XVIII.

Ueber Beleuchtungsapparate.

Von

Prof. Burow sen.
in Königsberg.

Herr Dr. Weil hat im 6. Hefte des 10. Bandes des Ziemssenschen Archivs einen geharnischten Artikel gegen den grossen Tobold'schen Beleuchtungsapparat veröffentlicht, der mich zu nachstehenden Erörterungen veranlasst.

In dem Tobold'schen Beleuchtungsapparat sind 3 Linsen combinirt, von denen nach Herrn Weil zwei von einer Brennweite von 5" nahe aneinander liegend etwa $2\frac{2}{3}"$ gemeinsame Brennweite haben, während die dritte 4" vor diesen combinirten Linsen absteht und eine Brennweite von $5\frac{1}{2}"$ hat.

Herr Weil nimmt an, dass der leuchtende Punkt $1\frac{1}{2}$ Zoll hinter den combinirten ersten Linsen liege, und bestimmt danach die Richtung in der die Strahlen aus ihnen hinaustreten, durch

Rechnung nach der Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{6}$

$$\frac{1}{2\frac{2}{3}} = \frac{1}{a} + \frac{1}{1\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{a} = \frac{3}{8} - \frac{2}{3} = \frac{7}{24} \quad a = -3\frac{3}{7}$$

d. h. die Strahlen treten divergent so aus der Linse, als kämen sie von einem $3\frac{3}{7}$ Zoll hinter der Linse gelegenen Punkte.

Er folgert nun weiter: Da die 3. Linse 4" von den ersten beiden combinirten absteht, so treten auf sie die Strahlen so, als kämen sie von einem $7\frac{3}{4}"$ entfernten Lichtpunkte. Es ist also

$$\frac{2}{11} = \frac{1}{a} + \frac{7}{52}$$

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{11} - \frac{7}{52} = \frac{27}{572} \quad a = 21 \frac{5}{27}$$

d. h. die aus dem Instrumente austretenden Strahlen sind convergent und vereinigen sich $21 \frac{5}{27}''$ vor der vorderen Linse.

Wenn nun, wie es bei dem Tobold'schen Instrumente der Fall ist, diese in der angegebenen Berechnung aus den Instrumenten austretenden Strahlen durch einen 2 Zoll vor der Linse aufgestellten Hohlspiegel von 6'' Brennweite zusammengebrochen werden, so vereinigen sie sich in einer Entfernung von $4\frac{1}{2}''$ vor dem Hohlspiegel und geben hier die grösste Helligkeit. Da aber der zu beleuchtende Punkt, die Rima glottidis, ungefähr doppelt so weit abliegt, gelangen die Strahlen bereits divergirend auf den zu erleuchtenden Punkt, geben also eine viel geringere Helligkeit.

Durch diese Deduction glaubt Herr Weil sich berechtigt, den Tobold'schen Apparat der medicinischen Rumpelkammer überweisen zu dürfen und dargethan zu haben, dass überhaupt ein Beleuchtungsapparat nach einem Drei-Linsen-System keine wissenschaftliche Berechtigung habe.

Da nun aber Herr Weil die Formel $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{6}$ kennt, so hätte er sich doch sagen können, dass, wenn seine Rechnungen ganz unanfechtbar wären, bei dem von ihm benutzten Tobold'schen Apparate die Brennweite des Hohlspiegels zu kurz war und die Vereinigung der aus der letzten Linse heraustretenden Strahlen in der von ihm gewünschten Entfernung ganz einfach dadurch erzielt werden konnte, dass statt des Hohlspiegels von 6'' ein solcher von 20'' eingefügt werde.

Die convergent auf den Hohlspiegel aus einer Entfernung von 19'' fallenden Strahlen sollen sich in einem Abstände von 10'' vereinigen, es ist also, wenn die gesuchte Brennweite des Hohlspiegels

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{10} - \frac{1}{19} \quad a = 20 \text{ (ungefähr).}$$

Es unterliegt also keinem Zweifel, dass der nach dem Tobold'schen System construirte Beleuchtungsapparat den an ihn gestellten Anforderungen entsprechen kann, und es ist keineswegs bewiesen, dass das Drei-Linsen-System aus theoretischen Gründen zu verwerfen sei.

Nun aber kommt noch ein Punkt zur Erwägung, den Herr

Weil ganz aus den Augen gelassen hat; der Umstand nämlich, dass es sich in Bezug auf die Bestimmung der Richtung der aus den ersten combinirten Linsen austretenden Lichtstrahlen um Werthe handelt, die kolossalen Schwankungen unterliegen, da der leuchtende Punkt, in Bezug auf den die Richtung der austretenden Lichtstrahlen ermittelt werden soll, diesseits in nächster Nähe des Brennpunktes der betreffenden Linse liegt. Und dieser leuchtende Punkt ist kein Punkt, sondern ein sehr umfangreicher Körper von mehr als 1" Durchmesser, der von jeder Stelle seiner Peripherie Strahlen aussendet. Da es nun aber sehr genau auf die Bestimmung des Abstandes des leuchtenden Punktes von der Linse ankommt, so fragt es sich, von welchem Punkte der Flamme aus man messen solle. Läge der vorderste Punkt etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll von dem optischen Mittelpunkte der combinirten Linse ab, so gäbe es doch sicher noch Strahlen, die aus einer Entfernung von 2 Zoll die letzteren treffen, für diese würden gelten

$$\frac{1}{2\frac{2}{3}} = \frac{1}{a} + \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{a} = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{8} \quad a = -8$$

und für ihren Austritt aus der 3. Linse, auf die die Strahlen einfallen, als kämen sie aus einem Abstände von $(8 + 4'') 12''$

$$\frac{2}{11} = \frac{1}{a} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{11} - \frac{1}{12} = \frac{13}{132} \quad a = 10 \text{ (circa).}$$

Wenn solche Strahlen durch einen Reflector, der 2" von der Linse absteht, auf 9" Abstand vereinigt werden sollten, so bedurfte es dazu schon statt eines Hohlspiegels eines convexen Spiegels.

Sehr wunderlich aber ist es, dass Herrn Dr. Weils Angabe über Brennweite und Abstand der Linse des Tobold'schen Apparates in keiner Weise mit den Messungen stimmt, die ich der Controlle halber an meinem Apparate angestellt. Ich finde die Brennweite der Linse $2''$ $2\frac{1}{6}''$ und $4\frac{3}{5}''$. Die beiden combinirten Linsen haben also eine Brennweite von wenig über 1". Die vordere Linse steht von dem optischen Mittelpunkt der combinirten 5" ab. Dieser optische Mittelpunkt kann dem vordersten Punkte der Flamme auf höchstens $1\frac{1}{4}''$ genähert werden, und da der Brenner der Lampe 1" Durchmesser hat, so treffen auf die erste Linse noch Strahlen aus $2\frac{1}{4}''$ Entfernung.

Da nun aber die aus nächster Nähe eintretenden Lichtstrahlen

noch von jenseits des Brennpunktes der Linsen kommen, können sie nicht divergent austreten. Sie vereinigen sich vielmehr, ausgehend aus einer Entfernung von $1\frac{1}{2}''$, die Weil in seiner Rechnung einführt, $3''$ vor der Linse, treten (divergent) gegen die letzte Linse aus ihr heraus, und zwar in einer Richtung, als ob sie aus einem $10''$ entfernten Punkte kämen. Sollen diese Strahlen nun durch einen Hohlspiegel, der $2''$ vor die vordere Linse gestellt ist, auf 9 — $10''$ Entfernung vor demselben zur Vereinigung gebracht werden, so muss dieser Spiegel etwa $6''$ Brennweite haben, wie er sie auch wirklich hat.

Diese sehr leicht zu controllirenden Angaben zeigen, dass der grosse Tobold'sche Reflector insofern vollkommen der an ihn gestellten Anforderung entspricht, als er die von der combinirten Sammellinse aufgefangenen Lichtstrahlen möglichst vollkommen an der zu beleuchtenden Stelle zur Vereinigung bringt.

Ich habe indessen oben schon darauf aufmerksam gemacht, dass die gewöhnlichen Formeln für die Linsen hier nicht in aller Schärfe zur Anwendung gebracht werden können, da die Lichtquelle nicht ein leuchtender Punkt, sondern ein leuchtender Körper von $1''$ Dicke ist, so dass bei der grossen Nähe, in der derselbe gegen den Brennpunkt der ersten Linse gestellt sein muss, in Betreff der grossen Schwankungen im Bildabstande bei den kleinsten Schwankungen im Abstände der Flamme vom Brennpunkte an ein Zusammentreffen der Strahlen in einem Punkt nicht gedacht werden kann.

Die neuere Zeit hat die Beleuchtungsapparate für die Höhlen des menschlichen Körpers zu einem nothwendigen Requisite, nicht nur für Specialisten, sondern für fast jeden praktischen Arzt gemacht, und ich glaube, dass ich es mir um so mehr erlauben darf, an dieser Stelle die Theorie dieser Beleuchtungsapparate näher wissenschaftlich zu erörtern, als bei der grossen Anzahl der zu dem angegebenen Zweck empfohlenen Apparate wenigen ein wissenschaftliches Princip zu Grunde liegt, und deshalb die meisten mehr oder weniger in ihren Leistungen hinter den Ansprüchen zurückbleiben, die die Wissenschaft an sie zu machen berechtigt ist.

Die grösstmögliche Wirkung eines Beleuchtungsapparates wird jedenfalls dann erzielt werden, wenn man den zur Beleuchtung gewählten Lichtstrahlen eine Richtung giebt, bei der sie sich an der zu erleuchtenden Stelle in einem Focus vereinigen.

Die wesentlichste Verschiedenheit in der Construction der Beleuchtungsapparate wird zunächst dadurch bedingt sein, ob man Sonnen- und respective allgemeines Tageslicht oder eine künstliche

Beleuchtung einer Lampe oder eines Lichts als Lichtquelle wählt. Im ersten Falle hat man es mit parallelen Lichtstrahlen, im zweiten mit mehr weniger divergenten zu thun. Demnächst werden sich die Apparate danach unterscheiden, ob man durch Reflection oder durch Refraction die Lichtstrahlen zur Concentration bringt, ob man also das Licht durch Hohlspiegel zurückwerfen lässt oder es durch Convexlinsen leitet.

Hiernach würde es also 4 Hauptformen von Beleuchtungsapparaten geben:

1. Hohlspiegel für divergentes Licht,
2. Hohlspiegel für paralleles Licht,
3. Linsen-Beleuchtungsapparate für divergentes Licht,
4. Linsen-Beleuchtungsapparate für paralleles Licht.

Von diesen 4 Formen ist die letzte nicht im Gebrauch, da allgemeines Tageslicht sich zur Concentration durch Linsen nicht eignet, Sonnenlicht aber auch ohne Concentration hinlänglich intensiv ist.

Wir hätten also nur die ersten 3 Formen zu besprechen.

Unter ihnen sind die einfachsten die Reflectoren für paralleles Licht, zu dem man gewöhnlich nur das allgemeine Tageslicht wählt.

Ist man sich über die Entfernung klar geworden, in der diese Hohlspiegel vor den zu erleuchtenden Punkt zu stellen sind, so ist ohne Weiteres die Brennweite und der Radius, nach dem sie gekrümmt sein müssen gegeben, denn der Abstand des Spiegels von dem zu erleuchtenden Punkte ist dann seine Brennweite, und der Krümmungsradius doppelt so gross.

Benutzt man diese Spiegel so, dass man seitlich an ihnen vorbei sieht, so dürfte eine Brennweite von 5—6" die geeignetste sein. In einzelnen Fällen ist das aber nicht zulässig, z. B. bei Untersuchungen des äusseren Gehörganges; hier muss die Mitte des Spiegels eine Oeffnung haben, durch die man hindurch sieht, und da diese Oeffnung dicht vor dem Auge des Beobachters zu stehen kommen muss, damit nicht bei zu weitem Abstände des Spiegels das Gesichtsfeld zu sehr beschränkt werde, so folgt daraus, dass jeder Beobachter die Brennweite des Reflectors so zu wählen hat, dass sie ziemlich nahe seiner bequemsten Sehweite gleich kommt.

Wollte ein Kurzsichtiger, der nicht über 6" Entfernung sieht, einen Spiegel von 10" Brennweite benutzen, so würde dieser Spiegel, auf 6" genähert, weit hinter seiner Leuchtkraft zurückbleiben und ebenso im umgekehrten Falle.

Will man sich also einen solchen Reflector anschaffen, so misst man zunächst seine bequemste Sehweite, macht mit der doppelten Länge einen Cirkelschlag auf Blech oder starkem Papier, und lässt sich von einem geschickten Klempner aus einer Daguerreotyp- oder aus einer Neusilberplatte nach dieser Lehre den Hohlspiegel aus-hämmern, denselben in der Mitte mit einem Loche von $\frac{3}{8}$ Zoll Durchmesser und einer Handhabe versehen.

Derlei Reflectoren sind jedenfalls den Glashohlspiegeln vorzu-ziehen. Es kommt zu dem vorliegenden Zwecke auf Genauigkeit der Schleifung nicht an, die Blechspiegel sind sehr viel billiger, die follierten Spiegel werden leicht ramponirt und sind ausserdem nicht leicht in den verschiedenen Brennweiten zu schaffen.

Reflectoren für divergentes Licht können verschiedener Art sein, und zwar sowohl in Bezug auf die Stellung der Lichtflamme, als auch in Bezug auf die Stellung des Spiegels.

Es steht 1) entweder Licht oder Reflector zwischen Beobachter und Beobachtetem, oder 2) Beides hinter dem Beobachter, oder 3) der Reflector hinter dem Beobachter und die Lampe seitlich von dem Beobachteten, oder endlich 4) der Reflector vor dem Auge des Beobachters und die Lampe zur Seite des Beobachteten.

Ueber die erste Art der Reflectoren, bei denen also Spiegel und Licht zwischen Beobachter und Beobachteten gestellt wird, habe ich vor längerer Zeit in der deutschen Klinik die betreffende Notiz veröffentlicht.

Steht das zur Erleuchtung dienende Licht etwa $1\frac{1}{2}''$ vor dem Hohlspiegel, so müssen die vom Spiegel reflectirten Strahlen in der Entfernung von ungefähr $7''$ zur Vereinigung kommen.

Wenn also a der Abstand des Lichts vom Spiegel, b die Ent-fernung ist, in der die reflectirten Strahlen zusammenkommen, so ist die gesuchte Brennweite $f = \frac{a \cdot b}{a + b} = \frac{1\frac{1}{2} \cdot 7}{1\frac{1}{2} + 7}$ etwa $2''$.

Es muss also der Reflector nach einem Radius von $4''$ gekrümmt sein, wobei der Abstand der Flamme ihm eine Apertur von $3\frac{1}{2}''$ gestattet.

Diese Spiegel, die eine ziemlich grosse Verbreitung gefunden haben, sind für die Untersuchung des Kehlkopfs, soweit es sich um eine Exploration handelt, des äusseren Ohrs, der Vagina und des Rectums entschieden die bequemsten und vollständig ausreichend, man hat bei der Benutzung derselben nur einige Cautelen nicht aus den Augen zu lassen. Zunächst kann man als Lichtquelle bei denselben sich nicht einer Lampe bedienen, aus leicht ersichtlichen

Gründen. Ebenso sind Stearin- und Wachslichte unzweckmässig, da es immer, namentlich, wenn der bereits benutzte Docht — was unvermeidlich ist — sich abgestossen hat, eine lange Zeit dauert, bis die Flamme die nothwendige Lichtintensität wieder erreicht hat.

Am zweckmässigsten sind dicke, weisse Wachsstöcke, am besten zu beziehen aus der Fabrik von Hartung, Frankfurt an der Oder, die an dem gabelförmigen Ende der am unteren Theil des Spiegels angebrachten Handhabe in beliebiger Höhe durch Anspiesen beim Gebrauche befestigt werden.

Es ist aber beim Gebrauch noch eine andere Vorsichtsmassregel nicht zu übersehen. Bei der kurzen Brennweite des Spiegels wird die Stellung der Flamme gegen den Spiegel eine sehr genau einzuhaltende sein müssen, da kleine Verrückungen sehr bedeutende Schwankungen in der Entfernung des hellsten Punktes bedingen. Man muss also jedes Mal vor dem Gebrauch des Spiegels auf etwa 5" Abstand das Bild der Flamme gegen eine helle Wand wirken lassen und dabei der Flamme durch Verrückung denjenigen Abstand vom Spiegel geben, bei dem auf der Wand ihr möglichst präcises umgekehrtes Bild sich darstellt.

Anders sind die Verhältnisse, wenn man den Spiegel in der Nähe des Auges anbringt und durch denselben eine Flamme reflectiren lässt, die seitlich vom Beobachteten gestellt ist. Solche Spiegel bringt man beweglich, entweder an einem Brillengestelle an, so dass die in der Mitte angebrachte Oeffnung vor die Pupille eines der Augen zu stehen kommt, oder man befestigt sie mittelst eines Gummibandes an der Stirn. Diese Art der Befestigung ist für das binoculare Sehen bequemer.

Bei dieser Untersuchungsmethode steht der leuchtende Punkt ungefähr in derselben Entfernung, in der das zu erleuchtende Object liegt, und diese Entfernung muss gleich der bequemen Sehweite des Beobachters sein, wenn nicht die oben bei Betrachtung der Beleuchtung des Ohrs erwähnten Uebelstände in gleicher Weise eintreten sollen.

Die Brennweite dieser Spiegel muss gleich sein der halben Sehweite des Beobachters, denn wenn die Sehweite = a , der Abstand der Flamme = b , so ist hier $a = b$, und die gesuchte Brennweite des Spiegels $f = \frac{a \cdot a}{a + a} = \frac{1}{2} a$.

Für die Erleuchtung des Augenhintergrundes habe ich die Radian der foliirten Linsen angegeben, welche gleichzeitig an der von

der Folie befreiten Mitte, die zum Durchsehen dient, als positive oder negative Correctionslinsen fungiren.

Wählt man Reflectoren, die hinter den Beobachter zu stellen sind, so müssen dieselben, wenn die Lichtintensität nicht zu gering sein soll, eine möglichst grosse Apertur haben. Ihre Brennweite ist verschieden, je nachdem man die Flamme in nächster Nähe des Spiegels oder seitlich vom Beobachter stellt, indessen ist es leicht ersichtlich, dass durch Veränderung des Abstandes zwischen Flamme und Spiegel Correctionen herbeigeführt werden können.

Die letzte Methode ist die wenigst zu empfehlende, da einerseits nur ein kleiner Lichtkegel bei ihr zur Wirkung kommt; ausserdem aber Unbequemlichkeiten durch den Umstand herbeigeführt werden, dass die Flamme vor dem Beobachter steht und ihn mehr weniger blendet. Steht der Reflector mit sammt der Flamme hinter dem Beobachter, so muss er eine Entfernung von etwa 18" von dem zu beleuchtenden Punkte haben, und da wegen der erforderlichen Grösse der Apertur des Spiegels die Lampe nicht weniger als 3" von dem Scheitelpunkte desselben abstehen darf, so folgt daraus für den Spiegel ein Krümmungsradius von $5-6'' \left(\frac{3 \cdot 18}{21} \right)$.

Was nun schliesslich die dioptrischen Beleuchtungsapparate betrifft, so dürften solche für paralleles Licht nicht leicht in Anwendung kommen.

Theoretisch am einfachsten wäre die Construction der Apparate für divergentes Licht, wenn man eine Flamme in den Brennpunkt einer möglichst grossen Linse von möglichst kurzer Brennweite brächte. Die Strahlen werden dann parallel aus derselben austreten, und wären durch einen Hohlspiegel von 9—10 Zoll Brennweite zur Vereinigung zu bringen. Der Abstand dieses Hohlspiegels von der Linse wäre indifferent.

Die Construction solcher Apparate hat aber ihre Schwierigkeiten. Linsen von so kurzer Brennweite, wie sie wünschenswerth sind, können wegen der Glasdecke, selbst wenn sie applanatisch sind, nicht von sehr grossem Durchmesser geschliffen werden, und werden schon durch ihre Schwere unbeholfen. Zwei planconvexe, applanatisch combinirte Linsen von 3" Brennweite und 3" Apertur würden schon eine Glasdicke von 1" haben, und wegen ihrer Schwere nur an einer Lampe angebracht werden können, deren Fuss noch besonders beschwert wäre.

Am zweckmässigsten construirt man solche Spiegel, indem man sie vor die Flamme so stellt, dass diese nach diesseits des Brenn-

punkts zu stehen kommt, das Licht also divergent hinaustritt. Die Linsen müssen so gefasst sein, dass sie beliebig von einander entfernt werden können, wodurch ihre gemeinsame Brennweite vergrössert, mit ihr die Divergenz der Lichtstrahlen bis zum Parallelismus beliebig verringert werden kann.

Bei dieser Stellung wird ein Reflector von 9—10" Brennweite die höchst mögliche Erleuchtung des zu beobachtenden Objects am Kehlkopfe liefern. Es ist aber ersichtlich, dass bei geringerem Abstände der Linsen von einander mit Hohlspiegeln von geringerer Brennweite dieselben Effecte erzielt werden können.

Solche Beleuchtungsapparate geben allerdings den höchst möglichen Effect, indessen bleibt der grosse Tobold'sche Spiegel nicht eben sehr weit hinter ihnen zurück, und mag das eben wohl darin seinen Grund haben, dass bei grosser Linsenapertur die sphärische Abweichung der Randstrahlen den Effect trübt.

Man hat mit den Linsenbeleuchtungsapparaten endlich noch hinter die Flamme gestellte Reflectoren combinirt. Solche Apparate können wohl nur auf praktischem Ausprobiren beruhen, da sich wissenschaftlich nicht leicht der Gang und die Wirkung der reflectirten, durch die Flamme hindurch geleiteten, und dann noch durch die Linsen gebrochenen Lichtstrahlen in ihrer combinirten Wirkung mit den direct von der Flamme ausgehenden Strahlen ermitteln lässt.

Ueber das Drei-Linsen-System und den Tobold'schen Spiegel glaube ich nach den obigen Auseinandersetzungen nichts weiter anführen zu dürfen.