



Über die Beziehungen zwischen der Akkommodation und der Konvergenz der Blicklinien.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde in der Medicin und Chirurgie,

welche mit Genehmigung der

hohen medicinischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

zugleich

mit den beigefügten Thesen

öffentlich vertheidigen wird

Mittwoch, den 19. Juli 1893 Mittags 12 Uhr

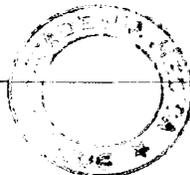
Karl Fischer

aus Donndorf (Provinz Sachsen).

Referent: Herr Geh. M.-R. Prof. Dr. v. Hippel.

Opponenten: Herr Peppmüller, prakt. Arzt.

Herr Dr. med. Felgner.



Halle a. S.

S. Schlesingers Buchdruckerei.

1893.

Imprimatur:
Prof. **Dr. Harnack**,
h. t. Prodecanus.

Seiner teuren Mutter

in Liebe und Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.



§ 1. Einleitung.

Um einen Gegenstand mit beiden Augen möglichst scharf und zugleich einfach zu sehen, muss erstens ein deutliches Bild von ihm auf der Netzhaut entstehen, zweitens müssen die Gesichtslinien sich in dem gerade fixierten Punkte schneiden. Geht man daher von dem Blick in unendliche Ferne aus, bei welchem die Sehlinien parallel sind, und die Akkommodation ruht, so ist zur Betrachtung eines näheren Objektes einerseits eine bestimmte Akkommodationsanstrengung, andererseits eine gewisse Konvergenzbewegung der Augen erforderlich. Die diesen beiden Bewegungen dienenden Apparate, nämlich der Ciliarmuskel und die äusseren Augenmuskeln, stehen in keinem anatomischen Zusammenhange mit einander, sodass eine getrennte Bewegungsfähigkeit derselben von vornherein sehr wohl möglich erscheint. Dennoch ist diese volle Unabhängigkeit nicht vorhanden, vielmehr ist eine kräftige Akkommodationsbewegung stets von einer Konvergenz der Bulbi begleitet, und ebenso kann man die Augen nicht stark nach innen wenden, ohne dass eine gewisse Akkommodationsspannung eintritt. Man muss daher annehmen, dass die Innervationszentren für die beiden Bewegungen in Verbindung stehen, sodass ein Willensimpuls, welcher die eine derselben auszulösen bestimmt ist, ohne oder selbst gegen den Willen die andere in mehr oder weniger hohem Grade gleichzeitig zur Folge hat.

Zahlreiche Thatsachen beweisen die Richtigkeit dieser Behauptung. Lässt man beispielsweise einen Gegenstand mit einem Auge fixieren, während man das andere verdeckt, so wendet sich das letztere bei Annäherung des Objektes nach innen, um bei Entfernung wieder zurückzukehren. Verändert

man ferner bei Fixation eines Objektes durch Einwärtsschielen die Konvergenz, so beobachtet man, dass die entstehenden Doppelbilder undeutlich werden. Die erstere Beobachtung zeigt, dass Veränderungen der Akkommodation die Konvergenz beeinflussen, die letztere, dass bei Zu- oder Abnahme des Konvergenzwinkels auch die Akkommodation eine andere wird.

Während somit die allgemeinen Verhältnisse dieses Zusammenhanges leicht nachgewiesen werden, so sind die genauen Einzelheiten und namentlich die messenden Bestimmungen seiner Grenzen der Gegenstand mehrerer, zum Teil sehr exakter Untersuchungen geworden. Das theoretische Interesse und die praktische Wichtigkeit der Frage dürfte jedoch eine erneute Untersuchung um so weniger zwecklos erscheinen lassen, als mehrere besonders wichtige Punkte bisher entweder gar nicht, oder nur beiläufig berührt worden sind, und ausserdem die Ergebnisse der verschiedenen Forschungen einander vielfach widersprechen. Namentlich über die Dehnbarkeit des Zusammenhangs sind die Ansichten wesentlich andere geworden, seitdem darüber Versuche angestellt sind.

§ 2. Litteratur.

Johannes Müller*) und Porterfield suchten zuerst zu beweisen, dass zwischen Konvergenz und Akkommodation ein kausaler Zusammenhang existiere. M. hielt diese Beziehung für ganz fest, nicht dehnbar, meinte also, dass bei Akkommodation auf bestimmte Entfernung die Sehlinien sich nur in dieser, in keinem näheren oder ferneren Punkte schneiden könnten. Allerdings bemerkt er, dass manchmal, bei starker Anstrengung, uns das Undeutlichsehen ohne Doppelbilder zu gelingen schein, was also auf eine Änderung der Akkommodation bei fester Lage der Sehlinien hinausläuft. Er erklärt dies jedoch fälschlich für eine Täuschung und meint, dass erst an der Grenze der Akkommodation der feste Zusammenhang aufhöre. Die Irrtümlichkeit dieser Ansicht wurde von

*) Dr. Johannes Müller. Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Tiere. S. 207—216.

Volkmann*) nachgewiesen. Durch eine Reihe von einfachen und beweisenden Versuchen zeigte er, dass auch innerhalb der Grenzen des Akkommodationsvermögens der kausale Zusammenhang zwischen diesem und der Stellung der Augenaxen fehlen könne, und er kommt daher zu dem Schlusse, dass die Akkommodationsthätigkeit mit den Bewegungen des Auges nur in einem Kausalverhältnis zweiten Grades stehe.

Die Grenzen dieses Zusammenhanges festzustellen, gelang erst Donders**), dessen Untersuchungen den grössten Fortschritt und die Grundlage für alle weiteren Versuche bilden. Er führte zuerst ein Mass sowohl für die Akkommodations-, als für die Konvergenzbewegung ein, indem er beide der Entfernung des fixierten Gegenstandes umgekehrt proportional setzte. Seine Methode war im wesentlichen folgende:

Vermittelst eines eigenen Optometers brachte er ein Objekt in verschiedene, messbare Entfernungen von den Augen und liess es betrachten. Durch vorgesetzte sphärische Gläser variierte er dann die Akkommodation und prüfte, wieweit dieselbe bei jeder Konvergenzstellung gesteigert oder vermindert werden konnte. Er fand im Gegensatz zu J. Müller und in Übereinstimmung mit Volkmann, dass thatsächlich ein Spielraum vorhanden ist, aber auch, dass ohne Veränderung der Augenstellung die Akkommodation weder völlig erschlaft, noch in ganzer Stärke aufgebracht werden kann. Vielmehr zeigte sich, dass man um so stärker akkommodieren kann, je mehr die Sehlinien konvergieren, dass man dagegen den Ciliarmuskel um so weiter entspannen kann, je mehr die Axen sich der Parallelstellung nähern.

So schuf Donders die Begriffe des „relativen Nahepunktes“, des „relativen Fernpunktes“ und der „relativen Akkommodationsbreite“.

Die höchsten Grade der Akkommodation sind, wie sich weiter ergab, mit einer so übermässigen Konvergenz ver-

*) Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes von Dr. A. W. Volkmann. S. 144 — 155.

**) Donders, Die Anomalien der Akkommodation und Refraktion des Auges. Kap. 3, S. 93.

bunden, dass der betreffende Punkt nicht mehr binokular einfach gesehen werden kann, sondern gleichnamige Doppelbilder hervorrufft. Es giebt daher ausser dem absoluten noch einen etwas ferner gelegenen „binokularen Nahepunkt“. Von den weiteren Ergebnissen ist noch hervorzuhellen, dass nach Donders bei Ametropen die fraglichen Beziehungen andere sind, als bei Emmetropen, sodass also die graphischen Darstellungen der Versuche, die Nahepunktlinie und die Fernpunktlinie je nach dem Refraktionszustande eine verschiedene Form zeigen.

Eine neue, anschauliche Gestalt erhielten diese Untersuchungen durch Nagel*), indem dieser erstens das Metermass einführte, zweitens die Verhältnisse gleichsam von einem neuen Gesichtspunkte aus betrachtete. Da nach Donders bei bestimmter Konvergenzstellung die Akkommodation wechseln kann, so muss offenbar bei jeder Akkommodation auch eine verschiedene Stellung der Sehlinien möglich sein. Die Grösse dieser Veränderlichkeit, die „relative Fusionsbreite“, kann aus den Dondersschen Kurven abgelesen werden, es erscheint jedoch auch eine direkte Bestimmung dadurch ausführbar, dass man bei feststehender Akkommodation durch vorgesetzte Prismen die Sehlinien bald nach aussen, bald nach innen ablenkt, und so jedesmal die möglichen Grenzstellungen ermittelt.

Die auf Nagels Veranlassung von Bisinger**) in dieser Richtung angestellten Versuche haben leider zu annehmbaren Ergebnissen nicht geführt, wozu wohl namentlich die Undeutlichkeit der durch Prismen erzielten Bilder beigetragen haben mag.

Um allen derartigen, durch brechende Medien hervorgehenden Beobachtungsfehlern aus dem Wege zu gehen, haben

*) Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges, von Dr. Alfred Nagel, Prof. in Tübingen, im Handbuch der gesamten Augenheilkunde, redigiert von Prof. Alfred Gräfe und Prof. Theodor Sämisch.

**) Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Akkommodation und Konvergenz der Blicklinien. Inaugural-Dissertation von Heinrich Bisinger, Tübingen 1879.

in neuerer Zeit F. Halsch und H. Pereles*) nach einer gänzlich anderen Methode experimentiert. Sie verwendeten zu ihren sehr exakten und ergebnisreichen Versuchen einen von Hering**) angegebenen und als Haploscop beschriebenen Apparat. Seine Einrichtung ist die, dass von zwei ganz gleichen Objekten jedes auf einer Schiene verschiebbar ist, deren Drehungsaxe bei richtiger Aufstellung durch den Drehpunkt eines Auges geht. Durch Verschiebung der Sehproben kann man die Akkommodation, durch Drehung der Schienen die Konvergenz ändern. Um Kollisionen der beiderseitigen Teile zu vermeiden, sieht der Beobachter die Objekte nicht direkt an, sondern durch kleine, auf den Schienen befestigte Spiegelchen, ähnlich wie beim Wheatstone'schen Stereoskop. Die mit dieser Vorrichtung angestellten Versuche ergaben für die relativen Akkommodationsbreiten meist erheblich grössere Werte, als nach Donders Methode gefunden waren, auch erstrecken sie sich auf die Fälle, in denen eine Divergenz der Sehlinien möglich ist. Das Hauptergebnis ist jedoch die Auffindung des den Beziehungen zwischen Konvergenz und Akkommodation zu Grunde liegenden Gesetzes, worauf später noch zurückzukommen ist. Bezüglich der Myopen konnten die Verfasser die von Donders angegebene Abweichung nicht bestätigen, vielmehr fanden sie genau dieselbe Gesetzmässigkeit wie bei Emmetropen. Eine Nachprüfung haben diese Versuche anscheinend bisher nicht gefunden.

Während nach allen diesen Untersuchungen die Sehlinien bei jeder Akkommodation verschieden stark konvergieren können, so ist doch ihre Stellung auch dann keine willkürliche, wenn die Augen von jedem äusseren Zwange befreit sind. Vielmehr nehmen sie, nur unter dem Einflusse der Akkommodation stehend, eine ganz bestimmte Lage zu einander ein. Zur genauen Bestimmung dieser Stellung bedarf es besonderer

*) Über die relative Akkommodationsbreite. Mitgeteilt von Dr. med. H. Pereles, in A. v. Gräfes Archiv. Bd. 35, Abt. 4.

**) Handbuch der Physiologie von Herrmann. III. Bd., 1. Teil, Abschnitt 1, Kap. 1, S. 337 und ebendasselbst Abschnitt 1, Kap. 6, S. 393.

Massnahmen. Wenn die durch den Akkommodationsimpuls bewirkte Konvergenz nicht genau die zum binokularen Sehen erforderliche ist, so entstehen Doppelbilder. Es besteht jedoch ein ausgesprochenes Bestreben, solche, das Sehen natürlich sehr störende, Doppelbilder durch veränderte Augenstellung zu vereinigen, vorausgesetzt, dass dieselben mit den Drehpunkten in einer Ebene liegen. In der darauf senkrechten Richtung dagegen ist eine derartige Fusion nur in sehr geringem Masse möglich.

Um daher das Fusionsbestreben auszuschliessen, brachte A. von Gräfe*) vor ein Auge ein Prisma mit der Basis nach oben oder unten und schuf dadurch über einander stehende Doppelbilder, die nicht mehr vereinigt werden konnten. Schneiden dann die Sehlinsen sich in dem Punkte, auf welchen akkommodiert wird, so stehen die Doppelbilder genau unter einander, liegt der Schnittpunkt näher, so sind sie gleichnamig, liegt er ferner, so sind sie gekreuzt. In den beiden letzten Fällen kann man sie unter einander bringen, indem man durch Prismen mit der Basis nach innen oder aussen die Konvergenz schwächt oder verstärkt. Wenn man die Entfernung des Objektes und den Ablenkungswinkel der korrigierenden Prismen kennt, so kann man die einer jeden Akkommodation zugehörige Konvergenz leicht finden. (Gleichgewichtsversuch.)

Umfassende Untersuchungen an physiologischen Augen sind nach dieser Methode früher anscheinend nicht gemacht worden, die Angaben beziehen sich vielmehr wesentlich auf pathologische Fälle, besonders auf Insuffizienz der *mm recti interni* oder *externi*.

Erst vor einigen Jahren hat Schiötz**) in einer grossen

*) A. von Gräfe. Operative Heilung der Insuffizienz der inneren geraden Augenmuskeln u. s. w. Archiv für Ophthalmologie, Band III, Abteilung 1, S. 308. — Derselbe, Über muskuläre Asthenopie, Archiv für Ophthalmologie, Band VIII, Abteilung 2, S. 314.

**) Ein Beitrag zu der Lehre von den Verhältnissen der Augenmuskeln. Von Dr. med. Hj. Schiötz in Christiania. Archiv für Augenheilkunde. Bd. XX, 1889.

Reihe von Fällen den v. Gräfe'schen Versuch wenigstens bei Akkommodation auf drei verschiedene Entfernungen angestellt. Er unterscheidet drei Gruppen, jenachdem die Gleichgewichtsstellung für die Ferne divergent, parallel oder konvergent ist. In allen drei Fällen findet er, dass meist die Konvergenz langsamer zunimmt, als die Akkommodation, sodass z. B. im letzten Falle oft die Konvergenz für den Blick in die Ferne etwas zu stark ist, bei einer bestimmten Akkommodation dagegen genau zur binokularen Fixation genügt und bei weiterer Steigerung zu gering wird.

Neuere Untersuchungen über diese Verhältnisse scheinen bisher nicht veröffentlicht zu sein.

§ 3. Disposition.

Es ist leicht zu beurteilen, in welcher Richtung hin die bisherigen Versuche etwa fortgesetzt und ergänzt werden könnten. Die grosse Bedeutung der Gleichgewichtsstellung für eine Reihe von pathologischen Erscheinungen, besonders für Insuffizienz und Strabismus concomitans dürfte es wünschenswert erscheinen lassen, den v. Gräfe'schen Versuch auf das gesamte Akkommodationsgebiet auszudehnen, um so ein umfassendes Bild der betreffenden Beziehung zunächst unter normalen Verhältnissen zu bekommen. Sodann wären die Versuche über die relativen Nahe- und Fernpunkte nachzuprüfen und zu untersuchen, wie sich die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Autoren erklären, und woher der Misserfolg Bisingers bei Anwendung von Prismen rührt. Ferner fragt es sich, ob nicht zwischen der Gleichgewichtsstellung und den relativen Nahe- und Fernpunkten ein Zusammenhang besteht, und ob derselbe nicht aufzufinden ist. Endlich ist es noch von Interesse, den Einfluss der Kopfhaltung auf diese Verhältnisse zu prüfen. Gerade über diesen Punkt liegen nur vereinzelte Angaben vor, obgleich derselbe von Wichtigkeit ist, denn in den seltensten Fällen stehen die Sehlinien genau horizontal, vielmehr sind sie bei Nahearbeit meist mehr oder weniger gesenkt, in anderen Fällen sind sie wieder gehoben.

Untersuchungen über alle diese Fragen bilden den Gegenstand vorliegender Arbeit, welcher Versuche an meinen Augen zu Grunde liegen. In dem ersten Teile werden die verwendeten Apparate und die vorbereitenden Massnahmen beschrieben. Der zweite enthält die Prüfung der Gleichgewichtsstellung beim Blick in horizontaler Richtung, sodann folgen Versuche über die relative Akkommodations- und Fusionsbreite, und schliesslich werden die Beziehungen derselben zur Gleichgewichtsstellung erörtert. Im dritten Teile werden diese Untersuchungen auf die Verhältnisse bei gehobener und bei gesenkter Blickebene ausgedehnt. Es werden die Veränderungen gegenüber der ursprünglichen Stellung angegeben und gezeigt, wie sich dieselben auf rein mechanischem Wege erklären, ohne dass es nötig ist, zu psychischen Einflüssen seine Zuflucht zu nehmen. Die erhebliche Schwierigkeit der Versuche wird es entschuldigen, dass dieselben nicht bei einer grösseren Zahl von Personen angestellt sind. Es erschien zweckmässiger, sich mit einer kleineren Menge von Versuchsreihen zu begnügen, diese aber mit möglichster Schärfe und frei von Fehlerquellen herzustellen.

Erster Teil.

Beschreibung der vorbereitenden Versuche und der angewendeten Apparate.

Beschreibung der vorbereitenden Versuche und der angewendeten Apparate.

§ 4. Vorversuche.

Zuerst versuchte ich nach folgendem Schema zu experimentieren. Eine 5 Meter entfernte Sehprobe wurde fixiert. Durch vorgesetzte Brillengläser konnten dann die verschiedensten Grade von Akkommodation erreicht werden, und ebenso war die Stellung der Sehlinsen durch ablenkende Prismen in der gewünschten Weise zu verändern. Diese überaus einfache und bequeme Methode brachte jedoch so grosse Fehlerquellen mit sich, dass von einer weiteren Anwendung mit Bedauern Abstand genommen werden musste. Schon die Anwendung stark brechender Linsen bedingt eine gewisse Undeutlichkeit des Bildes, teils infolge der sphärischen Aberration, teils wegen der chromatischen Abweichungen und anderer Umstände.

In sehr viel höherem Grade noch wird die Schärfe des Bildes durch vorgesetzte Prismen beeinträchtigt. Besonders störend wirkt in diesem Sinne die Dispersion. Infolge derselben erglänzt ein schwarzes Objekt auf weissem Grunde, durch ein starkes Prisma betrachtet, in allen Regenbogenfarben und es erscheint so verschwommen, dass von einer genauen Akkommodation nicht mehr die Rede sein kann.

In derselben Weise wirkt der Astigmatismus der Prismen. Die von einem Punkte durch ein Prisma gehenden Strahlen vereinigen sich selbst dann, rückwärtsverlängert, nicht wieder zu einem Punkte, wenn sie in einer Ebene liegen. Nur wenn sie wenig divergieren, gilt dies annähernd. Aber selbst unter



dieser Bedingung fallen die Vereinigungspunkte der in verschiedenen Ebenen einfallenden Strahlen nicht zusammen, sondern liegen auf einer Strecke, deren Länge man als „homocentrische Differenz“ bezeichnet. Diese Differenz wird nur dann konstant und sehr klein, wenn die Strahlen das Prisma im Minimum der Ablenkung passieren. Ist dann die Dicke des durchlaufenen Prismenstückes verschwindend klein, so wird die homocentrische Differenz gleich Null. In den übrigen Fällen ist sie von der Entfernung des Objektes und dem Einfallswinkel abhängig. Es ist klar, dass dieselbe eine genaue Akkommodation unmöglich macht, da infolgedessen überhaupt kein in einer bestimmten Entfernung liegendes Bild entsteht*).

Eine weitere, die Beobachtung störende Eigenschaft der Prismen ist die Verzeichnung. Infolge davon erscheinen zur Kante parallele Linien mehr oder weniger gekrümmt, wobei sie derselben ihre Konkavität zukehren. Senkrecht zur Kante stehende Gerade erscheinen schwach S-förmig gekrümmt. Hierdurch entsteht eine Inkongruenz der Doppelbilder, welche eine Verschmelzung erheblich erschweren kann. Wenn man ferner die Prismen ohne besondere Vorrichtung den Augen einfach vorsetzt, so bilden sich leicht neue Fehlerquellen, da es kaum möglich ist, sie genau so zu halten, dass die Strahlen im Minimum der Ablenkung hindurch gehen. Denn infolgedessen weiss man nicht genau, wie stark die thatsächlich erfolgende Ablenkung ist, sodann hat v. Helmholtz**) gezeigt, dass das durch ein Prisma entworfene Bild nur dann dieselbe Entfernung von diesem hat, wie das Objekt, wenn die Ablenkung die minimale ist. Man hat also in diesem Falle keine Garantie dafür, dass die Akkomodation durch das Prisma unverändert bleibt, während man doch ausschliesslich die Konvergenz beeinflussen will.

*) A. Gleichen. Über die Brechung des Lichts durch Prismen, Zeitschrift für Mathematik und Physik 34. Jahrgang 1889 — Block, Beiträge zur Theorie der Lichtbrechung in Prismensystemen. — Helmholtz, physiolog. Optik S. 256.

**) Helmholtz, physiologische Optik. S. 257. — Derselbe, wissenschaftliche Abhandlungen Bd. II. S. 175.

Sodann ergeben sich neue Ungenauigkeiten aus dem Zusammenwirken von Linse und Prisma. Selbst wenn die erstere genau zentriert vor dem Auge steht, so werden die durch ihre Mitte gehenden Strahlen durch das letztere von der Pupille abgelenkt und es gelangen nur Randstrahlen in das Auge. Diese sind aber erstens stärker gebrochen, als der Nummer des Glases entspricht, zweitens übt auf sie das Brillenglas selbst eine ablenkende Wirkung aus.

Endlich ist es ein grosser Übelstand dieser Versuchsanordnung, dass es dabei nicht möglich ist, den Augenbewegungen mit den vorgesetzten Medien genau zu folgen. Denn es ist ohne weiteres klar, dass hierdurch neue und sehr bedeutende Fehler in die Beobachtungen gelangen.

Will man daher befriedigende Resultate erhalten, so muss man entweder auf die Anwendung von Prismen überhaupt verzichten, wie dies Halsch und Pereles gethan haben, oder man muss durch geeignete Vorkehrungen die Fehlerquellen zu vermeiden suchen.

§ 5. Beschreibung der Apparate.

Aus mehrfachen Gründen wurde von mir der letztere Weg eingeschlagen und ich liess mir hierzu in der mechanischen Werkstatt des Herrn M. Wesselhöft hierselbst nach meinen Angaben ein geeignetes Optometer anfertigen. Dasselbe ist in Figur 1 und 2 nebst dem noch zu erwähnenden Kopfhalter abgebildet und hat folgende Einrichtung:

Auf einem eisernen Klotz von etwa 32 cm Länge, 8 cm Breite erhebt sich eine Metallsäule von 7,5 cm Höhe. Diese trägt ein horizontales, 55 cm langes, 10 cm breites und 2 cm hohes Brett, auf welchem in einer Längsfurche ein genau passender Metallklotz von einem Ende bis zum anderen verschiebbar ist. Vermittels eines nach oben ragenden Stiftes trägt er eine gabelartige Vorrichtung, welche die zu den Versuchen dienenden Sehproben aufnimmt. Als besonders wichtiger Teil sind auf dem Laufbrett zwei Leisten angebracht von 60 cm Länge und etwa 3 cm Breite. Ihre Drehpunkte befinden sich beide an der einen schmalen Seite des Brettes und können einander genähert, oder von einander entfernt

werden. Ihr Abstand ist an Skalen bis auf 0,1 mm ablesbar, Durch Schrauben wird ihre Feststellung in der erforderlichen Stellung ermöglicht. Mit den entgegengesetzten Enden ragen beide Leisten etwas über ihre Unterlage hervor. Nahezu in ihrer ganzen Länge sind sie geschlitzt, und da die rechte etwas höher liegt, als die linke, so können sie gekreuzt werden. In dieser Stellung ist der vorhin erwähnte Stift durch beide Schlitze hindurch gesteckt. Hierdurch wird bewirkt, dass die Mittellinien der Leisten sich stets genau unter der fixierten Sehprobe schneiden. Wenn sich daher die Drehpunkte der Augen in gleicher Höhe mit jener befinden und vertikal über den Drehpunkten der beiden Leisten stehen, so machen diese bei Annäherung des Objektes genau dieselbe Konvergenzbewegung, wie die Blicklinien. Auf beiden Leisten sind je zwei etwa 15 cm hohe Messingsäulen befestigt. Die eine derselben trägt an ihrem oberen Ende einen geeigneten Halter zur Aufnahme der Linsen, die andere einen solchen zur Einsetzung von Prismen. Diese Linsen- und Prismenhalter sind von den Säulen abnehmbar, aber auch durch Schrauben auf ihnen festzustellen. Es ist dafür gesorgt, dass bei den Versuchen die Mittelpunkte der Linsen genau in gleicher Höhe mit dem Zentrum der Sehprobe stehen. Zur Erzielung besonders starker Ablenkungen durch Prismen können je zwei derselben in einem Halter Aufnahme finden. Um endlich die Prismen in die minimal ablenkende Stellung zu bringen, sind die betreffenden Säulen um ihre Längsaxe drehbar, und es kann der Drehungswinkel auf einer kleinen Skala an ihrem Fusse abgelesen werden. Der Zeiger steht auf Null, wenn die eine Prismenfläche senkrecht steht zur Längsrichtung der Leiste. Beide Säulen können verschoben, festgestellt und abgenommen werden. Die Wirkung dieser Vorrichtung ist leicht verständlich. Wenn die Drehungsaxen der beiden Leisten durch die Drehpunkte der Augen gehen, und diese sich mit dem Objekt in gleicher Höhe über dem Laufbrett befinden, so gehen bei Betrachtung der Sehproben die Blicklinien genau durch das optische Zentrum der vorgesetzten Linse und schneiden deren Flächen senkrecht. Dies trifft bei jeder noch

so geringen Entfernung des Objektes zu, weil die Gläser infolge der Steuerung der sie tragenden Leisten die erforderlichen Augenbewegungen genau mitmachen. Dasselbe gilt von den Prismen. Haben dieselben einmal die am wenigsten ablenkende Stellung inne, so behalten sie diese auch bei allen Verschiebungen des Objektes. Um dessen Entfernung von den Drehungszentren der Augen zu messen, dienen zwei Skalen, von denen die eine, auf der obersten Leiste befindliche die Distanz von jedem der Drehpunkte angiebt, während die andere, auf dem Brett angebracht ist und den Abstand von der Verbindungslinie derselben, der Basallinie, bezeichnet. Diese Messungen sind natürlich nur dann zuverlässig, wenn der Kopf des Beobachters völlig fixiert ist. Zur Erfüllung dieser, für das Gelingen der Versuche sehr wichtigen Forderung dient der abgebildete Kopfhalter (Fig. 1 und 2). Da jede Befestigung an den Weichteilen des Kopfes durch Kinnhalter, Stirnstützen und ähnliches sich als ungenügend erwies, so wählte ich einen Zahnhalter. Ein lufeisenförmiges Holz- oder Metallstück wird auf beiden Seiten mit Guttapercha belegt und damit im erwärmten Zustande durch Hineinbeissen ein genauer Abdruck der Zähne genommen. Derselbe ist nach dem Erkalten sehr fest und widerstandsfähig. Diese Platte wird dann in eine geeignete Metallhülse eingeschraubt, welche an einem vierkantigen Stabe höher und tiefer gestellt werden kann. Zwischen der Gleitvorrichtung und der eigentlichen Hülse ist noch ein feststellbares Kugelgelenk eingeschaltet, sodass die Stellung des Kopfes eine sehr verschiedene sein kann. Der als Träger dienende Stab ist unten zweimal rechtwinkelig abgelenkt, um Kollisionen mit dem Optometer bei den Versuchen zu vermeiden. Er ist mit seinem unteren Ende in einem eisernen Fuss befestigt, der vermittels einer Metallzwinde an dem Arbeitstische festgeschraubt wird. Die auf diese Weise erzielte Fixation des Kopfes ist, wie ich mich mehrfach überzeugte, eine vollkommen zuverlässige. Angenehm ist, dass man sich nach jedem Versuche von dem Apparate entfernen kann, da man vermittels der Zahnabdrücke mit Sicherheit die frühere Lage wieder einnehmen muss.

Besondere Aufmerksamkeit musste noch den zur Fixation dienenden Objekten zugewendet werden, um die Dispersion der Prismen möglichst unschädlich zu machen. Ich verwendete hierzu ziemlich grosse, mindestens 25 cm im Quadrat messende Scheiben von harter Pappe. Sie wurden beiderseits mit mattschwarzem Papier überzogen und erhielten entsprechend der Fixationsstelle eine Öffnung. Auf dieser wurde das zu betrachtende Objekt befestigt, und zwar dienten hierzu meist rote Figuren auf schwarzem Grunde. Dieselben wurden so hergestellt, dass aus nicht glänzendem schwarzem Papier die Figur ausgeschnitten und die Öffnung mit einer bestimmten Art roten Seidenpapiers auf der Rückseite überklebt wurde. Auf dem letzteren befand sich dann noch zur Ermöglichung einer richtigen Akkommodation ein System stärkerer und feinerer schwarzer Linien. Bei Beobachtung dieser Objekte selbst durch die stärksten Prismen zeigte sich, wenn letztere im Minimum der Ablenkung standen, dass die Deutlichkeit des Bildes fast gar nicht abgenommen hatte, vielmehr waren selbst die feinsten Details noch deutlich erkennbar. Eine spektroskopische Betrachtung des Papiers ergab, dass dasselbe thatsächlich in doppelter Lage nur rotes Licht, von wenig verschiedener Brechbarkeit, durchliess. Die Beobachtungen geschahen alle bei durchfallendem Lichte. Die Sehproben erschienen dann leuchtend rot auf tiefschwarzem Grunde. Eine störende Verzeichnung wurde dadurch vermieden, dass die betreffenden Bilder keine grosse Ausdehnung erhielten. Einige Modifikationen, die zu manchen Versuchen erforderlich waren, sollen an den betreffenden Stellen beschrieben werden. Beim Arbeiten des Abends wurde das Zimmer völlig verdunkelt und nur das Objekt durch einen kleinen Projektionsapparat erleuchtet.

§ 6. Bestimmung der verwendeten Prismen und Linsen

Bevor mit diesen Hilfsmitteln die eigentlichen Versuche angestellt werden konnten, musste noch die Refraktion der anzuwendenden Brillengläser und Prismen festgestellt werden. Denn bekanntlich bezeichnen die auf ersteren angegebenen

Nummern meist nur den Krümmungsradius der Flächen in Zollen. Setzt man in der Formel für die Brennweite

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$$

den Brechungsexponenten

$$n = 1,5$$

und

$$r = r_1,$$

so findet man in der That

$$f = r.$$

Die Bezeichnung würde dann stimmen; da aber Exponent des Glases meist von 1,5 etwas abweicht, so ist die Angabe in der Regel etwas fehlerhaft, abgesehen davon, dass man nicht weiss, auf welches Zollsystem sie sich bezieht. Prismen sind sogar meistens nur mit dem angeblichen Prismenwinkel bezeichnet und enthalten nichts über die minimale Ablenkung. Die Regel, dieselbe gleich dem halben Flächenwinkel anzunehmen, kann bei exakten Versuchen leider nicht verwendet werden. Der Zusammenhang wird vielmehr durch die Formel ausgedrückt

$$\sin \frac{1}{2} (\alpha + \varphi) = n \sin \frac{1}{2} \varphi,$$

wo φ der Prismenwinkel, α der kleinste Ablenkungswinkel und n der Brechungsexponent ist.

Herr Professor Dr. Dorn hierselbst gestattete mir gütigst, in dem ihm unterstellten physikalischen Laboratorium der Universität und unter seiner persönlichen Anleitung die nötigen Messungen mit aller wünschenswerten Genauigkeit auszuführen. Die Bestimmung der Prismen erfolgte mit dem Refraktometer. Da bei den späteren Versuchen stets rotes Licht in Betracht kam, so wurde bei der Untersuchung des Ablenkungswinkels auf die rote Linie α des Lithiums eingestellt. Sodann wurde auch der Prismenwinkel einer Kontrolle unterzogen. In beiden Fällen ward bis auf eine Minute genau gemessen. Es zeigte sich hierbei, dass die Schleifung bei den aus verschiedenen Quellen bezogenen Prismen durchschnittlich eine recht schlechte

war. Namentlich waren die Flächen häufig nicht eben, sondern schwach konvex. Solche Stücke, bei denen dies in stärkerem Masse der Fall war, wurden zu den Versuchen nicht verwendet. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle I dargestellt. In der ersten Kolonne stehen die Nummern der Prismen, also die angeblichen Prismenwinkel, in der zweiten die wirklichen, durch Messung gefundenen Werte der letzteren; in der dritten befindet sich der Ablenkungswinkel, in der vierten der Brechungsexponent des Glases, wie er sich nach der Formel ergibt

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2} (g + a)}{\sin \frac{1}{2} g}$$

Tabelle I.

Nummer des Prismas.	Prismenwinkel.	Ablenkungswinkel.	Brechungsexponent.
3	3° 17'	1° 42' 15"	1,521
4	3° 34'	1° 50' 30"	1,516
5	4° 36'	2° 18' 30"	1,501
6	6° 3'	3° 1' 30"	1,499
7	8° 11'	4° 15'	1,517
8	8° 43'	4° 24' 30"	1,504
10	9° 26'	4° 45'	1,501
12	11° 14'	5° 42' 45"	1,505
14	13° 28' 30"	7° 10'	1,527
16	16° 21' 30"	8° 29' 30"	1,512
20	19° 18' 30"	9° 53' 30"	1,503
24	22° 31'	11° 36' 45"	1,503
36	36° 58'	20° 12'	1,525
40	39° 56' 30"	22° 6'	1,509

Ausserdem wurden noch mehrere Prismen paarweise so kombiniert, dass die einander zugekehrten Flächen parallel waren, und der gemeinsame Ablenkungswinkel dieser Kombination bestimmt. Die Resultate sind in Tabelle II enthalten, deren Angaben ohne weiteres verständlich sind.

Tabelle II.

Nummern der Prismen.	Gemeinsamer Prismenwinkel.	Gemeinsamer Ablenkungswinkel.
16 u. 12	27° 35' 30"	14° 34' 45"
24 u. 8	31° 14'	16° 30' 45"
14 u. 10	22° 54' 30"	12° 6'
16 u. 7	24° 32' 30"	13°
24 u. 5	27° 7'	14° 11'
24 u. 14	35° 59' 30"	19° 49' 25"
24 u. 20	41° 49' 30"	23° 4' 45"
40 u. 8	48° 39' 30'	28° 10' 22,5'
36 u. 16	53° 19' 30"	31° 56' 52,5"
40 u. 14	53° 25'	32° 18' 15"
36 u. 20	56° 16' 30"	34° 16' 37,5'
40 u. 20	59° 15'	37° 1' 45"
36 u. 24	59° 29'	37° 16' 22,5"

Aus Tabelle I sieht man, wie unzuverlässig die eingezitzten Nummern sind. Der Fehler hinsichtlich des Prismenwinkels beträgt im besten Falle 3' (No. 6), im schlechtesten 1° 29' (No. 24), in 8 Fällen von 14 ist die Abweichung grösser, als ein ein halber Grad. Die letzte Kolonne zeigt ausserdem, dass das Material ein recht ungleichmässiges ist, denn der Brechungsexponent (für rot) schwankt zwischen 1,499 und 1,527. Berücksichtigt man noch die erwähnte häufig falsche Schleifung, so erscheint es erklärlich, dass bei Verordnung von Prismen die Erfolge so schwankend sind, denn der Patient erhält oft ganz etwas anderes, als beabsichtigt ist. Die genaue Bestimmung und die Weglassung der schlecht geschliffenen Stücke lässt Fehlerquellen aus diesen Mängeln als ausgeschlossen erscheinen.

Die Messung der Brennweite der Brillengläser fand nach folgender einfacher und vollkommen hinreichend genauer Methode statt. Ein Fernrohr wurde auf parallele Strahlen eingestellt, sodass also ein sehr entfernter Gegenstand ohne Parallelaxe mit dem Fadenkreuz gesehen wurde. Sodann ward in gleicher Höhe mit ihm eine feine, auf Glas befindliche Skala so aufgestellt, dass die Axe des Fernrohres auf

ihr senkrecht stand. Die zu prüfende Konvexlinse setzte ich dann möglichst sorgfältig zentriert vor das Objektiv und verschob das Fernrohr, ohne die Einstellung zu ändern, so lange, bis das Bild der Skala in die Ebene des Fadenkreuzes fiel. In dieser Stellung wurde die Entfernung der Skala vom Scheitel der Linse gemessen. Da das Fernrohr auf parallele Strahlen eingestellt war, so mussten auch die von der Skala ausgehenden parallel gebrochen werden, somit befand dieselbe sich in der Brennebene des Konvexglases. Um aus der gemessenen Strecke die wahre Brennweite zu finden, muss zu derselben noch die Entfernung des zugehörigen Hauptpunktes vom Linsenscheitel addiert werden. Zu diesem Zwecke wurde die Dicke der Linse im Scheitel vermittle des Dickenmessers bestimmt. Bei schwächeren Gläsern von geringerer Dicke und grosser Brennweite konnte dann die gesuchte Korrektion gleich einem Drittel der Dicke gesetzt werden, bei stärkeren Linsen war diese Abkürzung nicht statthaft, es war vielmehr der genaue Wert zu bestimmen. Bezeichnet man mit n den Brechungsexponenten, mit d die Linsendicke, mit a den Abstand des Brennpunktes vom Scheitel und mit x die gesuchte Entfernung, so findet man die Formel

$$x = \frac{d - 2nf + \sqrt{d^2 + 4n^2 f^2}}{2n}$$

Hierin ist n nicht bekannt, man kann jedoch ohne merklichen Fehler den Koeffizienten gleich dem mittleren Brechungsexponenten der Prismen setzen, also ist

$$n = 1,509.$$

Hiernach ist x und somit auch die Brennweite bekannt.

Die Konkavlinen wurden bestimmt, indem ich sie mit einer stärkeren Konvexlinse kombinierte und nun die Brennweite dieses Systems feststellte. Hierbei mussten bei den Nummern mit kleinster Brennweite Blenden zur Beseitigung der Randstrahlen angebracht werden, da sich sonst keine deutliche Parallelaxe ergab, und daher die richtige Stellung des Fernrohrs nicht zu ermitteln war. Nur bei den drei stärksten Nummern war es hier nötig, den genauen Abstand

des Hauptpunktes vom Linsenscheitel zu berechnen, sonst war die erwähnte Vereinfachung gestattet. Bei der Berechnung der Brennweite ist es wesentlich, ob die Concav- oder die Convexlinse dem Objektiv näher liegt. Für den letzteren Fall, der für die Messungen zutrifft, gelten folgende Formeln.

Es werde bezeichnet mit

- b die Entfernung der Skala vom Scheitel der Konkavlinse,
- c der Abstand des Brennpunktes der Konvexlinse von ihrem Scheitel,
- d die Dicke der Konkavlinse,
- a der Abstand eines Hauptpunktes der Konkavlinse von dem nächsten Scheitelpunkte,
- n der Brechungsexponent,
- f die Brennweite der Konkavlinse.

Dann ist

$$a = \frac{2 b c n + (b - c) d - \sqrt{4 b^2 c^2 n^2 + (b + c)^2 d^2}}{2 [n (b + c) - d]}$$

und

$$f = \frac{(b + a) (c - a)}{(b + a) - (c - a)}$$

Die Resultate dieser Untersuchungen sind in den Tabellen III und IV dargestellt. Tabelle III enthält die Brennweite der Konvexlinsen. Unter Kolonne 1 sind die Nummern angegeben, wobei die beiden von einander unterscheidbaren Gläser derselben Nummer mit a und b bezeichnet sind. In Kolonne 2 findet sich der gemessene Abstand des Brennpunktes vom Scheitel, in Kolonne 3 die wahre Brennweite in Millimetern, während in Kolonne 4 die Brechkraft in Dioptrien steht. Eine Durchmusterung dieser Tabelle zeigt, dass die zusammengehörigen Gläser im allgemeinen gut übereinstimmen. In einzelnen Fällen jedoch finden sich erhebliche Unterschiede. So differieren No. 2¹/₂ a u. b in ihrer Refraktion um 0,5 Dioptrien. Derartige stark von einander abweichende Nummern mussten bei den Versuchen natürlich ausgeschlossen werden.

Tabelle III. Convexlinsen.

Nummer des Glases.	Abstand vom Scheitel.	Brennweite.	Brechkraft in Dioptrien.
2a	49,68 mm	52,32 mm	19,11 D.
2b	49,64 "	52,23 "	19,15 "
2 ¹ / ₂ a	62,92 "	64,94 "	15,40 "
2 ¹ / ₂ b	60,85 "	62,72 "	15,94 "
3a	74,64 "	76,23 "	13,12 "
3b	74,02 "	75,67 "	13,22 "
3 ¹ / ₂ a	86,77 "	88,33 "	11,32 "
3 ¹ / ₂ b	86,42 "	87,98 "	11,37 "
4a	99,66 "	101,2 "	9,89 "
4b	99,98 "	101,3 "	9,88 "
4 ¹ / ₂ a	110,7 "	111,8 "	8,94 "
4 ¹ / ₂ b	108,8 "	110,1 "	9,08 "
5a	124,0 "	125,3 "	7,98 "
5b	124,0 "	125,3 "	7,98 "
6a	149,5 "	150,6 "	6,64 "
6b	150,8 "	151,8 "	6,59 "
7a	174,6 "	175,7 "	5,69 "
7b	174,2 "	175,3 "	5,70 "
8a	200,8 "	201,7 "	4,96 "
8b	200,6 "	201,5 "	4,96 "
9a	227,9 "	228,7 "	4,37 "
9b	226,6 "	227,4 "	4,40 "
10a	252,6 "	253,3 "	3,95 "
10b	251,9 "	252,7 "	3,95 "
11a	278,6 "	279,3 "	3,58 "
11b	278,9 "	279,6 "	3,58 "
12a	304,6 "	305,2 "	3,28 "
12b	304,7 "	305,3 "	3,28 "
14a	352,1 "	352,9 "	2,83 "
14b	353,1 "	353,9 "	2,83 "
16a	403,4 "	403,9 "	2,48 "
16b	403,9 "	404,6 "	2,47 "
18a	465,4 "	466,0 "	2,15 "
18b	465,0 "	465,6 "	2,15 "
20a	513,8 "	514,4 "	1,94 "
21b	514,1 "	514,7 "	1,94 "
24a	624,6 "	625,1 "	1,60 "
24b	618,6 "	619,1 "	1,62 "

Nummer des Glases.	Abstand vom Scheitel.	Brennweite.	Brechkraft in Dioptrien
20 a	760,3 mm	760,8 mm	1,32 D.
30 b	760 3 "	760,7 "	1,32 "
36 a	912,8 "	913,3 "	1,10 "
36 b	924,2 "	924,6 "	1,03 "
40 a	1042 "	1043 "	0,96 "
40 b	1034 "	1035 "	0,97 "
50 a	1296 "	1296 "	0,77 "
50 b	1287 "	1288 "	0,78 "
60 a	1566 "	1566 "	0,64 "
60 b	1590 "	1591 "	0,63 "
80 a	2315 "	2315 "	0,43 "
80 b	2314 "	2315 "	0,43 "

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Konkavlin sen, deren Brennweite aus Tabelle IV ersichtlich ist. Hier ist in der ersten Spalte das Konkavglas mit negativem, das überkompensierende Konvexglas mit positivem Vorzeichen angegeben. Die zweite Spalte enthält den Abstand des Brennpunktes der Kombination vom Scheitel der Konkavlinse, die dritte die daraus nach den angegebenen Formeln berechnete wahre Brennweite der letzteren, die vierte ihre Refraktion. Auch hier ist die Übereinstimmung im allgemeinen eine gute, in einzelnen Fällen jedoch finden sich stärkere Differenzen; wie z. B. bei No. 2 $\frac{1}{2}$ und 3 $\frac{1}{2}$, die die Ausschliessung dieser Gläser von den Versuchen nötig machen.

Tabelle IV. **Concavlin sen.**

Nummern der Gläser.	Abstand vom Scheitel.	Brennweite der Concavlinse.	Brechkraft in Dioptrien.
— 2 a und + 2 a	1799	50,79	19,69
— 2 b und + 2 a	1252	51,34	19,48
— 2 $\frac{1}{2}$ a und + 2 a	232,6	62,04	16,12
— 2 $\frac{1}{2}$ b und + 2 a	208,83	64,27	15,55
— 3 a und + 2 $\frac{1}{2}$ a	358,8	75,59	13,23

Nummern der Gläser.	Abstand vom Scheitel.	Brennweite der Concavlinse.	Brechkraft in Dioptrien.
— 3 b und + 2 $\frac{1}{2}$ a	359,7	75,63	13,22
— 3 $\frac{1}{2}$ a und + 3 a	470,2	83,41	11,99
— 3 $\frac{1}{2}$ b und + 3 a	420,2	83,99	11,11
— 4 a und + 3 a	291,5	99,93	10,01
— 4 b und + 3 a	288,8	100,09	9,99
— 4 $\frac{1}{2}$ a und + 4 a	787,1	113,5	8,81
— 4 $\frac{1}{2}$ b und + 4 a	581,6	111,9	8,94
— 5 a und + 4 a	484,0	125,1	7,99
— 5 b und + 4 a	473,5	125,7	7,96
— 6 a und + 5 a	701,0	150,1	6,66
— 6 b und + 5 a	689,3	150,8	6,63
— 7 a und + 5 a	425,2	174,4	5,74
— 7 b und + 5 a	422,1	175,0	5,71
— 8 a und + 5 a	322,0	200,8	4,98
— 8 b und + 5 a	323,8	199,8	5,00
— 9 a und + 7 a	762,6	225,9	4,43
— 9 b und + 7 a	757,2	226,3	4,42
— 10 a und + 7 a	574,2	250,1	4,00
— 10 b und + 7 a	576,2	250,0	4,00
— 11 a und + 7 a	468,7	277,3	3,61
— 11 b und + 7 a	470,1	277,2	3,61
— 12 a und + 9 a	921,7	301,9	3,31
— 12 b und + 9 a	922,3	301,9	3,31
— 14 a und + 9 a	642,8	352,2	2,84
— 14 b und + 9 a	644,1	351,6	2,84
— 16 a und + 10 a	690,3	397,3	2,52
— 16 b und + 10 a	688,3	397,8	2,51
— 18 a und + 10 a	575,3	448,8	2,23
— 18 b und + 10 a	576,1	448,5	2,23
— 20 a und + 12 a	789,2	495,0	2,02
— 20 b und + 12 a	785,2	496,6	2,01
— 24 a und + 14 a	843,3	602,9	1,66
— 24 b und + 14 a	844,1	602,4	1,66
— 30 a und + 14 a	672,5	735,9	1,36
— 30 b und + 14 a	672,0	735,5	1,36
— 36 a und + 12 a	463,3	883,9	1,13
— 36 b und + 12 a	465,2	877,4	1,14
— 40 a und + 14 a	542,4	1001	1,00

Nummern der Gläser.	Abstand vom Scheitel.	Brennweite der Concavlinse.	Brechkraft in Dioptrien.
— 40 b und + 14 a	543,2	995,8	1,01
— 50 a und + 14 a	493,4	1224	0,82
— 50 b und + 14 a	492,9	1226	0,82
— 80 a und + 12 a	354,1	2136	0,47
— 80 b und + 12 a	355,1	2102	0,48

Nach diesen Vorbereitungen kann an die Versuche gegangen werden, ohne befürchten zu müssen, dass durch die angewendeten Hilfsmittel konstante Beobachtungsfehler in dieselben gelangen.

Zweiter Teil.

Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Konvergenz und Akkommodation in der Primärstellung.

§ 7. Einstellung des Apparates.

Nach sorgfältiger Prüfung des Apparates kam es zunächst darauf an, dem Kopf die gewünschte Haltung zu geben und sodann das Optometer in die richtige Stellung zu den Augen zu bringen. Die Konvergenzbewegungen werden in der reinsten Form durch die inneren und äusseren geraden Augenmuskeln ausgeführt, da die oberen und unteren geraden und schiefen Muskeln eine Einwärts- oder Auswärtsbewegung nur unter gleichzeitiger Hebung oder Senkung der Blicklinie und Rollung des Bulbus bewirken. Ich wählte daher zuerst als einfachste Versuchsbedingung diejenige Stellung der Augen zum Schädel, bei der die Blickebene, d. h. die durch die Drehpunkte und den fixierten Punkt gehende Ebene, zusammenfällt mit der Ebene des Muskelzuges der *musc. recti interni* und *externi*. In dieser Stellung können die *musc. rect. super.* und *infer.* und die *obliqui* nur dazu dienen, die Blicklinien in der genannten Ebene zu erhalten, es findet daher die Konvergenzbewegung ausschliesslich durch die *recti ext.* und *int.* statt. Zur Erzielung dieser Lage wurde der Kopfhalter auf der Tischplatte festgeschraubt und das Optometer nach Entfernung des Objekts so gestellt, dass die Linsenhalter sich in deutlicher Sehweite befanden. In dieselben setzte ich dann je ein mit Fadenkreuz versehenes Planglas und beachtete, dass deren Zentren sich in genau gleicher Höhe befanden. Hierauf blickte ich nach einer horizontalen geraden Linie und bewirkte durch Hebung und Senkung des Zahnstücks und damit des Kopfes, dass das linke Auge das linke Fadenkreuz mit der

Geraden zusammenfallend sah; bei richtiger Stellung fand dies dann auch beim rechten Auge statt, anderenfalls musste eine Korrektion eintreten. So erreichte ich, dass beide Augen sich in gleicher Höhe befanden. Hierauf wurde eine lange vertikale Gerade fixiert und dann nach innen geschickt. War die Blicklinie gehoben, so konvergierten die entstehenden Doppelbilder nach oben, war sie gesenkt, so erfolgte die Konvergenz nach unten. Durch Vor- und Rückwärtsneigen des Kopfes fand ich diejenige Lage, in welcher die Doppelbilder genau parallel blieben, und da dies die gewünschte Stellung war, so wurde das Kugelgelenk des Kopfhalters in derselben festgestellt. Dann wurde eine Sehprobe in die dazu bestimmte Vorrichtung eingesetzt, und das Zahnstück mit dem Kopf soweit vertikal verschoben, bis der Mittelpunkt des Objektes beiderseits mit den horizontalen Strichen der Fadenkreuze zusammenfiel. Es kam nunmehr darauf an, das Optometer so zu stellen, dass die Drehungsachsen seiner Leisten durch die Drehungsmittelpunkte der Augen gingen. Da mir zur Messung der Basallinie keine der von Donders angegebenen Vorrichtungen zu Gebote stand, so verfuhr ich folgendermassen. Nach Entfernung des Sehprobenträgers wurden die Leisten des Optometers parallel gestellt. Die Entfernung der beiderseitigen Fadenkreuze musste dann gleich derjenigen der Drehpunkte am Apparate sein, was durch direkte Messung und Vergleich mit den an den Skalen angegebenen Werten konstatiert ward. Darauf wurde das Optometer möglichst senkrecht zur Verbindungslinie der Augenzentra gestellt, und mit einem Auge nach einer sehr entfernten vertikalen Hauskante so visiert, dass diese sich mit dem senkrechten Strich des zugehörigen Fadenkreuzes deckte. Hierauf sah ich nach, ob diese Deckung auch bei Fixation mit dem anderen Auge stattfand, ohne die Stellung zu ändern, und wenn dies nicht zutraf, so verschob ich den betreffenden Drehpunkt, bis der Fehler gehoben war. Es wurde dann nach Ablesung an den Skalen der gegenseitige Abstand der Drehpunkte der Leisten auf beide Seiten gleichmässig verteilt, sodass diese also von der Mittellinie des Optometers gleichweit entfernt waren.

Die Sehprobe wurde dann wieder eingesetzt, die Linsenhalter auf etwa 15 cm von den Drehpunkten entfernt, und der ganze Apparat unter Vermeidung seitlicher Drehungen so nahe herangerückt, dass beide Augen das Zentrum des zugehörigen Fadenkreuzes sich mit der Mitte des Objektes decken sahen. Durch verschiedene Annäherung überzeugte ich mich, ob diese Deckung bei jeder Konvergenzstellung bestehen blieb. War dies nicht der Fall, so stand der Apparat nicht senkrecht zur Basallinie, und aus der Art der Abweichung ergab sich leicht, in welcher Richtung die Korrektion zu erfolgen hatte. Es ist klar, dass die Deckung bei den verschiedenen Stellungen des Objekts mir dann möglich war, wenn die Drehpunkte der Augen auf den Rotationsachsen des Apparates lagen. Durch die beschriebenen Maassnahmen war also die richtige Einstellung erzielt.

Zur Prüfung der erreichten Genauigkeit stellte ich die Linsenhalter auf 36,5 mm von den Drehpunkten fest. Durch einen Gehülfen liess ich dann die Entfernung der eingesetzten Linse vom Hornhautscheitel messen. Dieselbe betrug im Mittel aus mehreren Messungen 22,7 mm. Da der Drehungsmittelpunkt durchschnittlich 13,5 mm hinter dem Scheitelpunkt der Cornea liegt, so war die Entfernung des Brillenglases von demselben ($22,7 + 13,5$) oder 36,2 mm. Der Fehler beträgt also 0,3 mm, was äusserst gering ist, besonders da die Kontrollmessung wenig genau sein konnte, und überdies individuelle Abweichungen von dem Normalauge in Frage kommen. Dem Beginne der eigentlichen Versuche über die fraglichen Beziehungen stand nunmehr nichts mehr entgegen.

§ 8. Über die Maasse für Akkommodation und Konvergenz.

Es erscheint zur Vermeidung von Missverständnissen nötig, ehe zu den messenden Versuchen übergegangen wird, die für die Akkommodation und die Konvergenz angewendeten Maasse kurz zu besprechen.

Da die Akkommodation eines emmetropischen Auges umgekehrt proportional ist der Entfernung des Objektes vom

vereinigten Knotenpunkte*), so hat man die Akkommodation auf 1 Meter als Einheit gewählt und als Dioptrie bezeichnet, sodass auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. Meter Abstand Akkommodationsleistungen 2, 3, 4 u. s. w. Dioptrien erforderlich sind. Daraus folgt sofort, dass ein im Ruhezustande schon auf $\frac{1}{a}$ Meter eingestelltes Auge, oder ein auf $\frac{1}{a}$ Meter akkommodierendes bei Einstellung auf $\frac{1}{b}$ Meter nur noch $(b - a)$ Dioptrien aufzubringen hat.

Analog hat Nagel für die Konvergenz ein Maass aufgestellt; schneiden sich die Blicklinien in einer Entfernung von 1 Meter von den Drehpunkten, so besteht nach ihm eine Konvergenz von 1 Meterwinkel, beim Schnitt in $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ u. s. w. Meter Abstand beträgt die Konvergenz 2, 3 u. s. w. Meterwinkel. Wenn dieses Maass für die Konvergenzbewegung angewendet wird, so hat man die Ruhestellung zu beachten. Schneiden in dieser die Blicklinien sich $\frac{1}{2}$ Meter hinter dem Drehpunkte, so ist zur Fixation eines $\frac{1}{3}$ Meter vor demselben befindlichen Objektes eine Konvergenzbewegung von 5 Mw. nötig. Es ist hierbei zu bemerken, dass von jeder Ruhelage der Blicklinien aus die Augen bei sonst gleichen Verhältnissen infolge ein- und derselben Anstrengung denselben Winkel beschreiben müssen, woraus folgt, dass die Konvergenzbewegungen zweifellos proportional dem beiderseitigen Drehungswinkel sind. Die Relation zwischen diesem und dem Meterwinkelsystem ist folgende. In Fig. 3 seien A und B die Drehpunkte der Augen, C der fixierte Punkt, C D, A E und B F stehen senkrecht zu A B, es sei

*) L. Mauthner, Über die optischen Fehler des Auges. S. 78.

$$C A E = \alpha,$$

$$C B F = \alpha,$$

$$A D = \frac{1}{b},$$

$$A C = \frac{1}{c}.$$

Dann ist zur Einstellung auf C von der parallelen Ruhelage aus eine Konvergenzbewegung von α^0 oder c Meterwinkel erforderlich. Im Dreieck A C D ist

$$\begin{aligned} A D : A C &= \sin A C D, \\ &= \sin C A E, \end{aligned}$$

oder
$$\frac{1}{b} : \frac{1}{c} = \sin \alpha,$$

somit
$$c = b \sin \alpha.$$

Daraus folgt, dass die Meterwinkel proportional sind den Sinus der zugehörigen „Fusionswinkel“, wie nach Nagel der Winkel C A E genannt wird. Da aber ohne erhebliche Ungenauigkeit für die in Frage kommenden Fälle der Sinus dem Winkel selbst proportional ist (Nagel), so kann tatsächlich auch der Meterwinkel als Mass für die Konvergenzbewegungen dienen. Bei Angabe der gefundenen Werte für Konvergenz und Akkommodation muss man, wie erwähnt, streng genommen von der absoluten Ruhestellung ausgehen. Dies ist aber insofern misslich, als dieselbe sowohl bei der Konvergenz, als bei der Akkommodation erst sorgfältig bestimmt und dann in Rechnung gezogen werden muss. Nagel verfährt so in der That hinsichtlich der Akkommodation, misst jedoch die Konvergenz von der Parallelstellung aus, wengleich die Ruhelage der Sehaxen die mehr oder weniger divergente ist*). Da hierdurch eine gewisse Inkonsequenz entstehen dürfte, so habe ich stets einfach den reziproken Wert der Entfernung angegeben, auf welche eingestellt wird,

*) Hansen Grt. Bidrag til Laeren om Seelens Pathogeni. Nord. Ophth Tidsskrift 1888. 1—2 S. 3. Referat im Archiv für Augenheilkunde XIX. S. 228. — Derselbe. The pathogenic of divergent and convergent Strabismus. Trans. of the ophth. Soc. 1888/89.

umsomehr, als man besonders bei graphischer Darstellung der Resultate sehr leicht die thatsächliche Akkommodations- resp. Konvergenzleistung erkennt, und es ausserdem vorteilhaft ist, dass man sogleich den Abstand des fixierten Punktes vom Auge ablesen kann. Ich bin dabei dem Vorgang von Donders und Pereles gefolgt.

§ 9. Die Gleichgewichtsstellung bei verschiedener Akkommodation.

Nachdem die Apparate in der oben angegebenen Weise eingestellt waren, wurden zur Prüfung der Gleichgewichtsstellung in die Linsenhalter zwei Prismen eingesetzt, von denen das eine nach oben, das andere etwa ebenso stark nach unten ablenkte. Um die genau vertikale Ablenkung zu erzielen, blickte ich senkrecht durch das betreffende Prisma nach einer vertikalen Linie und drehte dasselbe so lange in seiner Fassung bis das durch das Glas gesehene Stück der Geraden weder nach rechts, noch nach links abgelenkt erschien. Als Sehobjekt wählte ich einen roten Balken von etwa 10 mm Länge und 1,5 mm Breite mit einigen feineren Linien zur genaueren Akkommodation. Die Herstellung war in der beschriebenen Weise erfolgt. Durch die Prismen wurde derselbe in unter einander stehenden Doppelbildern gesehen. Um die Fusions-tendenz auszuschliessen, mussten für nähere Entfernungen stärkere Ablenkungen erzielt werden, als für die Ferne. Es scheint, dass zwischen dem Fusionsbestreben für vertikale Doppelbilder und der Akkommodation ein ähnlicher Zusammenhang besteht, wie zwischen dieser und der Konvergenz. Die Sehprobe wurde nun zunächst in die weiteste erreichbare Entfernung von ungefähr 50 cm gestellt. Hierbei standen die Doppelbilder nicht genau unter einander, sondern das dem rechten Auge entsprechende mehr rechts, das andere mehr links. Sie waren also gleichnamig, woraus folgt, dass bei Akkommodation von 2 Dioptrien die Konvergenz bei mir eine etwas stärkere ist, als die zum binocularen Sehen erforderliche. Schob ich dann das Objekt langsam näher, so näherten sich auch die Doppelbilder in horizontaler Richtung, sodass

sie bei etwa 25 cm Abstand genau unter einander lagen. Bei weiterer Annäherung der Sehprobe gingen sie sogar in eine etwas gekreuzte Stellung über. Im Abstände von 16,5 cm standen sie jedoch wieder senkrecht unter einander und bei weiterer Annäherung gingen sie rasch und weit auseinander. Es ist dies leicht verständlich, da zur Erreichung der höchsten Akkommodationsleistungen ein sehr starker Willensimpuls nötig ist und dieser infolge der vorhandenen Verbindungen auch eine kräftige Konvergenzbewegung auslöst. Um die jedesmalige Konvergenzstellung zu messen, könnte man so verfahren, dass man in jedem Falle das Prisma ermittelt, welches die Bilder genau unter einander bringt. Dies Verfahren ist aber für genauere Prüfungen wenig geeignet, denn da man nur eine beschränkte Zahl von Prismen zur Verfügung hat, die möglichen Konvergenzgrade dagegen unendlich viele sind, so wird man mit Wahrscheinlichkeit niemals ein genau korrigierendes Prisma finden, sondern nur eines, welches am besten passt. Um die hieraus entstehende Fehlerquelle auszuschliessen, zog ich es vor, mehrere in horizontaler Richtung ablenkende Prismen nach einander einzusetzen und das Objekt zu verschieben, bis die Doppelbilder genau unter einander standen. Hierbei war die erreichbare Genauigkeit nur abhängig von den Grenzen der Beobachtungsschärfe, nicht aber davon, ob das nötige Prisma in der Sammlung vorhanden war, oder nicht. Vor beide Augen wurden immer möglichst wenig verschiedene Prismen vorgesetzt, unter der Annahme, dass ganz geringe Seitwärtswendungen auf die Resultate keinen Einfluss haben. Zuerst wurden die erwähnten Entfernungen ermittelt, in welchen die Bilder genau unter einander standen. Die Ablesung geschah an der auf der einen Leiste angebrachten Skala, nachdem vorher geprüft war, ob der abgelesene Wert wirklich die Entfernung des Objektes vom Drehpunkte angab. Dann wurden die vertikalen Prismen mit ihren Haltern von den Säulen abgenommen und in den linken Prismenhalter Prisma No. 3 in adducierender, d. h. nasalwärts ablenkender Stellung eingesetzt. Die genau horizontale Ablenkung wurde in ähnlicher Weise erzielt, wie vorhin die

vertikale. Nachdem die vertikalen Prismen wieder eingesetzt waren, fand sich, dass die senkrechte Stellung der Doppelbilder jetzt sowohl bei etwa 52 cm, als bei 14,4 cm Entfernung eintrat. Ebenso ward dann mit stärkeren adducierenden Prismen verfahren. Durch Drehung der Säulen erzielte ich jedesmal die erforderliche minimale Ablenkung. Jeder Versuch wurde achtmal wiederholt und aus den Einzelmessungen das arithmetische Mittel gezogen. Die verschiedenen Werte der gleichen Beobachtung differieren bei weiteren Entfernungen oft recht erheblich, doch ist der Einfluss davon auf das Resultat kein sehr bedeutender. Aus den gefundenen Werten ist dann die Konvergenz und die Akkommodation zu berechnen. In den Fällen, wo keine adducierenden Prismen verwendet wurden, ist die Konvergenz gleich dem reziproken Werte der in Metermass ausgedrückten Entfernung, bei den übrigen Beobachtungen muss die durch die Prismen bewirkte Ablenkung mit in Rechnung gezogen werden. In Figur 4 seien wieder A und B die Drehpunkte der Augen, C sei der fixierte Punkt. Durch die vorgelegten Prismen werden die Blicklinien so konvergent gemacht, dass sie sich in D schneiden. Die erreichte Konvergenz ist gleich $\frac{1}{BD}$. Nun ist

$$2 B : D B = \sin B D E,$$

somit

$$\begin{aligned} \frac{1}{BD} &= \frac{\sin F B D}{E B}, \\ &= \frac{\sin (F B C + C B D)}{E B}. \end{aligned}$$

Da aber

$$\sin C B F = E B : C B,$$

und CBD der Ablenkungswinkel des Prismas ist, so sind alle zur Bestimmung von $\frac{1}{BD}$ dienenden Stücke bekannt. Bei

Berechnung der Akkommodation hat man nur zu berücksichtigen, dass der Knotenpunkt, von welchem aus man die Entfernung hierbei zu rechnen ist, nicht zusammenfällt mit dem Drehpunkt, sondern 6,5 mm vor diesem liegt. Infolgedessen

muss von dem gemessenen Abstände jedesmal 6,5 mm subtrahiert werden. Der reziproke Wert dieser in Metern ausgedrückten Differenz giebt die gesuchte Akkommodation in Dioptrien. Thatsächlich fällt der Knotenpunkt nicht auf die Blicklinie, die Abweichung der Gesichtslinie von derselben ist jedoch so gering, dass sie ohne jeden merklichen Fehler vernachlässigt werden darf. Dagegen darf der Abstand zwischen Drehpunkt und (vereinigtem) Knotenpunkt nicht bei Seite gelassen werden. Befindet sich ein Gegenstand 10 cm vor dem Drehpunkt, so besteht eine Konvergenz von 10 Mw., und wenn die fraglichen Punkte zusammenfielen, so würde auch die Akkommodation 10 D. betragen. Mit Berücksichtigung des Abstandes findet man jedoch die Akkommodation gleich 10,7 D., also macht der Fehler hier schon 0,7 D. aus. Die Ergebnisse dieser ersten Beobachtungsreihe sind in Tabelle V in der Reihenfolge verzeichnet, wie sie erhalten wurden. Die erste Kolonne enthält die vorgesetzten adducierenden Prismen, die zweite die auf der Skala jedesmal abgelesenen Abstände vom Drehpunkt, die dritte das arithmetische Mittel der zusammengehörigen Werte, die vierte Reihe zeigt die daraus berechnete Konvergenz, die fünfte die Akkommodation.

Tabelle V.

Gleichgewicht bei verschiedener Akkommodation, durch Prismen bestimmt.

Nummern der adduc. Prismen.	Abstand des Objektes vom Drehpunkt.	Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation.
—	257 250 240 245 236 237 254 239	244,8	4,09	4,20
—	166 157 160 167 165 168 153 158	161,8	6,18	6,44
Links 3	511 510 526 538 488 532 531 529	520,6	2,43	1,95

Nummern der adduc. Prismen.	Abstand des Objektes vom Dreh- punkte.	Mittel.	Konver- genz.	Akkom- modation.
Links 3	143 144 146 143 147 140 148 142	144,0	7,39	7,27
Links 3 Rechts 4	137 136 136 138 133 140 135 139	136,8	8,25	7,68
Links 7 Rechts 6	128 133 128 129 129 130 132 130	129,9	9,61	8,10
Links 14 Rechts 12	125 128 125 127 127 127 124 124	125,9	11,28	8,38
Links 20 Rechts 24	123 125 124 123 125 124 126 122	124,0	13,55	8,51

Sehr übersichtlich werden diese Daten, wenn sie graphisch dargestellt werden, wie dies in Figur 5 geschehen ist. Die Konvergenzen sind hier als Absissen, die zugehörigen Akkommodationen als Ordinaten eingetragen. Jeder Punkt bezeichnet eine Beobachtung, die Curve ist mit einiger Umsicht durch diese Punkte hindurchgelegt worden. Die ausserdem eingetragene, schräg durch den Nullpunkt gehende Linie ist die „Konvergenzlinie“, sie giebt an, welche Konvergenz sich jeder Akkommodation beim binokularen Sehen assoziieren muss. Fielen Drehpunkt und Knotenpunkt zusammen, so würde diese Linie eine Gerade sein und den rechten Winkel halbieren, da dann bei der binokularen Fixation Akkommodation und Konvergenz gleich wären.

Während die vorstehenden Versuche nach der zu Gleichgewichtsbestimmungen allgemein benutzten Methode angestellt sind, so kann man dieselben zur Kontrolle auch in anderer

Weise ausführen. Bisher wurde stets die Konvergenz korrigiert, und zwar durch Prismen, es können jedoch die Doppelbilder ebenso gut dadurch unter einander gebracht werden, dass man die Akkommodation durch vorgesetzte Linsen beeinflusst. Aus Figur 5 ist dies leicht ersichtlich. Beispielsweise tritt eine Konvergenz von 8 Mw. ein bei einer Akkommodation von etwa 7,5 D. Stellt man daher das Objekt in $\frac{1}{8}$ m Abstand von den Drehpunkten und setzt durch Konvexlinsen die Akkommodation auf 7,5 D. herab, so werden sich die Doppelbilder genau unter einander stellen. Nach diesem Plane sind die in Tabelle VI verzeichneten Versuche ausgeführt, bei denen ich ähnlich verfuhr, wie bei der vorigen Versuchsreihe. Die vertikal ablenkenden Prismen wurden dabei in die Prismenhalter eingesetzt, die Linsenhalter standen 36,5 mm von den Drehpunkten entfernt und dienten zur Aufnahme der erforderlichen Linsen. Das Objekt blieb dasselbe. Nachdem zunächst wieder die Stellungen ermittelt waren, in denen die Bilder vertikal unter einander standen, wurden nach und nach immer stärkere Konvexgläser eingesetzt und die richtige Stellung der Doppelbilder durch Verschiebung des Objektes erreicht. Aus den gewonnenen Massen wurde die Konvergenz und Akkommodation berechnet. Erstere war einfach gleich dem reziproken Wert des in Metermass auszudrückenden Abstandes, letztere ward folgendermassen gefunden. Subtrahiert man den Abstand des Glases vom Drehpunkt von der Entfernung des Objektes von demselben Punkte, so erhält man die Distanz des Objektes von der Linse; vermittels deren Brennweite findet man nach bekannter Formel den Abstand des Bildes von der Linse. Wenn man hierzu den Abstand des Knotenpunktes von der Linse addiert, so hat man in dem reziproken Werte dieser Summe die gesuchte Akkommodation. Beispielsweise brachte Linse (+ 10) die Doppelbilder unter einander, wenn das Objekt 105,5 mm entfernt war. Es betrug im Mittel aus beiden Linsen die Brennweite 253,0 mm, der Abstand des Objektes von der Linse betrug 69,0 mm. Ist a die Entfernung des Bildes von der Linse, so gilt die Gleichung

$$\frac{1}{69,0} - \frac{1}{a} = \frac{1}{253'}$$

daher ist

$$a = \frac{253 \cdot 69}{253 - 69}$$

$$= 94,87.$$

Somit ist das Bild vom Knotenpunkte (94,87 + 30) mm oder 0,12487 m entfernt. Die Akkommodation beträgt mithin 8,01 D. Die Einrichtung der Tabelle VI ist dieselbe, wie die der vorhergehenden, nur mit dem Unterschiede, dass sich in der ersten Vertikalreihe die Nummern der verwendeten Konvexlinsen befinden.

Tabelle VI.
Gleichgewicht bei verschiedenen Akkommodationen, durch Linsen bestimmt.

Nummern der Linsen.	Abstand des Objektes vom Drehpunkte.	Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation.
—	245 253 243 228 231 240 240 227	238,4	4,19	4,31
—	170 155 165 153 163 157 166 160	161,1	6,21	6,47
+ 60	535 508 485 488 520 584 135 502	513,4	1,95	1,40
+ 60	139 138 133 135 141 138 135 139	137,3	7,28	7,26
+ 80	329 318 319 336 337 341 334 327	330,1	3,03	2,73
+ 36	129 129 132 132 132 126 128 131	128,9	7,70	7,46

Nummern der Linsen.	Abstand des Objektes vom Drehpunkte.	Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation
+ 20	120 119 120	120,4	8,31	7,68
	122 120 122			
	121 119			
+ 10	105 105 106	105,5	9,48	8,01
	104 107 106,5			
	104,5 106			

Nach dieser Methode sind Gleichgewichtsversuche anscheinend bisher noch nicht unternommen worden. Eine graphische Darstellung der Resultate giebt Figur 6. Eine Vergleichung beider Tabellen und besonders der zugehörigen Figuren (5 u. 6) zeigt, dass dieselben in ihren entsprechenden Teilen nahezu vollkommen übereinstimmen. Daraus folgt, dass nicht blos die Resultate hinreichend genau sind, sondern auch, dass ausser der Akkommodation keine weiteren Umstände die Konvergenz beeinflusst haben. Solche Einflüsse existieren zweifellos. So wird von Alfr. Gräfe das Konvergenzgefühl angeführt*), Hansen Grut erwähnt das Nahebewusstsein, und Fick**) fand, dass unter Umständen die Vorstellung von der räumlichen Lage eine genügende Einstellung bewirken könne. Besonders folgende Thatsachen sprechen für das Vorhandensein von derartigen Momenten (Alfr. Gräfe).

1. Presbyopen stellen diesseits des Nahepunktes das verdeckte Auge richtig ein.

2. Dasselbe thun Personen mit diphtherischen Lähmungen.

*) Beiträge zur Kenntniss der bei Entwicklung und Hemmung strabotischer Ablenkung wirksamen Einflüsse. Von Alfr. Gräfe, von Gräfes Archiv, Bd. 32. 2., S. 223. — Über die Einstellung der Augen bei Unterbrechung des binokularen Sehens. Von Alfred Gräfe, von Gräfes Archiv, Bd. 35. 1, S. 137. — Noch einmal die Konvergenzfaktoren. Von Alfred Gräfe, von Gräfes Archiv, Bd. 35. 3, S. 265.

**) A. E. Fick. Über die Faktoren der Sehaxenkonvergenz. S.-A. aus dem Korrespondenzblatte für Schweizer Ärzte XIX.

3 Auch die exakte Einstellung bei Anisomatropen spricht dafür.

4. Myopen haben meist jenseits des Fernpunktes keine latente Divergenz.

5. Bei nicht schielenden Hyperopen tritt oft nach Korrektion kein latentes Schielen nach aussen ein.

6. Bei Brillen tragenden nicht manifest oder latent schielenden Hyperopen tritt ohne Brille häufig ebenfalls kein latenter Strabismus ein.

7. Analog ist das Verhalten bei Atropinisierung. Hier findet man ebenfalls bisweilen die Normalstellung.

Besonders hervorzuheben ist, dass nach A. Gräfe das Konvergenzgefühl selbst gegen das Akkommodationsgefühl die richtige Einstellung hervorrufen kann.

Hätte einer der angeführten Einflüsse sich bei den vorstehenden beiden Versuchsreihen geltend gemacht, so müssten dieselben doch irgend eine deutliche Abweichung von einander zeigen, da unter den verschiedenen Versuchsbedingungen, das eine Mal mit Anwendung von Prismen, das andere Mal mit Linsen, auch die Wirkung jener störenden Momente eine verschiedene hätte sein müssen. Die grosse Übereinstimmung beider Ergebnisse beweist somit, dass dieselben in der That diejenige Konvergenz angeben, welche sich unter der alleinigen Wirkung der Akkommodation einstellt. Allerdings waren gewisse Vorsichtsmassregeln erforderlich. Das Zimmer musste ganz verdunkelt werden, sodass nur das Sehobjekt in der angegebenen Weise erleuchtet war. Alle Mittel, welche ausser der Akkommodation eine Orientierung über die Lage desselben gestatteten, wurden nach Möglichkeit beseitigt. Endlich wurde auf absolute Sauberkeit der Gläser und Abwesenheit von Reflexen an deren Flächen geachtet. Ich bemerkte dann oft, dass die anfänglich über einander stehenden Doppelbilder bei längerer, ruhiger Betrachtung langsam gekreuzte oder auch gleichnamige wurden, um dann still zu stehen. Das rührt offenbar daher, dass die anfänglich anderweitig beeinflusste Konvergenz bei Ausschluss aller störenden Umstände auf das allein durch die Akkommodation bedingte Mass zurückkommt.

Nachdem ich mich so von der Zuverlässigkeit der Versuche überzeugt hatte, wurden dieselben auch auf den noch übrigen Teil des Akkommodationsgebietes ausgedehnt.

Um zunächst für grössere Entfernungen das Gleichgewicht zu prüfen, wurde, da das Optometer nur 55 cm lang ist, gleichzeitig die Akkommodation durch Konvexlinsen und die Konvergenz durch Prismen herabgesetzt, und im übrigen wie bisher verfahren. Zur Vermeidung der bei gleichzeitiger Anwendung von Prismen und Linsen auftretenden und bereits erörterten Fehler wurden von beiden nur schwache Nummern verwendet. Behufs Erreichung des gewünschten Effektes musste daher das Objekt weit vom Auge entfernt werden. Es wurden die beiden in Tabelle VII verzeichneten Versuche gemacht.

Tabelle VII.
Gleichgewicht für grössere Entfernungen.

Linse.	Prismen.	Abstände vom Drehpunkte.		Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation.
+ 20	Links 7	539	533	532,4	— 0,11	+ 0,16
	Rechts 6	528	535			
	abdu-	532	538			
	cierend.	525	519			
+ 36	Rechts 3	514	528	514,1	1,48	1,04
	abdu-	502	513			
	cierend.	525	518			
		501	512			

Dieselben waren recht schwierig, da einerseits die vielen brechenden Flächen vor jedem Auge, sechs an Zahl, etwas störten, sodann aber das „Nahebewusstsein“ sich in unverkennbarer Weise geltend machte. Es war sehr schwer, sich von dem Vorurteil frei zu machen, dass sich die Bilder nahe den Augen befänden. Infolgedessen schwankten die Doppelbilder zuerst unruhig hin und her, je nach dem bald die Akkommodation, bald das Nahebewusstsein die Oberhand gewann.

Erst bei sorgfältiger Einhaltung der oben besprochenen Vor-
sichtsmassregeln wurden die Beobachtungen hinreichend sicher.
Aus den gewonnenen Massen wurde die Konvergenz wie in
der ersten Versuchsreihe dieses Paragraphen, die Akkommo-
dation wie in der zweiten berechnet.

Den Versuchen über das Gleichgewicht lässt sich endlich
ein Abschluss geben durch Bestimmung des absoluten Nahe-
punktes und Fernpunktes der Fusion und Akkommodation.
Denn da nach den bisherigen Ergebnissen mit der Akkommo-
dation auch die Konvergenz wächst, so liegt die Vermutung
nahe, dass sich deren höchstem Grade auch die höchste Akkom-
modation zugeselle, und ebenso, dass bei völliger Akkommo-
dationsruhe sich die Blicklinien ebenfalls in ihre (divergente)
Ruhestellung begeben. Dass dies stattfinden muss, soll im
nächsten Paragraphen nachgewiesen werden. Am einfachsten
gestaltete sich die Bestimmung des absoluten Akkommoda-
tionsnahepunktes, da das Objekt nur so nahe gebracht werden
musste, als es eben noch unter Aufgabe des Einfachsehens
vollkommen scharf sichtbar war. Das Ergebnis war folgendes:

Tabelle VIII.

Absoluter Akkommodationsnahepunkt.

Abstand des Objekts vom Dreh- punkte.	Mittel.	Akkom- modation.
120 121 123	123,5	8,55 D
125 124 125		
124 120 130		
123		

Die maximale Akkommodation betrug also 8,55 Dioptrien.

Zur Ermittlung des absoluten Fernpunktes derselben
wurden Konvexlinsen vorgesetzt und ohne binokularen Sehaft
geprüft, wie weit das Objekt hinausgeschoben werden konnte,
ohne undeutlich zu werden. Der Versuch wurde mit drei
Linsennummern gemacht und damit folgende Werte gefunden:

Tabelle IX.

Absoluter Akkommodationfernpunkt.

Linse.	Abstand des Objekts vom Drehpunkte.	Mittel.	Akkommodation.
+ 10	290	292,3	— 0,035
	295		
	293		
+ 5	162	162,3	-- 0,032
	162,5		
	162,5		
+ 18	518	511,0	— 0,035
	505		
	510		

Mittel: — 0,034 Dioptrien.

Es besteht also bei mir eine minimale Spur von Hypermetropie, da der absolute Fernpunkt $\frac{1}{0,034}$ oder etwa 30 Meter hinter dem Knotenpunkt liegt.

Der absolute Fusionsfernpunkt oder Ruhepunkt der Konvergenz wurde durch abducierende, d. h. horizontal nach aussen ablenkende Prismen bestimmt. Es wurden in dieser Art mehrere Nummern nach einander eingesetzt und das Objekt jedesmal so weit entfernt, als es ohne genaue Akkommodation noch einfach gesehen wurde. Die in Tabelle X eingetragenen Resultate differieren ziemlich bedeutend, der Mittelwert (— 1,63 mw) stimmt jedoch mit denjenigen mehrerer Nachprüfungen gut überein. Gerechnet wurde wie bei Tabelle V.

Tabelle X.
Absoluter Fusionsfernpunkt.

Abducierende Prismen.	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.	Mittel.	Konvergenz in Meterwinkeln.
Rechts 20 Links 24	252 253 261 260	256,5	— 1,99
Rechts 14 Links 16	353 362 355 364	358,5	— 1,43
Rechts 14 Links 12	490 505 515 504	503,5	— 1,52

Mittel: — 1,63 Mw.

In der Ruhelage schneiden sich bei mir also die Blicklinien $\frac{1}{1,63}$ Meter oder etwa 60 cm hinter dem Drehpunkte jedes Auges. Dies Ergebnis liegt innerhalb der von anderen Untersuchern gefundenen Grenzen.

Behufs Messung endlich des absoluten Fusionsnahepunktes konnte man das Sehobjekt nähern, bis es nicht mehr einfach gesehen wurde. Da bei der geringen in Frage kommenden Entfernung jedoch kleine Messungs- und Aufstellungsfehler bedeutende Beobachtungsfehler bedingen, so wendete ich eine erheblich genauere Methode an. Als Objekt dienten zwei in gleicher Höhe befindliche und von der Mittellinie des Optometers gleich weit entfernte, ganz übereinstimmende Objekte, deren gegenseitiger Abstand bekannt war. Durch starkes Einwärtsschielen gelang mir die Verschmelzung in der Weise, dass das rechte Bild mit dem linken Auge, und umgekehrt fixiert wurde. Vermittels Annäherung bestimmte ich die

Grenze, bis zu welcher dies Manöver ausgeführt werden konnte. Bei der Feststellung derselben war der Willkür insofern ein gewisser Spielraum gelassen, als die höchsten Grade der Konvergenz nicht auf längere Zeit inne gehalten werden können. Wählte man diejenige Entfernung als Grenze, in der die Fusion nur auf einen Moment gelang, so wurde die Beobachtung sehr unsicher; es wurde daher derjenige Abstand zur Bestimmung des absoluten Fusionsnahepunktes genommen, in der die Verschmelzung während einer Sekunde (nach Pendelschlag) dauernd möglich war. Bei diesem Versuch wurde die senkrechte Entfernung des Objektes von der Basallinie gemessen und daraus die Konvergenz folgendermassen berechnet: In Figur 7 seien A und B die Drehpunkte der Augen, E und G die fixierten Objekte, HF das Mittellot von AB und EG, ED stehe senkrecht auf AB. Dann ist $\frac{1}{BC}$ die gesuchte Konvergenz. Es ist BH die halbe Basallinie, ferner EF der halbe Abstand der Objekte und ED der gemessene Abstand. Es ist:

$$\begin{aligned} HB : BC &= \sin BHC \\ &= \sin BED. \end{aligned}$$

somit

$$\frac{1}{BC} = \frac{\sin BED}{BH}.$$

Da aber

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} BED &= BD : ED \\ &= (DH + BH) : ED \end{aligned}$$

ist, so ist auch $\frac{1}{BC}$ bekannt. Die Berechnung ergab folgendes:

Für ED waren die Werte gefunden

142	135	142
138	139	141.

Im Mittel war somit

$$ED = 139,5 \text{ mm.}$$

Ferner war bei mir die halbe Basallinie

$$BH = 32 \text{ mm,}$$

und endlich

$$DH = 66 \text{ mm.}$$

Sonach findet man durch Substitution

$$\operatorname{tg} B E D = \frac{98}{139,5'}$$

daher ist

$$B E D = 35^{\circ} 5' 20'',$$

und

$$\frac{1}{B C} = 17,96 \text{ Mw.}$$

Die erhaltenen letzten 4 Werte gehören paarweise zusammen, da die maximale Konvergenz von 17,96 nur bei der stärksten Akkommodation von 8,55 D. eintritt, und die Ruhestellung der Konvergenz nur bei Mangel jeder Akkommodation eingenommen wird, wobei eine Hypermetropie von 0,034 D. vorhanden ist. Ein vollständiges Bild der einer jeden Akkommodation assoziierten Konvergenz erhält man somit, wenn man diese Messungen vereinigt mit den in Tabelle V und VII enthaltenen, wie dies in der folgenden Tabelle XI und der zugehörigen Figur 8 geschehen ist.

Tabelle XI.

Gleichgewicht im gesammten Akkommodationsgebiete.

Konvergenz.	Akkommodation.
— 1,63	— 0,03
— 0,11	+ 0,16
+ 1,48	1,04
2,43	1,95
4,09	4,20
6,18	6,44
7,39	7,27
8,25	7,68
9,61	8,10
11,28	8,38
13,55	8,51
17,96	8,55

Eine Wiederholung dieser Versuchsreihe stellt Tabelle XII und die entsprechende Linie in Figur 9 dar.

Tabelle XII.
Gleichgewicht im gesamtten Akkommodationsgebiete.

Konvergenz.	Akkommodation.
- 1,69	- 0,10
- 0,13	+ 0,13
+ 1,43	+ 0,97
2,01	1,51
2,38	1,94
3,95	4,05
6,48	6,77
7,41	7,29
8,23	7,66
9,50	8,00
11,23	8,32
13,48	8,42
17,69	8,43

Die Gleichgewichtsbestimmung dürfte hiermit zum ersten Mal für das ganze Akkommodationsgebiet vollständig vorliegen. Die in Figur 8 und Figur 9 durch die Einzelbeobachtungen gelegte Kurve könnte passend als „Gleichgewichtslinie“ bezeichnet werden. Dieselbe zeigt einen schwach S-förmigen Verlauf, indem sie sich an ihrem oberen und unteren Ende in ihrer Richtung am meisten an die Abscissenaxe anschliesst. Von besonderem Interesse ist ihr Verhalten zu der Konvergenzlinie. Bei Akkommodationsruhe weicht sie erheblich nach links von dieser ab, da in diesem Falle Divergenz eintritt. Dass dies Verhalten das normale ist, wird nicht nur von Hansen Grut angegeben, sondern folgt auch daraus, dass im Schlafe und in der Chloroformmarkose ebenfalls die Augenachsen divergieren. Auch bei dem „geistesabwesenen Blick“ in Gedanken versunkener Personen gewahrt man bisweilen eine deutliche Divergenz. Sobald jedoch bei mir eine geringe Akkommodation eintritt, so nimmt, wie aus den Figuren 8 und 9 ersichtlich, die Divergenz sehr rasch ab, sodass beim Blick auf 3 Meter schon die zum Binokularsehen erforderliche

Konvergenz vorhanden ist. Bei weiterem Wachstum der Akkommodation wird die Zunahme der Konvergenz sogar etwas stärker, als nötig, es bildet sich ein ganz geringer Grad von latentem Strabismus convergens aus, der jedoch nur 0,5 Mw. oder 0,8 Grad erreicht. Nachdem dieses Maximum bei 1,5 D. eingetreten ist, wächst nunmehr die Konvergenz langsamer, als die Akkommodation, sodass bei etwa 4,2 D. wieder die zur binokularen Fixation dienende Stellung erreicht ist. Dann tritt sogar eine Spur von latenter Divergenz ein, bei 6,5 D. jedoch ist die Einstellung wieder ganz genau und bei den nun folgenden höchsten Akkommodationsgraden entwickelt sich ein erst langsamer, dann immer schneller wachsender latenter Strabismus convergens. Dass bei der Prüfung auf mittlere Entfernungen die Konvergenz langsamer zunimmt, als die Akkommodation, hat auch Schiötz für die meisten Fälle gefunden. Die starke Abweichung bei kräftiger Akkommodation steht in Übereinstimmung mit der schon von Donders angegebenen Thatsache, dass die höchsten Grade der Akkommodation nur unter starker Einwärtswendung der Augen erreichbar sind. Wengleich sich diese Angabe zunächst nur auf die relativen Nahepunkte bezieht, so ist doch zweifellos ein anderes Verhalten der Gleichgewichtslinie danach nicht denkbar. Beachtenswert ist noch, dass für die meisten in Betracht kommenden Distanzen die Differenz zwischen Gleichgewichts- und Fixationsstellung nur eine sehr geringe ist, sodass durch das Fusionsbestreben und die anderen erwähnten Faktoren die richtige Einstellung leicht erzielt werden kann. Für die weitesten Entfernungen kommt noch hinzu, dass geringe Ungenauigkeiten in der Akkommodation keine erhebliche Undeutlichkeit des Bildes bewirken*). Akkommodiere ich z. B. beim Blick auf Unendlich mit 0,2 D., so tritt schon die erforderliche Parallelstellung ein, ohne dass die Schärfe des Bildes wesentlich abnimmt. Das der Gleichgewichtslinie zu Grunde liegende Gesetz kann erst erörtert werden, nachdem die relativen Nahe- und Fernpunkte bestimmt sind.

*) L. Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges I.

Diese letzteren Untersuchungen bilden daher den Gegenstand des nächsten Abschnitts.

§ 10. Die relative Akkommodationsbreite und die relative Fusionsbreite.

Von der unter dem ausschliesslichen Einflusse der Akkommodation eintretenden Gleichgewichtsstellung können unter geeigneten Umständen Abweichungen eintreten. Den mächtigsten Einfluss in dieser Richtung übt das Fusionsbestreben aus, indem durch dasselbe die bei einer unrichtigen Stellung der Blicklinien auftretenden Doppelbilder vereinigt werden können, vorausgesetzt, dass sie keine erhebliche Höhendistanz aufweisen. Es wird dies natürlich durch veränderte Konvergenzstellung herbeigeführt, da die Augen eine solche Lage beim binokularen Sehen einnehmen müssen, dass die Netzhautbilder auf identische Punkte fallen. So kann, wie schon erwähnt, nicht nur bei konstanter Akkommodation die Konvergenz variieren, sondern auch bei bestimmter Augenstellung auf verschiedene Entfernung akkommodiert werden. Die Ermittlung der Grenzen für den letzteren Spielraum führt zur Auffindung der relativen Akkommodationsbreiten. Konnte beispielsweise bei 3 Mw. Konvergenz die Akkommodation bis auf 0,1 D. erschlaft und bis zu 6,7 D. gesteigert werden, so betrug für diese Stellung die relative Akkommodationsbreite 6,6 D. Zur Bestimmung derselben verfuhr ich nach dem von Donders angegebenen und hauptsächlich angewendeten Verfahren. Es wurden den Augen zunächst Konkavlinsen vorgesetzt, und dann das Objekt so weit genähert, bis es entweder doppelt oder verschwommen erschien. Hierdurch ergaben sich auf dem Wege der bei Tabelle VI angewendeten Rechnung die relativen Nahepunkte. Indem ferner ebenso Konvexlinsen angewendet wurden, und man das Objekt bis zur Grenze des gleichzeitigen Deutlich- und Einfachsehens entfernte, fanden sich die relativen Fernpunkte in derselben Weise. Ich bemerkte übrigens, dass bei grösseren Entfernungen die Bilder an der Grenze zuerst doppelt, bei näheren dagegen zuerst undeutlich wurden; es überwog also

im ersteren Falle die Akkommodation, im letzteren das Fusionsbestreben. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle XIII und XIV und nebst den absoluten Nahe- und Fernpunkten in Figur 10 verzeichnet. Es zeigt sich, dass die maximale mögliche Akkommodation bei gleichmässig zunehmender Konvergenz erst schnell, dann immer langsamer wächst, bis sie zuletzt nahezu konstant bleibt. Genau das umgekehrte Verhalten zeigt die minimale Akkommodation. Noch bei 9,5 Mw. Konvergenz beträgt dieselbe kaum eine Dioptrie und erst bei stärkerer Einwärtsdrehung nimmt sie rasch zu

Tabelle XIII.

Relative Nahepunkte der Akkommodation, durch Linsen bestimmt.

Nummer der Linse.	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.	Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation.
— 8	372 406	405,0	2,47	6,26
	411 421			
	412 408			
— 9	230 271	239,3	4,18	7,31
	197 277			
	207 253			
— 10	186 239	207,5	4,82	7,61
	189 222			
	189 220			
— 16	171 163	161,2	6,20	8,01
	152 154			
	161 166			
— 30	140 152	143,2	6,98	8,12
	145 142			
	145 135			
Binokularer Nahepunkt.	129 122	126,0	7,94	8,37
	127 127			
	127 124			
+ 10	101 105	101,8	9,82	8,48
	100 102			
	102 101			

Abstand der Linsen vom Drehpunkt: 36,5 mm.

Tabelle XIV.

Relative Fernpunkte der Akkommodation, durch Linsen bestimmt.

Nummer der Linse	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.	Mittel.	Konvergenz.	Akkommodation.
+ 18	490 473	494,2	2,02	+ 0,04
	476 500			
	517 509			
+ 12	334 336	334,0	2,99	0,09
	332 336			
	333 333			
+ 9	260 255	257,3	3,98	0,14
	256 255			
	257 261			
+ 7	2 0 210	206,5	4,84	0,18
	208,5 209,5			
	203 207			
+ 5	155,5 155,0	156,6	6,39	0,34
	157,0 156,0			
	158,0 158,0			
+ 4	132,0 133,5	132,2	7,56	0,56
	130,0 132,0			
	130,0 134,5			
+ 3½	120,5 119,0	119,5	8,37	0,69
	118,0 119,5			
	120,0 120,0			
+ 3	107,5 106,5	107,1	9,34	0,97
	107,5 108,0			
	106,0 107,0			

Abstand der Linsen vom Drehpunkt: 36,5 mm.

Die relative Akkommodationsbreite ist im absoluten Fernpunkte gleich Null, sie nimmt anfänglich schnell, später immer langsamer zu, wird bei etwa 7 Mw. wo sie ihr Maximum von 7,8 D. erreicht, nahezu konstant, wird dann erst langsam, dann schneller wieder kleiner und ist im absoluten Nahepunkte wieder Null. Da die absolute Akkommodationsbreite 8,58 D. beträgt, so können bei den verschiedenen Konvergenzstellungen im allgemeinen recht erhebliche Beträge derselben aufgewendet

werden, bis zu etwa 90 Prozent. Bei parallelen Blicklinien beträgt die relative Akkommodationsbreite bei mir 3,5 D., es kann also bis auf 28,6 cm heran scharf gesehen werden. Von besonderer praktischer Wichtigkeit ist das Verhalten der Konvergenzlinie zu der Nah- und Fernpunktskurve. Erstere wird von ihr in einem Punkte p_2 geschnitten, der den binokularen Nahepunkt bezeichnet. Derselbe liegt bei mir in 126 mm Entfernung von den Drehpunkten, und auf etwas nähere Abstände kann zwar noch konvergiert, nicht aber gleichzeitig akkommodiert werden. In ähnlicher Weise giebt der Schnittpunkt r_2 mit der Fernpunktslinie den binokularen Fernpunkt an. Derselbe fällt in der Figur nahezu mit dem Nullpunkte des Koordinatensystems zusammen, d. h. mein binokularer Fernpunkt liegt fast genau in unendlicher Ferne. Es mag hierbei auf folgendes eigentümliche Verhältnis hingewiesen werden. Wenn die Augen stark divergieren können, sodass also die ganze Figur gegen das Koordinatensystem nach links verschoben wird, so ist es denkbar, dass zwar beim Blick in unendliche Ferne auch der binokulare Fernpunkt im Unendlichen liegt, dass dagegen bei maximaler Divergenz der absolute Fernpunkt sich hinter dem Auge befindet. In ganz geringem Grade trifft dies Verhältnis schon bei mir zu. Auch bei starker Myopie kann der Unterschied zwischen binokularem und absolutem Fernpunkt ein bedeutender werden, indem auf weitere Entfernungen zwar noch akkommodiert, aber nicht mehr zugleich konvergiert werden kann. Die in Figur 10 zwischen r_2 und p_2 liegenden relativen Akkommodationsbreiten werden durch die Konvergenzlinie in einen oberen, „positiven“ und in einen unteren, „negativen“ Teil geschieden. Während der erstere anfänglich etwas zunimmt und dann bis zur Null abnimmt, wächst letzterer von Null bis zu 7,7 D. Gleich gross werden beide bei nahezu 3,5 Mw. Konvergenz. Die rechts von p_2 und links von r_2 liegenden relativen Akkommodationsbreiten sind für das binokulare Sehen zunächst nutzlos, ihre grosse Bedeutung tritt erst bei Refraktionsanomalien zu Tage.

Aus Figur 10 ersieht man zugleich auch die bei jeder Akkommodation möglichen Konvergenzstellungen, und zwar

muss man hierzu die in derselben Horizontallinie liegenden Werte vergleichen. So kann bei einer Akkommodation von 3,5 D. die Konvergenz bis auf Null vermindert und bis auf 14,35 Mw. gesteigert werden. Zur Messung der jedesmaligen Grenzen dieser Bewegungsfreiheit, also zur Bestimmung der relativen Fusionsbreiten wurden unter den bereits erwähnten Kautelen abducierende und adducierende Prismen verwendet. Bisinger fand die durch Prismen bestimmten Fusionsbreiten meist sehr erheblich kleiner, als die aus den relativen Akkommodationsbreiten erschlossenen, stellenweise jedoch auch grösser. Dies rührt zweifellos von der Undeutlichkeit der durch Prismen erzielten Bilder her, es wäre jedoch auch denkbar, dass das Konvergenzgefühl und ähnliche Einflüsse dabei mitgewirkt hätten. Eine genaue Nachprüfung dürfte daher nicht überflüssig erscheinen. Ich verfuhr dabei so, dass nach Entfernung der Linsenhalter das Objekt, ein rotes Kreuz auf schwarzem Grunde, soweit genähert wurde, bis es unendlich ward. Dann setzte ich abducierende Prismen von wachsender Stärke ein, brachte sie genau in die horizontal ablenkende Stellung und näherte das Objekt wieder bis zur eintretenden Undeutlichkeit. So wurde bestimmt, bei welcher Akkommodation jedesmal die von dem Ablenkungswinkel der Prismen abhängige Verminderung der Konvergenz möglich war. Bei den diesseits des binokularen Nahepunkts liegenden Entfernungen riefen natürlich abducierende Prismen unvereinbare Doppelbilder hervor. Ich bestimmte dann durch adducierende Prismen, bei welcher minimalen Konvergenz die betreffende Akkommodation noch ausgeführt werden konnte.

Ebenso wurden die relativen Fusionsnahepunkte ermittelt. Im Gegensatze zu Bisinger fand ich, dass hierzu auch bei geringen Akkommodationsgraden sehr starke Ablenkungen erforderlich waren, sodass meist Kombinationen von je zwei Prismen für jedes Auge angewendet wurden. Zur Erzielung der horizontalen Ablenkung wurde stets erst das eine Prisma in die richtige Stellung gebracht und dann das zweite eingesetzt. Wenn sodann noch das Minimum der Ablenkung erreicht war, so konnte man eine wesentliche Beeinträchtigung

der Bildschärfe im Vergleich mit dem durch das unbewaffnete Auge betrachteten Objekt nicht konstatieren. Wie bei der Messung des absoluten Nahpunktes wurde auch hier diejenige Konvergenzstellung gewählt, welche während einer Sekunde fest innegehalten werden konnte.

Aus diesen beiden Beobachtungsreihen wurden Akkommodation und Konvergenz wie bei Tabelle V gefunden. Tabelle XV und XVI und Figur 11 stellen die Ergebnisse dieser Messungen dar.

Tabelle XV.

Relative Nahpunkte der Fusion, durch Prismen bestimmt.

Adducierende Prismen.	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.		Mittel.	Convergenz.	Akkommodation.
Rechts 40	538	485	510,3	12,16	1 99
Links 24	498	518			
und 8	522	510			
	491	520			
Rechts 24	439	458	429,6	12,84	2,36
und 14	405	423			
Links 36	445	445			
	412	410			
Rechts 24	128	123	124,9	17,86	8,45
und 14	120	125			
Links 36	129	122			
	129	123			
Rechts 40	306	292	285,1	14,48	3,59
Links 36	274	270			
	283	287			
	299	270			
Rechts 40	169	164	169,9	16,56	6 12
Links 36	182	176			
	160	165			
	174	169			

Tabelle XVI.

Relative Fusionsfernpunkte, durch Prismen bestimmt.

Nummern der Prismen.	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.		Mittel.	Konvergenz.	Akkommo- dation.
Rechts 12	159	155	156	2,87	6,69
Links 14 abducierend	156	154			
Ebenso	290	278	277	+ 0,11	3,70
	260	280			
Rechts 10	505	520	509,3	— 0,90	1,99
Links 12 abducierend	497	515			
Ebenso	142	141	142,8	4,20	7,34
	143	145			
Rechts 6	136	131	135,5	5,47	7,75
Links 7 abducierend	138	134			
Rechts 3	131,5	132,0	131,2	6,68	8,02
Links 4 abducierend	131,0	130,5			
Binokularer Nahepunkt	127,0	126,0	126,5	7,91	8,33
	126,0	127,0			
Rechts 14	124,0	124,5	123,6	12,13	8,54
Links 16 adducierend	123,0	123,0			

Die erhaltenen Kurven zeigen ebenso wie die vorigen eine grosse Regelmässigkeit. Die relativen Fusionsbreiten sind absolut viel grösser, als die relativen Akkommodationsbreiten. Man kann daher sagen, dass bei konstanter Akkommodation der Spielraum für die Konvergenz ein grösserer ist, als umgekehrt bei konstanter Augenstellung die Veränderlichkeit der Akkommodation. Ein Vergleich der relativen Fusionsbreiten mit der absoluten zeigt jedoch, dass hier das Verhältnis nicht so günstig ist, als bei der Akkommodation. Die absolute Fusionsbreite beträgt 19,59 Mw., die grösste relative nur 14,7 Mw., also etwa 75 % der ersteren, während

die maximale relative Akkommodationsbreite 90% der absoluten ausmachte. Die Konvergenzlinie teilt auch die relativen Fusionsbreiten, und zwar in einen rechten, „positiven“, und einen linken, „negativen“ Teil. Fast durchgängig sind die ersteren Abschnitte viel grösser, als die letzteren. Von der binokular fixierenden Stellung aus kann ich daher die Konvergenz weit mehr steigern, als herabsetzen. Besonders bemerkenswert ist, dass beide Teile ihr Maximum bei derselben Akkommodation, nämlich bei etwa 5 D. erreichen. Hier ist die negative Partie gleich 3,85 Mw., die positive gleich 10,9 Mw. Ein Vergleich der Figuren 10 und 11 ergibt, dass dieselben mit grosser Genauigkeit übereinstimmen. Daraus folgt, dass die von anderer Seite gefundenen Abweichungen in den Ergebnissen der beiden Versuchsanordnungen auf Beobachtungsfehler zurückzuführen sind, und dass bei meinen Versuchen wenigstens eine Störung durch das Konvergenzgefühl u. s. w. nicht hervortrat. Besonders klar tritt die Übereinstimmung in Figur 12 hervor, in welcher die beiderseitigen Ergebnisse zum Teil neben einander eingetragen sind. Mit Rücksicht hierauf sind in der folgenden Versuchsreihe zur Bestimmung der relativen Akkommodationsfernpunkte Linsen und Prismen verwendet. Die Nahepunkte wurden nur durch Prismen gefunden. Im Gegensatz zu den früheren Beobachtungen wurden diese bei ermüdeten Augen angestellt, um den Einfluss angestrenzter Nahearbeit auf die Ergebnisse zu prüfen. Das Resultat zeigt die folgende Tabelle XVII und XVIII, sowie Figur 9.

Tabelle XVII.

Relative Nahepunkte der Akkommodation, durch Prismen bestimmt.

Prismen.	Abstand des Objektes vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
Rechts 12 Links 14 abduc.	158	2,859	6,601

Prismen.	Abstand des Objektes vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
ebenso	279	+ 0,082	3,670
Rechts 10 Links 12 abduc.	498,8	— 0,845	2,031
ebenso	144,3	4,124	7,257
Rechts 6 Links 7 abduc.	136,2	5,400	7,710
Rechts 3 Links 4 abduc.	131,5	6,667	8,000
—	129,4	7,728	8,138
Rechts 14 Links 16 adduc.	125,5	12,01	8,403

Tabelle XVIII.

Relative Fernpunkte der Akkommodation, durch Linsen und Prismen bestimmt.

Prismen oder Linsen.	Abstand vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
Pr. Rechts 36 Links 24 und 14	131,6	17,47	7,930
ebenso	427,0	12,87	2,378
Rechts 40 Links 34 und 8	530,0	12,09	1,910
Rechts Pr. 40 Links 36	270,0	14,65	3,804
ebenso	196,1	15,88	5,274
Linse (+ 3)	107,4	9,311	0,906

Prismen oder Linsen.	Abstand vom Drehpunkt	Konvergenz.	Akkommodation.
+ 5	157,4	6,353	0,287
+ 8	232,0	4,310	+ 0,103
+ 18	505	1,980	— 0,013

Abstand der Linsen vom Drehpunkt: 36,5 mm.

Gleichzeitig wurden die absoluten Nahe- und Fernpunkte, wie früher, bestimmt, und fand sich dabei:

Maximale Akkommodation	8,432 D.
Maximale Konvergenz	17,69 Mw.
Refraktion	— 0,097 D.
Maximale Divergenz	— 1,690 Mw.

Es war somit Akkommodation und Konvergenz nur un- erheblich vermindert, was wohl daher rührt, dass bei gewöhnlicher Thätigkeit die besonders anstrengenden höchsten Akkommodations- und Konvergenzgrade nicht aufgebracht werden. Im Uebrigen zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede gegen früher. Die in Tabelle XVII und XVIII unter Kolonne 2 angegebenen Abstände stellen, wie früher, stets das Mittel aus mindestens 4 Einzelbeobachtungen dar. Dies gilt auch von allen folgenden Tabellen.

Unter den von früheren Untersuchern bei Emmetropen gefundenen Resultaten stimmen manche mit den meinigen gut überein, sodass die Diagramme den von mir erhaltenen (Fig. 9 u. 12) sehr ähnlich sehen. Durchschnittlich sind jedoch bei Donders, Nagel und Bisinger die relativen Akkommodationsbreiten kleiner. Eine Ausnahme bildet nur die Darstellung der von Bisinger bestimmten Nahe- und Fernpunkte des Herrn Dr. Schleich. Dagegen besteht eine unverkennbare Aehnlichkeit meiner Kurven mit den in der Arbeit von Halsch u. Pereles dargestellten, sowohl hinsichtlich der Regelmässigkeit, als auch der Form. Die Verfasser haben aus ihren Ergebnissen das für den relativen Nahepunkt und

Fernpunkt und damit auch das für die relative Akkommodationsbreite giltige Gesetz mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit abgeleitet. Bei Betrachtung der Figuren 9 und 12 ist es klar, dass einer jeden Konvergenz eine bestimmte maximale und eine ebensolche minimale Akkommodation zugehört, über, resp. unter die nicht gegangen werden kann. Da diese Grenzwerte sich mit der Konvergenz ändern, so sind sie Funktionen derselben, und es muss ein Gesetz bestehen, nach welchem bei jeder Konvergenzstellung die Akkommodation auf den relativen Nahepunkt, wie auf den relativen Fernpunkt bestimmt ist. Diese Gesetze sind identisch mit den Gleichungen der Nahe- und Fernpunktskurve, und Halsch und Pereles fanden, dass diese Kurven exponentielle sind. Nach ihnen gilt für die Nahepunktlinie die Gleichung

$$1. \quad a - y = b e^{-cx},$$

und für die Fernpunktlinie

$$2. \quad a_1 + y_1 = b_1 e^{c_1 x}.$$

Hierin sind a , b , c , a_1 , b_1 , c_1 Konstante, x ist die Konvergenz in Meterwinkeln, y die Akkommodation auf den relativen Nahepunkt, y_1 die auf den relativen Fernpunkt. Die Verfasser scheinen zu der Auffindung gerade dieses Gesetzes durch gewisse, in der Arbeit selbst nicht angegebene Erwägungen gekommen zu sein, haben die Konstanten nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt und durch Übereinstimmung der theoretischen Werte und Kurven mit den beobachteten die thatsächliche Giltigkeit ihrer Annahme bewiesen. Sodann haben sie das Gesetz aber auch experimentell direkt abgeleitet. Durch Differenzieren erhält man aus 1.

$$3. \quad \frac{dy}{dx} = c \cdot (a - y),$$

aus 2.

$$\frac{dy_1}{dx} = c_1 (a_1 + y_1)$$

und daraus weiter

$$4. \quad \frac{d y}{a - y} = c \cdot d x,$$

$$5. \quad \frac{d y_1}{a_1 + y_1} = c_1 d x_1.$$

Wählt man bei den Versuchen die Differenz zwischen den auf einander folgenden x konstant und hinreichend klein, so kann annähernd dx als Zunahme von x , dy und dy_1 als zugehörige Zunahme von y und y_1 angesehen werden, und nach den Formeln 4. und 5. muss dann diese Zunahme proportional den Grössen $(a - y)$ resp. $(a_1 + y_1)$ sein. Die Konstanten a und a_1 lassen sich leicht bestimmen, da sie von den absoluten Akkommodationsgrenzen nur wenig differieren. Es ist daher von den Verfassern die Giltigkeit jener Differentialgleichungen durch eine besondere Versuchsreihe nachgewiesen worden.

Bei der Ähnlichkeit meiner Kurven mit den eben besprochenen schien es naheliegend, dass auch für sie dasselbe Gesetz gelten möchte. Einer dahin gehenden Prüfung wurden die in Tabelle XVII und XVIII und Figur 9 aufgezeichneten Beobachtungen zu Grunde gelegt. Es wird zunächst angenommen, dass für die Nahepunktlinie die Gleichung gilt

$$1. \quad y = A - B \cdot e^{-Cx}.$$

In dieser sind die Werte der drei Konstanten A , B , C zunächst zu bestimmen. Man kann sich leicht Näherungswerte für dieselben verschaffen. Durch Logarithmieren erhält man aus 1

$$2. \quad \begin{aligned} \lg(a - y) &= \lg B - Cx, \\ &= -C \left(x - \frac{\lg B}{C} \right). \end{aligned}$$

In dieser Gleichung ist allein C für die Form der Kurve massgebend, während A und $\frac{\lg B}{C}$ allein die Lage zum Coordinatensystem beeinflussen. Indem ich daher mehrere Kurven mit der Gleichung

$$3. \quad -\frac{1}{C} \lg(-y) = x$$

konstruierte und dabei $\frac{1}{C}$ verschiedene Werte annehmen liess, überzeuete ich mich durch Vergleichung mit der Nahepunktlinie, dass C nur wenig verschieden sein kann von $\frac{1}{3,0}$. Bezeichnet man die Näherungswerte mit A_0, B_0, C_0 , so ist somit

$$4. \quad C_0 = \frac{1}{3}.$$

Setzt man diesen Wert zusammen mit den beobachteten Werten für die absoluten Nahe- und Fernpunkte (S. 59) in die Gleichung 1. ein, so folgt

$$5. \quad 8,432 = A_0 + B_0 e^{-\frac{1}{3} \cdot 17,69},$$

$$6. \quad -0,097 = A_0 + B_0 e^{\frac{1}{3} \cdot 1,69}.$$

Die Auflösung ergibt

$$7. \quad A_0 = 8,445,$$

$$8. \quad B_0 = 4,863.$$

Da mehr Beobachtungen vorliegen, als Konstante, so dient zur Ermittlung der wahren Werte der letzteren die Methode der kleinsten Quadrate, da so alle Versuche gleichmässig zu ihrer Bestimmung verwendet werden. Es seien A, B, C die genauen Werte der Konstanten. Man setze

$$9. \quad A = A_0 + \alpha,$$

$$10. \quad B = B_0 + \beta,$$

$$11. \quad C = C_0 + \gamma.$$

Ferner bezeichne man die partiellen Differentialquotienten der Gleichung 1. nach A, B, C mit a, b, c, und setze insbesondere

$$12. \quad \frac{d y}{d A_0} = a,$$

$$13. \quad \frac{d y}{d B_0} = b,$$

$$14. \quad \frac{d y}{d C_0} = c;$$

dann ist

15. $a = 1,$
 16. $b = - e^{-C_0 x},$
 17. $c = B_0 x e^{-C_0 x}.$

Setzt man A_0, B_0, C_0 nebst den beobachteten x (Tabelle XVII) in die Gleichung 1. ein, so wird man für die Akkommodation y teils wegen der Beobachtungsungenauigkeiten, teils wegen der nur annähernd richtigen Werte von A_0, B_0, C_0 Werte erhalten, die von den beobachteten etwas abweichen. Diese Werte mögen als y_0 bezeichnet werden, und die Differenz als r , sodass ist

18. $y - y_0 = r.$

Dann ist nach dem Taylorschen Satze

19. $r = a \cdot \alpha + b\beta + c\gamma.$

Durch Einsetzen der beobachteten 10 Werte für x und y erhält man auch je 10 Werte für a, b, c, r , daher vermittels Gleichung 19. durch Substitution 10 Gleichungen für α, β, γ . Nach dem Satz von den kleinsten Quadraten muss dann sein

20. $\Sigma(r - a\alpha - b\beta - c\gamma)^2 = \min.$

Durch Differenzierung nach a, b, c folgen die drei Gleichungen für α, β, γ

21. $\Sigma ar = \alpha \Sigma a^2 + \beta \Sigma ab + \gamma \Sigma ac,$

22. $\Sigma br = \alpha \Sigma ab + \beta \Sigma b^2 + \gamma \Sigma bc,$

23. $\Sigma cr = \alpha \Sigma ac + \beta \Sigma bc + \gamma \Sigma c^2.$

Durch Bildung der nötigen Quadrate und Produkte und deren Addition erhält man

$$\begin{aligned} \Sigma ar &= 0,322 & \Sigma br &= -0,04741 & \Sigma cr &= +0,01157 \\ \Sigma a^2 &= 10, & \Sigma b^2 &= 6,04650 & \Sigma c^2 &= 333,23632 \\ \Sigma ab &= -5,06416, & \Sigma ac &= 2,95522, & \Sigma bc &= 27,51167. \end{aligned}$$

Setzt man diese Werte in die Gleichungen 21. bis 23. ein, so erhält man durch Auflösung nach α, β, γ die Werte

24. $\alpha = 0,0514$
 25. $\beta = 0,0375$
 26. $\gamma = -0,0005.$

Durch Substitution in die Gleichungen 9 — 11 ergibt sich dann

27. $A = 8,4964,$

28. $B = 4,9005,$

29. $C = 0,3328.$

Die Gleichung der Nahepunktskurve würde demnach lauten

30. $y = 8,4964 - 4,9005 e^{-0,3328 x}$

Setzt man in diese Gleichung die beobachteten x ein, so fragt sich, ob und wie genau die sich ergebenden y mit den beobachteten zusammenstimmen. Die folgende Tabelle giebt darüber Aufschluss.

Tabelle XIX.

x beobachtet	y beobachtet	y ₁ berechnet	y - y ₁
2,859	6,601	6,604	- 0,003
0,082	3,670	3,728	- 0,058
- 0,845	2,031	2,005	+ 0,026
4,124	7,257	7,254	+ 0,003
5,400	7,710	7,684	+ 0,026
6,667	8,000	7,964	+ 0,036
7,728	8,138	8,122	+ 0,016
12,01	8,403	8,407	- 0,004
- 1,690	- 0,097	- 0,104	+ 0,007
17,69	8,432	8,483	- 0,051

Dieselbe enthält in der ersten Kolonne die beobachteten Konvergenzen, in der zweiten die beobachteten, in der dritten die berechneten Akkommodationen, in der vierten die Differenzen zwischen den beiden letzten Werten. Diese Differenzen sind ganz geringfügig, sie erreichen nirgends auch nur 0,1 D. und liegen somit weit unter der Grenze der bei diesen Versuchen erreichbaren Genauigkeit. Die Giltigkeit des angenommenen Gesetzes für die Nahepunktskurve ist damit bewiesen.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse hinsichtlich der Fernpunktskurve. Die supponierte Gleichung lautet:

1. $y = A e^{Bx} - C.$

Bei Einführung analoger Bezeichnungen, wie vorhin, findet man wieder durch Konstruktion

$$2. \quad B_0 = \frac{1}{3,9},$$

und daraus vermittels der absoluten Nah- und Fernpunkte

$$3. \quad A_0 = 0,09205,$$

$$4. \quad C_0 = 0,15668.$$

Ferner ist

$$5. \quad a = \frac{dy}{dA_0} = e^{B_0 x},$$

$$6. \quad b = \frac{dy}{dB_0} = A_0 x \cdot e^{B_0 x},$$

$$7. \quad c = \frac{dy}{dC_0} = 1.$$

Setzt man wieder

$$8. \quad A = A_0 + \alpha,$$

$$9. \quad B = B_0 + \beta,$$

$$10. \quad C = C_0 + \gamma,$$

ferner

$$11. \quad y_0 = A_0 e^{B_0 x} - C_0$$

und

$$12. \quad y - y_0 = r,$$

so ist wieder

$$13. \quad r = a \alpha + b \beta + c \gamma,$$

und es folgt, ganz wie oben,

$$14. \quad \Sigma ar = \alpha \Sigma a^2 + \beta \Sigma ab + \gamma \Sigma ac,$$

$$15. \quad \Sigma br = \alpha \Sigma ab + \beta \Sigma b^2 + \gamma \Sigma bc,$$

$$16. \quad \Sigma cr = \alpha \Sigma ac + \beta \Sigma bc + \gamma \Sigma c^2.$$

Man findet folgende Werte

$$\Sigma ar = 2,01606, \quad \Sigma br = 1,76268, \quad \Sigma cr = - 0,09092$$

$$\Sigma a^2 = 23140,6, \quad \Sigma b^2 = 55619,0, \quad \Sigma c^2 = 11,0,$$

$$\Sigma ab = 35723,0, \quad \Sigma ac = - 353,578, \quad \Sigma bc = - 507,746.$$

Durch Substitution dieser Werte in die vorstehenden Gleichungen und die Auflösung derselben nach α , β , γ ergibt sich

$$17. \quad \alpha = 0,00715,$$

$$18. \quad \beta = - 0,00439,$$

$$19. \quad \gamma = + 0,01911.$$

und weiterhin

20. $A = 0,09920,$

21. $B = 0,25202,$

22. $C = 0,17579.$

Demnach lautet die Gleichung der Fernpunktskurve

23. $y = 0,0992 e^{0,25202 x} - 0,17579.$

Die Vergleichung der vermittels dieser Gleichung erhaltenen y mit den beobachteten zeigt folgende Tabelle.

Tabelle XX.

x beobachtet	y beobachtet	y ₁ berechnet	y - y ₁
17,47	7,930	7,926	+ 0,004
12,87	2,378	2,366	+ 0 012
12,09	1,910	1,912	- 0,002
14,65	3,304	3,805	- 0,001
15,88	5,274	5,251	+ 0,023
9,311	0,906	0,861	+ 0,045
6,353	0,287	0,316	- 0,029
4,310	0,103	0,118	- 0,015
1,980	- 0,013	- 0,011	- 0,002
- 1,690	- 0,097	- 0,111	+ 0,014
17,69	8,432	8,388	+ 0,044

Die Differenzen in der letzten Kolonne sind noch kleiner, als bei der Nahepunktskurve und vollkommen als Beobachtungsfehler aufzufassen, da sie nirgends auch nur 0,05 D. erreichen. Danach kann die Giltigkeit der Gleichung 23. für meine Fernpunktskurve kaum bezweifelt werden. Es dürfte dies die erste Bestätigung und zugleich die erste Nachprüfung der Perelesschen Untersuchungen sein. In Figur 13 sind die theoretischen Kurven dargestellt. Dieselben weichen von den experimentell gefundenen nur unwesentlich ab.

Zum leichteren Verständnis der in den Gleichungen für die Nah- und Fernpunktslinie liegenden Gesetze kann man diesen von F. Halsch gefundenen Gleichungen eine andere

Form geben. Die Gleichung für die Fernpunktskurve lautet:

1.
$$y = A e^{Bx} - C.$$

Durch Logarithmieren folgt:

2.
$$\lg(y + C) = \lg A + Bx.$$

Hierin kann man $(y + C)$ als wirklich aufgebrachte Akkommodation betrachten, wenngleich

3.
$$C = 0,18$$

ist und die vorhandene Hypermetropie nach S. 59 nur 0,10 D. beträgt. Aber abgesehen davon, dass der Fehler nur 0,08 D. betragen würde, so ist zu berücksichtigen, dass auch bei möglichster Erschlaffung der Akkommodation noch ein geringer Tonus des Ciliarmuskels besteht, der erst z. B. bei Atropinwirkung schwindet. Die fragliche Definition ist also zweifellos gerechtfertigt. Um ferner die thatsächlich ausgeführte Konvergenzbewegung zu finden, muss zu den gefundenen x noch 1,69 addiert werden, da in der Ruhestellung eine Divergenz von 1,69 Mw. besteht. Bezeichnet man die absolute Akkommodation mit y_1 , die absolute Konvergenzbewegung mit x_1 , so muss man setzen;

4.
$$x_1 = 1,69 + x,$$

5.
$$y_1 = 0,18 + y,$$

oder allgemein ausgedrückt

6.
$$x_1 = k + x,$$

7.
$$y_1 = C + y.$$

Durch Einsetzung dieser Werte geht die Gleichung der Kurve über in

8.
$$\begin{aligned} \lg y_1 &= \lg A + B(x_1 - k) \\ &= \lg A + Bx_1 - Bk. \end{aligned}$$

Setzt man zur Abkürzung

9.
$$\lg A - Bk = \lg m,$$

so folgt

10.
$$\lg y_1 = \lg m + Bx_1$$

und weiter

11.
$$\lg \left(\frac{y_1}{m} \right) = B \lg \left(\frac{x_1}{m} \right).$$

Führt man sodann den m-ten Teil eines Meterwinkels, resp. einer Dioptrie als neue Masseinheiten ein, setzt also

$$12. \quad y_2 = \frac{y_1}{m},$$

$$13. \quad x_2 = \frac{x_1}{m}$$

und ausserdem

$$14. \quad B m = p,$$

so erhält man endlich

$$15. \quad l y_2 = p x_2.$$

Nach diesen Umformungen lautet das Gesetz für den relativen Fernpunkt:

„Die Konvergenz ist proportional den Logarithmen der Akkommodation“.

Da die Logarithmen der Glieder einer geometrischen Reihe eine arithmetische Progression bilden, so kann man auch sagen:

„Die Akkommodation muss in geometrischer Progression zunehmen, damit die Konvergenz gleichförmig wächst.“

Der Zusammenhang ist also ein sehr einfacher.

Ähnlich sind die Beziehungen hinsichtlich des relativen Fernpunktes. Die Gleichung lautete

$$1. \quad y = A - B e^{-Cx},$$

die Logarithmierung ergibt

$$2. \quad l(A - y) = -lB - Cx.$$

Hierin kann A (gleich 8,50 D.) als Grenze der erreichbaren Akkommodation betrachtet werden. Dann ist (A - y) die bei einer bestimmten Konvergenz nicht mehr aufzubringende oder, wie Perceles definiert, die latente Akkommodation. Da die maximale Konvergenz 17,69 Mw. beträgt, so möge analog (17,69 - x) als noch verfügbare Konvergenz bezeichnet werden. Setzt man daher

$$y_1 = A - y,$$

$$3. \quad x_1 = 17,69 - x,$$

oder allgemein

$$4. \quad x_1 = n - x,$$

so geht Gleichung 2 über in

$$5. \quad 1 y_1 = 1 B - C n + C x_1,$$

oder, wenn man wieder

$$6. \quad 1 B - C n = 1 q$$

setzt,

$$7. \quad 1 \frac{y_1}{q} = C q \cdot \frac{x_1}{q}.$$

Setzt man schliesslich

$$8. \quad \frac{y_1}{q} = y_2,$$

$$9. \quad \frac{x_1}{q} = x_2,$$

$$10. \quad C q = s,$$

so resultiert

$$11. \quad 1 y_2 = s x_2.$$

Diese Gleichung besagt:

„Die noch verfügbare Konvergenz ist proportional den Logarithmen der latenten Akkommodation.“

Somit ist auch dieses Gesetz ein einfaches.

Es erscheint denkbar, auf Grund dieses streng gesetzmässigen Zusammenhangs zwischen der Akkommodation und der Konvergenz vermittels einiger leicht annehmbarer Hypothesen eine Theorie aufzustellen über die in Innervationsverhältnissen bestehende Ursache dieser Beziehung. Hindernd ist dabei, dass man kein Gesetz kennt über die quantitative Muskelleistung infolge verschieden starker Willensimpulse. Da ausserdem derartige Betrachtungen ziemlich weit von dem Boden der Beobachtung hinwegführen würden, so ist in der vorliegenden Arbeit davon Abstand genommen worden. Eine Schlussfolgerung lässt sich jedoch mit ziemlicher Sicherheit ziehen, nämlich dass die Akkommodation der primäre Vorgang, die Konvergenz der sekundäre ist. Bekanntlich hat man ein Analogon auf sensitivem Gebiete in dem Fechnerschen Gesetz, nach welchem ebenfalls die, sekundär eintretende, Empfindung proportional ist dem Logarithmus der (primären) Reizstärke.

§ 11. **Die Beziehungen der Gleichgewichtsstellung zu den relativen Nahepunkten und Fernpunkten.**

Weit näherliegend, als das eben angedeutete Problem, und ebenfalls von grossem Interesse und praktischer Bedeutung ist die Frage nach den Relationen zwischen der Gleichgewichtslage der Konvergenz und den relativen Nahepunkten und Fernpunkten. Das Bestehen einer derartigen gesetzmässigen Beziehung wird kaum in Abrede gestellt werden, fraglich ist nur, ob dieselbe einfach genug ist zu einer direkten Auffindung.

Die Gleichgewichtslinie teilt ebenso wie die Konvergenzlinie sowohl die Akkommodationsbreiten, als die relativen Fusionsbreiten in einen positiven und einen negativen Teil. Hieraus ist zugleich die Richtigkeit der im Paragraph 9 gemachten Annahme ersichtlich, dass die Gleichgewichtslinie durch den absoluten Nahepunkt und Fernpunkt geht. Bei jeder Akkommodation liegt der Gleichgewichtspunkt zweifellos zwischen dem relativen Fusionsfernpunkt und dem relativen Fusionsnahepunkt. Die durch die letzteren beiden begrenzte relative Fusionsbreite hat ihren grössten Wert bei 4,5 D. Sowohl bei steigender, als bei abnehmender Akkommodation wird sie kleiner und im absoluten Nahe- und Fernpunkte ist sie gleich Null. Da hier somit relativer Fusionsnahepunkt und Fernpunkt zusammenfallen, und der Gleichgewichtspunkt zwischen ihnen liegt, so muss er sich mit ihnen decken, es ist damit die gemachte Annahme bewiesen.

Ein Vergleich der durch die Gleichgewichtslinie geschaffenen beiden Teile der relativen Akkommodationsbreiten lässt eine einfache Relation zwischen denselben nicht erkennen. Ganz anders verhält es sich hinsichtlich der relativen Fusionsbreiten. Dieselben zerfallen durch die Gleichgewichtslinie in einen linken „negativen“ und einen rechten „positiven“ Teil, von denen der erstere die von der Gleichgewichtsstellung aus mögliche Verminderung, der letztere die analoge Verstärkung der Konvergenz angeht. Innerhalb des ganzen Akkommodationsgebietes ist dieser positive Teil erheblich grösser, als der negative. Beide erreichen in Figur 12 ihr Maximum

bei einer Akkommodation von etwa 4,5 D., und hier ist gleichzeitig auch ihre Differenz am grössten, denn da in diesem Falle der negative Teil gleich etwa 3,65, der positive gleich 11,0 Mw. ist, so beträgt der Unterschied 7,35 Mw. Beide Teile werden im absoluten Nahepunkte und Fernpunkte der Akkommodation gleich Null. Ebenso liegen die Verhältnisse in Figur 9. Eine Prüfung des Verhältnisses der beiden Teile ergibt:

„dass die Gleichgewichtsstellung die relativen Fusionsbreiten in konstantem Verhältnis teilt.“

Dies geht aus folgenden beiden Tabellen hervor, welche durch direkte Ablesung aus den Figuren 9 und 12 erhalten sind. Die Tabelle XXI enthält die Resultate derselben aus Figur 12. Die erste Kolonne giebt die jedesmalige Akkommodation an, in der zweiten steht der relative Nahepunkt, Gleichgewichts- und Fernpunkt der Fusion, in der dritten das daraus abgeleitete Verhältnis zwischen den fraglichen Teilen der relativen Fusionsbreite.

Tabelle XXI.

Akkommodation.	Konvergenz.			a : b
	Fernpunkt.	Gleichgewicht.	Nahepunkt.	
0	— 1,63	— 0,80	1,70	0,83 : 2,50 = 1 : 3,01
1	— 1,30	+ 1,45	9,50	2,75 : 8,05 = 1 : 2,93
2	— 0,88	2,50	12,17	3,38 : 9,67 = 1 : 2,86
3	— 0,31	3,25	13,75	3,56 : 10,50 = 1 : 2,95
4	+ 0,30	3,91	14,85	3,61 : 10,94 = 1 : 3,03
5	+ 1,05	4,69	15,80	3,64 : 11,11 = 1 : 3,05
6	2,02	5,60	16,49	3,78 : 10,89 = 1 : 3,04
7	3,15	6,89	17,10	3,44 : 10,21 = 1 : 2,97
8	6,40	9,10	17,66	2,70 : 8,56 = 1 : 3,17

Ebenso giebt die folgende Tabelle dieselben Daten aus Figur 9.

Tabelle XXII.

Akkom- modation.	Konvergenz.			a : b
	Fern- punkt.	Gleich- gewicht	Nah- punkt.	
0	— 1,66	— 0,70	2,20	0,96 : 2,90 = 1 : 3,02
1	— 1,29	1,49	9,65	2,78 : 8,16 = 1 : 2,93
2	— 0,86	2,42	12,31	3,28 : 9,89 = 1 : 3,02
3	— 0,31	3,18	13,75	3,49 : 10,57 = 1 : 3,03
4	+ 0,29	3,91	14,85	3,62 : 10,94 = 1 : 3,02
5	1,04	4,64	15,68	3,60 : 11,04 = 1 : 3,07
6	2,06	5,57	16,41	3,51 : 10,84 = 1 : 3,09
7	3,54	6,89	17,00	3,53 : 10,41 = 1 : 3,02
8	6,67	9,50	17,45	2,83 : 8,04 = 1 : 2,85

Die letzte Vertikalreihe dieser beiden Tabellen zeigt, dass das fragliche Verhältnis mit grosser Genauigkeit konstant ist, um so mehr, als die Abweichungen davon ganz unregelmässig verteilt sind und keinerlei Gesetzmässigkeit zeigen. Der absolute Wert des Verhältnisses ist nahezu (1 : 3). Es gilt daher, zunächst für mich, das Gesetz:

„Bei konstanter Accommodation kann von der Gleichgewichtsstellung aus stets dreimal so stark konvergiert, als divergiert werden.“

Die allgemeine Gültigkeit dieser Regel müsste selbstverständlich erst durch Prüfung an einer grossen Zahl von Versuchspersonen festgestellt werden, was bei der erforderlichen Vorsicht gewisse Schwierigkeiten haben dürfte. Eine Art von Bestätigung liegt in einer praktischen Erfahrungsthatsache. Es hat sich gefunden, dass meist nur dann anhaltend und ohne asthenopische Beschwerden binokular gesehen werden kann, wenn die noch verfügbare Konvergenz etwa dreimal so gross ist, als die bereits aufgewendete. Da andererseits der binokulare Sehakt am besten vor sich geht beim Zusammenfallen der Gleichgewichtsstellung mit der zur Fixation des Objektes erforderlichen, so stehen das experimentell gefundene Gesetz und die Erfahrung mit einander im Einvernehmen.

Dritter Teil.

Ueber den Einfluss der Hebung und Senkung der Blickebene auf die Beziehungen zwischen Konvergenz und Akkommodation.

§ 12. Frühere Beobachtungen über die Wirkung der Kopfhaltung auf das binokulare Sehen.

Versuche über den Zusammenhang zwischen Akkommodation und Konvergenz der Blicklinien bei stark von der Ausgangsstellung abweichender Lage sind bisher nicht angestellt worden. Die zur Zeit vorliegenden Angaben beziehen sich alle entweder auf Veränderungen nur der Akkommodation und Refraktion, oder allein des Konvergenzvermögens.

Schirmer*) machte zuerst darauf aufmerksam, dass das Auge im Allgemeinen beim Blick nach oben auf etwas weitere Entfernung eingestellt ist, als bei horizontaler Blickrichtung, beim gesenkten Blick dagegen auf etwas geringere. Die Untersuchungen erstrecken sich auf Myopen, Emmetropen und Hypermetropen schwächeren Grades. Bei den beiden letzteren Gruppen wurde nur der Nahepunkt, bei ersteren auch der Fernpunkt bestimmt. Der Nahepunkt war in allen Fällen etwas näher gerückt, aber auch der Fernpunkt der Myopen zeigte ein gleiches Verhalten, wenn auch in geringerem Grade. Diese Veränderung erklärt Schirmer leicht verständlich durch Akkommodationsveränderungen welche gleichsam als Mitbewegungen eintreten. Denn da man beim Blick nach unten aus praktischen Gründen im allgemeinen mehr oder weniger stark akkommodiert, bei gehobenem Blick da-

*) Dr. Schirmer. Über das Akkommodationsverhältnis bei verschiedenen Blickhöhen. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde von Dr. W. Zehender. VII. Jahrgang 1869. S. 405.

gegen meist in die Ferne blickt, so tritt gewohnheitsmässig bei gesenkter Blickebene eine geringe Akkommodation ein, während dieselbe bei Hebung der Blickebene am vollständigsten erschläft wird. Bisinger bestätigt vollkommen diese Angaben.

Dass jedoch nicht blos die Akkommodation, sondern unter Umständen auch die Refraktion durch die Augenstellung eine Veränderung erleiden kann, folgt aus den Untersuchungen von Schneller^{*)}. Nach dessen sorgfältigen Versuchen tritt bei Senkung und gleichzeitiger Einwärtswendung der Blicklinien durch den Druck der stärker angespannten Augenmuskeln eine grössere oder geringere Verlängerung des Bulbus ein, also gewissermassen eine vorübergehende Axenmyopie. Diese Verlängerung ist um so stärker, je geringer der intraokulare Druck und je weniger starr die Sclera ist, man findet sie daher besonders bei jugendlichen Individuen und bei Myopen, deren Augenwandung namentlich am hinteren Pol durch Dehnung verdünnt ist. Hierin liegt es begründet, dass bei erwachsenen Emmetropen diese Veränderungen meist nicht nachweisbar sind, indem hier die Sclera so fest wird, dass ihre Nachgiebigkeit gegenüber der Muskelwirkung allmählig aufhört.

Im Gegensatz zu den Schirmerschen Resultaten fand Hering^{**)} seinen binokularen Nahepunkt beim Blick nach oben etwas näher liegend, als bei horizontaler Richtung, es scheint daher, dass sich in dieser Beziehung individuelle Schwankungen finden. Die Konvergenzfähigkeit soll bei gesenkter Blickebene etwas stärker sein, als in gehobener und horizontaler Richtung, genaue messende Angaben über den Unterschied konnten jedoch nicht ermittelt werden. Beim Vergleich meiner Resultate in dieser letzteren Beziehung ist übrigens zu berücksichtigen, dass die bisherigen Versuche nicht

^{*)} Über Formveränderungen des Auges durch Muskeldruck. Von Dr. Schneller in Danzig. A. v. Gräfes Archiv für Ophthalmologie. Bd. 35. Teil 1. S. 76.

^{**)} Hering. Die Lehre von binokularen Schen I. S. 141.

in der Ausgangs-, sondern in der Primärstellung gemacht wurden, wobei unter normaler Kopfhaltung die Blicklinien nicht horizontal, sondern schon etwas gesenkt sind.

§ 13. Versuche bei gehobener Blickebene.

Um die bei Hebung der Blickebene eintretenden Veränderungen in möglichster Deutlichkeit zu erhalten, musste der Elevationswinkel hinreichend gross genommen werden. Hierzu wurde zunächst das Kugelgelenk des Kopfhalters beweglich gemacht, der Kopf, soweit die Bewegungsfreiheit des Apparates es gestattete, vornüber geneigt und in dieser Haltung wieder festgestellt. Zur Fixierung des Sehobjektes war unter diesen Umständen schon eine Elevation der Blickebene gegen früher um 25° erforderlich. Da dieses Mass noch nicht genügend erschien, so wurde ausserdem das Optometer auf eine nach dem Beobachter zu geneigte, schiefe Ebene gestellt, deren Neigungswinkel 20° betrug. Die genaue Einstellung des Apparates wurde in ähnlicher Weise, wie früher bewirkt, war jedoch insofern etwas schwieriger, als durch Höher- oder Tieferstellen des Kopfes gleichzeitig seine Entfernung vom Objekt geändert wurde. Nachdem ich mich von der richtigen Aufstellung in der oben angegebenen Weise überzeugt und dieselbe ebenfalls durch direkte Messung des Abstandes zwischen dem Hornhautscheitel und den vorgesetzten Linsen kontrolliert hatte, wurde die erzielte Hebung der Blickebene nochmals gemessen und zu 45° gefunden. Fehler bis zu einem halben Grade sind bei dieser Angabe nicht ausgeschlossen. Als Grenze der unter normalen Verhältnissen möglichen Drehung nach oben sind durch die neuesten, exakten Bestimmungen von Hornemann*) im Mittel $47\frac{1}{2}^\circ$ gefunden worden. Da hierbei von der Ausgangsstellung aus gemessen ist und diese etwas höher liegt, als die Primärstellung, so dürfte ich um wenige Grade unter der Grenze geblieben sein. Thatsächlich war mir eine noch etwas stärkere Aufwärtsbewegung möglich, die-

*) Zur Kenntnis der Blickfeldbestimmung. Inaugural-Dissertation von Max Hornemann. Halle a. S., 1891.

selbe rief jedoch ein unangenehmes Gefühl im oberen Teile der Augenhöhle hervor.

Die eigentlichen Untersuchungen wurden dann ganz in der früheren Weise angestellt. Ich bestimmte zunächst die Gleichgewichtslage durch Prismen nach Gräfe, für weitere Entfernungen unter Zuhilfenahme von Konvexlinsen, hierauf den absoluten Nahe- und Fernpunkt der Akkommodation und Konvergenz und dann die relativen Fusionsgrenzen, und zwar unter Berücksichtigung der früher gefundenen Uebereinstimmung zwischen den Resultaten teils durch Linsen, teils durch Prismen. Auch hier gelangen die Gleichgewichtsversuche nur unter sorgfältigster Ausscheidung aller störenden Einflüsse. Nachstehende drei Tabellen enthalten die Ergebnisse dieser Messungen, und in Figur 14 sind dieselben zusammen graphisch dargestellt. Einer Erläuterung bedarf dieselbe, ebenso wie die Tabellen, nach dem früher gesagten wohl nicht. Von den zusammengehörigen Einzelmessungen ist in der dritten Reihe hier stets nur das Mittel angegeben worden. Dasselbe wurde jedesmal aus acht wiederholten Messungen gezogen.

Tabelle XXIII.

Gleichgewichtsstellung bei **gehobener** Blickebene.

Prismen und Linsen.	Abstand vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
0	476	2,10	2,13
ebenso	129,8	7,70	8,11
Rechts Pr. 3 abduc.	322	2,64	3,17
ebenso	131,6	7,14	7,99
Rechts Pr. 3 Links Pr. 4 abduc.	232	3,36	4,44
ebenso	135,0	6,47	7,78
Rechts Pr. 5 Links Pr. 6 abduc.	179,8	4,12	5,77
ebenso	151,5	5,18	6,90

Prismen und Linsen.	Abstand vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
Rechts Pr. 6 Links Pr. 7 adduc.	125,1	9,89	8,43
Rechts 12 Links 14 adduc.	124,0	11,39	8,51
Linse + 36 Rechts Pr. 3 abduc.	516	1,47	1,03
Linse + 18 Rechts Pr. 6 Links Pr. 7 abduc.	502	+ 0,01	+ 0,10

Abstand der Linsen vom Drehpunkt 56,5 mm.

Tabelle XXIV.

Relative Nahepunkte der Akkommodation bei **gehobener**
Blickebene.

Prismen.	Abstand vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
Binokularer Nahepunkt	125,0	8,00	8,44
Rechts 3 Links 4 abduc.	126,6	6,87	8,35
Rechts 3 Links 4 abduc.	128,2	5,87	8,22
Rechts 10 Links 12 abduc.	131,5	4,82	8,00
ebenso	420	— 0,47	2,42
Rechts 12 Links 14 abduc.	137,0	3,60	7,66

Prismen.	Abstand vom Drehpunkt.	Konvergenz.	Akkommodation.
ebenso	284	+ 0,02	3,60
Rechts 14	194,2	0,90	5,33
Links 16 abduc.			
ebenso	153,5	2,28	6,79
Rechts 14	123,5	12,13	8,55
Links 16 adduc.			

Tabelle XXV.

Relative Fernpunkte der Akkommodation bei **gehobener** Blickebene.

Prismen und Linsen.	Abstand des Objekts vom Drehpunkt.	Convergenz.	Akkommodation.
Linse + 3	116,5	8,58	1,07
Linse + 3½	129,0	7,79	0,76
Linse + 4	142,0	7,04	0,58
Linse + 5	166,0	6,02	0,38
Linse + 7	216	4,63	0,20
Linse + 9	269	3,72	0,11
Linse + 18	596	1,98	0,03
Prismen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Rechts} \\ \text{24 u. 8} \\ \text{Links} \\ \text{12 u. 16} \end{array} \right.$	412	10,64	2,47
adduc.			
ebenso	285	11,71	3,59
Rechts 7 u. 16	161	13,24	6,47
Links 5 u. 24 adduc.			
Rechts 24	126	13,95	8,37
Links 10 u. 14 adduc.			

Abstand der Linsen vom Drehpunkt 46,5 mm.

Die Bestimmung der absoluten Nahe- und Fernpunkte ergab folgende Werte:

Absoluter Fusionsnahepunkt	13,99 Mw.
Maximale Divergenz	— 1,19 Mw.
Maximale Akkommodation	8,55 D.
Refraktionszustand	H 0,08 D.

Schon das Aussehen der erhaltenen Kurven im Vergleich mit den früher erzielten zeigt, dass Veränderungen infolge der Hebung der Blickebene stattgefunden haben.

Der absolute Nahepunkt der Akkommodation zunächst ist nicht verändert, er liegt nach wie vor 123,5 mm vor dem Drehpunkte. Ebenso ist die Lage des absoluten Fernpunktes der Akkommodation dieselbe, wie früher, es besteht auch jetzt eine Spur von Hypermetropie. Eine Abnahme der Refraktion oder der Leistungsfähigkeit der Akkommodation kann ich somit nicht bei mir nachweisen. Dagegen ist der relative Nahepunkt etwas näher gerückt, wie dies auch Hering bei sich gefunden hat. Die Zunahme entspricht etwa 0,2 D.

Die absolute maximale Konvergenz zeigt eine sehr erhebliche Abnahme, sie ist von 18 Mw. herabgegangen auf 14, hat also um 4 Mw. oder um ungefähr 8,5° abgenommen. Ebenso ist die maximale Divergenz geringer geworden, allerdings in viel schwächerem Grade, da sie nur von etwa 1,65 Mw. zurückgegangen ist auf 1,19 Mw. Die Abnahme erreicht noch nicht 1°.

Die Gleichgewichtsstellung ist für die Ferne ungefähr dieselbe, wie in der Primärstellung, dagegen bleibt für die höheren Akkommodationsgrade jetzt die Konvergenz deutlich hinter der zum binokularen Sehen erforderlichen zurück. Es besteht also für die Nähe „latente Divergenz“, und erst wenn man sich dem absoluten Nahepunkte nähert, wird die Augenstellung wieder stärker konvergent, um im absoluten Nahepunkte ihren höchsten Grad zu erreichen.

Ein Vergleich der relativen Nahe- und Fernpunkte mit den früheren zeigt, dass bei positiven Konvergenzstellungen durchgängig das Akkommodationsgebiet etwas näher gerückt ist; bei den möglichen Divergenzstellungen dagegen ist es mehr oder weniger hinausgeschoben und gleichzeitig verkleinert. Völlig unverändert ist der relative Nahepunkt sowohl, wie der relative Fernpunkt bei paralleler Blickrichtung.

Die relativen Fusionsbreiten sind, ebenso wie die absolute, kleiner geworden, und zwar beruht dies wesentlich in einem Hinausrücken des relativen Fusionsnahepunktes. Auch die relativen Fusionsfernpunkte sind weiter herausgeschoben, jedoch nicht soweit, um die Abnahme der Fusionsbreiten zu verhindern. Bemerkenswerter Weise liegen die hinter dem Auge befindlichen Fusionsfernpunkte (bei Akkommodationen unter 3,5 D.) nicht entsprechend näher, sondern ebenfalls etwas weiter ab, sodass hierdurch die Abnahme der Fusionsbreiten noch verstärkt wird.

Eine einfache Erklärung dieser Verhältnisse dürfte zuerst schwierig erscheinen. Da es sich wesentlich um eine Abnahme der Konvergenz handelt, so könnte man an eine Erschwerung der Augenbewegungen infolge der Elevation der Blickebene denken, oder auch annehmen, dass man gewohnheitsmässig in dieser Lage weniger stark konvergiert infolge des unter gewöhnlichen Verhältnissen fehlenden äusseren Anlasses dazu. Es ist jedoch nicht nöthig, auf derartige, der Messung unzugängliche Faktoren zurückzugreifen, vielmehr sind die fraglichen Veränderungen eine rein mechanische und nothwendig eintretende Folge der veränderten Lage der Blickebene zu der Ebene des Muskelzuges der *m. recti externi* und *interni*. In beistehender Figur 15 sei M der Drehpunkt eines Auges, FM stelle ein Stück der Basallinie dar, MFB sei die Wirkungsebene der inneren und äusseren geraden Augenmuskeln, HI die entsprechende Drehungsaxe. MB stehe senkrecht auf MF. Dann ist MB die Lage der Blicklinie in der Stellung der ersten Versuchsgruppe (Teil II) beim Blick in die Ferne. AFG sei die Lage der gehobenen Blickebene. Ist AMG ein

rechter Winkel, so ist dann nach der direkten Messung (S. 75)

$$A M B = 45^\circ.$$

So lange sich die Blicklinie in der Ebene BFG befindet, ist der von ihr beschriebene Winkel ebenso gross, wie der Drehungswinkel des Auges infolge der Wirkung der m. externi und interni. In allen anderen Fällen ist der Winkel, den die Blicklinie beschreibt, kleiner, als der letztere. Es möge bei Hebung der Blickebene das Auge sich durch Kontraktion des m. rectus internus um den Winkel BME gedreht haben. Legt man durch H, I und E die Ebene, welche die Blickebene in MD schneidet, so hat dabei die Blicklinie, die sich bei der Versuchsanordnung in der Ebene GAF bewegen muss, den Winkel AMD beschrieben, indem sie gleichzeitig durch den m. rectus inferior und obliquus superior etwas gesenkt worden ist. Man setze:

$$A M B = \varphi,$$

$$B M E = \alpha,$$

$$A M D = \beta.$$

Auf sphärisch-trigonometrischem Wege kann man die Relation zwischen diesen drei Stücken auffinden. In dem Dreieck AHD ist

$$D A H = 90^\circ,$$

$$A M H = 90^\circ - \varphi,$$

$$A M D = \beta,$$

und

$$A H D = B M E,$$

$$= \alpha.$$

Daher ist nach bekanntem Satze

$$\operatorname{tg} A D = \operatorname{tg} A H D \cdot \sin A H,$$

somit ergibt sich nach Einsetzung der gegebenen Werte

$$\text{I.} \quad \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varphi,$$

und

$$\text{II.} \quad \cos \varphi = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha}$$

Vermöge dieser Gleichungen kann man, wenn zwei der Grössen α , β , φ gegeben sind, die dritte berechnen. Ist beispielsweise α der Grenzwinkel der Fusion in der Primärstellung, so ist β derjenige bei erhobener Blickebene. Um die Giltigkeit vorstehender Formeln zu prüfen, kann man daher nach Gleichung II den Elevationswinkel φ berechnen und durch Vergleichung mit dem direkt gemessenen Werte desselben den Grad der Übereinstimmung erkennen. Die maximale Konvergenz betrug in der ersten Stellung (nach Seite 47.) 17,96 Mw., der zugehörige Fusionswinkel war an gleicher Stelle berechnet, es ist also

$$\alpha = 35^{\circ} 5' 20''.$$

In der zweiten Stellung konnte die Konvergenz bis zu 13,99 Mw. gebracht werden (S. 79). Für den zugehörigen Fusionswinkel β gilt bei 64 mm Basallinie die Gleichung

$$\sin \beta = 0,032 \cdot 13,99.$$

Hieraus findet man

$$\beta = 26^{\circ} 35' 42,86''.$$

Durch Substitution der Werte von α und β in Gleichung II ergibt sich demnach

$$\varphi = 44^{\circ} 32' 50,48''.$$

Da der Winkel φ zu 45° gemessen war mit Fehlergrenzen bis zu einem halben Grade, so stimmen Rechnung und Messung gut überein. Umgekehrt kann man nach Formel I auch, wenn der Elevationswinkel der Blickebene und die Konvergenz in der ersten Lage bekannt ist, die entsprechende Konvergenz in der zweiten Stellung berechnen. Die Anwendung dieses Verfahrens auf den absoluten Fusionsfernpoint ergibt folgendes Resultat. Es ist in diesem Falle

$$\sin \alpha = 0,032 \cdot 1,63,$$

daher ist

$$\alpha = 2^{\circ} 59' 23,82''.$$

Die Einsetzung dieses Wertes zusammen mit dem für φ gefundenen in Gleichung I ergibt

$$\beta = 2^{\circ} 7' 54,23''.$$

Ist x die entsprechende Konvergenz in Meterwinkeln, so ist

$$\begin{aligned} x &= \frac{\sin \beta}{0,032} \\ &= 1,16 \text{ Mw.} \end{aligned}$$

Durch Beobachtung war gefunden (S. 79)

$$x = 1,19 \text{ Mw.}$$

Die Differenz beträgt nur 0,03 Mw., somit stimmen auch hier der beobachtete und der berechnete Wert sehr gut überein. Ebenso lassen sich die relativen Fusionsfernpunkte der Tabelle XXIV und Figur 14 aus Tabelle XVI und Figur 12 ableiten, wobei sich nur unwesentliche Differenzen ergeben. Die relativen Fusionsnahepunkte liegen jedoch durchschnittlich etwas näher, als sich nach der Berechnung aus Figur 12 ergibt. Aber auch diese Abweichung erklärt sich auf einfache Weise. Wenn die Blickebene mit der Ebene der inneren und äusseren geraden Augenmuskeln zusammenfällt, so wird, wie angenommen, die Konvergenzbewegung allein durch diese Muskeln besorgt. Bei Hebung der Blickebene dagegen können auch die oberen geraden Muskeln zur Verstärkung der Konvergenz beitragen, und zwar umso mehr, je grösser der Neigungswinkel der Blicklinie gegen die Ebene der *m. recti externi* und *interni* ist. Dieser letztere Umstand erklärt es zugleich, dass die Rechnung für den absoluten Fusionsnahepunkt mit ziemlicher Genauigkeit stimmt, obwohl das Verhalten der relativen Fusionsnahepunkte auf eine Mitbeteiligung der

m. recti superiores schliessen lässt. Denn wie man aus Figur 15 ersieht, ist dieser Neigungswinkel \widehat{DME} um so kleiner, je grösser die Einwärtsbewegung \widehat{BME} ist, selbst wenn die Elevation der Blickenebene völlig konstant bleibt. Da aber der rectus superior seine adducierende Wirkung nur gleichzeitig mit der nach oben gehenden entfalten kann, so muss dieselbe bei höheren durch den internus herbeigeführten Konvergenzgraden nur sehr gering sein. Ausserdem treten bei starker Adduktion der Blicklinien die übrigen Wirkungen des rectus superior sehr zurück gegenüber der Raddrehung. Es liegt die Annahme nahe, dass man eine entsprechende Wirkung auch von den obliqui inferiores zu erwarten habe, denn bei gehobener Blickenebene könnte zweifellos der obl. infer. vermöge seiner anatomischen Anordnung die Neigung der Blicklinien gegen einander beeinflussen, da er von der Primärstellung aus neben der hebenden und auswärtsrollenden Wirkung zugleich die Blicklinien abduciert. Seine Thätigkeit wird daher besonders ein weiteres Hinausrücken der Fusionsfernpunkte zur Folge haben. Zum Eintritt dieses Effektes wäre jedoch bei den vorliegenden Versuchen erforderlich, dass der m. obliquus inferior mit dem Konvergenzcentrum in Verbindung steht. Da nun die Fusionsfernpunkte nicht weiter hinausgeschoben sind, als nach Gleichung II zu erwarten ist, so muss man schliessen, dass eine solche Verbindung für den obliquus inferior nicht existiert.

Das verminderte Konvergenzvermögen, dessen Ursache hiermit klar gestellt sein dürfte, ist übrigens auch der Grund für das Näherrücken des binokularen Nahepunktes, denn während früher bei einer etwa 7,8 D. überschreitenden Akkommodation das Übermaass an Konvergenz das binokulare Sehen nicht mehr gestattete, so ist letzteres nunmehr noch bei 7,5 D. möglich.

Die ganze Form der Nahe- und Fernpunktlinie lässt vermuten, dass das in der Primärstellung aufgestellte Gesetz auch hier seine Giltigkeit bewahrt. Durch Ermittlung von

Näherungswerten für die Konstanten der betreffenden Gleichungen überzeugt man sich thatsächlich von der Richtigkeit dieser Annahme.

Die Gleichgewichtslinie teilt auch bei gehobener Blick-ebene die relativen Fusionsbreiten in konstantem Verhältnis, was aus der folgenden, nach Figur 14 hergestellten Tabelle deutlich hervorgeht.

Tabelle XXVI.

Akkom- modation	K o n v e r g e n z			a : b
	Fern- punkt.	Gleich- gewicht.	Nahe- punkt.	
0	— 1,19	— 0,60	1,15	0,59 : 1,75 = 1 : 2,97
1	— 0,93	1,43	8,40	2,36 : 6,97 = 1 : 2,95
2	— 0,61	2,01	10,10	2,62 : 8,09 = 1 : 3,09
3	— 0,21	2,56	11,20	2,77 : 8,64 = 1 : 3,12
4	+ 0,20	3,50	13,45	3,30 : 9,95 = 1 : 3,02
5	0,70	3,65	12,45	2,95 : 8,89 = 1 : 3,01
6	1,46	4,30	13,02	2,84 : 8,72 = 1 : 3,07
7	2,57	5,30	13,50	2,73 : 8,20 = 1 : 3,00
8	4,82	7 14	13,84	2,32 : 6,70 = 1 : 2,89

Man ersieht aus der letzten Kolonne, dass sogar der absolute Wert des Verhältnisses derselbe geblieben ist. Es gilt daher auch bei Hebung der Blickebene für mich das Gesetz:

„Von der Gleichgewichtsstellung aus kann bei jeder Akkommodation dreimal so stark konvergiert, als divergiert werden.“

§ 14. Versuche bei gesenkter Blickebene.

Die Ausführung der entsprechenden Versuche bei gesenkten Blicklinien stiess auf grosse und zum Teil unerwartete praktische Schwierigkeiten. Die Erzielung selbst eines Teils der erforderlichen Neigung der Blickebene durch Zurücklehnen des Kopfes führte zu einer sehr unbequemen, auf längere Zeit nicht durchführbaren Körperhaltung. Stelle

man dagegen den Apparat wieder auf eine geneigte Ebene, so kam das dem Auge nähere Ende zu hoch zu stehen, und der Kopfhalter konnte nicht gut aufgestellt und befestigt werden. Aber selbst wenn dies gelänge, so würden die unteren Gesichtspartien besonders bei stärkerer Konvergenz mit den Linsen- und Prismenhaltern in Kollision kommen. Diese müssten dann soweit vom Auge entfernt werden, dass eine hinreichende Annäherung des Objektes nicht möglich wäre, und ausserdem würden wieder die beiderseitigen Halter beim Heranschieben des Objektes unter sich zusammenstossen. Vor allem aber ist es bei gesenkter Blickebene unmöglich, die jetzigen Drehungsachsen der Augen, welche senkrecht zur Blickebene stehen, mit denen des Apparates zusammenfallen zu lassen, da sie bei dieser Stellung mit ihrem unteren Ende nach hinten verlaufen und nicht wie früher, unter dem Kinn nach aussen treten.

Zur Vermeidung aller dieser Hindernisse, namentlich des letzteren, blieb es nur übrig, den ganzen Apparat herumzustoßen, sodass sich dann seine Drehpunkte über dem Kopfe des Beobachters befanden. Auf diese Weise konnte man, ohne auf ein Hemmnis zu stossen, das Optometer so stellen, dass seine Drehungsachsen durch die Drehpunkte der Augen gingen. Zur Aufstellung wurde zunächst das Laufbrett des Apparates von dessen Fuss abgenommen. Sodann stellte ich einen starken vierseitigen Holzrahmen von etwa 50 cm Länge, 40 cm Breite und 20 cm Tiefe mit einer seiner längeren Seiten auf den Tisch und befestigte auf der nunmehr oben befindlichen anderen langen Seite das Laufbrett des Optometers. Dasselbe wurde an der unteren Seite des Brettes festgenagelt und sah mit seiner früheren oberen Seite ebenfalls nach unten. Seine Längsrichtung stand senkrecht zu der des Brettes, von dessen Enden es gleichweit entfernt war. Das Sehobjekt konnte dann, ohne anzustossen, durch den Rahmen passieren. Der ganze Rahmen mit dem Optometer wurde dann um 45° geneigt, sodass das Ende des Laufbrettes mit den Drehpunkten höher zu stehen kam, und in dieser Stellung durch zwei seitlich angeschlagene Stützbretter erhalten. Aber auch nach

diesen Massnahmen entstanden neue Schwierigkeiten durch den Nasenrücken, weil dieser die vorgesetzten Linsen und Prismen bei stärkerer Konvergenz aus der richtigen Stellung drängte.

Aus diesem Grunde wurde bei den folgenden Versuchen auf die Anwendung aller brechenden Medien überhaupt verzichtet und eine neue Versuchsmethode eingeschlagen. Zur Untersuchung der relativen Fusionsnahepunkte und Fernpunkte verwendete ich als Objekt zwei Photographien von derselben Platte, welche hinreichendes Detail zur genauen Akkommodation enthielten, ein besonders hervortretender Punkt diente speciell zur Fixierung. Diese Bilder waren auf einer in den Objekthalter des Optometers eingesetzten Scheibe in horizontaler Richtung neben einander, aber jede für sich, verschiebbar, und der Abstand der fixierten Punkte von der Mittellinie konnte genau abgelesen werden. Eine ganz ähnliche Vorrichtung diente zur Bestimmung der Gleichgewichtsstellung. Der wesentlichste Unterschied bestand darin, dass hier die Objekte unter einander in horizontaler Richtung verschieblich waren. Ihr vertikaler Abstand betrug 4 cm, die horizontale Distanz von der Mittellinie konnte an Scalen ebenfalls abgelesen werden. Bei den Gleichgewichtsversuchen wurden in die zweckmässig aufgestellten Linsenhalter schwarze Platten eingesetzt, von denen die rechte die obere Hälfte, die linke die untere Hälfte des Gesichtsfeldes verdeckten. Infolgedessen konnte das rechte Auge nur das untere, das linke nur das obere Objekt sehen. Um Fusionsbestrebungen möglichst sicher auszuschliessen, erhielten die kleinen Objekte ganz verschiedene Form, z. B. Kreuz und Halbmond. Sie befanden sich auf schwarzem Grunde und wurden bei durchfallendem Lichte betrachtet.

Der Neigungswinkel war ursprünglich zu 45° beabsichtigt, es erwies sich aber hierbei wieder die Nase störend, da in dieser Haltung die Blicklinien bei starker Konvergenz die Nase schneiden, und diese somit die Objekte verdeckt. Es musste daher durch Vorwärtsneigen des Kopfes die Senkung der Blickebene soweit gemindert werden, dass selbst bei

maximaler Einwärtsdrehung der Augen die Objekte sichtbar bleiben. Dies gelang vermittels eines kleinen Kunstgriffes bei einem Neigungswinkel gegenüber der Primärstellung von $35,5^\circ$. Auch bei dieser Messung beträgt die Fehlergrenze $0,5^\circ$. Auf ganz ähnlichem Wege, wie bei den früheren Versuchen wurde dann die richtige Stellung des Apparates zu den Augen erzielt und durch direkte Messung wiederum kontrolliert.

Die Untersuchungen selbst begannen mit der Prüfung der Gleichgewichtsstellung, welche unter den schon mehrfach erwähnten Kautelen stattfand. Der Objekthalter wurde dabei in bestimmten Entfernungen festgestellt und die beiden Objekte so lange unter einander verschoben, bis sie in einer Vertikalen gesehen wurden. Darauf wurde ihr Abstand von der Mittellinie abgelesen. Jeder Versuch ward mindestens achtmal wiederholt. Aus diesem Abstände und der ebenfalls abgelesenen Entfernung von der Basallinie ist dann Konvergenz und Akkommodation zu berechnen. Stehen die Bilder gekreuzt, so findet man die Konvergenz ganz so, wie auf Seite 46 und 47, den absoluten Fusionsnahepunkt. Auch im anderen Falle ist die Berechnung ähnlich. Ist in Figur 16 AB die Basallinie, FE der horizontale Abstand der Objekte von der Mittellinie, ED ihre Entfernung von der Basallinie, so ist $\frac{1}{BC}$

die gesuchte Konvergenz, $\frac{1}{BE}$ die zugehörige Akkommodation.

Aus Dreieck BDE folgt

$$BD : BE = \sin BED,$$

also

$$\begin{aligned} \frac{1}{BE} &= \frac{\sin BED}{BH - DH} \\ &= \frac{\sin BED}{BH - EF}. \end{aligned}$$

Da aber

$$\operatorname{tg} BED = \frac{BD}{DE},$$

$$= \frac{BH - EF}{DE}$$

ist, so ist BED und damit auch $\frac{1}{BC}$ bekannt. Weiterhin ist

$$BH : BC = \sin BCH,$$

daher

$$\frac{1}{BC} = \frac{\sin BED}{BH}.$$

Da BED bekannt ist, so ist auch $\frac{1}{BC}$ bestimmt und durch einfache logarithmische Rechnung zu finden. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe stehen in Tabelle XXVII. Dieselbe enthält in der ersten Reihe den Abstand des Objektes von der Basallinie, in der zweiten die Distanz von der Mittellinie, wobei dieselbe als positiv bezeichnet ist, wenn die Blicklinien sich vor den Objekten kreuzten, als negativ, wenn dies erst dahinter eintrat. Kolonne 3 zeigt die daraus berechnete Konvergenz, Kolonne 4 die Akkommodation.

Tabelle XXVII.

Gleichgewichtsstellung bei gehobener Blickebene.

Abstand von der Basallinie.	Abstand von der Medianlinie.	Konvergenz.	Akkommodation.
498	+ 4,7	2,30	2,02
330	+ 0,2	3,04	3,08
250	— 3,6	3,53	4,08
200	— 4,5	4,26	5,11
166	— 4,7	5,07	6,16
143	— 3,2	6,17	7,18
125	+ 2,6	8,34	8,12

Zur Bestimmung der relativen Fusionsnahepunkte wurden die hierzu in der angegebenen Weise hergerichteten Objekte kreuzweise fixiert und dann unter Feststellung des Objekthalters soweit auseinandergeschoben, bis ihre Verschmelzung nicht mehr während einer Sekunde dauernd innegehalten werden konnte. Etwas schwieriger gestaltete sich die Messung der relativen Fernpunkte der Fusion. Hierzu wurden die Objekte bei den verschiedenen Abständen von der Basallinie zuerst einander möglichst nahe gebracht und dann so zu einem Bilde vereinigt, dass das rechte mit dem rechten Auge, das linke mit dem linken fixiert wurde. Durch Vergrößerung des gegenseitigen Abstandes wurde die Grenze gefunden, bis zu der diese binokulare Vereinigung gelang.

Die Berechnung der Konvergenz und Akkommodation ist dieselbe, wie bei den Gleichgewichtsversuchen. Behufs Ermittlung des absoluten Fusionsnahepunktes und Fernpunktes wurde ebenso verfahren, nur mit dem Unterschied, dass dabei nicht gleichzeitig auf das Deutlichsehen des Objektes geachtet wurde. Die Versuche hinsichtlich der Fusionsfernpunkte gelangen nur, wenn die gekreuzten Bilder verdeckt wurden, sodass jedes Auge nur das von ihm zu betrachtende Bild erblickte, wenn ferner die Objekte hinreichend gross waren, das Zimmer verdunkelt wurde, und endlich der Zwischenraum zwischen den Bildern dunkel war. Die gefundenen Werte stehen in den Tabellen XXVIII. und XXIX., deren Werte nach den früheren Angaben verständlich sein dürften. Sodann wurden der absolute Nahe- und Fernpunkt der Akkommodation in der früheren Weise mit einfachem Objekt bestimmt. Durch Annäherung desselben fand ich direkt als Abstand vom Drehpunkte 123,4 mm, daher vom Knotenpunkte 116,9 mm, und hieraus ergibt sich als maximale Akkommodation 8,55 D. Um den absoluten Fernpunkt zu finden, setzte ich + 10 in 100 mm Abstand vom Knotenpunkte vor. Die Brennweite beträgt nach Tabelle III Seite 24 im Mittel 253 mm. Das Objekt konnte noch in 362 mm Entfernung vom Drehpunkt scharf gesehen werden. Hieraus ergibt sich eine Hypermetropie von 0,03 D. Alle Bestimmungen dieses

Paragrafen sind zusammen in Figur 17 dargestellt, welche somit die Nahepunkts-, Fernpunkts- und Gleichgewichtslinie bei gesenkter Blickebene enthält. Wenngleich die hier dargestellten Werte nach einer ganz anderen Methode gewonnen wurden als die früheren, so zeigen die Kurven die grösste Aehnlichkeit mit den in Figur 9 bis 14 dargestellten, und es kann nicht zweifelhaft sein, dass das für die dortigen Nahe- und Fernpunktskurven aufgestellte Gesetz auch bei gesenkter Blickebene giltig bleibt. Durch Ausführung der erforderlichen Rechnung kann man die Richtigkeit dieser Angabe kontrollieren. Ebenso besteht auch hier dieselbe Beziehung zwischen den Fusionsgrenzen und der Gleichgewichtsstellung, wie sich aus Tabelle XXX. ergibt.

Tabelle XXVIII.
Relative Fusionsnahepunkte bei **gesenkter** Blickebene.

Abstand von der Basallinie.	Abstand von der Medianlinie.	Konvergenz.	Akkommodation.
500	158	11,10	1,87
320	107	12,45	2,92
240	81	13,29	3,86
185	61,5	14,10	4,99
152	49,1	14,71	6,01
128	39,2	15,19	7,13
166,7	66,0	15,84	Absolut. Fusionsnahepunkt.

Tabelle XXIX.
Relative Fusionsfernpunkte bei **gesenkter** Blickebene.

Abstand von der Basallinie.	Abstand von der Medianlinie	Konvergenz.	Akkommodation.
291,7	32,0	0	3,51
500	42,7	— 0,68	2,00
360	35,6	— 0,31	2,83

Abstand von der Basallinie.	Abstand von der Medianlinie.	Konvergenz.	Akkommodation.
235	28,6	+ 0,45	4,38
200	25,2	+ 1,06	5,17
170	22,1	1,82	6,11
150	18,1	2,88	6,94
133	11,5	4,67	7,80
333	46,1	— 1,32	Absolut. Fusionsfern- punkt.

Tabelle XXX.

Akkommodation.	Konvergenz.			a : b
	Fernpunkt.	Gleichgewicht.	Nahepunkt.	
0	— 1,31	— 0,60	+ 1,50	0,71 : 2,10 = 1 : 2,96
1	— 1,00	+ 1,50	9,20	2,50 : 7,70 = 1 : 3,08
2	— 0,69	2,30	11,35	2,99 : 9,05 = 1 : 3,03
3	— 0,24	2,99	12,56	3,23 : 9,57 = 1 : 2,96
4	+ 0,20	3,50	13,45	3,30 : 9,95 = 1 : 3,02
5	+ 0,90	4,15	14,10	3,25 : 9,95 = 1 : 3,06
6	1,74	4,90	14,69	3,16 : 9,79 = 1 : 3,10
7	2,96	5,92	15,10	2,96 : 9,18 = 1 : 3,07
8	5,40	7,90	15,61	2,50 : 7,71 = 1 : 3,08

Die letzte Kolonne beweist, dass auch bei gesenkter Blickebene für mich das Gesetz gilt:

„Bei jeder Akkommodation kann von der Gleichgewichtsstellung aus dreimal so stark konvergiert, als divergiert werden.“

Der absolute Nahepunkt und Fernpunkt der Akkommodation ist nicht verändert. Durch oftmalige Nachprüfung habe ich mich hiervon überzeugt.

Während in diesen Beziehungen zwischen den Verhältnissen in der Primärstellung und denen bei Senkung der Blickebene Übereinstimmung herrscht, so besteht der wesentliche Unterschied wieder in einer Abnahme der Konvergenz, obschon dieselbe den bei gehobener Blickebene erreichten Grad nicht erreicht. Ich fand in Übereinstimmung mit anderen,

dass geringere Konvergenzstellungen wohl infolge der grösseren Übung unter Senkung der Blickebene besonders leicht erreicht wurden, ja sogar, dass bei einer Abwärtsbewegung der Augen oft unwillkürlich eine leichte Einwärtsdrehung gleichzeitig erfolgte, hinsichtlich des absoluten Masses hingegen konnte über die angegebenen Grenzen auch bei stärkster Anstrengung niemals hinaus gegangen werden. Man könnte annehmen, dass die andere eingeschlagene Methode an dieser Einschränkung schuld wäre. Aber gerade die Bestimmung der Fusionsnahepunkte, auf die es doch dabei besonders ankommt, war leichter und sicherer als mit Prismen, da brechende Flächen vor den Augen stets etwas stören und mehr anstrengen. Namentlich die Gleichgewichtsbestimmung gelang besser noch, als nach dem v. Gräfe'schen Verfahren. Es erscheint daher naheliegend, dass die Verringerung der Konvergenz einen ähnlichen mechanischen Grund hat, wie bei Elevation der Blicklinien gefunden war. Denn die dort gegebene mathematische Deduktion gilt unter entsprechender Substitution auch bei gesenkter Blickebene. Ist α wieder der Drehungswinkel des Auges infolge der Wirkung des rectus internus oder externus, β der von der Blicklinie beschriebene Winkel und φ hier der Senkungswinkel der Blickebene, so gilt wieder die Gleichung:

$$\text{I.} \quad \text{tg } \beta = \text{tg } \alpha \cos \varphi,$$

oder

$$\text{II.} \quad \cos \varphi = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha}.$$

Für den absoluten Fusionsnahepunkt war in der Primärstellung gefunden (S. 47)

$$\alpha = 35^{\circ} 5' 20''.$$

In der gesenkten Blickstellung ergibt sich

$$\sin \beta = 0,032 \cdot 15,84,$$

daher

$$\beta = 30^{\circ} 27' 25''.$$

Durch Substitution in Gleichung II findet man daher

$$\varphi = 33^{\circ} 10' 24,29''.$$

Da die direkte Messung ergeben hatte

$$\varphi = 33^{\circ} 30',$$

(S. 88) mit einer Fehlergrenze von $30'$, so ist auch hier die Übereinstimmung eine gute. Berechnet man umgekehrt beim absoluten Fernpunkt aus α u. φ den Winkel β , so folgt nach Seite 83

$$\alpha_1 = 2^{\circ} 59' 23,82''.$$

Durch Einsetzung von φ und α_1 in Formel I findet man

$$\beta_1 = 2^{\circ} 30' 12,03'',$$

und daraus ergibt sich als Konvergenz in Meterwinkeln

$$x = -1,36.$$

Da der Versuch ergeben hatte

$$x = -1,32,$$

so stimmen auch hier die Resultate gut überein. Hinsichtlich der relativen Fusionsgrenzen besteht dasselbe Verhältnis, wie bei gehobener Blickebene, die relativen Fernpunkte entsprechen den durch Rechnung abgeleiteten, die relativen Nahepunkte liegen etwas näher. Die oben dafür gegebene Erklärung trifft auch hier in entsprechender Anwendung zu, denn ebenso wie bei der Elevation des Blicks der *m. rectus superior* die Konvergenz steigern kann, so vermag dies bei gesenkten Blicklinien der *m. rectus inferior*.

Man hat mit Rücksicht auf diese Ergebnisse bei gehobener und gesenkter Blickebene zu schliessen, dass das Konvergenzzentrum ausser dem *m. rectus internus* auch die oberen und unteren geraden Augenmuskeln beeinflussen kann. Dass der *m. rectus externus* keine direkten Verbindungen mit demselben unterhält, darf wohl als allgemein angenommen gelten. Zwar wird eine Kontraktion des *rectus internus* stets nach physio-

logischem Gesetz mit vermindertem Tonus des rectus externus als seines Antagonisten verbunden sein, und ebenso wird bei einer Erschlaffung des inneren geraden Muskels zur Verminderung der Konvergenz die Spannung des externus etwas steigen, aber diese Vorgänge erfolgen bei der reinen Konvergenzbewegung niemals infolge einer den rectus externus durch direkten Willensimpuls treffenden Erregung, sondern sind als sekundäre zu betrachten. Die Ruhestellung der Augen ist eben die divergente.

„Das Konvergenzcentrum unterhält daher Beziehungen zu allen denjenigen Augenmuskeln, welche geeigneten Falles eine Adduction der Blicklinien herbeiführen können, nicht dagegen zu denjenigen, die entweder ausschliesslich, oder wenigstens neben anderen Wirkungen auch einen abducierenden Einfluss auf dieselben haben.

§ 15. Über die Ursache und einige praktische Folgen des Zusammenhangs zwischen der Akkommodation und der Konvergenz der Blicklinien.

Bezüglich des Ursprungs der fraglichen Beziehungen stehen sich zwei Ansichten gegenüber. Während die Einen denselben für angeboren halten, so sind die Andern der Meinung, dass sie sich erst während des extrauternen Lebens durch die Erfahrung und das praktische Bedürfnis entwickeln. Die erhaltenen Versuchsergebnisse können vielleicht mit zur Lösung dieser Frage beitragen.

Wie schon erwähnt, sind die relativen Fusionsbreiten und namentlich die stärkeren Konvergenzgrade für normale, emmetropische Augen ohne Bedeutung. Es würde für diese vollkommen genügen, wenn sich bei jeder Akkommodation die zum binokularen Sehen erforderliche Augenstellung gleichzeitig einstellte. Der grosse Vorteil des vorhandenen Spielraums tritt erst bei Refraktionsanomalien ein. Beim Eintritt von Myopie wird das ganze Diagramm (siehe Figur 12) gegenüber dem Koordinatensystem nach oben verschoben, es ist daher entsprechend dem Näherrücken des Akkommodationsgebietes

eine stärkere Konvergenz erforderlich. Hypermetropen dagegen können nur auf weitere Entfernungen deutlich sehen, sie werden daher auch beim binokularen Sehen ihre Konvergenz weniger anzustrengen haben, als Emmetropen. Im Hinblick hierauf lässt sich die durch die Versuche festgestellte Art des Zusammenhanges nach der Deszendenzlehre leicht erklären. Ein Individuum, welches bei eintretender Ametropie noch binokular sehen kann, ist offenbar weit besser gestellt, als ein anderes, dem dies nicht möglich ist. Man muss daher erwarten, dass es bei der allgemeinen Konkurrenz über jenes den Sieg davonträgt. Durch Vererbung wird sich die fragliche Eigenschaft auch auf seine Nachkommen in mehr oder weniger hohem Grade erstrecken, und indem die minder damit behafteten im Kampfe ums Dasein zurückgedrängt werden, wird sie allmählig ein Gemeingut der gesammten Menschheit werden. Sonach wäre der Zusammenhang ein angeborener. Besonders spricht für diese Annahme das Verhalten der relativen Fusionsbreiten zur Konvergenzlinie. Von der binokularfixierenden Stellung aus kann die Konvergenz so erheblich gesteigert werden, dass selbst bei hohen Graden von Myopie, bis zu etwa 10 D., noch einfach gesehen werden kann. Ebenso gestattet die mögliche Herabsetzung der Konvergenz dem Hypermetropen geringeren Grades, (bis zu 3,5 D.), noch den binokularen Sehakt. Damit ist den dringendsten Anforderungen genügt. Bei absoluter Hyperopie wäre es natürlich wertlos, wenn die Augen die der optischen Einstellung entsprechende Divergenz einnehmen könnten. Aber auch da, wo noch auf weitere Entfernungen wenigstens akkommodiert werden kann, ist der binokulare Sehakt nicht von solcher Bedeutung, wie beim Nahesehen eines Emmetropen oder gar Myopen, da die Beurteilung des Abstandes und das körperliche Sehen hier durch Fixation mit beiden Augen nur in geringerem Grade, wie dort, möglich ist. Es ist daher begreiflich, dass die Beziehungen zwischen Akkommodation und Konvergenz sich entsprechend dem praktischen Bedürfnis auf dem angegebenen Wege ausgebildet haben. Gegen diesen Erklärungsversuch könnte eingewendet werden, dass allen

Störungen des binokularen Sehaktes am besten vorgebeugt wäre durch die Abwesenheit aller Beziehungen zwischen Akkommodation und Augenbewegungen, dass also das Entstehen solcher eher störend als nützlich wäre. Es ist jedoch bekannt, dass Eigenschaften und Fähigkeiten, die durch eine lange Reihe von Generationen nicht gebraucht wurden, sich zurückbilden und schliesslich verschwinden. Nun kommen solche Grade von Ametropie, bei denen die jetzige Dehnbarkeit der Beziehungen zwischen Konvergenz und Akkommodation zum wünschenswerten binokularen Sehen absolut unzureichend ist, kaum vor, und wir müssen annehmen, dass dies auch früher nicht der Fall gewesen ist. Daher fehlte auch jede Veranlassung, den verschiedenen Akkommodationen noch stärkere oder geringere Konvergenzbeträge zu assoziieren, und so ging die betreffende Fähigkeit allmählig verloren, sodass das Verhältnis zwischen Konvergenz und Akkommodation die nunmehr bestehende Form annahm.

Während sich somit die vorliegenden Beziehungen als angeborene leicht erklären, so lässt sich für die entgegengesetzte Annahme eine leicht begreifliche und annehmbare Deduction nicht erbringen. Es ist nicht einzusehen, wodurch sich der Zusammenhang infolge von Uebung gerade so gestalten soll, wie er in der That vorliegt. Ein Emmetrop, der sich nicht gerade mit optischen Studien beschäftigt, kommt nicht in die Lage, seine Blicklinien bei 1 D. Akkommodation divergieren zu lassen, ebensowenig hat er Veranlassung, dieselben um 30° — 40° nach innen zu drehen. Wie sollen sich also die vorhandenen Grenzen ausbilden? Wenn man das Fehlen jeder Beziehung zwischen den fraglichen Funktionen als das Angeborene ansieht, so kann man nicht einsehen, wie gerade der beobachtete gesetzmässige Zusammenhang durch die Erfahrung entstehen soll. Für die vertretene Annahme spricht ferner die Unmöglichkeit, durch Uebung das Konvergenz und Akkommodation vereinigende Band zu lösen. Denn wenn die betreffenden Beziehungen sich durch Uebung gebildet hätten, so müsste man dieselben durch entgegengesetzte

Bemühungen wenigstens teilweise wieder auflösen können, bisher ist dies aber noch keinem Experimentator gelungen. Endlich liegt noch eine wesentliche Bestätigung in Beobachtungen von Genzmer*) an Neugeborenen; welcher fand, dass jede Konvergenzstellung infolge starken Lichteindrucks von einer Akkommodationsspannung begleitet ist. G. hat sich davon bei einigen recht ruhigen 2--5 Wochen alten Kindern sowohl durch die Beobachtung der Linsenbildchen, als durch ophthalmoskopische Untersuchung überzeugt und schliesst daher, dass ein vorgebildeter Zusammenhang zwischen Konvergenzstellung und Akkommodationsspannung besteht.

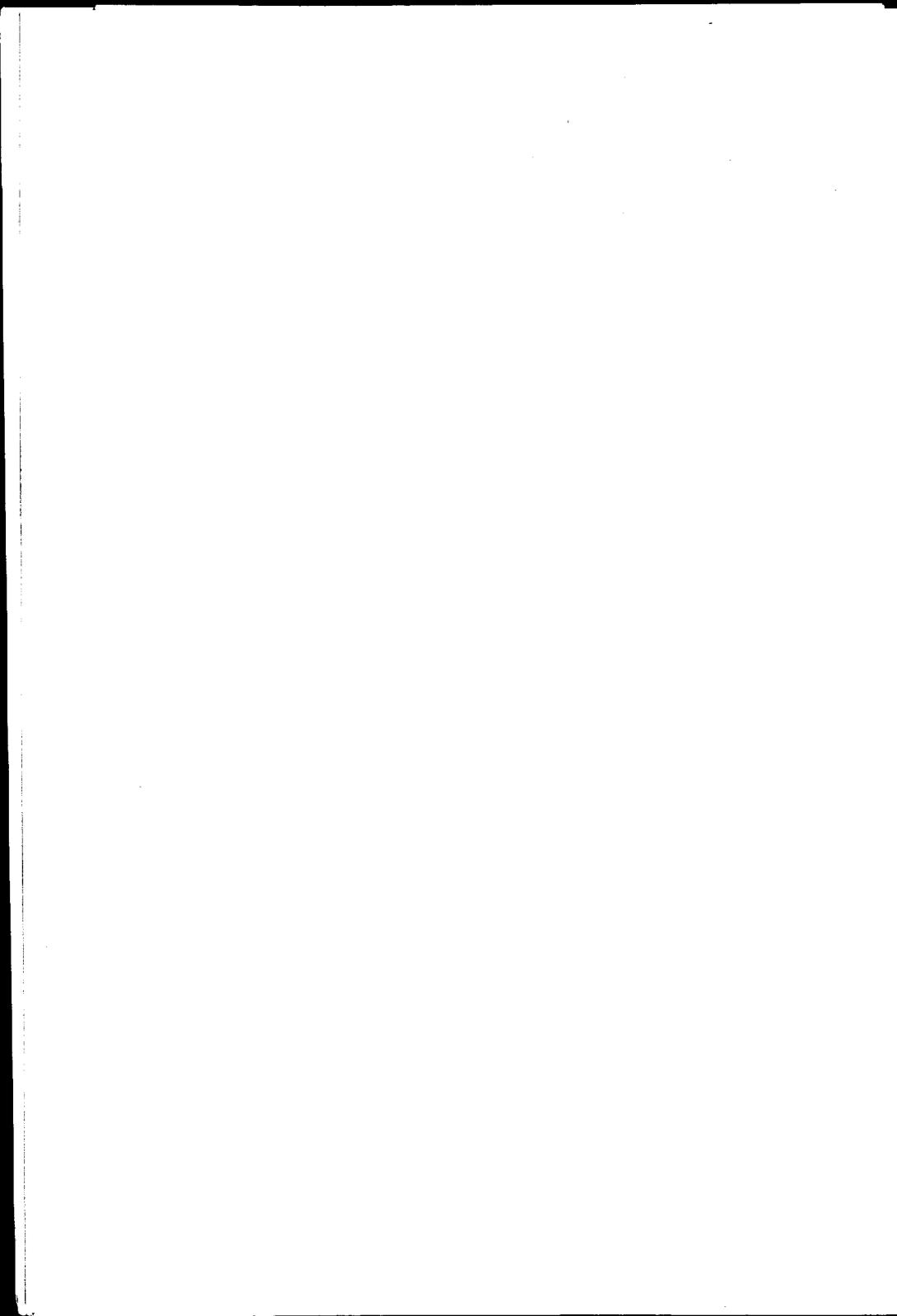
Zum Schluss möge noch auf einige praktisch wichtige Folgerungen aus den gewonnenen Resultaten hingewiesen werden. Bei Myopie wird, wie schon erwähnt, das ganze Diagramm (Figur 13) weiter nach oben gerückt. Dadurch kommt die Konvergenzlinie in eine ungünstigere Lage zur Gleichgewichtslinie, und man sieht daraus, dass asthenopische Beschwerden bei höheren Graden von Kurzsichtigkeit selbst unter normalen Muskelverhältnissen eine notwendige Folge sind, und dass mit Korrektur der Ametropie auch jene Symptome verschwinden werden. Die völlige Uebereinstimmung endlich in den nach den verschiedenen Methoden erhaltenen Ergebnissen zeigt, dass Widersprüche, wie solche von mehreren Seiten bei Prüfung unter verschiedenen Umständen bemerkt worden sind, beruhen auf der Mitwirkung des Konvergenzgefühls, des Nahebewusstseins und anderer, zur Beurteilung der Lage des Objekts dienender Orientierungsmittel, wofür nicht die Methoden selbst fehlerhaft waren.

Die vorliegende Arbeit möge hiermit ihren Abschluss finden. Die zeitraubenden und meist schwierigen Versuche wurden zum Teil in der hiesigen königl. Augenklinik, zum

*) Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen. Inaugural-Dissertation von Alfred Genzmer. Halle a. S., 1873.

Teil in meiner Wohnung ausgeführt. Die Bestimmung der Prismen und Linsen fand, wie schon erwähnt (S. 19) in dem physikalischen Laboratorium der Universität unter Aufsicht des Herrn Professor Dr. Dorn statt.

Ich erfülle die angenehme Pflicht, allen den Herren, die mich teils durch Auskunft, teils durch praktische Ratschläge in mannigfacher Weise unterstützten, hiermit aufrichtigen und ehrerbietigen Dank auszusprechen.



Lebenslauf.

Verfasser, Friedrich Karl Sigismund Fischer, Sohn des im Jahre 1871 verstorbenen Pastors Theodor Fischer zu Donndorf, evangelischer Konfession, wurde am 6. September 1866 zu Donndorf bei Wiehe im Kreise Eckartsberga, Provinz Sachsen, geboren. Seit dem Oktober des Jahres 1871 in Halle a. S. wohnhaft erhielt er seine erste Schulbildung auf der Vorschule des dortigen Stadt-Gymnasiums und besuchte im Anschluss daran die letztere Schule selbst, die er am 15. September 1886 mit dem Zeugnis der Reife verliess.

Michaelis 1886 bezog er die Universität Halle, um Medizin zu studieren, und bestand daselbst am 22. Oktober 1887 das Tentamen physicum. Vom 1. Januar bis Ende September 1888 bekleidete er durch die Güte des Herrn Prof. Dr. Bernstein die Stelle des Assistenten am physiologischen Institute der Universität Halle.

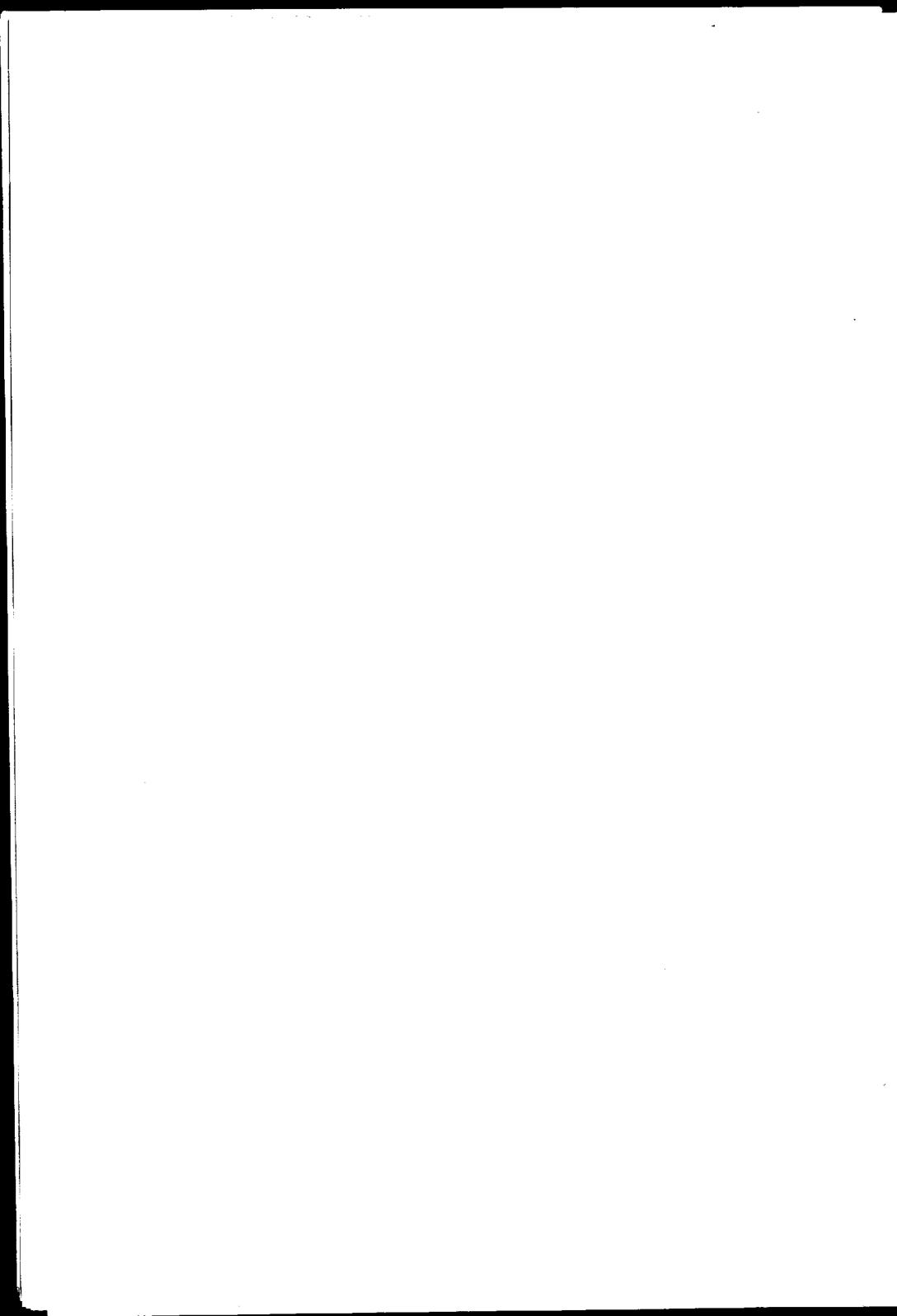
Nach Absolvierung der königl. Staatsprüfung ebendasselbst erhielt er am 2. Juli 1892 die Approbation als Arzt.

Am 30. Juni 1893 bestand er das Examen rigorosum magna cum laude.

Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen, Kliniken und Curse folgender Herren Professoren und Dozenten:

Ackermann, Bernstein, v. Bramann, Bunge, Eberth, Genzmer, Gräfe, Grenacher, Harnack, Hitzig, Kaltenbach, Knoblauch, Kohlschütter, Kraus, Krause, Frh. v. Mering, Oberst, Pott, Renk, Schwartz, Schwarz, Seeligmüller, Volhard, v. Volkmann, Weber, Welcker.

Allen diesen hochverehrten Lehrern widmet der Verfasser aufrichtigen Dank.



Thesen.

I.

Der Zusammenhang zwischen der Akkommodation und der Konvergenz der Blicklinien ist angeboren.

II.

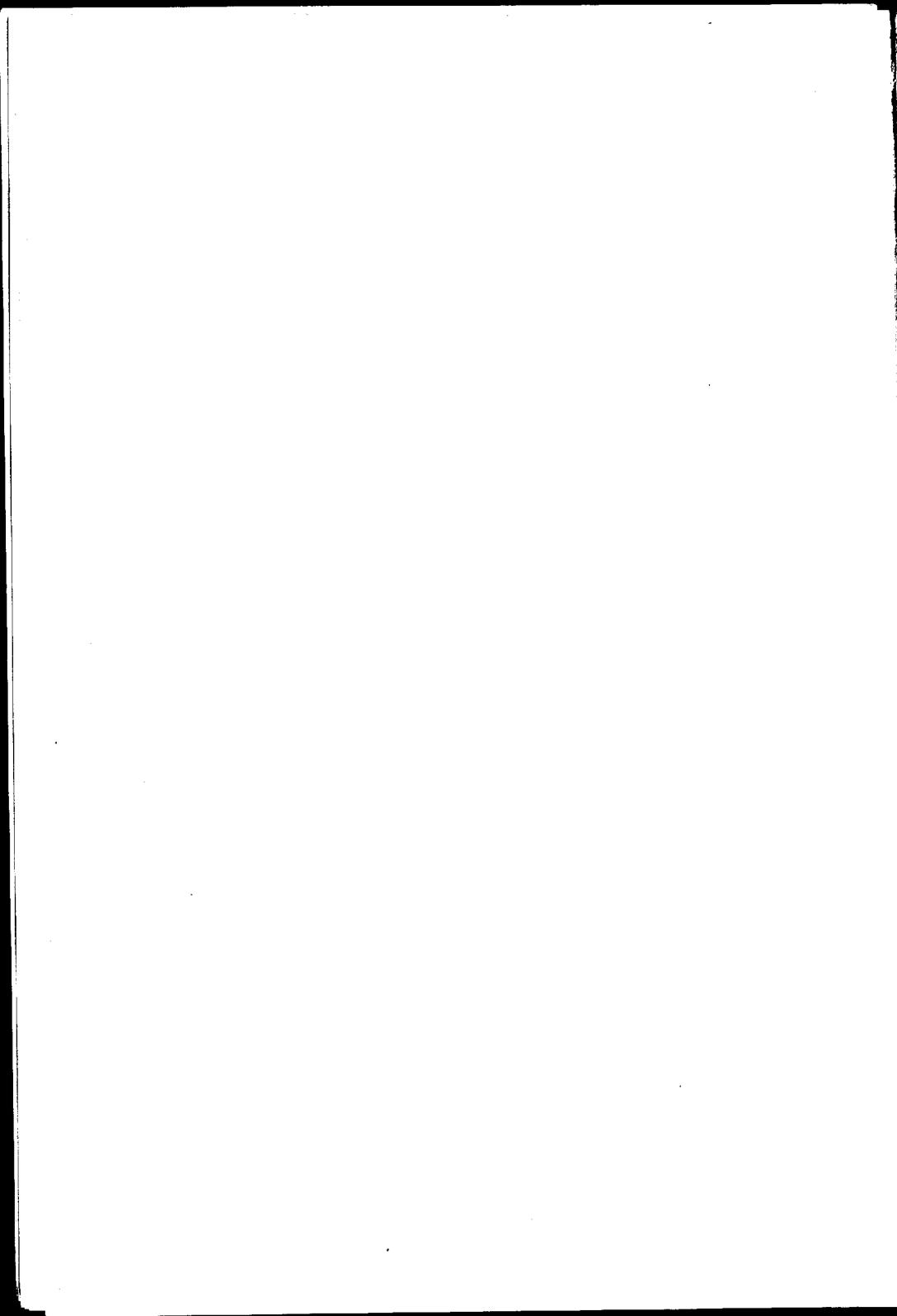
Die genaue Bestimmung der Refraktion ist nur auf ophthalmoskopischem Wege möglich.

III.

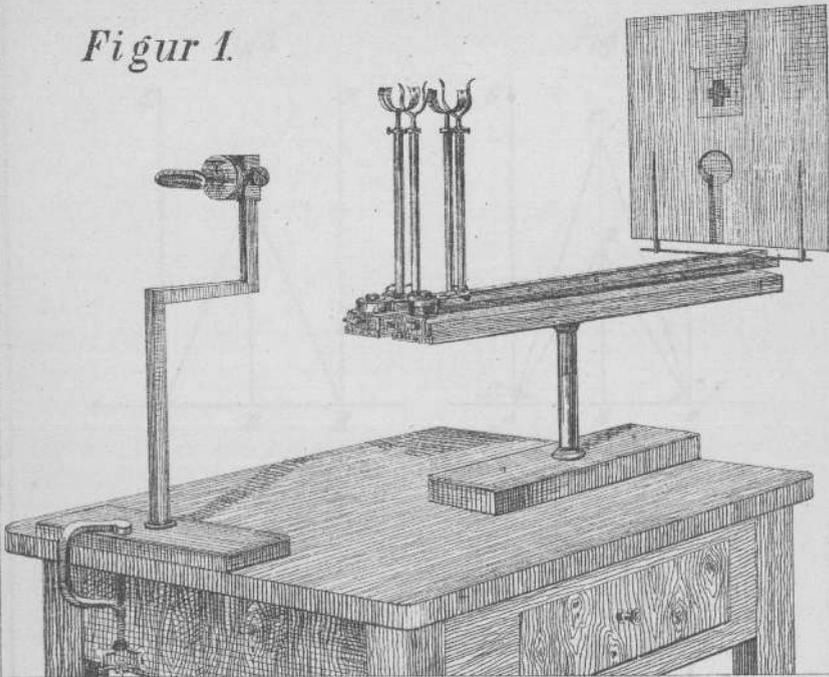
Die Niederdruckdampfheizung ist zur Zeit das beste Centralheizungssystem.

VI.

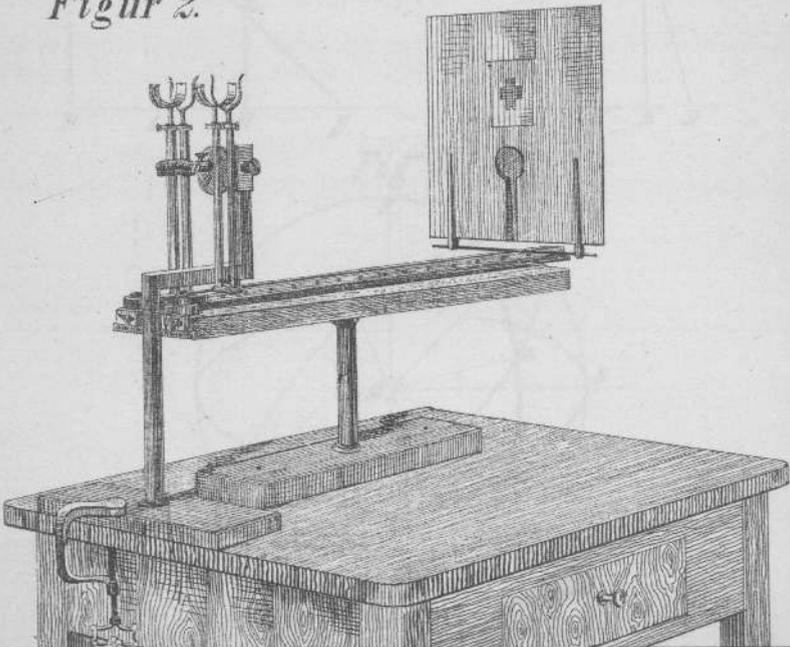
Die geburtshilfliche Anwendung der Mutterkornpräparate ist allein in der Nachgeburtsperiode statthaft.



Figur 1.



Figur 2.



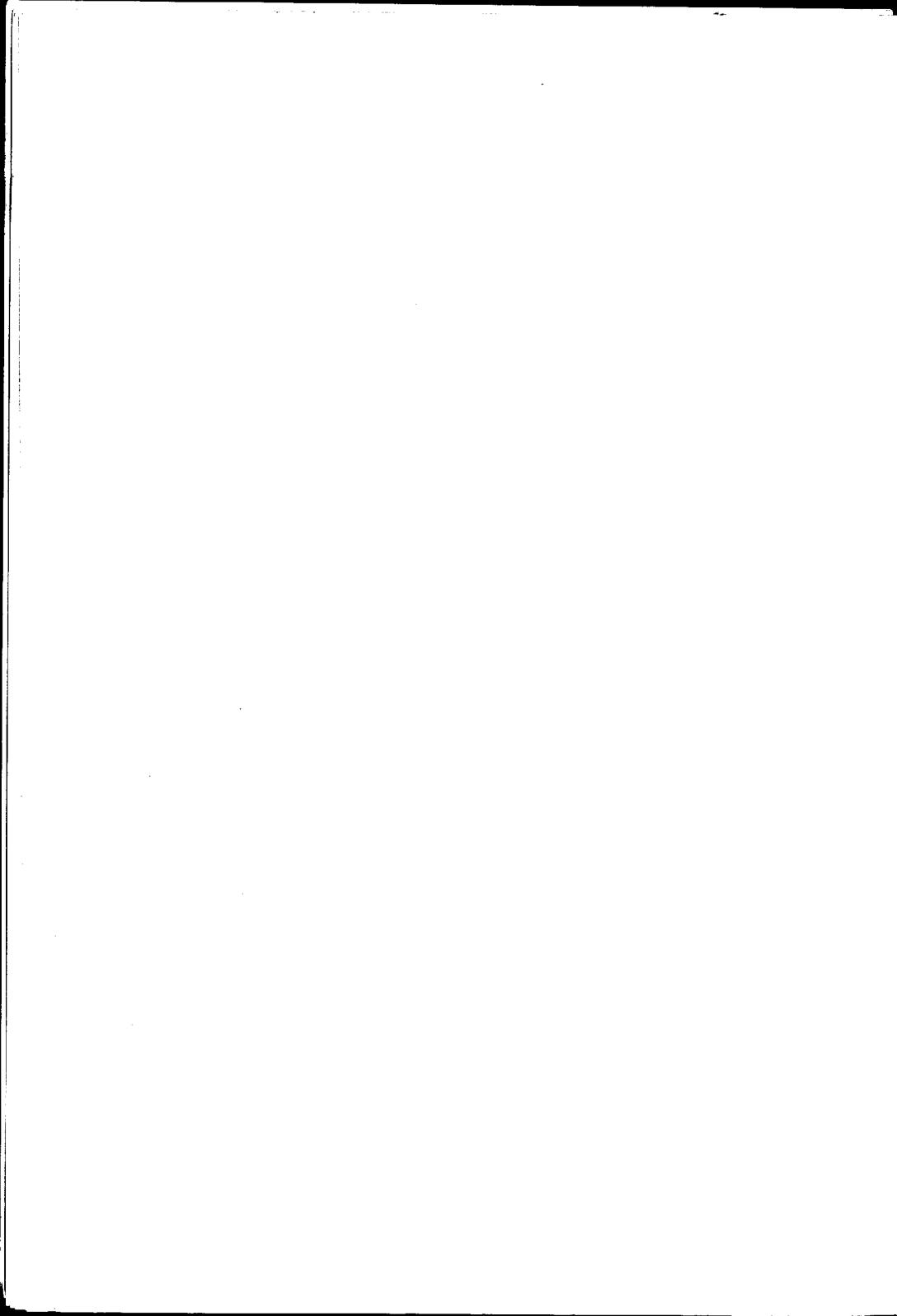


Fig. 3.

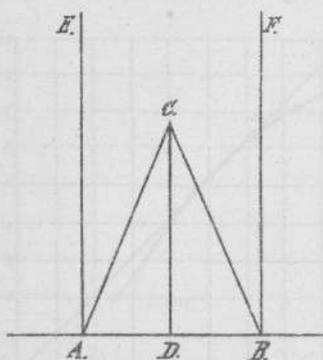


Fig. 4.

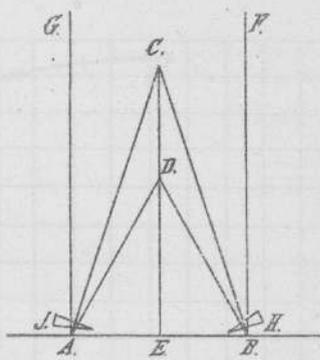


Fig. 7.

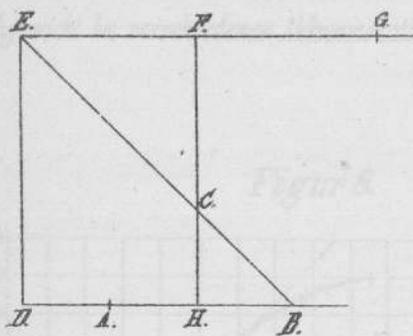


Fig. 16.

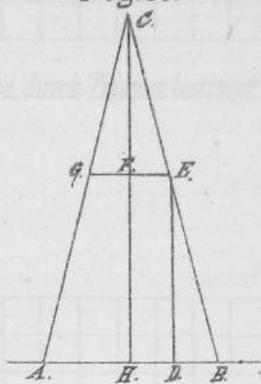
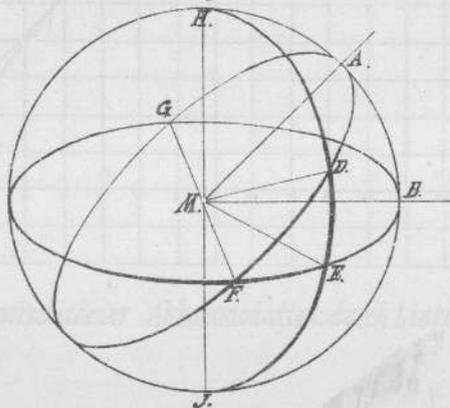
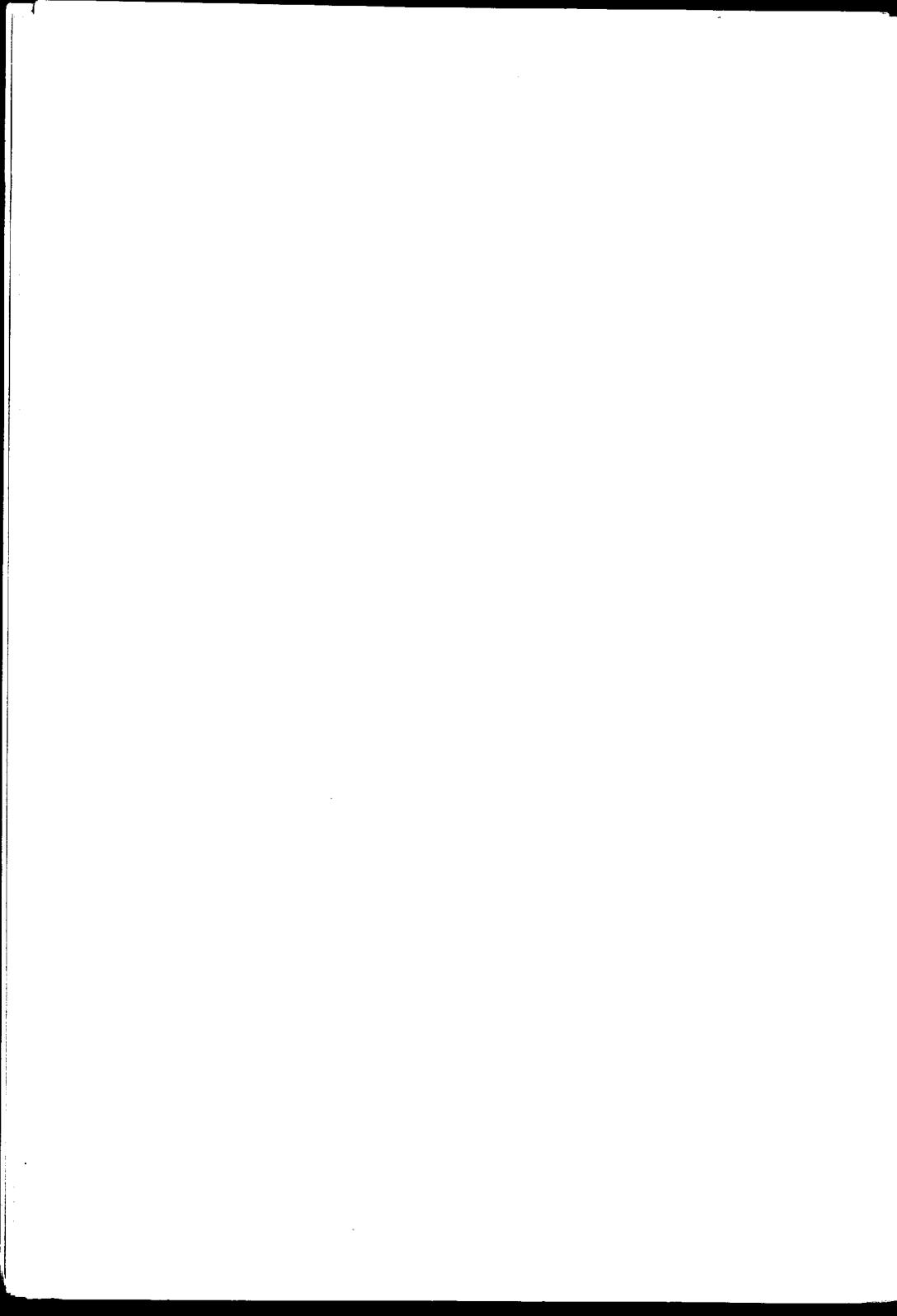
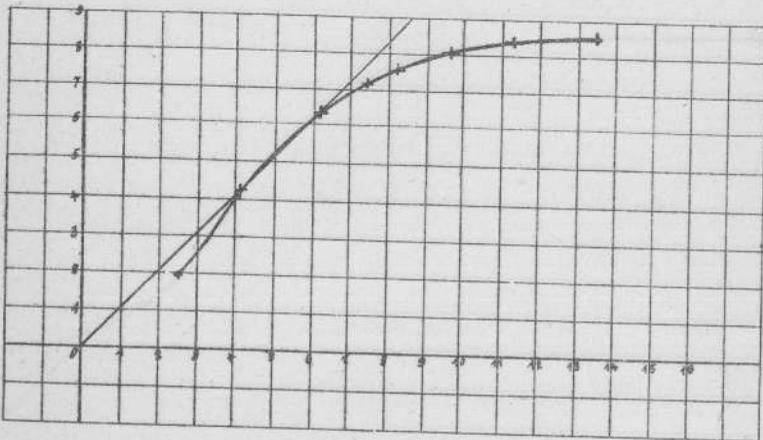


Fig. 15.



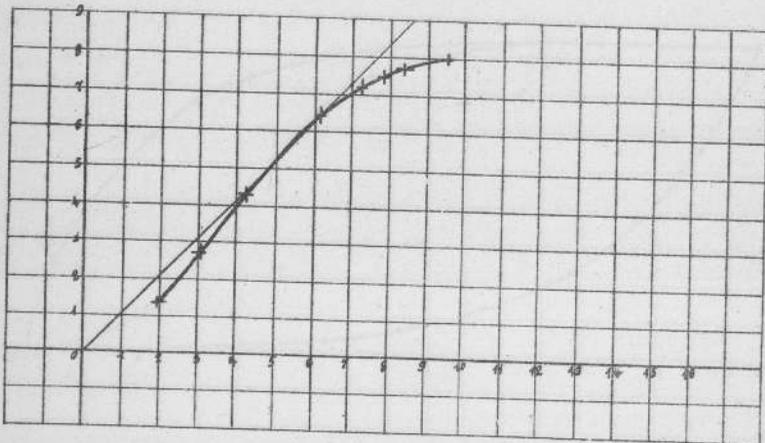


Figur 5.

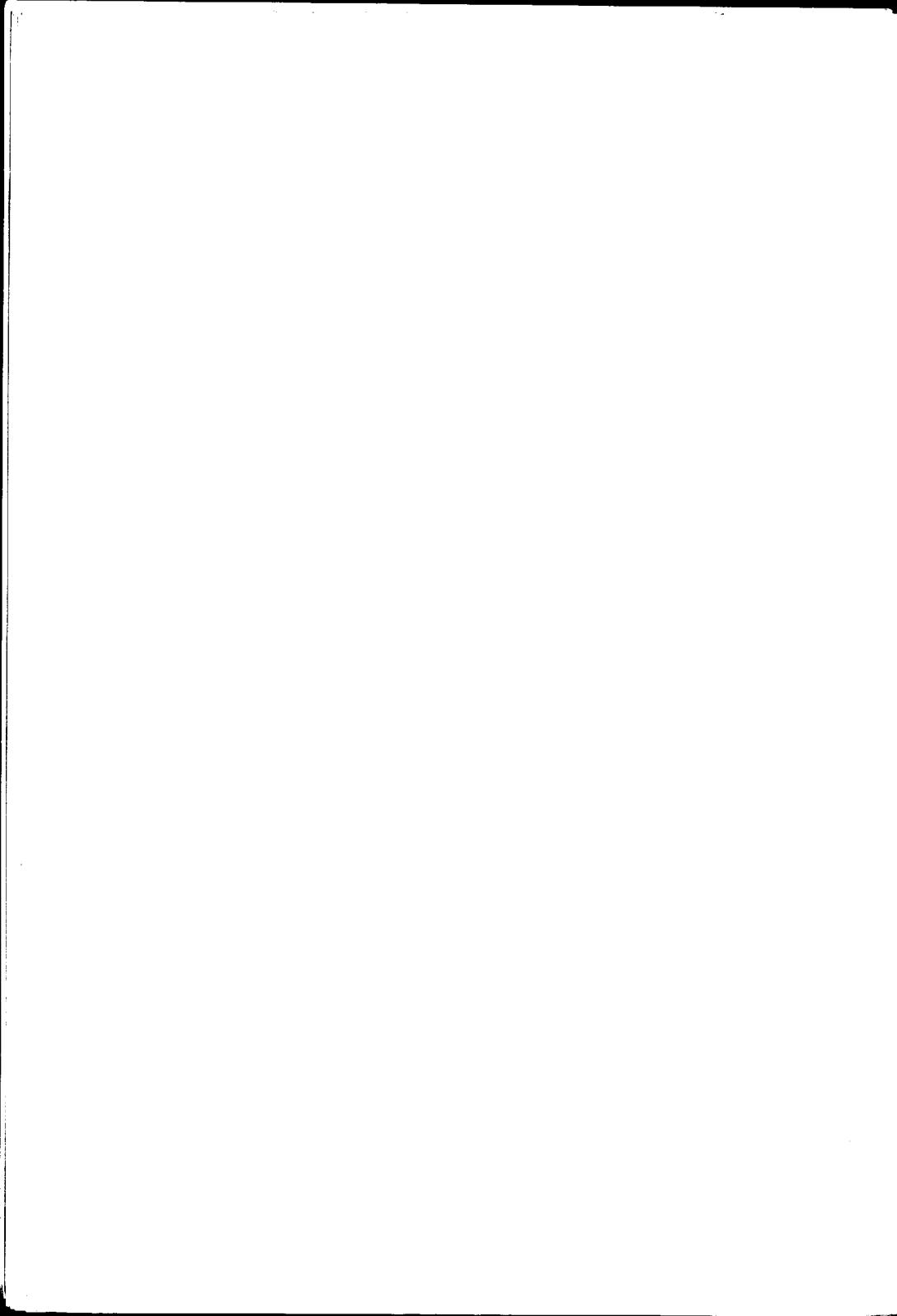


Gleichgewicht bei verschiedener Akkommodation, durch Prismen bestimmt.

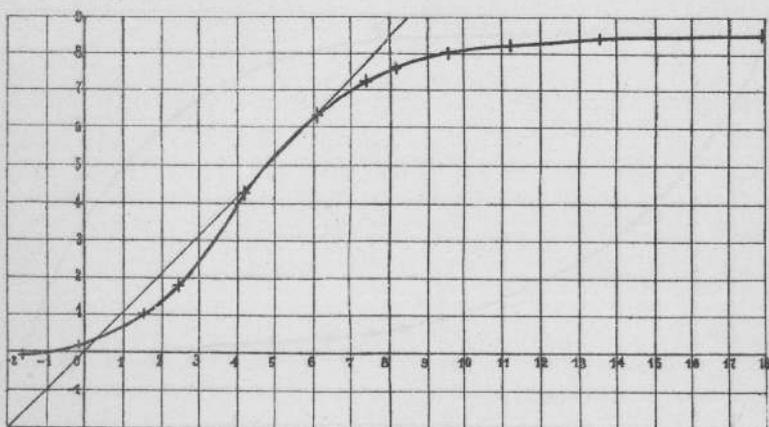
Figur 6.



Gleichgewicht bei verschiedener Akkommodation, durch Linsen bestimmt.

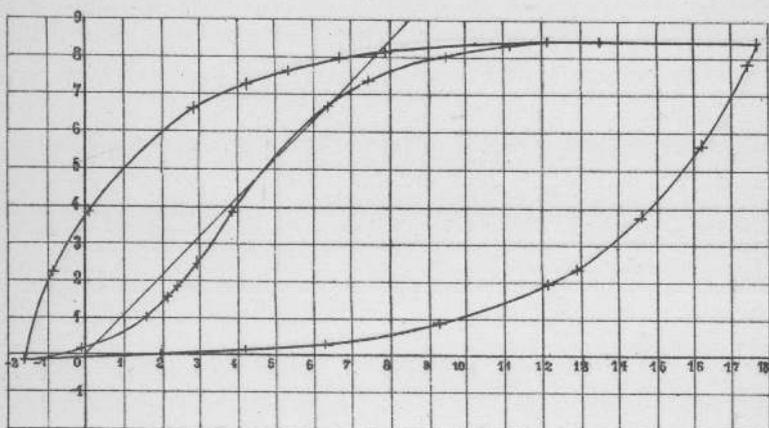


Figur 8.

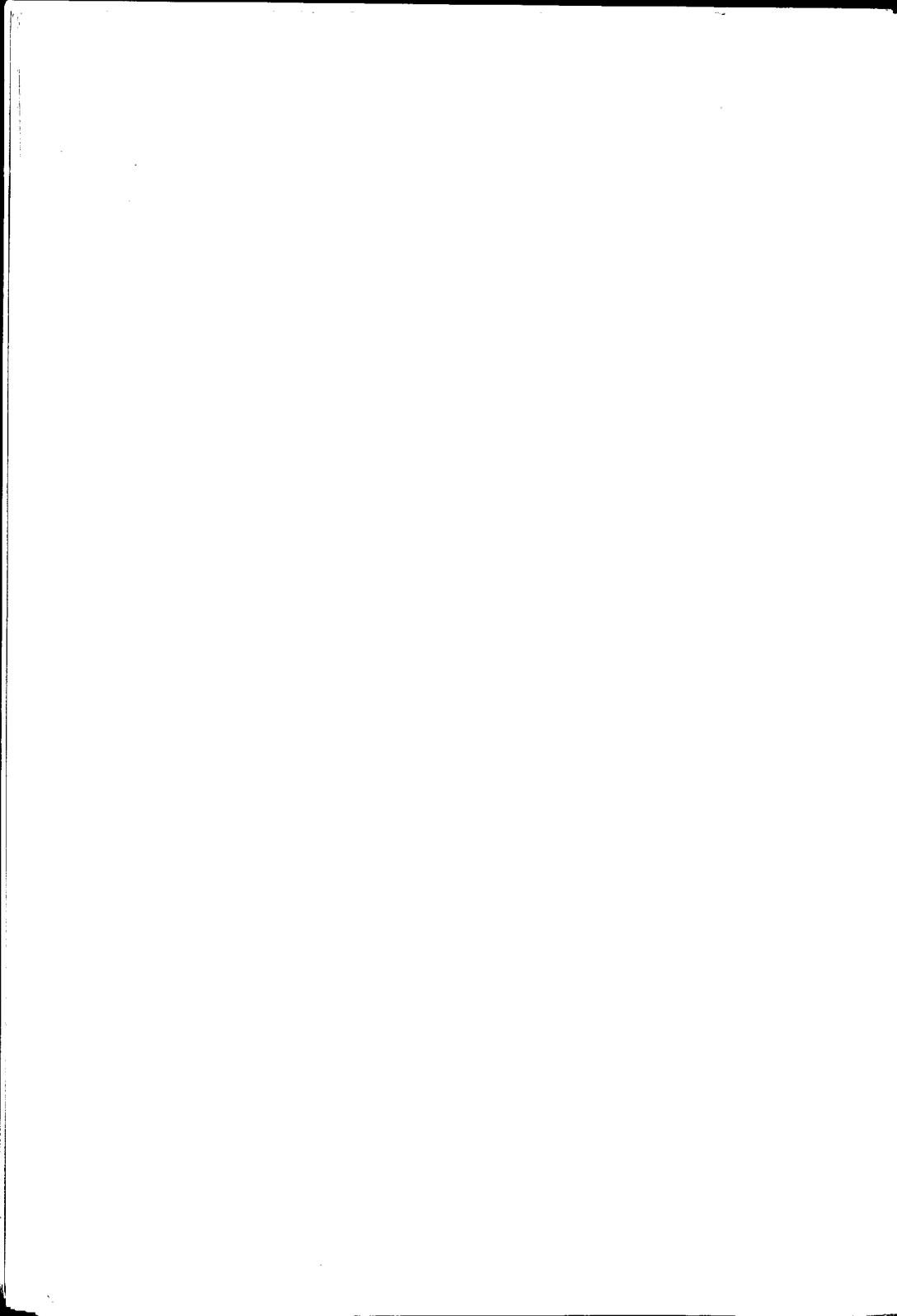


*Gleichgewicht im gesammten Akkommodationsgebiete,
für weitere Entfernungen durch Linsen und Prismen bestimmt, Absoluter Nah- u. Fernpunkt.*

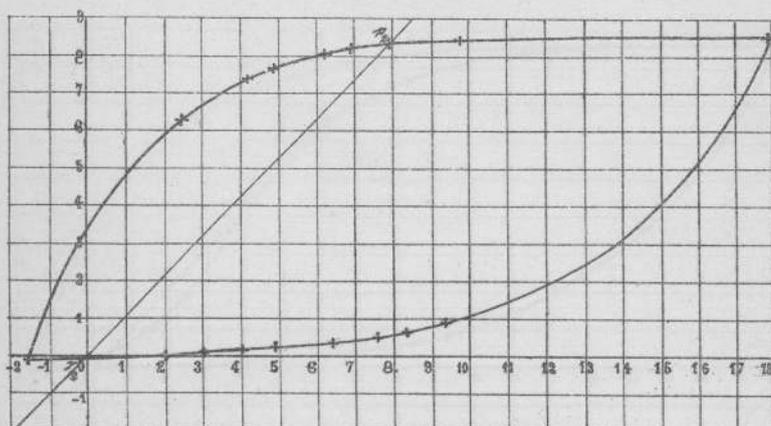
Figur 9.



*Wiederholung der vorigen Versuche bei ermüdeten Augen, künstl. Beleucht. Abends.
Nahpunktlinie, Fernpunktlinie, Gleichgewichtslinie.*

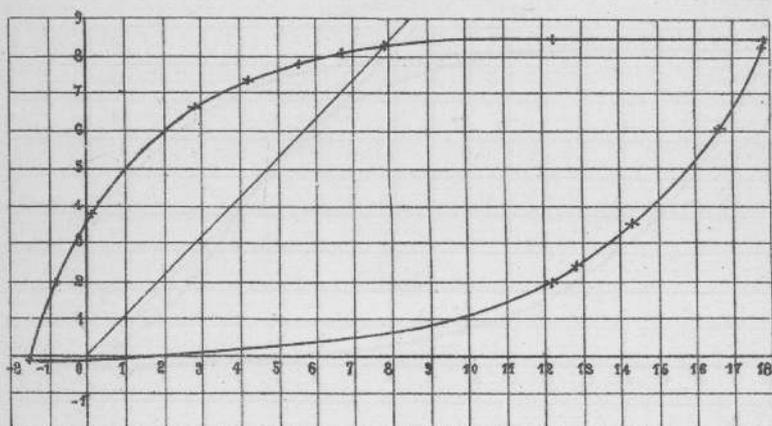


Figur 10.

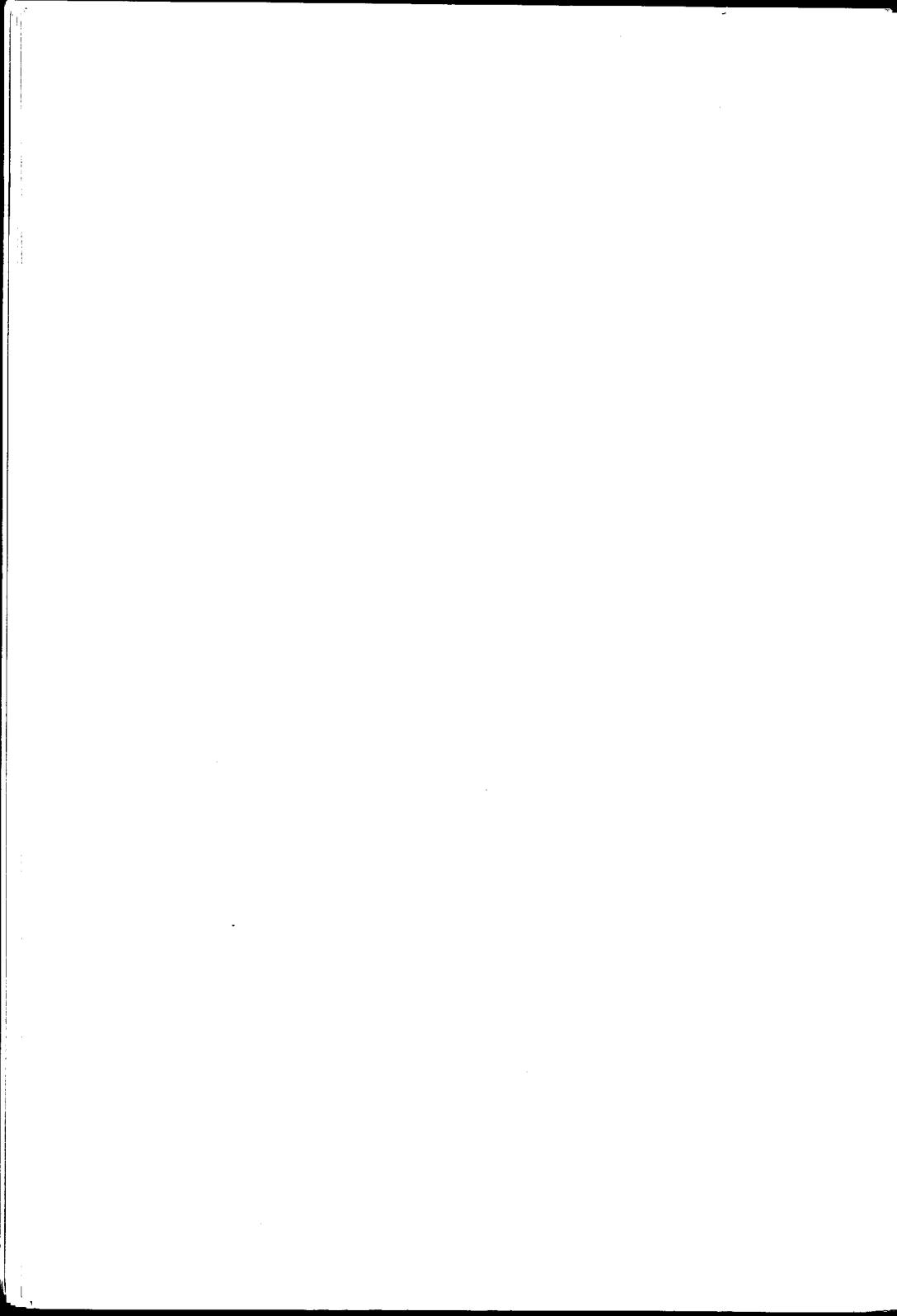


Relative Nahpunkte und Fernpunkte der Akkommodation;
durch Linsen bestimmt.

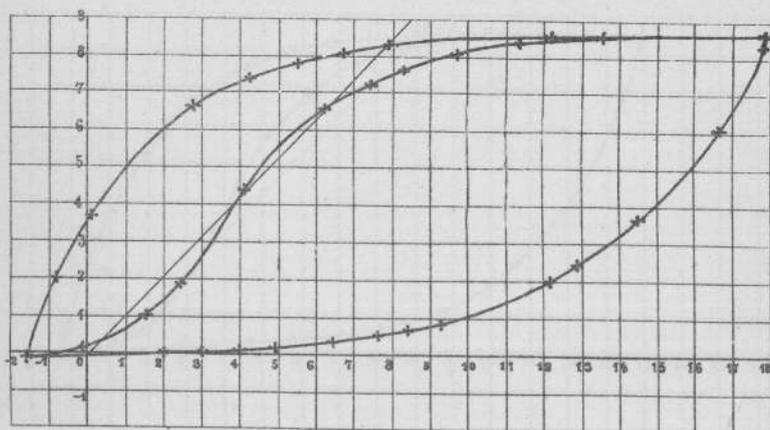
Figur 11.



Relative Nahepunkte und Fernpunkte der Fusion,
durch Prismen bestimmt.

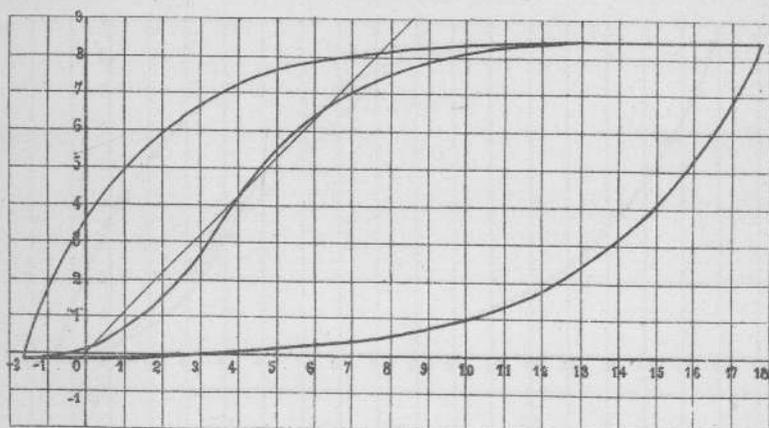


Figur 12.



*Zusammenstellung der drei vorigen Versuchsreihen:
Nahepunktskurve, Fernpunktskurve u. Gleichgewicht.*

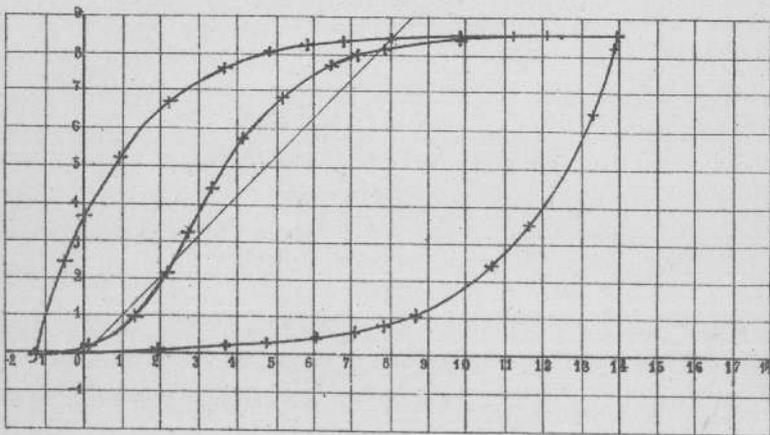
Figur 13.



*Theoretische Kurven aus d. Versuchen Fig. 7 durch Berechnung abgeleitet u. geometr.
dargestellt, Übereinstimmung mit den thatsächl. beobacht. Werthen in Fig. 7.*

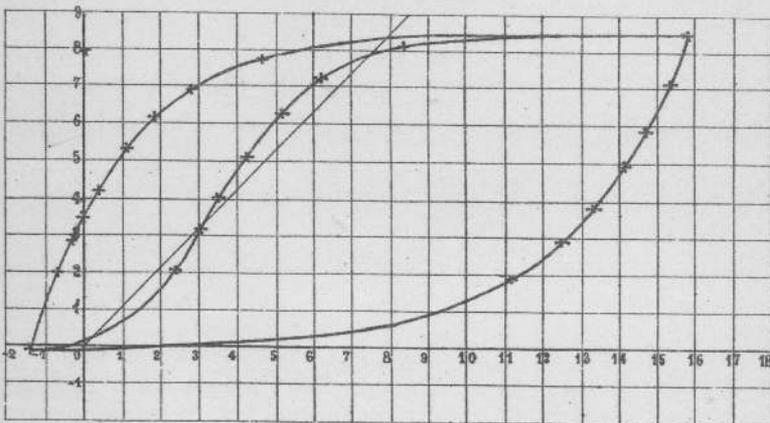


Figur 14.



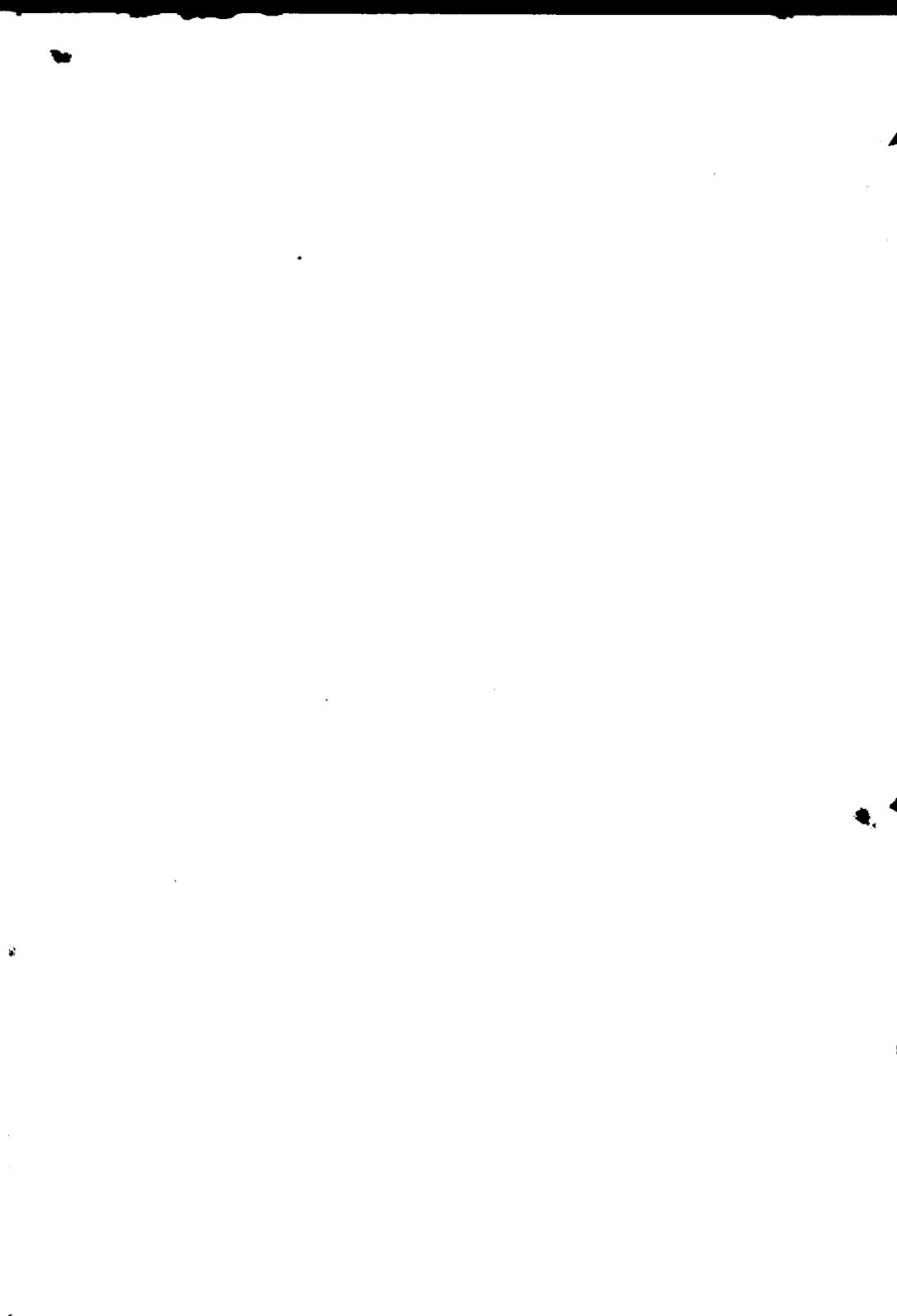
Gleichgewicht, sowie relative Nahepunkte u. Fernpunkte
bei gekobener Blickebene ($\psi = 45^\circ$)

Figur 17.



Gleichgewicht, relative Nahepunkte und Fernpunkte
bei gesenkter Blickebene. ($\psi = 33,5^\circ$)





11119

