Auge zwischen der entfernten und der nahen Seite sich nicht ändern. Dies ist wichtig, um die Änderungen der Form, welche die Bilder erleiden und die im folgenden erörtert werden sollen, verstehen zu können.

2. Veränderungen der Form.

So wie für die Modifikationen der Grösse der Bilder, müssen auch für das Studium der Änderungen der Form die Bilder in verschiedenen Stellungen des Objektes berücksichtigt werden. Wir werden also in Betracht ziehen, das, was geschieht, wenn der Gegenstand aufrecht steht oder geneigt ist, und wenn derselbe in einem und dem andern Falle in Frontstellung oder in Seitenlage usw. sich befindet.

Man darf jedoch nicht die aufrechte Stellung mit der Frontstellung, die durchaus ungleich sind, verwechseln: wenn man geradeaus nach vorn sieht, und das Objekt sich längs der Sehlinsen befindet, dann ist es in Frontstellung. Hingegen ist das Objekt aufrecht, wenn seine Oberfläche der Gesichtsebene parallel ist.

Das Objekt in Frontstellung kann also aufrecht oder geneigt, das aufrechte Objekt hingegen in Front- und Seitenstellung sein, da einander entgegengesetzt sind die aufrechte und die geneigte Stellung, Front- und Seitenstellung. All dies ist zwar a priori verständlich, doch wollte ich die Sache andeuten, damit in der Interpretation der Erscheinung kein Missverständnis erfolge.

1. Aufrechtes Objekt.

In dieser Lage des Objektes, in Front- oder Seitenstellung, und in jedweder Entfernung, sind die Bilder in ihrer Form dem Objekte geometrisch ähnlich oder besser omothätisch, weil sie ähnlich sind und auch eine ähnliche Lage einnehmen, und zwar, weil unter diesen Bedingungen die Bilder, wie ich schon bezüglich der Modifikationen der Grösse andeutete, zur Basis parallele Schnitte darstellen, demnach Objekt (Basis) und Bild (Schnitte) sich Punkt für Punkt entsprechen oder, wie man sagt, in univocker Korrespondenz sind. So geschieht es, dass das Bild eines Vierecks ein Viereck, das eines Kreises ein Kreis bleibt usw.

Wir sahen früher, unter gleichen Bedingungen, dass auch keine Veränderungen in der Grösse stattfinden, ausgenommen diejenigen, welche durch das fundamentale Gesetz der Entfernung bedingt werden.

Es erfolgt also: Bei Objekten in aufrechter Lage, in Front- oder Seitenstellung, erleiden die Bilder keine Formveränderungen.

2. Geneigte Objekte.

In dieser Lage erhält man keine geometrisch dem Objekte ähnlichen Bilder, weder in unendlicher noch in endlicher Entfernung,

weil jetzt die Bilder Kegelschnitte darstellen, die nicht der Basis parallel sind. Es treten deshalb immer Modifikationen der Form ein. Und da das Abweichen vom Parallelismus um so grösser ist, je stärker sich die Neigung zeigt, werden die Formveränderungen beträchtlicher sein, wenn die Neigung des Objektes stärker ist.

Ausserdem treten in dieser Lage spezielle Modifikationen der Form der Bilder auf, je nach dem Grade, der Art der Neigung und der Grösse der Entfernung. Es ist deshalb notwendig, auch für die Formveränderungen in der Untersuchung, analytisch Punkt für Punkt vorzugehen, wie beim Studium der Modifikationen der Grösse.

A. Objekt geneigt und in Frontstellung.

A. Objekt in unendlicher Entfernung. In diesem Falle schwindet, wie ich schon sagte, wegen der grossen Entfernung des Auges, die Differenz der Distanz zwischen entfernt und nahe gelegenen Teilen des Objektes. Diese Teile erscheinen deshalb, wenn sie am Objekte gleich sind, auch in den Bildern gleich.

Die Reduktion in der Grösse der Bilder, demnach auch der Form, erfolgt deshalb nur in einem Sinne, d. h. entsprechend dem Neigungswinkel und einfach nach dem Gesetze des Cosinus.

Das Bild erfährt in dieser Weise eine sozusagen regelmässige Verunstaltung; ein Viereck gibt das Bild eines Rechtecks, der Kreis eine Ellipse; gerade, vertikale, horizontale Segmente, rechte Winkel usw. bleiben unverändert.

Nehmen wir das Bild eines Quadrats: Das Bild eines solchen in aufrechter Stellung ist ein Quadrat sowohl in Front- als in Seitenstellung, nur variiert, je nach der Entfernung, seine Grösse.

In geneigter Stellung hingegen, in unendlicher Entfernung, ist das Bild kein Quadrat, sondern ein Rechteck, weil bei Neigung eines Quadrats im Profil oder von vorn nach hinten die zwei entgegengesetzten Seiten desselben der Bildebene parallel bleiben, und nur die andern zwei bilden mit dieser Ebene einen Neigungswinkel.

Nur für diese zwei Seiten hat das Gesetz des Cosinus Gültigkeit. Das Bild des Quadrats unterliegt also einer Reduktion in der Grösse nur in diesem Sinne und erscheint deshalb als ein Rechteck.

Das im Profil geneigte Quadrat gibt aus diesem Grunde ein reduziertes Bild nur in horizontalem Sinne, d. h. das Bild eines Rechtecks, dessen grössere Seiten vertikal sind. Das von vorn nach hinten geneigte Quadrat gibt nur vertikal reduzierte Bilder, d. h. Bilder eines Rechtecks, deren grössere Seiten horizontal sind.

Bei geneigten Objekten, in Frontstellung und in unendlicher Entfernung, zeigen also die Bilder regelmässige Formveränderungen und zwar nur in einem Sinne.

B. Objekt in endlicher Entfernung. Die Bilder sind in diesem Falle in jeder Richtung deformiert, weil, wie wir sahen, unter dieser Bedingung, nicht bloss in einem Sinne wie bei unendlicher Entfernung, sondern in mehreren Richtungen, Reduktionen in der Grösse stattfinden. Auch in diesem Falle erfolgt die Reduktion der Form direkt infolge der Neigung. Ausserdem findet auch indirekt eine Reduktion der Form statt, weil die verschiedenen Teile des Objektes, infolge der Neigung, entfernter oder näher stehen und deshalb kleiner oder grösser erscheinen. Die Verbindungsstrecken, welche im Objekte mit gleichen Teilen in Beziehung stehen, wie z.B. CE'' und AB der Fig. 5, stehen hingegen im Bilde mit grösseren und kleineren Teilen in Beziehung, was eine nicht unbedeutende Modifikation der Form zur Folge haben muss. Deshalb nimmt z. B. das Bild eines Quadrats die Form eines Trapezes an (siehe auch Fig. 8).

Da nun nach dem, was in bezug auf die Modifikationen der Grösse gesagt wurde, das Verhältnis der Grösse zwischen entfernter und nahe gelegenen Teilen eines Objektes mit der Distanz des Auges sich ändert, ja bei Abnahme der Entfernung grössere Proportionen annimmt, wird, unter übrigens gleichen Bedingungen, die Deformation der Bilder grösser, wenn die Distanz abnimmt.

Die Bilder von geneigten Objekten, in Frontstellung und messbarer Entfernung, zeigen also komplexe Formveränderungen, welche unter übrigens gleichen Bedingungen, bei Abnahme der Entfernung, zunehmen.

Unter solchen Bedingungen hat man keine, dem Objekte ähnliche geometrische Bilder, und auch die Bilder eines gleichen Gegenstandes, der in verschiedenen Distanzen gesehen wird, sind nicht untereinander gleich.

B. Objekt geneigt und in Seitenstellung.

A. Objekt in unendlicher Entfernung. Unter dieser Bedingung zeigen die Bilder gar keinen Unterschied in der Form und Grösse von denjenigen, welche die Objekte in Frontstellung zeigen und zwar aus denselben Gründen, die schon zu wiederholten Malen und namentlich für den identischen Fall, der sich auf die Änderungen der Grösse bezieht, auseinandergesetzt worden sind.

B. Objekt in endlicher Entfernung. Wenn das Objekt aus der Frontstellung in die Seitenstellung gebracht wird, dann variiert die

Form der Bilder, je nachdem dies in der einen oder der andern Richtung geschieht.

Die Formveränderung ist in diesen Fällen nicht immer von Variationen der Grösse begleitet.

Auch hier müssen wir, wie bei den Änderungen der Grösse, hauptsächlich zwei Fälle berücksichtigen: 1. Die Lateralstellung im Sinne der Drehungsachse, um welche die Neigung erfolgt. 2. Die Lateralstellung senkrecht auf der Drehungsachse.

1. Lateralstellung nach der Drehungsachse. Wir haben schon gesehen, dass das Bild in dieser Stellung dieselbe Grösse hat wie in der Frontstellung; anderseits aber wurde gezeigt, dass dasselbe, wenn es auch an Grösse sich nicht ändert, doch nicht gleich bleibt. Es besteht also bloss eine Äquivalenz in der Grösse; es erfolgen aber Veränderungen in der Form.

In der Tat sieht man bei Beobachtung der Deformationen, welche die Bilder erleiden, wenn das Objekt von der Frontstellung in Seitenlage gebracht wird, dass sie wie verzogen aussehen, und sie scheinen wie gegen das mediane Bild gewendet zu sein, d. h. gegen das Bild, welches vom Objekte in der Frontstellung gegeben wird.

Die Ursache davon liegt, wie schon gesagt, in der parallaxischen Verschiebung, welche zwischen entfernt und nahe gelegenen Seiten des Objektes stattfindet und die eben durch diese Differenz der Entfernung bedingt wird. Dies ist zwar schon intuitiv verständlich, doch wollen wir die Sache näher auseinandersetzen.

Ein geneigtes Objekt besteht immer aus entfernteren und näheren Teilen. Es ist hier immer von ebenen Objekten die Rede, deren Teile in verschiedenen Entfernungen liegen, weil die Objekte um eine der Achsen gedreht sind. Wenn sie aufrecht wären, dann würden alle Teile in gleicher Entfernung vom Auge sein. In diesem Sinne muss perspektivisch die Distanz aufgefasst werden. Bei seitlicher Verlagerung eines aufrechten Gegenstandes bleiben die verschiedenen Teile desselben noch gleich weit vom Auge entfernt; bei derselben Lageveränderung eines geneigten Objektes bewahren die entfernten und näheren Teile dieselbe Distanz, welche sie in Frontstellung des Objektes haben.

In unserem Falle haben wir also ein Objekt, das entferntere und nähere Teile hat, die in der Bildebene entworfen werden. Bei Verlagerung des Objektes nach der Seite sehen wir, dass das Bild verunstaltet wird, weil zwischen den Teilen, die den entfernten Segmenten, und denjenigen, welche den nahegelegenen Segmenten des

Objektes entsprechen, parallatische Verschiebungen stattfinden. Die den entfernten Teilen des Objektes entsprechenden Teile der Bilder bewegen sich langsamer als die andern und bleiben sozusagen hinter diesen zurück.

Der Grund hierfür ist folgender: Man nehme einen beliebigen Punkt der entfernten und einen entsprechenden Punkt der nahen Teile des Objektes. Beim Übergange aus der Frontstellung in eine Seitenlage durchlaufen die beiden Punkte dieselbe Strecke. Wenn wir uns vorstellen, dass von jedem der beiden Punkte vor und nach dem Durchlaufen dieser Strecke Lichtstrahlen zum Auge gelangen, dann bilden diese einen Winkel, der für die successiven Lagen des nahen Punktes grösser, für die des entfernten Punktes hingegen kleiner ist. Diese zwei Winkel werden in derselben Höhe von der Bildebene geschnitten, und da sie von verschiedener Grösse sind, so müssen sie in der Bildebene eine verschiedene lineare Ausdehnung einnehmen, entsprechend dem kleineren Winkel eine kleinere, entsprechend dem grösseren eine grössere. In der Bildebene durchläuft also ein Punkt eine kleinere Strecke als der andere. Der Winkel, welcher dem entfernten Punkte entspricht, ist kleiner; dieser durchläuft also eine kleinere Strecke. Dies ist der Grund, weshalb das Bild der entfernten Teile des Objektes, bei seitlicher Verlagerung des Objektes, im Verhältnis zu demjenigen der nahen Teile zurückbleibt.

All dies ist an der folgenden Figur ersichtlich, welche das Bild eines nach hinten geneigten Quadrats, in Frontstellung und succes-

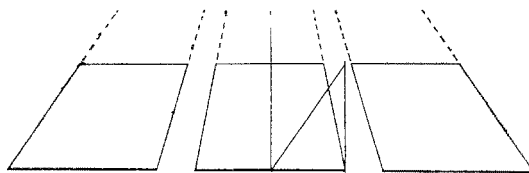


Fig. 9.

siver Verschiebung (nach rechts und links) im Sinne der Rotationsachse, darstellt. Das Bild in Frontstellung hat die Form eines regelmässigen Trapezes, die andern zwei Bilder die eines unregelmässigen, im Sinne der medianen Figur verlängerten Trapezes.

Alle drei in der Form ungleichen Bilder haben die gleiche Grösse.

2. Lateralstellung perpendicular auf der Rotationsachse. Die Formveränderungen sind in diesem Falle komplex, wie auch die Variationen der Grösse. Bezüglich dieser haben wir schon gesehen,

dass die Bilder in einem Sinne grösser, in dem andern kleiner erscheinen als in der Frontstellung des Objektes. Es könnten dieselben, wie in andern Fällen, bei Gleichbleiben der Grösse, ihre Form beibehalten, wenn sie nämlich geometrisch ähnlich wären, was aber hier nicht der Fall ist.

Sehen wir das gewöhnliche Quadrat an, in aufrechter Stellung und in Neigung im Profile, erst in Frontstellung, dann in Seitenlage. Das perspektivische Bild desselben (siehe Fig. 8) hat die Form eines Trapezes mit vertikalen Basen und ist von verschiedener Grösse, je nach der Lage des Objektes. Da die Bilder von verschiedener Grösse sind, wäre es, damit die Formen gleich bleiben (geometrisch ähnliche Bilder), notwendig, dass alle Seiten derselben proportional sich vergrösserten oder kleiner würden. Dagegen bewahren zwei Seiten, und zwar die Basen des Bildes, konstant dieselbe Grösse und nur die zwei andern variieren. Es ist evident, dass dies dazu genügt, dass die Form der Bilder sich ändere.

Zwei Seiten behalten ihre Grösse bei, weil die Grösse des Bildes (desselben Gegenstandes) nur von der Distanz und Neigung des Objektes abhängig ist. In unserm Falle ändert sich, trotz der seitlichen Verlagerung, weder die Neigung noch die perspektivische Distanz der beiden vertikalen Seiten des Objektes, und infolgedessen bleibt die Grösse des Bildes dieser Seiten unverändert.

Anders verhält es sich mit den beiden andern Seiten, die geneigt sind und die deshalb bei den seitlichen Verlagerungen in ihrer Neigung sich ändern, wodurch die Grösse der entsprechenden Bilder modifiziert wird.

Kurz, man hat in diesen Lagen Änderungen der Grösse und der Form.

Die Bilder von geneigten Gegenständen, in messbarer Entfernung, haben also: 1. In den Seitenstellungen durch Verschiebung des Objektes, längs der Neigungsachse, im Vergleiche zur Frontstellung, gleiche Grösse aber verschiedene Form.

2. In der Seitenstellung durch Verschiebung des Objektes perpendikulär auf der Neigungsachse haben sie hingegen, im Vergleich zur Frontstellung, verschiedene Grösse und Form.

Zum Verständnisse dieser Modifikationen diene noch Figur 10.

Sie stellt das Bild eines Quadrats dar, das bei verschiedenen Neigungen und in verschiedenen Entfernungen beobachtet wird. Es sind die Bilder auf einem der näheren Seite des Objektes anliegenden

Bildrahmen gezeichnet. Deshalb hat in der Figur die nähere Seite des Bildes, bei jedweder Entfernung des Objektes, immer dieselbe Grösse. In dieser Weise zeigen die Bilder schon auf den ersten Blick die Modifikationen in der Grösse und in der Form, die durch Perspektive bedingt werden.

Die Bilder entsprechen also nicht in exakter Weise den Netzhautbildern, deren Grösse der Distanz proportional ist, da es sich

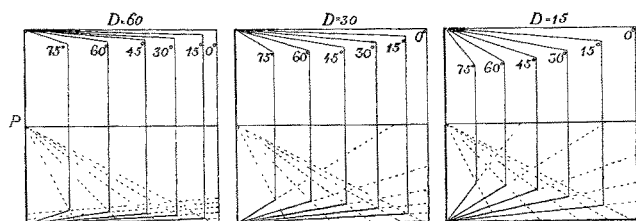


Fig. 10.

aber immer um geometrisch ähnliche Bilder handeln würde, so hätten auch die von der Perspektive abhängigen Änderungen dieselben Proportionen.

Um eine richtige Vorstellung von den reellen Retinabildern zu haben, betrachte man als Objekt die auf den Bildrahmen gezeichneten Bilder der Figur, und stelle sich vor, dass diese vom Auge in den angegebenen Entfernungen gesehen werden.

Aus der Figur können die folgenden Masse deduziert werden, die gleichfalls die durch die Perspektive bedingten Modifikationen anzeigen.

Distanz = 60.				
Neigung	Nahe Seite	Entfernte Seite	Höhe	Area
0°	1	1	1	1
15°	1	0,96	0,93	0,91
30°	1	0,93	0,80	0,77
45°	1	0,90	0,63	0,60
60°	1	0,87	0,44	0,41
75°	1	0,86	0,22	0,20

Distanz = 30.				
0°	1	1	1	1
15°	1	0,92	0,88	0,85
30°	1	0,86	0,74	0,68
45°	1	0,81	0,57	0,51
60°	1	0,78	0,38	0,34
75°	1	0,76	0,19	0,17

Distanz = 15.				
Neigung	Nahe Seite	Entfernte Seite	Höhe	Area
0°	1	1	1	1
15°	1	0,85	0,82	0,76
30°	1	0,75	0,65	0,57
45°	1	0,68	0,48	0,40
60°	1	0,63	0,31	0,26
75°	1	0,61	0,15	0,12

Aus diesen analytischen Studien über die Modifikationen der Grösse und Form, welche die Bilder infolge der Perspektive erleiden, geht unter anderm hervor, dass die Modifikationen rücksichtlich der Grösse und der Form nicht immer gleichen Schrittes erfolgen. In der grössten Zahl der Fälle aber finden die Veränderungen der Grösse und der Form, wenn auch nicht im gleichen Grade, doch gleichzeitig statt.

Nur in zwei Fällen geschehen sie in unabhängiger Weise:
 1. Bei geneigten Objekten, in endlicher Entfernung, bei lateraler Verschiebung nach der Drehungsachse, erfolgen nur Veränderungen der Form und nicht der Grösse. 2. Bei aufrechten Gegenständen (in Front- oder Seitenstellung) hat man, bei Änderungen der Entfernung, nur Modifikationen der Grösse und nicht der Form.

Bei aufrechten oder geneigten Objekten, in unendlicher Entfernung, und bei aufrechten, auch in endlicher Entfernung, erfolgen in Seitenstellungen gegenüber der Frontalstellung weder Veränderungen der Grösse noch der Form.

Diese Kenntnisse über die Veränderungen der Grösse und der Form lassen daran denken, dass durch die Perspektive die Sehschärfe alteriert werden muss, und es muss deshalb auf Grund jener Kenntnisse die Perspektive in ihrem Verhältnisse zur Sehschärfe studiert werden.

Zweiter Teil.

Einfluss der Perspektive auf die Sehschärfe.

Zum Studium des Einflusses, den die durch die Perspektive bedingten Modifikationen der Bilder auf die Sehschärfe ausüben, müssen die besonderen Änderungen der Grösse und Form der gewöhnlichen Figuren, welche zur Bestimmung der Sehschärfe dienen, d. h. der Buchstaben des Alphabets und namentlich der grösseren Buchstaben der gewöhnlichen optotypischen Tafeln untersucht werden, und zwar mit Hilfe unserer Kenntnisse über die Modifikationen der Grösse und Form im allgemeinen.

Auch jetzt will ich, wie früher, der Einfachheit wegen, und um den fundamentalen Grundsätzen der Perspektive zu folgen, das Auge als unbeweglich und direkt nach vorn gekehrt ansehen. Es sollen aber jetzt bloss die Modifikationen berücksichtigt werden, welche bei Objekten in Frontstellung auftreten, und zwar weil nur diese Modifikationen Wichtigkeit haben, da diejenigen, welche bei Objekten in Seitenstellung auftreten, dem Auge bloss in indirektem Sehen erscheinen und deshalb beim Lesen, das exklusiv beim direkten Sehen erfolgt, nicht in Betracht kommen.

Im dritten Teile dieser Arbeit werde ich in bezug auf den Einfluss der Perspektive auf das Lesen auch die Erscheinungen berücksichtigen, welche beim seitlichen Sehen, und zwar nicht nur beim Lesen mit einem, sondern auch mit beiden Augen, auftreten.

1. Modifikationen der Bilder der Buchstaben der Leseproben.

Die grösseren Buchstaben der gewöhnlichen Tafeln sind im allgemeinen rechteckige oder kreisförmige Figuren; in den einzelnen Teilen bestehen sie aus horizontalen und vertikalen oder von Stücken kreisförmiger Linien.

Infolge der Perspektive erleiden die Bilder der Tafeln die schon angeführten Modifikationen, wodurch ihre Grösse und Form alteriert werden. Zum richtigen Verständnisse des Einflusses der Perspektive auf die Sehschärfe ist es notwendig, jene Modifikationen in der ganzen Fläche der Buchstaben und ihrer einzelnen Teile zu analysieren.

1. Modifikationen im Gesamtbilde.

Die Bilder der rechteckigen oder kreisförmigen Figuren haben komplexiv trapezoide, ellipsoide Formen und sind gleichzeitig verlängert oder verkürzt.

Die Ursache der Verlängerung und Verkürzung liegt darin, dass das Bild eine grössere Modifikation der Grösse immer in einem bestimmten Sinne erleidet, als in andern Richtungen. Bei Objekten, welche um eine horizontale Achse geneigt sind, ist die Modifikation grösser in vertikaler, bei solchen hingegen, die um eine vertikale Achse gedreht sind, ist sie in horizontaler Richtung grösser.

Wir sahen früher, dass die Messungen des Quadrats, bei einer Entfernung von 60, bei verschiedenen Neigungen die folgenden Zahlen geben:

Neigung	Nahe Seite	Entfernte Seite	Höhe
0°	1	1	1
15°	1	0,96	0,93
30°	1	0,93	0,80
45°	1	0,90	0,63
60°	1	0,87	0,44
75°	1	0,86	0,22

Aus diesen Zahlen lassen sich mit Leichtigkeit die Reduktionen in der Grösse berechnen. Sie sind (in $\frac{1}{100}$ ausgedrückt) die folgenden:

Neigung	Reduktion in vertikaler Richtung	Reduktion in horizontaler Richtung
0°	0	0
15°	4	7
30°	7	20
45°	10	37
60°	13	56
75°	14	76

Die stärkere Reduktion in der Grösse, infolge der Neigung, ist vom Gesetze des Cosinus abhängig, der, wie die Trigonometrie lehrt, für $\frac{1}{4}$ eines Kreises von 1 bis 0 variiert. Die Reduktion im vertikalen Sinne hängt bloss von dem Variieren der Distanz der entfernten Seiten des Objektes im Vergleiche zur nahen Seite ab. Und da die Distanz des Objektes vom Auge, in Anbetracht der Dimensionen desselben, immer eine beträchtliche ist (die dreifache bei grossen und ausserordentlich viel grösser bei kleinen Objekten, wie eben diejenigen sind, welche zum Lesen dienen), so können die Reduktionen in der Grösse, welche vom Variieren der Distanz infolge der Neigung abhängen, nur sehr klein sein.

Angenommen z. B. (allerdings in übertriebener Weise) eine Lage, in welcher das Auge vom Objekte bloss in einer Entfernung stehe, welche der Breite des Objektes gleich ist, dann würde bei der grössten Neigung, d. h. um 90° (die gleichfalls eine übertriebene ist), die Reduktion der Grösse der entfernten, im Vergleiche zur nahen Seite, die der letzteren = 1 angenommen, nur $\frac{1}{2}$ betragen. Wenn die Entfernung des Auges doppelt so gross ist, dann beträgt die Reduktion kaum $\frac{1}{3}$; wenn sie dreimal grösser ist, kaum $\frac{1}{4}$. Unter diesen Bedingungen variieren hingegen der Cosinus von 1 bis 0. Das Bild wechselt im Sinne des Gesetzes des Cosinus nicht so stark, aber nicht um vieles weniger. Es würde nur dann wie der Cosinus variieren, wenn das Objekt in unendlicher Entfernung wäre, da

in diesem Falle der Einfluss der von der Inklination abhängigen Distanz 0 wäre.

Die Bilder der Buchstaben der Leseproben erleiden infolge der Reduktion in der Grösse, die in einem Sinne stärker ist als in einem andern; eine Art von Verlängerung oder Verbreitung, und es sind diese die hauptsächlichsten Alterationen, welche sie komplexiv infolge der Perspektive erleiden.

2. Modifikationen der einzelnen Teile.

Die einzelnen Teile der Bilder der Buchstaben unterliegen ihrerseits analogen Modifikationen: horizontale und vertikale Linien werden, infolge der Alterationen der Grösse und Form, verschieden dick und schief; ursprünglich rechte Winkel gestalten sich zu spitzen, stumpfen usw.

Ausserdem geht die gegenseitige Symmetrie der einzelnen Teile verloren und die Richtung aller dieser Veränderungen wechselt nach der Art der Neigung.

Hervorzuheben ist namentlich die Modifikation, welche die Dicke der Linien erleidet. Es können diese verschiedene Dicke annehmen, oder eine jede Linie kann von einem Ende zum andern verschiedene Dicke haben.

A. Modifikationen der Dicke zwischen den verschiedenen Linien.

Die Linien der Buchstaben, welche die gleiche Dicke haben, erscheinen in den perspektivischen Bildern von verschiedener Dicke. Die Ursache hiervon ist dieselbe, welche in der Figur die stärkere Reduktion der Grösse in einer bestimmten Richtung bedingt. Wenn sich also das Bild eines Buchstabens in horizontalem Sinne verkleinert (und verlängert erscheint), dann scheinen die vertikalen Linien verschmälert zu sein; wenn hingegen die komplexe Verkleinerung in vertikalem Sinne stattfindet (und das Bild verkürzt zu sein scheint), dann erscheinen die horizontalen Linien verdünnt.

Wir haben früher gesehen, dass z. B. bei der Neigung um 45° die Reduktion in der Grösse, in einer Richtung $= \frac{10}{100}$, in einer andern $\frac{37}{100}$ ist; also $\frac{1}{10}$ im ersten, und mehr als $\frac{1}{3}$ im zweiten Falle; bei der Neigung um 75° beträgt die Reduktion der Grösse, in einer Richtung, $\frac{14}{100}$, in der andern $\frac{78}{100}$, also fast $\frac{1}{10}$ und halb im ersten und mehr als $\frac{3}{4}$ im zweiten Falle.

Die Dicke der einzelnen Linien modifiziert sich in gleichen

Proportionen. Wenn also die Verkleinerung grösser ist in horizontalem Sinne, während die horizontalen Linien eine maximale Verkleinerung von ungefähr $\frac{1}{10}$ erleiden, dann reduzieren sich die vertikalen bei einer Neigung von 45° ungefähr um $\frac{1}{3}$, und bei der Neigung von 75° um mehr als $\frac{3}{4}$.

Streng genommen bewahren nicht einmal die parallelen Linien desselben Buchstabens die gleiche Dicke, d. h. es bleiben weder alle vertikalen noch alle horizontalen Linien gleich dick. In der Tat, auch wenn ein Buch, in geneigter Lage, in der Front gehalten wird, treten, wenn man ans Ende der Zeile kommt oder zum oberen oder unteren Ende der Seite, die Bedingungen ein, wie bei Seitenlage eines Objektes, und es ergeben sich alle jene Modifikationen der Grösse, die wir schon beim Studium der verschiedenen seitlichen Verschiebungen kennen gelernt haben.

Folglich können, ebenso wie das Gesamtbild des Objektes in Seitenlage sich in der Grösse von derjenigen des Objektes in Frontstellung unterscheidet, auch die parallelen Linien der einzelnen Buchstaben verschieden dick sein. Diese Differenzen zwischen den einzelnen Punkten eines Buchstabens können aber, weil sie sehr gering sind, in der Praxis vernachlässigt werden.

B. Modifikationen der Dicke der einzelnen Linien von einem Ende zum andern.

Diese Modifikationen erfolgen immer aus denselben Gründen und betreffen die Linien, welche transversal genannt werden können, d. h. die Verbindungslinien zwischen den entfernten und nahen Teilen des Objektes.

Dass sie eintreten müssen, kann daraus geschlossen werden, dass die in Rede stehenden Linien in Wirklichkeit nichts anderes sind als Zonen der Figur, die von den nahen zu den entfernten Teilen ziehen. Ebenso wie das ganze Bild sich perspektivisch von der nahen zur entfernten Seite verjüngt, verjüngen sich auch die Bilder dieser Zonen, die deshalb vom nächsten zum entferntesten Punkte eine progressiv geringere Dicke haben.

Die Erscheinung zeigt sich im Gesamtbilde und auch in den einzelnen Teilen immer in denselben Verhältnissen. Wenn z. B. die Grösse der nahen Seite eines Bildes = 100 und der entfernten = 80 ist, dann sind die Linien, welche von einer zur andern Seite gehen, am entferntesten Punkte um $\frac{1}{5}$ weniger dick als am nächstliegenden Punkte.

Die Modifikationen, welche von einem zum andern Ende der einzelnen Linien erfolgen, sind immer geringer als die zwischen der einen und der andern Linie.

Diese sind die vorwiegenden Modifikationen, welche die Buchstaben durch die Perspektive erleiden, und es sind dieselben um so grösser, je grösser die Neigung des Objektes ist, und in den meisten Fällen, je kleiner die Distanz ist, von der aus man sieht. Infolge jener Modifikationen nehmen die Buchstaben mannigfache bizarre Formen an.

Wir wollen noch die Veränderungen kennen lernen, welche die kreisförmigen Figuren eingehen, die wie die viereckigen einen grossen Teil der Buchstaben des Alphabets bilden.

Bei einem Kreise bilden die Lichtstrahlen, welche seine Umrisse berühren und zum Auge gehen, einen Kegel, und die perspektivischen Bilder sind wirkliche Schnitte von Kegeln.

Wenn der Kreis aufrecht steht, in Front- oder Seitenstellung, dann ist das perspektivische Bild desselben — wie es in dieser Lage bei allen Objekten der Fall ist — geometrisch dem Objekte ähnlich, also ein Kreis. In der Tat hat der Schnitt eines Kegels (geraden oder schiefen) mit kreisförmiger Basis und parallel derselben immer die Form eines Kreises. Wenn dieser hingegen geneigt ist, dann ist sein perspektivisches Bild in der Regel nicht mehr ähnlich dem Objekte, sondern nimmt die Form einer Ellipse an.

Die erste dieser Annahmen ist ohne weiteres klar, nicht aber die zweite. Dass der Schnitt eines Kegels (der von einer schiefen Ebene aus durch die Achse geht und ringsherum die ganze Oberfläche erreicht) eine Ellipse ist, lehrt uns die Geometrie, aber es ist nicht leicht, davon eine einfache Demonstration zu geben. Man kann die Sache bloss ungefähr intuieren, wenn man bedenkt, dass auch das Bild des Kreises wie einer jeden andern Figur infolge der Neigung eine Deformation erleidet, weil es sich in einer Richtung mehr als in einer andern verkleinert.

Wenn man zwei rechteckige Durchmesser des Objektes nimmt, dann ist im Bilde einer derselben kürzer als der andere, ebenso wie bei der Ellipse, und man sieht auch, dass die grosse Achse der Ellipse horizontal ist; wenn der Kreis um den horizontalen Durchmesser geneigt ist, vertikal hingegen, wenn der Kreis um den vertikalen Durchmesser geneigt ist, weil im ersten Falle gewöhnlich eine stärkere

Reduktion der Grösse im vertikalen, im zweiten aber im horizontalen Sinne statthat.

Dies ist immer der Fall, wenn der Kreis in Frontstellung ist, also in der Stellung, die in diesem Teile meiner Arbeit in Betracht kommt.

Das geschieht aber nicht immer, wenn der Kreis in geneigter Lage seitlich steht, weil dann in einer gewissen Position das Bild nicht eine Ellipse darstellt, sondern immer noch einen Kreis, wie wenn der Kreis statt in geneigter, in aufrechter Stellung wäre. Es ist dies ein Fall, der in der Mathematik anteparalleler Schnitt eines schiefen Kegels genannt wird. Die seitliche Lage kommt aber beim Lesen nicht in Betracht.

Viele Buchstaben des Alphabets oder Teile der Buchstaben sind kreisförmig und die entsprechenden Bilder nehmen perspektivisch die Form von Ellipsen an.

Die Buchstaben haben ausserdem eine gewisse Dicke und deshalb dürfen die Kurven derselben nicht als einfache Kreise oder Teile von Kreisen, sondern als konzentrische oder als Teile von konzentrischen Kreisen angesehen werden.

Die Bilder der Kreise, d. h. die Ellipsen, sind aber nicht konzentrisch wie die Kreise selbst und zwar aus folgenden Gründen: es können zwei konzentrische Kreise mit einem einfachen Kreise von einer gewissen Dicke identifiziert werden. Dieser hat, in geneigter Stellung, wie eine jede andere Figur, einen nahen und einen entfernten Teil; das Bild des Kreises wird also entsprechend dem nahen Teile eine grössere Dicke besitzen als entsprechend den entfernten Teilen, und wenn es die Form einer Ellipse hat, wird es an einer Seite dünner sein als an der andern, und folglich müssen die zwei Kurven, welche das Bild begrenzen, zwei nicht konzentrische Ellipsen sein.

2. Direkter Einfluss dieser Modifikationen auf die Sehschärfe.

All diese Modifikationen in der Grösse und Form, welche die Buchstaben des Alphabets und im allgemeinen die Figuren durch die Perspektive erleiden, werden nicht wahrgenommen, weil die Objekte infolge der Erziehung in gleicher Weise in ihrer wirklichen Form gesehen werden. So z. B. wird nicht wahrgenommen, dass ein rechtseitiger Tisch als ein Trapez gesehen wird, dass ein eiserner Ring, der bewegt wird, sich, wie wenn er von Gummi wäre, deformiert, wie ja auch die entsprechenden Bilder deformiert sind.

Trotzdem erfolgen jene Modifikationen in den Bildern und zwar sowohl in der Form wie in der Grösse, und sie müssen von Einfluss auf die Sehschärfe sein.

Ich machte darauf bezügliche Experimente, nicht um zu sehen, ob sensible Effekte nachzuweisen sind, weil dies a priori angenommen werden muss, sondern um festzustellen, in welchem Masse sich dieselben produzieren.

1. Beobachtungen über geneigte Buchstaben.

A. Erster Versuch. Um den Einfluss der Perspektive auf die Sehschärfe zu untersuchen, befestigte ich an einer Tafel die gewöhnlichen Leseproben von Wecker und Masselon, lehnte die Tafel an die Wand und zeichnete auf dem Fussboden einen Viertelkreis von 6 m Durchmesser, der von 15° zu 15° und zwar von 0 bis 90° graduirt war.

Ich wollte in dieser Weise durch Beobachtung der verschiedenen Punkte des Quadranten die Sehschärfe bei verschiedenen Neigungen untersuchen. Allein der Versuch misslang trotz der Einfachheit desselben.

Vor allem traten Lichtstörungen ein (Reflexionen, Variationen der Belichtung usw.). Ich griff deshalb zu einem andern Experimente.

B. Zweiter Versuch. Ich fixierte die Tafel, welche die Leseproben trug, auf einer vertikalen Achse, die durch den Mittelpunkt ihrer horizontalen Seiten verlief, so dass sie leicht nach rechts und links (im Profil) durch Drehung um jene Achse geneigt werden konnte. Auf einem von 15° zu 15° graduirten Quadranten, in einer Ebene, auf welcher die Tafel ruhte, konnten die Grade der Neigung direkt abgelesen werden.

Um Inklinationen um eine horizontale Achse zu gewinnen, fixierte ich dann die Tafel mittels Charnieren an der horizontalen Ebene, auf welcher die Tafel ruhte, und las die Neigung auf einem vertikalen Quadranten ab.

Diese Versuchsanordnung war vollkommen entsprechend, denn es konnte mit aller Leichtigkeit bei jedweder Inklination und in beliebiger Distanz experimentiert werden.

Ich konnte in dieser Weise — da sowohl in Front- wie auch in Seitenstellung experimentiert werden konnte — die Richtigkeit der verschiedenen Gesetze, welche die Entstehung der Bilder beherrschen und die durch Rechnung und mit Hilfe der Regeln der perspektivischen Konstruktionen gefunden worden sind, feststellen. Ausser-

dem vermochte ich an mir selbst und an Andern den Einfluss zu studieren, den verschiedene Neigungen auf die Sehschärfe haben, was, wie mir scheint, praktisch von der grössten Wichtigkeit ist.

2. Buchstaben der Leseproben perspektivisch erhalten durch Photographie und durch mittels Berechnung erhaltene Zeichnungen.

A. Photographierte Tafeln. Um direkt die verschiedenen Modifikationen der Grösse und Form, welche von der Perspektive abhängen, beobachten zu können, und um den Einfluss derselben auf die Sehschärfe zu unterscheiden, dachte ich, dass es vielleicht von Nutzen wäre, die Bilder der in verschiedener Weise geeigneten Buchstaben vor Augen zu haben, und ich photographierte deshalb die in der oben angegebenen Weise aufgestellten Leseproben bei verschiedenen Neigungen.

Die erhaltenen Photographien entsprachen aber durchaus nicht meinen Zwecken. Erstens weil die Bilder wegen der Neigung der Leseproben nicht im Brennpunkte waren, da ja der photographische Apparat, der für eine gegebene Stelle auf den Brennpunkt eingestellt war, gleichzeitig nicht auch für die andern, in einer gewissen Entfernung vom ersteren gelegenen Stellen, auf den Brennpunkt eingestellt werden kann.

Dieser Übelstand war für geringe Neigungen unbedeutend, machte sich aber bei starken Inklinationen in hohem Grade geltend und störte die Klarheit der Bilder dermassen, dass die Änderungen der Grösse und Form derselben infolge der Perspektive und der Einfluss der Modifikationen auf die Sehschärfe nicht erkannt werden konnten.

Der zweite Grund, weshalb die Photographie nicht zum Ziele führte, bestand darin, dass ich in den photographischen Positivbildern und in höherem Grade in den zinkographischen Reproduktionen (in halbem Tone) nur graue und nicht schwarze Bilder auf grauem und nicht weissem Grunde erhielt; es fehlte also der Kontrast von schwarz und weiss der gewöhnlichen Buchstaben der Leseproben, der eine *conditio sine qua non* für die Beurteilung der Sehschärfe ist.

Ich musste also auf Photographieren, trotz der Einfachheit der Methode, verzichten und griff dann zum Zeichnen, nach den Regeln der Perspektive. Einige solcher Zeichnungen, auf $\frac{1}{6}$ ihrer Grösse reduziert, sind in zwei Tafeln (III und IV) dieser Arbeit beigelegt. Sie wurden durch Neigung im Profil und durch horizontale Neigung nach rückwärts erhalten.

Die Neigung betrug 15, 30, 45, 60 und 75°; in den Tafeln werden aber nur die Zeichnungen mit 45 und 75° mitgeteilt.

Man sieht in den Zeichnungen alle Modifikationen der Grösse und Form der Bilder; man sieht die komplexiven Modifikationen und die der einzelnen Teile, die oben analysiert worden sind. Diese Einzelheiten treten jedoch in den Tafeln, wegen der Kleinheit der Zeichnungen (Reduktion um $\frac{1}{6}$), nicht vollständig hervor.

Sie können erschlossen werden, wenn man die Aufmerksamkeit nur auf die Linien richtet, die jede Tafel umgibt. Ich führte nämlich um die Tafel der Leseproben, die als Modell diente, eine Linie von der Dicke eines Centimeters. Auch diese Linie wurde perspektivisch in einer jeden Tafel berechnet und erscheint deshalb mehr oder weniger dick in den verschiedenen Segmenten und zeigt Unterschiede in der Dicke von dem einen zum andern Ende eines Segmentes.

Wenn man diese Linie im Gesamtbilde betrachtet, dann sieht man, dass sie in den Tafeln der Leseproben einen Raum umfasst, der ungefähr die Form eines Quadrats hat, während sie in den perspektivischen Tafeln einen mehr oder weniger engen trapezoiden Raum umgibt, der der Form eines reduzierten Quadrats entspricht.

3. Ergebnisse bezüglich der Sehschärfe.

1. Tafeln der Leseproben. Bei Betrachtung derselben in verschiedenen Neigungen oder bei direkter Beobachtung der entsprechenden perspektivischen Tafeln konnte über den Einfluss der Perspektive auf die Sehschärfe folgendes ermittelt werden¹⁾:

1. Es scheint indifferent zu sein, ob die Neigung im Profil in einem oder dem andern Sinne erfolgt. Bei gleichen Graden von Neigung beobachtete ich nämlich keine nennenswerten Unterschiede in der Sehschärfe, wenn die Tafel mit der rechten oder linken Seite nach hinten gebracht wurde.

2. Auch konnten keine nennenswerten Unterschiede bei der Neigung um die horizontale Achse, bei Gleichbleiben des Grades der Neigung, bei der Drehung der Tafel nach rückwärts oder nach vorn konstatiert werden.

3. Eine gewisse Abweichung in der Sehschärfe bemerkte ich dagegen bei gleichen Graden der Neigung, je nachdem diese um die horizontale oder um die vertikale Achse erfolgte. Diese letztere Art der Neigung (im Profil) stört die Sehschärfe viel mehr als die erstere.

¹⁾ Hierbei ging ich immer von der Lesbarkeit der mittleren Linie (oder Säule) der Tafeln aus.

4. Die folgenden Zahlen geben die Alterationen der Sehschärfe durch die Perspektive an, und die Differenzen, welche in der Sehschärfe sich geltend machen bei der Neigung um die vertikale und um die horizontale Achse:

	Neigung	Sehschärfe
Um die vertikale Achse	45°	$\frac{2}{3}$
„	60°	$\frac{1}{2}$
„	75°	$\frac{1}{3}$
Um die horizontale Achse	45°	$\frac{4}{5}$
„	60°	$\frac{3}{4}$
„	75°	$\frac{1}{2}$

Die Ursache, dass bei „1“ und „2“ keine Differenzen notiert werden, hängt namentlich von der Symmetrie ab, welche zwischen den entgegengesetzten Seiten der einzelnen grossen Buchstaben herrscht.

Der Grund der Differenzen bei „3“ und bei „4“, die in Zahlen ausgedrückt sind, ist hingegen ein verwickelter. Die grossen Buchstaben der gewöhnlichen Leseproben haben nämlich vor allen eine derartige Form, dass ihre Lesbarkeit, wenn sie von oben nach unten zusammengedrückt werden, nicht leicht alteriert wird. Von den 25 Buchstaben des lateinischen Alphabets z. B. werden 15 (A, D, I, J, L, K, M, N, O, Q, T, U, V, X, Y) ebenso gut wie früher erkannt, auch wenn bei Gleichbleiben der Breite (= 5) ihre Höhe von 5 auf 4 und auch mehr reduziert wird, weil eben die Eigenschaften ihrer Lesbarkeit nicht in nennenswerter Weise geändert werden; ebenso verhalten sich B, F, H, P, R, deren Unterscheidung auch durch ihre Gesamtform erleichtert wird.

Diese Buchstaben und auch andere (E, G, S, Z) büssen hingegen an Lesbarkeit ein, sobald sie in horizontaler Richtung sich verkleinern.

Aus dem angeführten Grunde ist die Lesbarkeit der grossen Buchstaben geringer, wenn die Tafeln um eine vertikale Achse geneigt sind, als wenn sie um eine horizontale Achse geneigt würden.

Ein zweiter Grund dafür besteht darin, dass ebenso wie bei Neigungen im Profil die Buchstaben in horizontaler Richtung sich verkleinern, auch die Strecken zwischen zwei Buchstaben eine analoge Reduktion erleiden.

Diese Strecken sind an den Tafeln gewöhnlich den Buchstaben gleich, während sie in der Schrift meist ausserordentlich viel kleiner sind. Aber auch an den Tafeln, an welchen die Räume zwischen den Buchstaben sehr gross sind, liegen die Buchstaben infolge der

Perspektive, bei Neigungen im Profil, einander an, weshalb sie schwerer unterschieden werden können.

2. Kleine Buchstaben. Wegen der grossen praktischen Wichtigkeit dieser Untersuchungen beschränkte ich mich nicht auf die grossen Buchstaben der gewöhnlichen Tafeln, sondern dehnte dieselben auch auf die kleinen aus, die ja fast ausschliesslich beim Lesen in Betracht kommen.

Ich untersuchte erst, wie bei den Leseproben, ein kleines Alphabet (Typus Elzevier, von der lesbarsten Sorte) mit Räumen zwischen den Buchstaben, welche diesen selbst gleich sind. Die Taf. V stellt das Alphabet in kleinem Massstabe dar, bei starker Neigung (ungefähr 70°) einmal im Profil, das andere Mal bei Neigung nach rückwärts¹⁾.

Die erhaltenen Resultate stimmen zum Teil mit denjenigen, die mit grossen Buchstaben erhalten worden sind, überein, zum Teil aber sind sie verschieden. Wie dort, ist auch bei kleinen Buchstaben, bei Neigungen im Profil, die Richtung der Neigung indifferent, d. h. es ist gleichgültig — bei gleichen Graden —, ob das Profil nach rechts oder nach links steht. Auch bei der Neigung um eine horizontale Achse ist es indifferent, ob sie nach vorn oder nach hinten zu geschieht. Ich glaube, dass der Grund hierfür derselbe ist wie früher, d. h. die Symmetrie, welche auch die entgegengesetzten Seiten der kleinen Buchstaben zeigen. Ausserdem glaube ich, dass auch die elementare Form, welche viele von den kleinen Buchstaben (i, l, u, m usw.) haben, die an und für sich also geringere Deformationen erleiden, dazu beiträgt.

Die Resultate aber, welche sich auf die Neigungen im Profil oder um die horizontale Achse beziehen, differieren von denjenigen, welche bei grossen Buchstaben sich ergeben. Bei diesen nimmt, wie wir sehen, bei gleichen Graden, bei Neigung im Profil, die Sehschärfe stärker ab als bei horizontaler Neigung; bei den kleinen isolierten Buchstaben hingegen ist die Sehschärfe bei horizontaler Neigung geringer als bei Neigung im Profil.

Man kann sich hiervon an der Figuren der Tafel überzeugen. Die verschiedenen Buchstaben an derselben können bis auf ungefähr 3 m erkannt werden; die im Profil sind noch alle, die in horizontaler Rich-

¹⁾ Die angegebene Neigung ist übertrieben, denn in der Praxis, beim Lesen, pflegt die Neigung 45° , 50° nicht zu überschreiten; ich habe sie so stark gewählt, weil in dieser Weise die Prinzipien, welche ich auseinandersetze, viel demonstrativer sind.

tung geneigten nur zum Teil zu sehen; die Buchstaben der zwei oberen Reihen lassen sich fast gar nicht erkennen.

Die Ursache dieser Verschiedenheiten werden verständlich, wenn man die Form der kleinen Buchstaben berücksichtigt. Es sind dieselben im wesentlichen von vertikalen und horizontalen Teilen zusammengesetzt; nun sind auch in den Alphabeten von besserer Lesbarkeit, wie es eben die Typen Elzevier sind, an denen ich experimentierte, die vertikalen Teile immer bedeutend stärker als die horizontalen.

Es sind aber die letzteren, welche die grösste Wichtigkeit für die Unterscheidung der Buchstaben, d. h. für die Lesbarkeit, haben.

So z. B. ist die kleine horizontale Linie des *e*, welche diesen Buchstaben von *c* unterscheidet; durch die horizontalen Teile lassen sich *r*, *t*, *m*, *n*, *u* usw. voneinander und von *i* unterscheiden. Dasselbe ist mit den Buchstaben *l* und *f*, *b* und *h* der Fall.

Nun kommt es vor, dass bei Neigungen im Profil sich namentlich die vertikalen Teile verdünnen. Bei Betrachtung der Buchstaben, die in dem einen oder dem andern Sinne geneigt sind, scheint das Alphabet bei Neigung im Profil a priori undeutlicher zu sein, weil die Buchstaben beträchtlich verdünnt sich zeigen, während in der andern Neigung diese Erscheinung ausbleibt. In der Tat sieht man die Buchstaben in Form von komplexiven schwarzen Zeichen, wenn die Neigung um die horizontale Achse erfolgt, in viel grösserer Entfernung als bei der Neigung um die vertikale Achse; die Einzelheiten derselben kann man aber nicht unterscheiden, und die Buchstaben können deshalb nicht gelesen werden, und zwar, weil bei der Neigung um die horizontale Achse, die schon an und für sich dünnen horizontalen Teile der Buchstaben, welche die wichtigeren sind, noch mehr in ihrer Dicke reduziert werden, bei der Neigung im Profil reduzieren sich hingegen in der Dicke die vertikalen Teile, welche dicker und weniger wichtig sind, während die horizontalen unverändert bleiben.

Dies ist der Grund, weshalb bei den kleinen getrennten Buchstaben, bei der Neigung im Profil, die Sehschärfe im Gegensatze zu den grossen Buchstaben weniger leidet, als bei der Neigung um die horizontale Achse.

3. Textschrift. Verschieden ist die Untersuchung ganzer Textschrift von dem Studium einzelner getrennter Buchstaben, denn wenn auch diese gleichbleiben, treten bei der Textschrift der Raum zwischen den einzelnen Buchstaben und die Erinnerung an die Wörter als Faktoren auf, welche ihre Wirkung geltend machen und den grössten Einfluss auf die Lesbarkeit ausüben.

Ich untersuchte zu dem Zwecke eine Seite des typographischen Handbuchs von Bodoni, das als eines der besten typographischen Werke angesehen wird. Bei Prüfung in verschiedenen Neigungen konnte ich feststellen, dass die Sehschärfe, ebenso wie bei den grossen Buchstaben der Leseproben, im Gegensatze zu den kleinen getrennten Buchstaben, bei Neigungen im Profil, geringer ist als bei Neigungen in horizontaler Richtung.

Ausserdem habe ich konstatieren können, dass die Sehschärfe komplexiv bei gleichen Graden der Neigung viel mehr leidet als bei den Buchstaben der Leseproben.

Ich habe jene Seite des Textes von Bodoni photographiert und die Tafeln VI und VII stellen einige Proben derselben dar. Bei den Fig. 1—3 ist die Neigung ungefähr $= 50^\circ$, bei der andern ungefähr $= 70^\circ$. Es ist leicht einzusehen, dass die Proben, welche horizontal geneigt sind, besser und auf grössere Entfernung gelesen werden können als die andern, welche in gleichem Grade im Profil geneigt sind.

Ich selbst z. B. erkenne gut den Buchstaben der Fig. 3 auf ungefähr 1,30 m, aber den der Fig. 1 und der Fig. 4 bloss auf 1 m, und den der Fig. 1 auf 0,80 m.

Es ist leicht einzusehen, dass die Ursache hiervon in der mangelhaften räumlichen Anordnung der einzelnen Buchstaben liegt. Während nämlich zwischen den einzelnen Linien eines Buchstabens eine gewisse Distanz besteht, ist hingegen die Entfernung zwischen den einzelnen Buchstaben eine sehr kleine, kaum genügend, dass der eine Buchstabe von dem andern als getrennt erscheine. Bei der Neigung im Profil nun wird die Unterscheidung derselben voneinander und folglich die Lesbarkeit in hohem Grade beeinträchtigt, da der Einfluss der Perspektive sich namentlich auf den kleinen Raum zwischen den einzelnen Buchstaben geltend macht.

Bei horizontaler Neigung macht sich der erwähnte Übelstand in dem Raume zwischen den Buchstaben nicht in beträchtlichem Grade geltend, so dass sie, fast wie bei aufrechtem Texte, voneinander unterschieden werden können. Allerdings werden die horizontalen Linien der einzelnen Buchstaben beeinträchtigt, wodurch auch ihre Lesbarkeit Einbusse erleidet; allein es tritt nun die Erinnerung ins Feld und man deduziert aus dem Gesamtbilde, und weil auch Buchstaben ohne charakteristische horizontale Linien vorhanden sind, die also bei der horizontalen Neigung nur wenig leiden, die ganzen Wörter, und die Lesbarkeit wird also komplexiv weniger beeinträchtigt.

Es folgt daraus, dass eine gute räumliche Anordnung der einzelnen Buchstaben eines Buches von grosser Wichtigkeit für das Lesen ist. Die Mangelhaftigkeit derselben, welche in den gedruckten Büchern ganz allgemein ist, bewirkt, dass beim gewöhnlichen Lesen die horizontale Neigung wegen des Einflusses der daran geknüpften Perspektive schädlicher ist, als die Neigung im Profil.

Jener Mangelhaftigkeit der räumlichen Anordnung ist ferner zuzuschreiben, dass der Einfluss der Perspektive auf die Sehschärfe sich in einer Weise geltend macht, dass stärkere Reduktionen stattfinden, als beim Lesen der einfachen Leseproben.

Als Beispiel diene die Fig. 1, Taf. VI. Wie ich schon erwähnte, lese ich den Text derselben in der Entfernung von 1 m. Das aufrechte Original (in denselben Verhältnissen reduziert), dem die Figur entspricht, lese ich in der Distanz von 2 m ungefähr; meine Sehschärfe wird also, infolge der Neigung um 50° , um $\frac{1}{2}$ reduziert. Für den Text der Fig. 2, Taf. VI ist die Sehschärfe um $\frac{4}{10}$ reduziert.

Diese starke Abnahme der Sehschärfe mässigt sich etwas bei horizontalen Neigungen. Für den Text der Fig. 3—4, Taf. VII z. B. ist die Sehschärfe auf $\frac{2}{3}$ bzw. $\frac{1}{2}$ reduziert.

Die Sehschärfe leidet also infolge der Perspektive beim gewöhnlichen Lesen mehr als beim Lesen der Leseproben, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht:

Neigung um vertikale Achse	Leseprobe	Gewöhnlicher Text
45—50°	$V = \frac{2}{3}$	$V = \frac{1}{2}$
70—75°	$V = \frac{1}{3}$	$V = \frac{4}{10}$
Neigung um horizontale Achse		
45—50°	$V = \frac{4}{5}$	$V = \frac{2}{3}$
70—75°	$V = \frac{1}{2}$	$V = \frac{1}{2}$

Diese Zahlen sind jedoch nicht absolut, sondern nur stark approximativ, und zwar erstens, weil bei den Leseproben die Neigungen genau 45 und 75° betragen, während sie bei der Textseite ungefähr 50 und 70° waren. Zweitens, weil die Proportionen der Leseproben — auch bei Reproduktionen — unverändert bleiben, während dies bei den Figuren der Buchstaben eines Textes nicht der Fall ist. Es wurden diese, wie erwähnt, durch Photographieren erhalten, aber wegen Mangels an geeigneten Apparaten in einer Distanz, die geringer ist als diejenige, in welcher das Auge die Sehschärfe beurteilen kann. In der Tat ist die perspektivische Distanz jener Buchstaben 35—40 cm, während die Entfernung, in welcher sie, um über die Sehschärfe zu urteilen, gesehen werden müssen, ungefähr 1 m ist.

Die Differenzen sind aber so gering, dass sie praktisch vernachlässigt werden können.

Dritter Teil.

Einfluss der Perspektive auf das Lesen.

Wir sind nun zu einem Argumente gelangt, das praktisch direkt und in höchstem Grade wichtig ist.

Die Perspektive übt auch aufs Lesen Einfluss aus, weil durch dieselbe, wie bei einem jeden Sehakt, die Grösse und die Form der Bilder und folglich auch die Sehschärfe modifiziert sind.

Um den Einfluss der Perspektive festzustellen, muss man auch bei einer nicht ganz vollständigen Analyse des komplexen Prozesses des Sehaktes, beim Lesen vor allem auf eines der wichtigsten Elemente, das dabei in Aktion tritt und wegen der perspektivischen Effekte den grössten Einfluss ausübt, nämlich auf die Fixationsbewegungen der Augen, die Aufmerksamkeit richten.

Auch für das Lesen gilt das Prinzip, dass der Einfluss der Perspektive von dem Neigungswinkel abhängt, und dass derselbe um so grösser sein muss, je grösser jener Winkel ist.

Aber während man in der Perspektive theoretisch sich das Auge als unbeweglich und direkt nach vorn gewendet denkt und folglich den Neigungswinkel bloss von der Lage des Objektes abhängig erachtet, macht das Auge beim Lesen Fixationsbewegungen und es ist klar, dass auch bei konstant bleibender Neigung des Objektes der Neigungswinkel sich ändert und folglich auch die Effekte der Perspektive wechseln.

Beim Studium des Einflusses der Perspektive auf das Lesen müssen also in erster Linie die Fixationsbewegungen in Betracht gezogen werden. Ausserdem muss die Lage des Buches berücksichtigt werden, die ja einen wesentlichen Faktor beim Lesen bildet. Erst dann werden die Effekte der Perspektive analysiert und praktische Folgerungen gemacht werden können.

Natürlich muss bei diesen Studien erst das Lesen mit einem, dann mit beiden Augen untersucht werden.

A. Fixationsbewegungen. Theoretisch nimmt man in der Perspektive an, dass das unbewegliche Auge einen Winkel von einer gewissen Grösse umfassen kann. Der Winkel würde nach den Meisten 45° betragen. Das Auge kann allerdings auch einen noch grösseren und zwar dreimal grösseren Winkel umgreifen, allein es vermag, wie

wir wissen, bei einem so ausgedehnten Felde die Einzelheiten der Objekte nicht zu unterscheiden; es können dieselben bloss dem Fixationspunkte entsprechend deutlich erkannt werden und ausserhalb desselben erscheint alles undeutlich.

Beim Lesen aber ist es mehr als in allen andern Sehartensarten notwendig, dass das Auge alle Einzelheiten wahrnehmen kann, und das ist es gerade, was das Auge tut, indem es die verschiedenen Buchstaben, welche unterschieden werden müssen, fixiert. Da nun beim Lesen fortwährend Fixierungsbewegungen notwendig sind, so erfolgen kontinuierlich Änderungen des Neigungswinkels.

Es kann auf diese Weise geschehen, dass bei aufrecht stehendem Buche in der Perspektive die Verhältnisse von geneigten, und umgekehrt, bei geneigtem Buche die Verhältnisse von entfernten Objekten auftreten, was, wenn man nicht wüsste, dass diese Tatsache von der Fixierung abhängt, im ersten Augenblicke als paradox erscheinen könnte.

Selbstverständlich erfolgt beim Lesen, um grössere Anstrengungen zu vermeiden, die Fixierung instinktiv, entweder bloss durch Bewegung des Auges oder des Kopfes oder des Buches, und (viel häufiger) durch Kombination dieser Bewegungen. Von all diesen Faktoren will ich jedoch, um die Untersuchung nicht zu sehr zu komplizieren, nur die Bewegung des Auges in Betracht ziehen.

B. Neigungswinkel. Unter diesem verstehe ich immer den Winkel, welchen die Objektebene mit der Bildebene bildet. Wenn das Auge in perspektivischer Lage ist (unbeweglich und direkt nach vorn gerichtet), dann kann die Bildebene leicht bestimmt werden, weil sie perpendicular auf der Sehlinie und folglich parallel der Gesichtsebene ist. Der Neigungswinkel ist infolgedessen derjenige, den die Objektebene mit der Gesichtsebene bildet.

Wenn hingegen das Auge fixiert, dann gestaltet sich die Sache komplizierter. In diesem Falle ist die Bildebene, die immer senkrecht auf der Sehlinie steht, nicht mehr parallel der Gesichtsebene und ihre Lage kann deshalb nur nach der Richtung der Sehlinie deduziert werden. Nun macht diese einen Winkel erst mit der Objektebene, einen zweiten mit der Bildebene, und einen dritten (Neigungswinkel) bildet die letztere mit der Objektebene. Der zweite Winkel beträgt immer 90° , der dritte ist also der komplementäre des ersten. Der erste Winkel kann, da die Richtung der Sehlinie und der Objektebene bekannt ist, ganz leicht berechnet werden; von demselben kann direkt der Neigungswinkel abgeleitet werden, denn der

Neigungswinkel ist der komplementäre des Winkels, den die Sehlinie mit der Objektebene bildet.

C. Lage des Buches. Es wird genügen die beiden Lagen zu berücksichtigen, in welchen die Bücher beim Lesen gewöhnlich gehalten werden, d. h. das aufrecht gehaltene Buch (wie beim gewöhnlichen Halten mit der Hand), und das Buch auf einer horizontalen Unterlage.

Im ersten Falle kann das Buch senkrecht und geneigt sein; im zweiten ist es immer geneigt, und in beiden Fällen kann es in der Front und in Seitenstellung sein. Die Seitenstellung beim aufrechten Buche kommt jedoch nur ausnahmsweise vor und kann deshalb hier vernachlässigt werden.

1. Das Lesen mit einem Auge.

Das Lesen mit einem Auge wäre widernatürlich und es könnte deshalb scheinen, dass ich mich durch eine spezielle Würdigung des Lesens mit bloss einem Auge von dem praktischen Ziele, das dieser Abschnitt meiner Arbeit verfolgt, entfernen würde. Allein mein Zweck ist festzustellen, welche Aufgabe einem jeden Auge separat, und nicht bloss einem derselben, beim Sehakte des Lesens zufällt. Im zweiten Kapitel „das Lesen mit beiden Augen“ werde ich dann die Beziehungen, welche zwischen beiden Augen in ihrer gemeinsamen Funktion herrscht, untersuchen.

1. Buch in aufrechter Stellung.

Wie gesagt, kann das aufrecht gehaltene Buch in senkrechter Lage oder geneigt sein, und wir müssen, wie immer, beide Lagen untersuchen, weil die Neigung des Buches zum Horizonte nicht immer mit der Neigung rücksichtlich der Bildebene zusammenfällt.

A. Senkrechte Lage.

Bei dieser Stellung des Buches entsteht beim Lesen mit einem Auge nicht immer ein Neigungswinkel. Man hat also den typischen Fall eines senkrechten oder den Fall eines geneigten Objektes, und daher entstehen einmal Deformationen der Bilder durch Einfluss der Perspektive, das andre Mal nicht.

A. Ohne Neigungswinkel. In dieser Lage ist die Objektebene mit der Bildebene parallel und zwar haben wir diese Lage, wenn das senkrechte (nicht geneigte) Buch in der Frontstellung ist und in der Höhe des Auges sich befindet, welches einen genau vor ihm gelegenen Punkt des Buches fixiert.

In diesem Falle entstehen, wie wir schon im ersten Teile dieser Arbeit sahen, Bilder, die einander und dem Objekte geometrisch ähnlich sind, die ihre Form nicht ändern und nur in der Grösse, und zwar im entgegengesetzten Verhältnisse zur Entfernung, variieren.

Es ist diese Lage eine mehr theoretische, weil sie in jeder Hinsicht, unter anderm auch an die Unbeweglichkeit des Auges, gebunden ist.

B. Mit Neigungswinkel. Dieser Fall tritt ein, wenn das Auge, bei Stehenbleiben des Buches in der früheren Lage, mehrere Punkte der Seite untereinander fixiert.

Man hat so die Verhältnisse einer gewöhnlichen geneigten Stellung und folglich Bilder, die untereinander und dem Objekte geo-

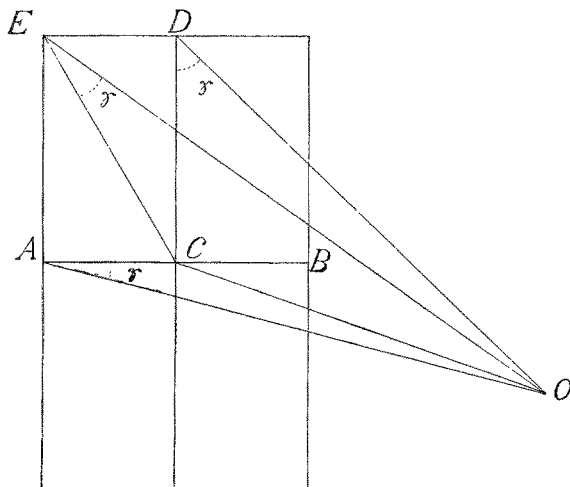


Fig. 11.

metrisch nicht ähnlich sind, die in der Form und Grösse wechseln, je nachdem der eine oder der andere Punkt der Seite fixiert wird, weil in dieser Weise der Neigungswinkel sich ändert.

Der Neigungswinkel wächst in diesem Falle bei Zunahme der Schiefheit des Blickes, und nimmt im Gegenteil bei Steigerung der Entfernung des Buches ab. Gewöhnlich ist der Winkel nicht sehr gross, aber er darf doch nicht vernachlässigt werden. Er ist z. B. bei einer Seite von 120×200 mm (Fig. 11) in der Entfernung von 250 mm, wenn das Auge genau gegenüber dem Zentrum (c) steht und eines der Enden der in der Mitte stehenden Zeile fixiert (z. B. A) $= 13^\circ 30'$, bei Fixierung eines medianen Punktes der obersten oder untersten Zeile (z. B. D) $= 21^\circ 48'$, eines der Enden dieser Zeilen (z. B. E) $=$

25° 5'. Wenn die Seite in einer geringeren Distanz steht, z. B. 200 mm, dann wird der Winkel = 16° 42', bzw. 26° 34' und 30° 20'. Bei grösseren Seiten werden selbstverständlich die Winkel grösser.

B. Geneigte Lage.

Diese Lage ist praktisch viel wichtiger und die gewöhnlichste beim Lesen eines mit der Hand gehaltenen Buches. Und zwar wird das Buch meistens nach hinten geneigt (Neigung um eine horizontale Achse); die Neigung nach der Seite ist nur accidentell.

Der Übergang von der senkrechten Lage in die Neigung nach hinten erfolgt, wenn die Arme etwas gesenkt und die Ellbogen ein wenig gestreckt werden. Das Buch senkt sich hierbei und macht gleichzeitig eine Rotation nach hinten.

Das Auge folgt diesen Bewegungen (gewöhnlich neigt sich auch der Kopf) und es kann geschehen, dass, je nach der Ausdehnung derselben, auch hier ein Neigungswinkel zwischen der Objekt- und der Bildebene sich bildet, oder dass dies ausbleibt.

Es kann auch in dieser Lage, in der bei unbeweglichem Auge immer eine Neigung vorhanden wäre, beim Lesen ebenso wie in der senkrechten Lage, infolge der Fixierungsbewegungen, Neigung vorhanden sein oder nicht.

A. Ohne Neigungswinkel. Dies erfolgt, wenn das Buch etwas nach hinten geneigt ist und das Auge einen Punkt desselben direkt in der Weise fixiert, dass die Sehlinie mit der Buchebene einen Winkel von 90° bildet. Es ist klar, dass in diesem Falle die Objektebene und die Bildebene untereinander parallel sind.

A priori kann man keine Idee von der Kompliziertheit der Bewegungen haben, welche das Buch und das Auge ausführen müssen, damit jene Bedingungen bestehen bleiben können. Will man z. B. das Buch immer in derselben Entfernung vom Auge halten und dasselbe aus der senkrechten in eine geneigte Lage bringen, immer denselben Punkt fixieren, nur das Auge, nicht aber auch den Kopf bewegen, und ohne dass sich ein Neigungswinkel bilde, dann muss der fixierte Punkt einen Kreis durchlaufen, und die Buchebene muss der Tangente entsprechen, welche den Kreis im fixierten Punkte schneidet. Es ist dies ein komplizierter Mechanismus, der aber praktisch in automatischer Weise überwunden wird.

B. Mit Neigungswinkel. Dieser Fall tritt ein, wenn bei der früheren Lage noch Fixationsbewegungen erfolgen, wenn also die Richtung des Blickes sich ändert und zwar z. B. statt gegen die

Mitte der Seite, lateralwärts oder in die Höhe, oder abwärts sich wendet.

Dieselben Bedingungen hat man, wenn das Buch in einer der früheren entgegengesetzten Richtung, in der kein Neigungswinkel entsteht, geneigt wird, oder wenn es wohl in derselben Richtung, aber stärker geneigt wird, weil in diesen Fällen die Sehachse mit der Bildebene nicht einen Winkel von 90° bildet. Schliesslich tritt dieselbe Bedingung ein, wenn das Buch um eine vertikale Achse geneigt ist.

In allen diesen drei Fällen haben wir die typische Lage eines geneigten Objektes, und folglich macht sich in derselben der Einfluss der Perspektive in höchstem Grade geltend.

Die Neigungen im Profile sind betreffs des Lesens, wie ich schon gesagt, mehr accidentell; ebenso sind es die Neigungen nach vorn, durch Rotation um die Basis des Buches.

Die Neigung im Profile entsteht, wenn das in der Hand gehaltene Buch um eine vertikale Achse rotiert wird. In der Praxis geschieht dies selten. Beim Lesen jedoch tritt eine solche Neigung oft ein, sowohl wenn das Buch in der Hand gehalten wird, als auch wenn es auf dem Tisch ruht; nur ist sie geringfügig und von kurzer Dauer. Es hängt die Neigung davon ab, dass die Seiten eines Buches nur selten eben, sondern fast immer mehr oder weniger gebogen sind.

Diese Biegung erfolgt namentlich an den Enden der Zeile (Ende der Zeilen verso, Anfang der Zeilen recto) und kann an diesen Punkten auch beträchtliche Grade erreichen, so dass die Neigung mehr als 50° beträgt.

Dies geschieht in höherem Grade, wenn man das Buch so beugt, dass die Seiten wechselweise oben und unten sind, wie es beim Halten des Buches mit der Hand häufig vorkommt, oder wenn die Bücher zu dick sind. Solche Bücher sind auch aus diesem Grunde hygienisch zum Lesen nicht zu empfehlen.

Die Neigung nach vorn erfolgt nur, wenn man z. B. in einem Armsessel oder geradezu liegend liest. Es ist also auch diese eine aussergewöhnliche Lage.

Diese Lagen, die beim Lesen die gewöhnlichen sind, können als die einfachen oder normalen genannt werden, aber in der Praxis kommen nicht selten andere vor, welche zusammengesetzte oder schiefe Lagen genannt werden können, weil sie durch die Kombination von mehreren gleichzeitigen einfachen Positionen entstehen.

Wenn man z. B. in einem aufrechten Buche liest, dann wird dieses gewöhnlich mit beiden Händen gehalten, befindet sich meistens aber in einer einfachen Lage. Aber nicht selten wird das Buch nur mit einer Hand gehalten; in diesem Falle, um das Gewicht des Buches auf der Hand zu verteilen oder um zu verhindern, dass die Blätter zu sehr sich nach hinten biegen, legt man die ausgebreitete Hand auf die Rückseite und den Daumen auf die Vorderseite des Buches. Das Buch steht in diesem Falle wegen der anatomischen Disposition der Hand oder, weil es mit dem Rande in der Thenarfurche leicht ausgleitet, schief, rücksichtlich des Auges. Beim Halten mit der linken Hand steht es mit der Basis schief nach rechts; beim Halten mit der rechten, schief mit der Basis nach links.

Es ist ohne weiteres klar, dass diese komplexen Neigungen perspektivische Effekte hervorbringen müssen, welche beim Lesen schädlich sind.

2. Buch auf horizontaler Unterlage.

Dies ist die gewöhnliche Lage des Buches beim Lesen. Die Neigung ist in derselben mehr als in allen andern Positionen ausgesprochen und es treten daher in ihr immer die Effekte der Perspektive auf, die unter verschiedenen Bedingungen variieren, es müssen daher diese Bedingungen genau untersucht werden.

A. Frontstellung.

Das Buch liegt auf einer horizontalen Unterlage in einer bestimmten Distanz. Der Einfachheit der Untersuchung wegen kann diese in zwei Elemente zerlegt werden. 1. Distanz in vertikaler, 2. in horizontaler Richtung. Beide haben besondere Effekte zur Folge.

A. Einfluss der Distanz in vertikaler Richtung. Beim Variieren dieser Distanz ändert sich, unter übrigens gleichen Bedingungen, der Neigungswinkel. Es ist ja a priori klar, dass wenn man z. B. immer denselben Punkt fixiert und das Buch hebt oder (was dasselbe ist, weil die vertikale Distanz in beiden Fällen abnimmt) den Kopf beugt, dann wird der Winkel, den die Buchebene mit der Sehlinie bildet, kleiner; er wächst hingegen, wenn das Buch gesenkt oder der Kopf gehoben wird, wobei die vertikale Distanz zunimmt. Der Neigungswinkel ist aber der komplementäre jenes Winkels und deshalb ist für denselben alles umgekehrt.

Wir können also sagen: Der Neigungswinkel wächst mit

der Abnahme der vertikalen Distanz. Allein nicht proportional, sondern: Bei gleicher Abnahme der vertikalen Distanz nimmt die Grösse des Neigungswinkels gradweise zu.

Dies hängt davon ab, dass der Winkel, den die Sehlinie mit der Objektebene bildet und der komplementäre des Neigungswinkels ist, mehr und mehr abnimmt.

Bei gleicher Abnahme der vertikalen Distanz kann z. B. jener Winkel folgende Werte haben: 38° , 28° , 15° , und der komplementäre Neigungswinkel also: 52° , bzw. 62° , 75° . Es zeigen diese Zahlen, dass während der Winkel, den die Sehlinie mit der Objektebene

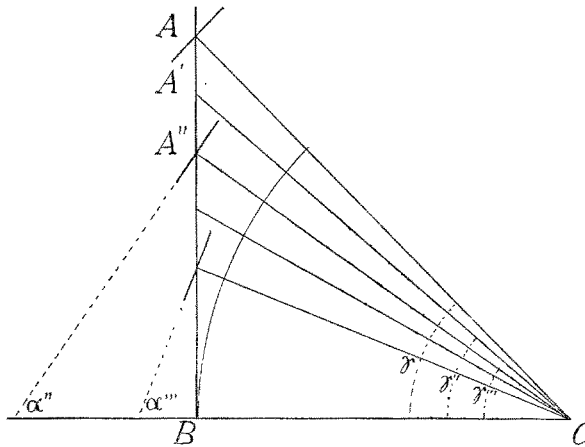


Fig. 12.

bildet, gradweise abnimmt, die Grösse des Neigungswinkels im Gegenteil mehr und mehr wächst.

All dies erfolgt, weil Variationen der Tangenten auftreten. Stellen wir uns vor, dass AB die vertikale (Fig. 12) und BC die horizontale Distanz darstellen und C den Punkt, den das in A befindliche Auge fixiert. Der Winkel γ soll den Winkel bedeuten, welchen die Sehlinie mit der Objektebene bildet; der komplementäre Winkel α sei der Neigungswinkel, BA die Tangente des Winkels γ .

Nun lehrt die Trigonometrie, dass die Werte einer Tangente rascher als die Winkel zunehmen. Wenn also die Tangente um gleiche Quantitäten wächst, dann nimmt die Zunahme des entsprechenden Winkels in gleicher Weise ab; im umgekehrten Sinne also (wie in unserm Falle) wird die Verkleinerung des Winkels immer grösser sein. Dies ist der Grund, weshalb bei Abnahme der vertikalen Distanz um gleiche Grade, der Winkel γ immer um grössere

Werte sich verkleinert, während der Neigungswinkel im Gegenteil um grössere Quantitäten zunimmt.

Wenn z. B. die horizontale Distanz 400 und die vertikale gleichfalls 400 ist, diese aber dann von 60 zu 60 vermindert wird (wie in der Figur), dann hat man für den Neigungswinkel die folgenden Werte:

$$45^{\circ}, 49^{\circ} 38', 55^{\circ}, 61^{\circ} 11', 68^{\circ} 12' \text{ usw.}$$

und diese Zahlen zeigen, dass bei Abnahme der vertikalen Distanz der Neigungswinkel zunimmt, und dass dieses Anwachsen bei einer gleichmässigen Abnahme der vertikalen Distanz immer grösser wird. In der That beträgt die successive Zunahme:

$$4^{\circ} 38', 5^{\circ} 22', 6^{\circ} 11', 7^{\circ} 1'.$$

B. Einfluss der Distanz in horizontaler Richtung. Auch bei Variationen dieser Distanz, unter übrigens gleichen Bedingungen, variiert der Neigungswinkel, nur ist das Resultat in dem einen Falle entgegengesetzt dem andern.

Man sieht a priori, dass bei Fixation desselben Punktes der Winkel, den die Sehlinie mit der Objektebene bildet, bei grösserer Entfernung des Buches in horizontaler Richtung sich verkleinert, bei Annäherung des Buches aber zunimmt. Für den Neigungswinkel gilt also das entgegengesetzte, d. h. der Neigungswinkel wird bei Abnahme der horizontalen Distanz kleiner. Auch diese Abnahme ist nicht proportional der Verminderung der Distanz, sondern wie bei der vertikalen erleidet der Neigungswinkel bei gleichmässiger Abnahme der horizontalen Distanz immer stärkere Verminderungen.

Die Demonstration dieser Tatsache könnte mit denselben Erwägungen, die schon früher gemacht worden sind, erreicht werden; es erscheint mir deshalb überflüssig, sie hier zu wiederholen, und ich möchte nur ein Beispiel anführen. Wenn die vertikale Distanz 400 und die horizontale im Beginne gleichfalls 400 ist, die letztere dann von 60 zu 60 abnimmt, dann wird der Wert des Neigungswinkels

$$45^{\circ}, 35^{\circ}, 21^{\circ} 48',$$

man ersieht hieraus, dass bei Abnahme der horizontalen Distanz auch der Neigungswinkel geringer wird, und bei gleichmässiger Abnahme der Distanz verkleinert sich der Neigungswinkel immer mehr und mehr, so dass successiv sich die folgenden Werte ergeben:

$$10^{\circ}, 13^{\circ} 12'.$$

Aus allem gehen die folgenden Resultate hervor, die für das

Lesen von der grössten praktischen Wichtigkeit sind: Der Einfluss der Perspektive auf das Lesen steht im Verhältnisse zur Distanz, steigert sich bei Abnahme der vertikalen und bei Zunahme der horizontalen Distanz und nimmt im entgegengesetzten Falle ab.

C. Einfluss des Fixierungspunktes. Es ist augenscheinlich, dass beim Variieren des Fixierungspunktes die Distanz sich ändern muss. Die Verlagerung des Fixationspunktes von einem zum andern Ende der Seite ist in der Tat gleichbedeutend wie die Entfernung oder Annäherung des Buches.

Wir können annehmen, dass die Variation der Distanz (die wir uns wie früher in vertikale und horizontale zerlegt denken müssen), hier nur auf die horizontale ausgeübt wird; die Variationen des Fixationspunktes sind also nur Variationen der horizontalen Distanz und der Effekt ist natürlich derselbe.

Dies findet beim Lesen fast immer statt, weil der Kopf und das Buch gewöhnlich unbeweglich sind, während wir unsern Blick vom obersten zum untersten Teile der Seite richten. Die Variationen sind von Bedeutung und können nicht vernachlässigt werden.

Es liege z. B. eine Seite 120×120 auf dem Tische, mit einer vertikalen Entfernung von 300, einer horizontalen vom obersten Teile der Seite an von 300. Mit Hilfe der Rechnung findet man, dass wenn das Auge den obersten Teil der Seite fixiert, man einen Neigungswinkel von 45° hat, bei Fixierung des unteren Teiles $18^\circ 26'$.

Wenn die vertikale Distanz statt 300, 250 ist, dann wird der Neigungswinkel $50^\circ 12'$ bzw. $21^\circ 48'$ sein. Im ersten Falle beträgt also die Variation $26^\circ 34'$, im zweiten $28^\circ 24'$.

B. Lateralstellung.

Diese Lage stellt sich ein, wenn das Buch auf der Seite steht, oder wenn bei Frontstellung des Buches das Auge eine laterale Fixierungsbewegung ausführt. Unter diesen Bedingungen sind die Neigungswinkel relativ grösser als in der Frontstellung.

Man nehme die frühere Seite, und die vertikale Distanz sei 300, die horizontale gleichfalls 300, aber das Auge entspreche nicht der Medianlinie, sondern einem der vertikalen Ränder der Seite, es sei z. B. in *V* d. h. gegenüber dem Rande *CB* der Seite und es fixiere einmal Punkt *A*, das andere Mal Punkt *D*, die an den äussersten Enden des entgegengesetzten Randes *AD* gelegen sind.

Unter diesen Bedingungen wird der Neigungswinkel $= 47^\circ 10'$

sein, wenn das Auge Punkt A fixiert, bei Fixierung des Punktes $D = 27^\circ 28'$.

Wenn Punkt C fixiert wird, dann ist der Neigungswinkel wie früher $= 45^\circ$, wenn Punkt $B = 18^\circ 26'$. Wenn also der Blick vom äussersten Ende einer Zeile zum andern geführt wird, dann variiert der Neigungswinkel um $2^\circ 10'$ und $9^\circ 2'$.

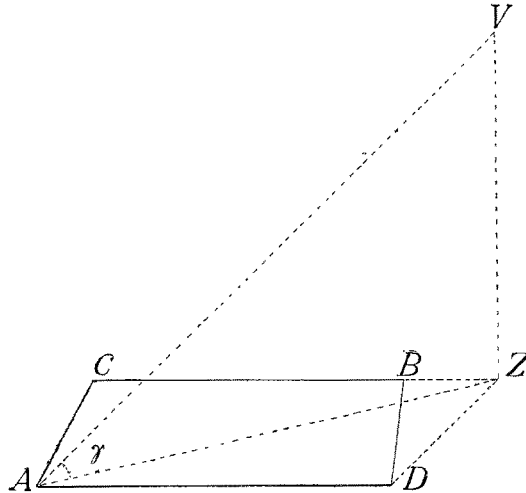


Fig. 13.

Natürlich werden diese Winkel bei stärkeren lateralen Verlagerungen, die beim gewöhnlichen Lesen oft vorkommen, grösser.

2. Lesen mit beiden Augen.

Nach Analyse der Tatsachen, welche sich beim Lesen mit bloss einem Auge ergeben, wollen wir das Lesen mit beiden Augen untersuchen, weil dies die natürlichste Art des Lesens ist und weil wegen der Distanz, die zwischen beiden Augen obwaltet, die Neigungen bei den verschiedenen Fixationsbewegungen nicht immer für beide Augen identisch sind.

Die Entfernung zwischen beiden Augen ist im Mittel 65 mm (in der Basallinie), die mittlere Distanz, in der gelesen wird, beträgt 350 mm, die Seite ist $= 120 \times 200$ mm. Es ist nun begreiflich, dass bei den verschiedenen Sehbewegungen Unterschiede in der Lateralität zwischen beiden Augen, und folglich auch an den Neigungswinkeln beider auftreten müssen.

1. Aufrechtes Buch.

Wenn beide Augen einen nahen Punkt fixieren, dann konvergieren die Sehlinien. Dies allein genügt, damit ein gewisser Neigungswinkel entsteht, weil der Fall von nicht paralleler Objekt- und Bildebene eintritt. Wenn beide Augen einen medianen Punkt fixieren, dann ist der Grad der Neigung der Sehlinien bei beiden Augen gleich, aber die Richtung der Neigung ist eine verschiedene. Bei Fixierung eines seitlichen Punktes ist der Grad der Neigung bei beiden Augen verschieden, die Richtung aber ist eine entsprechende.

Natürlich erfolgt dasselbe bezüglich der Bildebenen. Bei Fixierung eines medianen Punktes nämlich konvergieren die beiden Sehlinien in gleichem Grade, es ist also die eine nach links, die andere nach rechts geneigt, und demzufolge sind auch die beiden Bildebenen, welche senkrecht auf den Sehlinien stehen, in gleichem Grade geneigt, die eine nach rechts, die andere nach links.

Bei Fixierung eines lateralen Punktes richten sich auch die Sehlinien nach rechts oder nach links, aber ihre Neigung ist für das nähere Auge kleiner, für das entferntere grösser. In derselben Weise neigen sich auch die Bildebenen, so dass die nähere weniger geneigt ist als die entferntere.

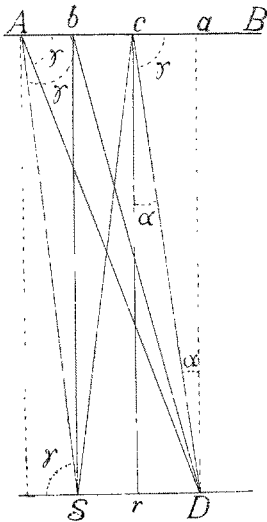


Fig. 14.

Nehmen wir einige Beispiele von aufrecht gehaltenem Buche in gewöhnlichen

Dimensionen (Seite = 120×200 mm), das in der Distanz von 250 mm gehalten wird:

1. Beide Augen symmetrisch gegenüber dem Zentrum einer Zeile. Fixierungspunkt im Zentrum der Zeile (c der Fig. 14).

Die Rechnung zeigt, dass der Neigungswinkel in diesem Falle für beide Augen = $7^\circ 24'$ ist.

2. Augen wie früher, aber der Fixierungspunkt gegenüber dem linken Auge (in b).

In diesem Falle ist das linke Auge geradeaus gerichtet, während das rechte konvergiert und der Neigungswinkel desselben = $14^\circ 35'$ beträgt. Zwischen beiden Augen ist also die Differenz der Neigung = $14^\circ 35'$.

3. Auge wie früher; Fixierungspunkt an einem Ende der Zeile (in *A*).

In diesem Falle sind beide Sehlinien nach derselben Richtung geneigt, aber der Neigungswinkel beträgt $20^{\circ} 18'$ für das rechte, $6^{\circ} 17'$ für das linke Auge. Es besteht hier eine Differenz von mehr als 14° in der Inklination beider Augen.

4. Augen symmetrisch gegenüber dem Ende einer Zeile. Fixierungspunkt am andern Ende der Zeile.

Es werde z. B. das linke Ende der Zeile fixiert. In diesem Falle beträgt die Neigung für das rechte Auge $31^{\circ} 23'$, für das linke $21^{\circ} 18'$.

2. Buch auf horizontaler Unterlage.

Das was auch hier beim Lesen mit beiden Augen rücksichtlich des Neigungswinkels auffällt, ist, dass dieser fast immer bei beiden Augen differiert.

Man nehme als Beispiel wieder eine Seite 120×200 . Vertikale Distanz 300, horizontale 300. Die Augen seien symmetrisch gegenüber einem der Ränder der Seite (z. B. *CB*, Fig. 13) und sollen erst das entgegengesetzte obere (*A*), dann das entsprechende untere Ende der Seite (*D*) fixieren.

Bei Bestimmung des Neigungswinkels separat für jedes Auge nach den bekannten Regeln erhält man:

Für Punkt *A*, Neigungswinkel r. Auge = $48^{\circ} 20'$, l. A. = $46^{\circ} 7'$

„ „ *D* „ „ = $31^{\circ} 15'$, „ „ = $23^{\circ} 55'$

Im ersten Falle besteht eine Differenz von $2^{\circ} 13'$, im zweiten von $7^{\circ} 20'$ zwischen beiden Augen.

Schlussbetrachtungen.

Es haben diese Untersuchungen über den Einfluss der Perspektive zahlreiche Tatsachen ergeben, die von nicht geringer Wichtigkeit für die Hygiene des Lesens sind:

1. Die Grösse und die Form der Bilder können infolge der Perspektive auch sehr ansehnliche Veränderungen erleiden. Die Veränderungen der Grösse und Form erfolgen in einigen Fällen gleichzeitig, in andern isoliert und in verschiedenen Graden. Sie werden durch die Neigung der Objektebene zur Bildebene verursacht und sind gewöhnlich grösser, wenn der Neigungswinkel grösser ist, und variieren je nachdem das Objekt mehr oder weniger weit vom Auge entfernt ist, je nachdem es in der Front oder seitlich steht.

2. Veränderungen in der Grösse und Form erleiden, wie jede an-

dere Figur, auch die Buchstaben des Alphabets, deren Gesamtform und einzelne Teile geändert werden, so dass auch ihre Lesbarkeit modifiziert wird.

3. Es leidet infolgedessen auch die Sehschärfe, die, wenn die Neigung einen gewissen Grad erreicht, merklich abnimmt.

4. Auf das Lesen übt die Perspektive fast kontinuierlich Einfluss aus. Sie kann infolge der Fixierungsbewegungen auftreten, auch wenn das Buch in der besten Lage (aufrecht) gehalten wird, wenn die Druckseite eine bestimmte Ausdehnung hat, und bei andern ganz gewöhnlichen Stellungen (Buch auf horizontaler Unterlage, von gewöhnlicher Grösse, in gewöhnlicher Distanz) kann sie beträchtliche Grade (45—50) erreichen, die dann eine Abnahme der Sehschärfe auch um $\frac{1}{2}$ zur Folge haben.

Man beachte, dass die Zahlen, welche sich auf die Sehschärfe beziehen, durchs Lesen der gewöhnlichen Leseproben erhalten worden sind, in Stellungen, die ich einfache oder normale nannte, d. h. also, dass sie nach rechts, links, nach vorn, hinten geneigt waren, aber nicht in zusammengesetzten oder schiefen Lagen waren, die ich absichtlich vernachlässigte, um die Untersuchungen nicht zu sehr zu komplizieren.

Auch bezüglich des Lesens analysierte ich die Neigungen nur in den einfachen Stellungen des Buches, und vernachlässigte auch hier die schiefen Lagen; in der Wirklichkeit kommen aber beim Lesen diese Lagen, infolge der verschiedenen Fixierungsbewegungen, kontinuierlich vor. Die Neigungswinkel selbst, welche ich in den verschiedenen Stellungen beim Lesen gefunden habe, sind fast immer durch schiefe Lagen bedingt, und es ist klar, dass die Einflüsse, welche dieselben auf die Form und Grösse der Buchstaben ausüben, grösser sind, als sie bei denselben Winkeln normaler Stellung sein könnten.

Aus diesem Grunde sind die Zahlen der Tabellen, die ich oben angab, und welche die Verhältnisse der Sehschärfe ausdrücken, die von dem Einflusse der Perspektive abhängen, eher klein anzusehen.

Es soll damit gesagt werden, dass, wenn z. B. bei normaler Stellung eines Buches, bei einem Neigungswinkel von 45° , die Sehschärfe von 1 auf $\frac{2}{3}$ fällt, bei demselben Neigungswinkel, aber bei schiefer Lage des Buches, noch eine stärkere Sehstörung eintreten wird. Die Sehschärfe wird noch geringer als $\frac{2}{3}$ sein.

5. Der Neigungswinkel veranlasst wegen der mit ihm verbundenen Folgen der Perspektive Veränderungen der Lesbarkeit, bei übrigen

gleichen Bedingungen, je nachdem das Auge von einem zum andern Ende der Zeile und von dem oberen zum unteren Teile der Seite sich richtet.

Ob dies ein Vorteil ist oder einen Schaden verursacht, muss ich dahingestellt sein lassen.

Beim Lesen erfolgen noch andere Veränderungen infolge der Wanderungen, welche das Auge von einem zum andern Ende der Seite macht. Die wichtigeren sind: die Veränderungen in den Konvergenzen, in der Accommodation, der Grösse der Bilder. Alle diese Veränderungen üben ihre besonderen Einflüsse aus.

In den Fällen, welche ich in bezug auf das Lesen berücksichtigte, habe ich ausser dem Neigungswinkel, dessen direkter Einfluss auf die Sehschärfe durch die Folgen der Perspektive nachgewiesen wurde, und ausser den Veränderungen, die jener Winkel erleidet, auch die genannten Veränderungen untersucht und will im Folgenden kurz ein Schema von denselben entwerfen:

Lesen bloss mit einem Auge.

Druckseite 120×200 .

1. Buch in vertikaler Stellung.

(Das Auge gegenüber dem Zentrum der Seite.)

A. Distanz 250 mm.

	Neigungs- winkel	Accommo- dation	Grösse des Bildes	Bewegun- gen
1. Fixierung des Zentrums der Seite	—	4	1	—
2. „ „ Endes der mittleren Zeile	13° 30'	3,89	0,97 Abduktion	13° 30'
3. „ „ Zentrums d. äusserst. Zeile	21° 48'	3,71	0,93 Hebung	21° 48'
4. „ „ Endes der äussersten Zeile	25° 5'	3,62	0,90 Schiefe	25° 5'

B. Distanz 200 mm.

	Neigungs- winkel	Accommo- dation	Grösse des Bildes	Bewegun- gen
1. Fixierung des Zentrums der Seite	—	5	1	—
2. „ „ Endes der mittleren Zeile	16° 42'	4,76	0,96 Abduktion	16° 42'
3. „ „ Zentrums d. äusserst. Zeile	26° 34'	4,46	0,89 Hebung	26° 34'
4. „ „ Endes der äussersten Zeile	30° 20'	4,31	0,86 Schiefe	30° 20'

2. Buch auf horizontaler Unterlage und in der Front.

A. Vertikale Distanz 300 mm. Horizontale Distanz 300 mm.

1. Fixierung des obersten Teiles der Seite	45°	2,36	1	—
2. „ „ untersten „ „ „	18° 26'	3,16	1,34 Senkung	26° 34'

B. Vertikale Distanz 250 mm. Horizontale Distanz 300 mm.

	Neigungs- winkel	Accommo- dation	Grösse des Bildes	Bewegun- gen
1. Fixierung des obersten Teiles der Seite	50° 12'	2,55	1	—
2. „ „ untersten „ „ „	28° 24'	3,71	1,45 Senkung	21° 48'

Lesen mit beiden Augen.

Druckseite 120 \times 200.

1. Buch in vertikaler Stellung.

Distanz 250 mm.

A. Die Augen symmetrisch gegenüber dem Zentrum der Zeile.

1. Fixierung des Zentrums der Zeile:

Rechtes Auge	7° 24'	3,97	1	Adduktion	7° 24'
Linkes „	7° 24'	3,97	1	„	7° 24'

2. „ in der Front vom linken Auge:

Rechtes Auge	14° 35'	3,87	1	„	14° 35'
Linkes „	—	4	1,03	„	—

3. „ des linken Endes der Zeile:

Rechtes Auge	28° 18'	3,75	1	„	28° 18'
Linkes „	6° 17'	3,98	1,06	Abduktion	6° 17'

B. Die Augen symmetrisch gegenüber dem rechten Ende der Zeile.

1. Fixierung des entgegengesetzten Endes:

Rechtes Auge	31° 23'	3,41	1	Adduktion	31° 23'
Linkes „	21° 18'	3,77	1,11	Abduktion	21° 18'

2. Buch auf horizontaler Unterlage.

(Vertikale Distanz 300 mm, horizontale 300 mm.)

Die Augen symmetrisch gegenüber dem rechten Rande der Seite.

1. Fixierung des entgegengesetzten oberen Teiles:

Rechtes Auge	48° 20'	2,22	1	Adduktion	48° 20'
Linkes „	46° 7'	2,32	1,04	Abduktion	46° 7'

2. „ „ entgegengesetzten unteren Teiles:

Rechtes Auge	31° 15'	2,85	1	Adduktion	31° 15'
Linkes „	23° 55'	3,05	1,07	Abduktion	23° 55'

Es zeigen diese Zahlen, dass beim Lesen fortwährend Bewegungen statthaben, in deren Folge Veränderungen der Neigung, der Accommodation, der Grösse des Bildes auftreten.

a) Bewegungen des Bulbus. Die Bewegungen des Bulbus, bei welchen der Blick von einem zum andern Ende der Seite und der Zeile sich richtet, übertreffen auch 30° . Es handelt sich nicht um forcierte Bewegungen, sondern um eine physiologische Funktion der Muskeln des Bulbus, die jedenfalls nicht so ermüdend wirkt, als wenn dieselben in kontrahiertem Zustande unbeweglich verharren müssten. Die Bewegungen also, welche beim Lesen statthaben, können nur zum Vorteile dienen.

b) Accommodationsbewegungen. Auch diese sind kontinuierlich, obwohl nur von geringem Grade. Bei Frontalstellung des Auges gegen die Mitte der Seite dehnt sich die Accommodation vom Beginne nach der Mitte der Zeile und nimmt allmählich nach dem Ende derselben ab.

Als Richtung ist die Accommodation rhythmisch, weil sie sich in derselben Weise, vom Beginn zum Ende der Seite wiederholt; bezüglich des Grades aber ist sie nicht streng rhythmisch, weil sie von Zeile zu Zeile variiert. Doch betragen die Verschiedenheiten kaum eine halbe Dioptrie, während die Accommodationstension bei emmetropischem Auge ungefähr auf drei Dioptrien sich erstreckt. Auch die Accommodationsbewegungen können, wie die vorhergehenden, eher nützlich als schädlich sein, weil sie rhythmisch und geringfügig sind und namentlich weil sie nur langsam erfolgen.

c) Änderungen der Grösse der Bilder. Bei Änderungen der Distanz wird auch die Grösse der Bilder alteriert, die, wie bekannt, innig an die Distanz gebunden ist. Wir haben gesehen, dass beim Halten des Buches mit der Hand Änderungen der Grösse um $\frac{1}{10}$ oder um etwas mehr erfolgen; wenn aber das Buch auf einer horizontalen Unterlage liegt und der Blick sich von einem zum andern Ende der Seite richtet, dann kann die Änderung $\frac{1}{3}$ und auch fast $\frac{1}{2}$ erreichen.

Meines Erachtens können auch die Änderungen der Grösse der Bilder — angenommen dass man immer mit sehr grossen Buchstaben zu tun hat im Verhältnisse zu denjenigen, die an der Grenze der grossen stehen — als vorteilhaft angesehen werden, weil durch dieselben die Netzhaut variierende Eindrücke erhält und man weiss, dass dies für dieselbe von Nutzen ist, weil ja die Netzhaut wegen ihrer grossen Empfindlichkeit zu denjenigen Organen gehört, welche sehr leicht ermüden.

d) Änderungen des Neigungswinkels. Es wäre optimistisch zu denken, dass auch die Änderungen des Neigungswinkels, im Sinne

einer Verkleinerung, von Nutzen sein könnten, da ja der Neigungswinkel überhaupt wegen der durch ihn bedingten Perspektive immer schädlich ist, in höherem Grade, wenn er gross, in geringerem, wenn er klein ist. Besser ist es natürlich, wenn der Neigungswinkel ganz fehlt.

Kurzum, beim Lesen mit nur einem Auge können alle Bewegungen eher vorteilhaft als schädlich angesehen werden.

Ganz anders verhält sich die Sache aber beim Lesen mit beiden Augen. Es sind diese — ausgenommen den Fall, in welchem der fixierte Punkt in der Front und exakt in der Medianlinie ist — verschieden weit vom fixierten Punkte entfernt.

Für die Fixation werden also Bewegungen notwendig, welche an beiden Augen verschieden sind, ferner Accommodationsanstrengungen, die gleichfalls differieren, es würden sich so zwei Bilder von ungleicher Grösse zum stereoskopischen Bilde vereinigen.

Es ist richtig, dass die Bewegungen an beiden Augen in verschiedener Weise erfolgen, aber es scheint, dass dies ohne eine Einbusse der Gesetze für die Association der Bewegungen und der Synergie der nervösen Impulse, welche die Augenbewegungen beherrschen, erfolgt, so dass die Verschiedenheit derselben, das Ausbleiben der Association, nur scheinbar sind.

Was die Accommodation betrifft, so müssten beide Augen, da der Fixierungspunkt für sie in verschiedener Entfernung liegt, verschiedene Kräfte aufbringen, weil sonst die Bilder auf der Netzhaut nicht gut entworfen werden könnten, da sie nicht im Brennpunkte wären. Die Differenzen für die richtige Accommodation beider Augen variieren, wie aus den angeführten Tabellen hervorgeht, von $\frac{10}{100}$ bis zu $\frac{36}{100}$ Dioptrien.

Nun ist aber bekannt und ich selbst habe nachgewiesen¹⁾, dass die Accommodation an beiden Augen immer gleich ist, und deshalb ist es unerklärlich, in welcher Weise jene Differenzen aufgehoben werden könnten. Man muss deshalb annehmen, dass bei den seitlichen Lagen während des Lesens nur eines der Bilder klar sein kann, das andere aber undeutlich sein muss.

Es wurden zwar viele Untersuchungen über diese Frage angestellt, so z. B. hier an der Klinik in Turin²⁾, allein sie harrt noch ihrer Lösung. Die Untersuchungen von Secondi haben gezeigt, dass die Weite der Accommodation nicht in allen Richtungen des Blickes

¹⁾ Ovio, Sul fenomeno della ineguale accomodazione. Ann. d'Ottalm. 1895.

²⁾ Secondi, G., Valori di A nei vari gradi del campo di sguardo. Annali d'Ottalm. 1889. p. 117 u. 1891. p. 104.

gleichbleibt, sondern dass sie im Gegenteil von einem Maximum bei der grössten Adduktion, während des Überganges des Auges in die Abduktionsstellung, allmählich abnimmt. Die zunehmende Plesiopie beim Blicke nach aussen würde die erwähnten Differenzen noch stärker hervortreten lassen.

In der Tat kommt es vor, dass, wenn wir nach der Seite blicken und also das eine Auge nach aussen, das andere nach innen gerichtet wird, das erstere in eine Stellung kommt, in welcher die Weite der Accommodation sich dem geringsten Grade nähert, während das andere Auge in einer Lage ist, in welcher dieselbe dem höchsten Grade nahekommt. Bei einem gleichmässigen Impulse zur Accommodation wird in dem nach aussen gerichteten Auge der Effekt kleiner, in dem andern grösser sein. Da nun das nach aussen gerichtete Auge dem fixierten Punkte näher ist als das nach innen gerichtete, so müsste in demselben die Accommodation stärker sein, sie ist aber im Gegenteil kleiner. Die Differenz macht sich demnach auch aus diesem Grunde geltend und deshalb werden die beiden Bilder noch weniger klar sein.

Zur teilweisen Korrektur des Effektes der erwähnten Plesiopie würde, wie Albini¹⁾ meint, eine Verminderung der statischen Refraktion des Auges auftreten, die sich in der Schiefheit des Blickes äussert.

Wenn wir nach der Seite sehen, dann ist der Blick des nach innen gerichteten Auges schief. In diesem Auge würde also die statische Refraktion etwas abnehmen, und es könnte hierdurch der grössere Effekt, den die Accommodation infolge der Richtung des Blickes ausübt, zum Teile kompensiert werden.

Die Kompensation dieser zwei Faktoren ist nur eine partielle; aber auch wenn sie vollständig wäre, würden, da das eine Auge vom fixierten Punkte weiter entfernt liegt als das andere, die beiden Bilder unklar sein, da beide Augen nicht genau für dieselben accommodiert werden können.

Es scheint, dass in dieser Beziehung unser Sehvermögen nicht fehlerfrei sei, und es ist natürlich, dass die Mangelhaftigkeit desselben sich um so weniger wird geltend machen können, je weniger der Blick nach der Seite gerichtet wird.

Dasselbe gilt für die Verschiedenheit der Grösse der Bilder und des Neigungswinkels.

¹⁾ Albini, E. Giornale della R. Accad. Med. di Torino. 1886.

Wegen der verschiedenen Entfernung beider Augen vom fixierten Punkte sind die beiden Bilder von verschiedener Grösse; in dem entfernteren Auge ist das Bild kleiner als in dem näher gelegenen.

In der Tat resultiert aus den mitgeteilten Tabellen, dass man Differenzen in der Grösse von $\frac{3-14}{100}$ haben kann. Auch bei Annahme der kleinsten Mittelzahl, nämlich $\frac{7}{100}$, ist schon eine merkliche Differenz vorhanden. Eine Gerade von 10 mm im Vergleiche zu einer andern von $9 + \frac{1}{3}$, oder ein Quadrat von 10 mm in der Seite, verglichen mit einem Quadrat von $9 + \frac{1}{3}$, erscheint deutlich in verschiedener Grösse.

Stereoskopisch verschmelzen derartige Bilder noch ganz gut, allein es geschieht dies nur nach einer Anstrengung und es ist deshalb verständlich, dass es besser wäre, wenn die Differenzen nicht existieren würden.

Bezüglich der Neigung ersieht man aus den Tabellen, dass die beiden Augen auch Unterschiede von 20° zeigen können. Dies hat einen Unterschied in der Perspektive der beiden Bilder zur Folge. Diese Differenz ist nur gering und die Bilder verschmelzen noch stereoskopisch, doch wäre es besser, wenn auch diese Differenz nicht vorhanden wäre.

Kurz, es können die verschiedenen Bewegungen und Veränderungen, auf die hingewiesen wurde, für das monokulare Sehen von Vorteil sein; für das binokulare Sehen hingegen müssen sie eher als schädlich angesehen werden, und bezüglich der Neigung, welche die Wirkung der Perspektive hervorbringt, haben wir gesehen, dass sie auch hohe Grade erreichen und ausserdem bei beiden Augen verschieden sein kann, so dass dieselbe in jedem Sinne schädlich beim Lesen wirkt.

Es folgt aus den Untersuchungen in dieser Arbeit, dass die Perspektive einen Faktor darstellt, welcher in hervorragender Weise das Lesen beeinträchtigt, dass demselben für die Hygiene des Auges Rechnung getragen werden muss. Wir müssen ferner bestrebt sein, damit jener hochwichtige Sehakt unter den günstigsten Bedingungen, auch mit Rücksicht auf die Folgen der Perspektive, sich vollziehe, diese auf den möglichst geringen Grad zu reduzieren.

Es handelt sich ja um einen Faktor, der nicht vernachlässigt werden darf, der mindestens ebenso wie andere Umstände, welche von der Hygiene als wichtig angesehen werden, wie z. B. die Grösse, Form, räumliche Anordnung der Buchstaben, die Länge der Zeilen, Form des Buches usw. berücksichtigt werden muss. Sonderbar ist es, dass die Perspektive bis jetzt vollständig vernachlässigt worden ist, während man andere Faktoren nicht vergass, die viel weniger

wichtig, ja fast problematischer Natur sind, und zu deren Bekämpfung man verschiedene Mittel in Anwendung bringt, z. B. Tinten von speziellen Farben, Papier von besonderer Art, mit Rücksicht auf die horizontalen Defekte unserer Augen, die aber nur unter ganz besonderen Umständen sich geltend machen, oder nur bei Anwendung feiner Apparate, weil jene Defekte eben nur sehr geringfügiger Natur sind.

Zum Glück dienen die gewöhnlichen Regeln der Hygiene des Auges, welche wegen anderer Umstände nützlich sind, auch denen zum Vorteile, die beim Lesen durch die Perspektive verursacht werden. Auch mit Rücksicht auf diese sind beim Lesen notwendig: grosse Buchstaben, gute räumliche Anordnung derselben, kurze Zeilen, kleines Format des Buches usw. Ferner ist notwendig, dass das Buch beim Lesen, beim Halten mit der Hand, möglichst wenig geneigt sei, dass es beim Liegen auf chromatischer Unterlage nicht zu entfernt in horizontalem und nicht zu nahe in vertikalem Sinne sei.

Grosse Buchstaben sind notwendig, weil solche sich bezüglich der Perspektive weniger ändern, in grösserer Entfernung gelesen werden können, und der Einfluss der Perspektive bei Abnahme der Distanz sich erhöht.

Eine richtige räumliche Anordnung der Buchstaben ist erforderlich, weil ebenso wie die verschiedenen Linien der einzelnen Buchstaben sich infolge der Perspektive übereinander legen, dies auch die Buchstaben tun; hierdurch wird aber die Lesbarkeit derselben in ganz ausserordentlicher Weise beeinträchtigt und zwar um so mehr, als in allen Büchern die Buchstaben einander fast berühren, während die verschiedenen Linien der einzelnen Buchstaben 10 mal und auch 20 mal entfernter von einander liegen.

Kurz müssen die Zeilen sein, damit die seitlichen Verlagerungen der Blickrichtung aufs Minimum reduziert werden können, weil bei solchen seitlichen Verlagerungen, auch wenn sie nur den geneigten Grad erreichen, wegen der Perspektive das Lesen auch in der günstigsten Lage des Buches, d. h. in der senkrechten, beeinträchtigt wird.

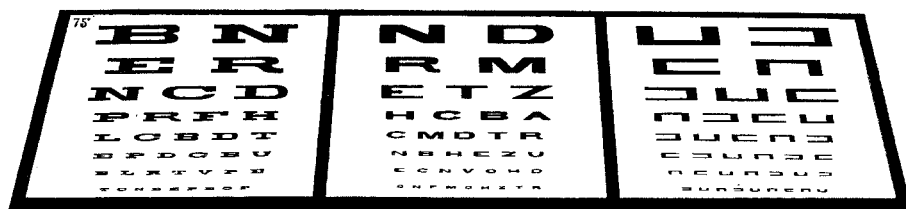
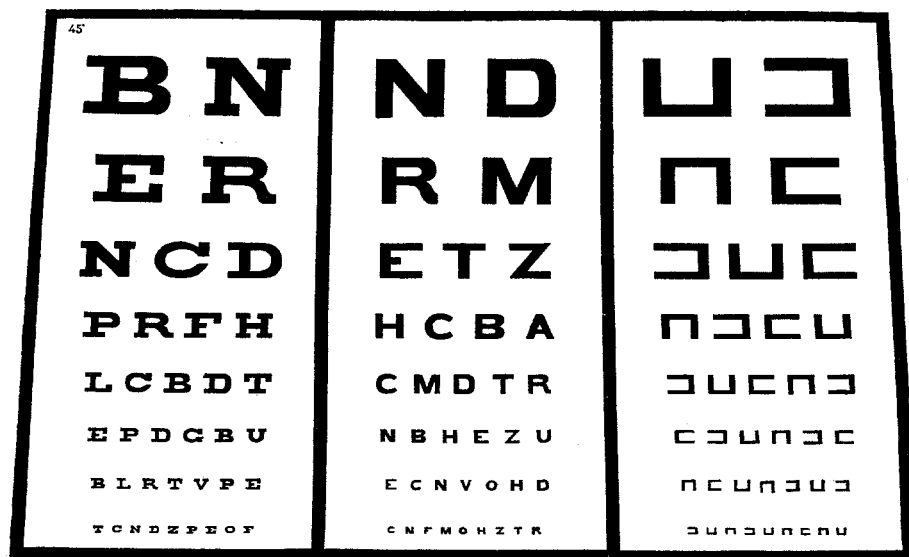
Kleines Format ist notwendig aus demselben Grunde und weil sich die Seiten weniger leicht biegen, wodurch in Stellungen, die sonst die besten wären, Neigungen entstehen.

Eine mittlere Distanz ist erforderlich, weil die Folgen der Perspektive sich in ganz besonderer Weise geltend machen, wenn die horizontale Distanz den mittleren Grad überschreitet und die vertikale unter demselben steht.

75	BN ND UJ	ER RM EN	NCD ETZ JUC	PRFH HCBA HCU	LCBDT CMDR JUCD	EPDGBU NBHEU CUDC	BLRTYPE ECNVHD	TCNDZPEOF CMFMHNTA
----	----------	----------	-------------	---------------	-----------------	-------------------	----------------	--------------------

Udono catidog e oie

45	BN ND UJ	ER RM EN	NCD ETZ JUC	PRFH HCBA HCU	LCBDT CMDR JUCD	EPDGBU NBHEU CUDC	BLRTYPE ECNVHD	TCNDZPEOF CMFMHNTA
----	----------	----------	-------------	---------------	-----------------	-------------------	----------------	--------------------



Größe vergrößert 2 mal.

n o z c u
d f t h k
e l j b a
y p r q g
x m i v s

n o z c u
d f t h k
e l j b a
y p r q g
x m i v s

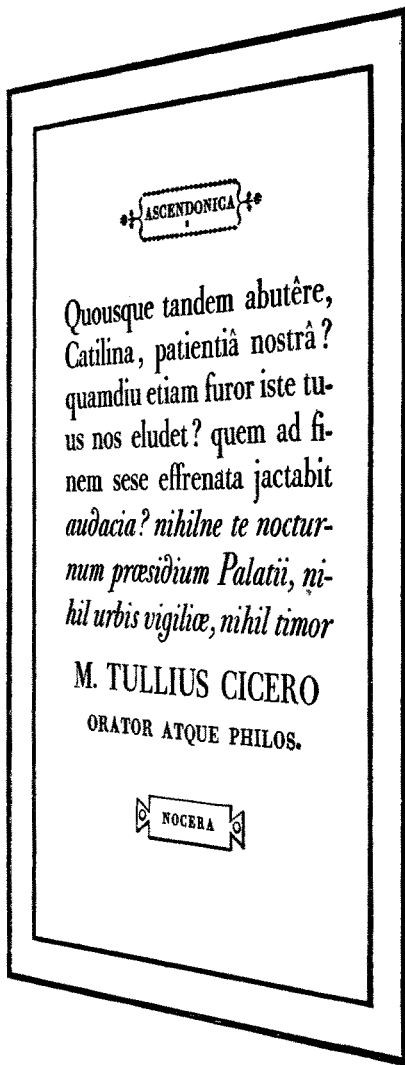


Fig. 1.

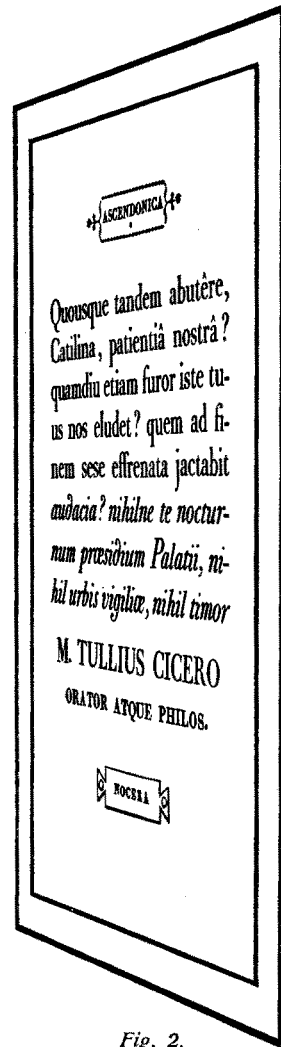


Fig. 2.

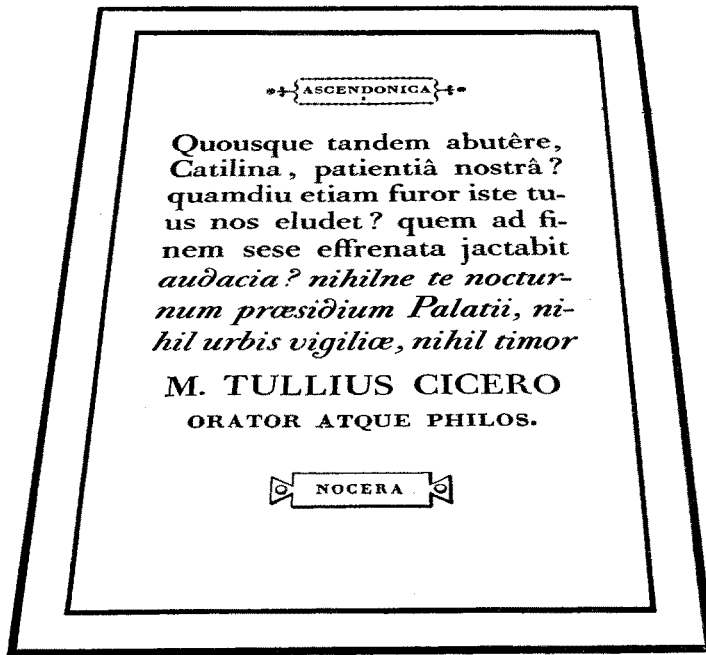


Fig. 3.

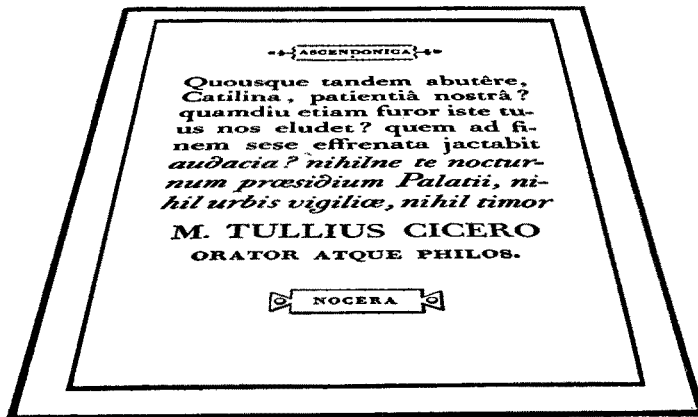


Fig. 4.