

Biologisches Centralblatt

unter Mitwirkung von

Dr. M. Reess und **Dr. E. Selenka**

Prof. der Botanik

Prof. der Zoologie

herausgegeben von

Dr. J. Rosenthal

Prof. der Physiologie in Erlangen.

24 Nummern von je 2 Bogen bilden einen Band. Preis des Bandes 16 Mark.
Zu beziehen durch alle Buchhandlungen und Postanstalten.

XI. Band.

1. November 1891.

Nr. 20.

Inhalt: **Czapski**, Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops. — **Frenzel**, Notiz über den Wassergehalt des Muskelfleisches. — **Macfadyen**, **Nencki** und **Sieber**, Untersuchungen über die chemischen Vorgänge im menschlichen Dünndarm. — **Preyer**, Die organischen Elemente und ihre Stellung im System. — **Aus den Verhandlungen gelehrter Gesellschaften:** Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften in Marburg (Schluss).

Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops¹⁾.

Von Dr. **S. Czapski** in Jena.

So lange man den Vorgang der Abbildung im Mikroskop als einen rein dioptrischen ansah, war kein Grund, den Leistungen dieses Instrumentes a priori irgend welche Grenzen zu ziehen. Denn die Aufgabe, welche man unter diesem Gesichtspunkte als die einzig zu lösende ansehen musste, nämlich die Vergrößerung des Mikroskops zu steigern, ist im Prinzip mit jeder beliebigen Annäherung an den Wert „Unendlich“ lösbar, und es brauchten nur noch die geeignetsten praktischen Wege zur Verwirklichung der höchsten Vergrößerungsziffern diskutiert zu werden²⁾.

Bekanntlich hatte sich aber schon zu Anfang dieses Jahrhunderts und im Laufe desselben durch die Untersuchungen von Harting, Mohl u. a. immer sicherer herausgestellt, dass die gesteigerte Vergrößerung allein nicht genüge, um die Details eines mikroskopischen Objektes sichtbar werden zu lassen. Bei gleicher Vergrößerung, gleicher rein dioptrischer Vollkommenheit (Korrektion der Abweichungen, gute Strahlenvereinigung) und gleicher Beleuchtungsweise

1) Dieser Aufsatz ist ein Abdruck aus der Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und für mikroskopische Technik, Band VIII, 1891, S. 145—155, welchen der Herr Verf. uns, mit einigen Verbesserungen und Zusätzen versehen, gütigst zur Benutzung überlassen hat. Die Redaktion.

2) Vergl. z. B. Listing B., in Nachr. v. d. k. Gesellsch. d. Wiss. u. d. G. A. Univ. Göttingen 1869, S. 1. Pogg. Ann. 936, S. 467.

zeigten die Systeme, deren „Oeffnungswinkel“ der größere war, immer noch eine Ueberlegenheit in der Definition und im Auflösungsvermögen, welche früher auf keine Weise befriedigend erklärt werden konnte. Auch wenn man etwa künstlich den Unterschied in der Helligkeit der Bilder ausglich, welcher offenbar bei Systemen gleicher Brennweite aber verschiedenen Oeffnungswinkels unter gleicher Okularvergrößerung bestehen muss, wurde jene Ueberlegenheit nicht beseitigt.

Die Erklärung dieser „spezifischen Funktion des Oeffnungswinkels“ kam dann fast gleichzeitig von Abbe¹⁾ und Helmholtz²⁾. Letzterer setzte bei seinen Betrachtungen stillschweigend das Objekt als selbstleuchtend (die einzelnen Punkte als selbständige Erregungszentren von Lichtoszillationen) voraus, wie es etwa dem Fernrohr gegenüber die Sterne sind. Auf dieser Annahme, auf den anerkannten Prinzipien der Undulationstheorie des Lichtes und einigen eigens hergeleiteten besonderen Beziehungen beruht seine, auf ihrem Boden unanfechtbare Beweisführung. Versuche, welche seiner Zeit Abbe mit glühend gemachten Drahtgittern angestellt hat, bestätigen ihre Konsequenzen. Wegen der genannten Voraussetzung selbständig leuchtender Objekte findet aber die Helmholtz'sche Theorie keine Anwendung auf die in der Praxis der Mikroskopie allein vorkommenden nicht selbstleuchtenden, sondern erst mittels auf- oder durchfallenden Lichtes sichtbar werdenden Präparate. Auf diese bezieht sich die Theorie von Abbe.

So sehr demnach beide Theorien in ihren Voraussetzungen und ebenso in den meisten ihrer Konsequenzen divergieren, so kommen sie doch in einem Punkte fast zu dem gleichen Resultat. Das Auflösungsvermögen der Systeme bei entsprechender Beleuchtung ist nach beiden Theorien durch die gleiche Formel bestimmt. Dafür, dass bei schiefer Beleuchtung die auflösende Kraft des Mikroskops eine höhere ist als bei zentraler, dass auch bei letzterer die ganze Apertur des Systems wirksam wird und für manche andere erfahrungsmäßig festgestellte Thatsachen auf diesem Gebiete weiß die Helmholtz'sche Theorie — eben entsprechend der Verschiedenheit ihrer Grundlage von den gewöhnlich vorliegenden Verhältnissen — keine Erklärung zu bieten, während die von Abbe bis jetzt noch in keinem Falle versagt hat.

Wie dem aber auch sein mag: die Deduktion, dass das Auflösungsvermögen von gewissen Faktoren abhängig ist, führt sofort auf eine Grenzbestimmung für dasselbe. Dementsprechend betitelte auch Helmholtz seine Abhandlung: „Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope“. Jedoch war es damals nicht seine Absicht, — wie der Titel vielleicht vermuten lassen könnte — zu erörtern, bis zu welcher Grenze in absehbarer Zukunft

1) Abbe E., in Arch. f. mikrosk. Anat., Bd. IX, 1873, S. 413.

2) Helmholtz H., in Poggendorff's Ann. Jubelbd. 1874, S. 557.

und mit angebbaren Mitteln etwa die Leistungsfähigkeit des Mikroskops gesteigert werden könnte, sondern allein die oben angegebene: festzustellen, von welchen Faktoren und in welcher Art von diesen sie abhängig sei.

Dass eine Diskussion dieser letzteren Art, wie Abbe und Helmholtz sie angestellt haben, in ihren Entwicklungen wie ihren Resultaten den Vorzug einer größeren Strenge, ja mathematischer Exaktheit besitzt, ist fraglos. Aber doch wird es immer eine verlockende Aufgabe sein, und zwar gerade auf Grund solcher Deduktionen, die Beantwortung der anderen oben genannten Frage zu versuchen: wie weit können wir hoffen, zu gelangen? Erörterungen dieser Art und ihre Ergebnisse haben selbstverständlich nur einen relativen Wert. Wir können natürlich nie voraussagen, mit welchen, jetzt vielleicht nicht einmal geahnten Mitteln ein künftiges Genie dem Forschungsdrange der Menschen neue Wege bahnen wird. Einen Sinn hat nur die Diskussion über das Ziel, bis zu welchem wir hoffen dürfen, mit den gegenwärtig bekannten Mitteln, unter den gegenwärtig gegebenen Bedingungen, nach dem gegenwärtigen Stande unserer theoretischen Einsicht in den Zusammenhang der betreffenden Verhältnisse zu gelangen. Ferner liegt in der Natur solcher Diskussionen, dass ihre Ergebnisse starken subjektiven Schwankungen unterliegen. Um in diesem Punkte nicht missverstanden zu werden, möchte ich von vornherein bemerken, dass der eigentliche Zweck der folgenden Zeilen nicht sowohl ist, zu zeigen wie weit man vielleicht kommen kann, sondern, dass man über gewisse Grenzen auch auf den angedeuteten Wegen sicher nicht hinauskommen kann. Um diese Grenzen wirklich als solche zu bestimmen, stelle ich mich auf einen möglichst sanguinischen Standpunkt in der Beurteilung des möglicherweise d. h. denklich erreichbaren.

Wenn ich angeben sollte, welchen Fortschritt ich in absehbarer Zeit für praktisch realisierbar halte, so würde ich meinen Erörterungen sofort eine ganz andere Färbung geben müssen¹⁾.

Gehen wir also von der oben erwähnten fundamentalen Formel für die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes aus. Wenn δ die kleinste mit einem optisch vollkommenen Objektiv unterscheidbare Distanz der Elemente einer regelmäßigen Struktur bedeutet, λ die Wellenlänge des wirksamen Lichtes (im leeren Raume) und α die Apertur des Systems, so ist, nach der Theorie von Abbe ebenso wie nach der von Helmholtz, das äußerste erreichbare $\delta = \frac{\lambda}{2\alpha}$; bei zentraler Beleuchtung ist nach ersterer Theorie δ halb so groß nämlich $\delta = \frac{\lambda}{\alpha}$. Wir fassen letztere Formel näher ins Auge.

1) Die Fortschritte, welche zweifellos noch in reichem Maße durch Verbesserung der Präparationsverfahren erzielt werden können, liegen vollständig außerhalb des Rahmens der hier vorzunehmenden Betrachtungen. Ihre Erörterung ist ein Gegenstand ganz für sich.

Einen Fortschritt in der Leistung des Mikroskopes bemessen wir allgemein nach der Kleinheit der auflösbaren Struktur, also nach der Größe δ . Gemäß obiger Formel können wir diese Größe auf zwei und, da δ einfach der Quotient zweier Größen ist, nur auf zwei Wegen verkleinern. Wir können entweder 1) α größer, oder 2) λ kleiner machen. —

Ad. 1. Die Erhöhung der Größe α , d. h. der Apertur des Systems, ist seit den Arbeiten von Abbe und Helmholtz das vorzügliche Bestreben aller um die Verbesserung des Mikroskops bemühten Optiker gewesen. Sehen wir zu, wie weit man hoffen kann, auf diesem Wege zu gelangen, wie weit man anderseits von dieser erreichbaren Grenze gegenwärtig noch entfernt ist.

Es ist $a = n \sin u$, worin n der Brechungsindex des Mediums vor der ersten Linse des Systems ist, u der Winkel, welchen der äußerste, durch das System hindurchgelassene, von einem mittleren Objektpunkt ausgegangene Lichtstrahl mit der Axe desselben bildet. Dieser Winkel kann aus rein geometrischen Gründen füglich nicht über etwa 65° gesteigert werden, damit noch ein gewisser, wenn auch sehr kleiner Raum, zwischen Objekt und System frei bleibe (für das Deckglas und als Spielraum für die Einstellung). Es kann somit $\sin u$ kaum einen höheren Wert erreichen als 0.95. Um die Apertur des Systems zu steigern bliebe daher, wenn man jene geometrische Grenze erreicht hat — und das ist ziemlich allgemein der Fall — kein anderes Mittel, als die Größe n , den Brechungsindex des Mediums vor dem Objektiv, zu steigern. Damit ist man auf das Prinzip der Immersionssysteme geführt. Doch ist zu beachten, dass es nicht genügt, zwischen Deckglas und Frontlinse eine „Immersionsflüssigkeit“ von genügend hohem Brechungsindex einzuführen, sondern dass auch zwischen Objekt und Immersionsflüssigkeit kein Medium, auch nicht in der mikroskopisch dünnsten Schicht, vorhanden sein darf, dessen Brechungsindex geringer ist als der der Immersionsflüssigkeit. Andernfalls wird die Apertur des Systems, ganz gleich wie hoch der Brechungsindex n der Immersionsflüssigkeit ist, durch Totalreflexion reduziert auf die Größe $a' = n'$, wenn n' der niedrigste zwischen dem Objekt und der Immersionsflüssigkeit in irgend einer Schicht auftretende Brechungsindex ist, wie ich bereits in meiner Mitteilung „Ueber ein System von der Apertur 1.60 (Monobromnaphthalin), hergestellt nach Rechnungen von Professor Abbe in der optischen Werkstätte von Carl Zeiss“¹⁾ hervorgehoben habe.

Wir sind nun bei den meisten Präparaten gezwungen, sie mit Deckgläsern zu überdecken. Der Brechungsindex der gewöhnlich angewandten, d. h. leicht herstellbaren, im Gebrauch bequemen und im Preise billigen Deckgläser beträgt 1.52 bis 1.53. Bei An-

1) Vergl. Zeitschrift f. wissensch. Mikroskopie und für mikrosk. Technik, Bd. VI, 1889, S. 417.

wendung solcher ist daher die Grenze der erreichbaren Apertur = 1.44 bis 1.45. Um in der Apertur weiter zu gehen, muss man, wie ich in meiner eben erwähnten Mitteilung über das System von 1.60 Apertur ebenfalls bemerkt habe, zunächst Deckgläser von höherem Brechungsexponenten anwenden. Und dies hat seine mannigfachen Schwierigkeiten.

Die Jenaer Glasschmelzerei von Schott u. Gen. hat ja allerdings Gläser bis zu einem Brechungsexponenten von fast 2.0 hergestellt. Aber die aus solchem Glase fabrizierten Deckgläser sind einerseits natürlich sehr kostspielig. Dieselben lassen sich nicht mehr auf dem sonst üblichen Wege des Ausblasens herstellen, sondern müssen nach den umständlichen Verfahrungsweisen der technischen Optik ganz ebenso wie andere planparallele Platten aus dickeren Blöcken erst herausgesägt, dann auf die gewünschte Dicke von 0.15 bis 0.2 mm dünner geschliffen und schließlich kunstgerecht poliert werden. Hierbei ist einmal der Materialverlust ein sehr großer und in noch höherem Maße macht die aufzuwendende Arbeit solche Deckgläser kostspielig. Ferner führen solche Deckgläser auch im Gebrauch manche Schwierigkeiten mit sich, mit welchen man bei Anwendung der gewöhnlichen nichts zu thun hat. Denn es darf, wie oben hervorgehoben, kein Medium zwischen Objekt und Frontlinse einen niederen Brechungsexponenten haben als die Ziffer der zu erreichenden Apertur; es müssen also, wie ich am angeführten Orte ebenfalls hervorgehoben habe, die Objekte selbst in Medien eingebettet sein, deren Brechungsexponent die gewünschte Höhe hat.

Auch hier liegt ein absolutes Hindernis nicht vor; wir besitzen Einbettungsmedien, deren Brechungsexponent die Zahl 2 sogar überschreitet. Aber diese Medien und die Methoden der Präparation von Objekten mit ihnen haben ihre unangenehmen Seiten. Wir haben es hier meist mit Quecksilber-, Schwefel-, Arsen- und Phosphorverbindungen zu thun, welche beim Präparieren erwärmt werden müssen und dabei entweder die Gesundheit in hohem Maße angreifende Dämpfe entwickeln oder auch außerdem noch sehr leicht explosibel sind, so dass die Präparation eines Objektes mit solchen Medien eine fast lebensgefährliche Arbeit ist. Es hat sich ferner bei den mit dem genannten System von der Apertur 1.60 vorgenommenen Versuchen herausgestellt, dass viele dieser Einbettungsmedien auch die Substanz jener Deckgläser von hohem Index angreifen, korrodieren, so dass die Oberfläche desselben matt und damit undurchsichtig wird. Wie weit sich dieser Uebelstand bei anderen Glasarten, als den bei jenem System angewandten, vermeiden lassen wird, wäre allerdings noch besonders zu untersuchen, und es ist kein Grund, in dieser Beziehung von vornherein auf ein besseres Gelingen zu verzichten. Im Gegenteil! Aber als ganz gewiss muss man hinstellen, dass einerseits das Deckglas von hohem Brechungsexponenten in jedem

Falle sehr viel empfindlicher sein wird als das gewöhnliche Deckglas, und dass hierdurch die Auswahl unter den optisch genügenden Einbettungsmedien von vornherein beschränkt werden wird; andererseits, dass die Präparation von Objekten mit den noch zur Verfügung bleibenden Medien jedenfalls eine sehr viel schwierigere und kostspieligere sein wird, als die bei den jetzt angewandten Aperturen.

Das allergrößte Hindernis in diesem Punkte bieten jedoch nicht die genannten anorganischen Substanzen, sondern die Substanz des Objektes, wenn dieses aus dem Gebiete der unserem Interesse weitaus am nächsten stehenden organischen Natur stammt. Ist schon bei dem jetzt gebräuchlichen Präparationsverfahren oftmals Anlass zu Bedenken, ob nicht durch die Präparation das Objekt eine wesentliche Veränderung seiner natürlichen Strukturverhältnisse erfahre, so zeigt sich bei Anwendung der jetzt bekannten hochbrechenden Einbettungsmedien oft schon dem unbewaffneten Auge, dass geradezu eine Zerstörung dieses durch jenes eintritt. Große Klassen der aus der organischen Natur stammenden Objekte verlangen zudem, in ganz gewissen Medien zu verbleiben, in ihrer natürlichen Umgebung oder solchen Mitteln, die dieser sehr ähnlich sind. Diese besitzen nun meistens Brechungsexponenten von 1.33 bis höchstens 1.6. Dieser Umstand schließt eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Mikroskops durch Vergrößerung der Apertur von vornherein aus und verweist uns mit Notwendigkeit auf den anderen der oben genannten Wege als den einzigen, welcher in solchen Fällen überhaupt die Aussicht auf einen möglichen Fortschritt eröffnet.

II.

Dieser Weg besteht, wie erwähnt, darin, λ , die Wellenlänge des wirksamen Lichtes, kleiner zu machen. (Mit der Verkleinerung von λ geht zwar an sich bei allen normal zerstreuen Immersionsflüssigkeiten eine Vergrößerung von n und damit der Apertur Hand in Hand — eine Vergrößerung, welche im selben Sinne auf die Größe von δ wirkt, wie die Verkleinerung von λ ; doch können wir diese als relativ zu gering für die folgende Betrachtung ganz außer Acht lassen.) Beobachtet man bei gewöhnlichem Tageslicht (reflektiertes Licht weißer Wolken), so kommen zwar sehr viele verschiedene Wellenlängen auf einmal zur Wirkung, nämlich die des ganzen sichtbaren Spektrums. Nun ist aber einerseits die absolute Energie der Sonnenstrahlen in den verschiedenen Teilen des Spektrums eine verschiedene, andererseits variiert die Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Farben des Spektrums bei gleicher physischer Stärke des Reizes ebenfalls. Hieraus resultiert eine Eindrucksstärke des weißen Tageslichtes, welche durch eine wellenförmige Kurve dargestellt wird, deren Scheitel etwa bei $\lambda = 0.55 \mu$ liegt. Es empfängt also das Auge von den Strahlen dieser Wellen-

länge und der ihr benachbarten den bei weitem stärksten Eindruck, und dies in so überwiegendem Maße, dass derselbe die den kleineren und größeren Wellenlängen entsprechenden farbigen Partialbilder gewissermaßen unwirksam macht, oder wenigstens nur insoweit zur Geltung kommen lässt, als ihre Eigenschaften denen der Bilder, welche $\lambda = 0.55 \mu$ entsprechen, gleich sind.

Schließt man dagegen diese, absolut und physiologisch am energischsten wirksamen Strahlen der Wellenlänge 0.55μ und der größeren Wellenlängen auf irgend eine Weise aus und lässt nur den Strahlen kürzerer Wellenlänge den Zutritt zum Auge, so kann unter günstigen Umständen, nämlich bei genügend intensiven Lichtquellen, das Licht dieser kürzeren Wellenlängen sehr wohl bis zu einer gewissen Grenze selbständig wirksam werden. Allbekannt ist die auffallende Steigung im Auflösungsvermögen eines Objektivs, wenn man, sei es durch einen Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht, sei es durch Einschaltung von Absorptionsgläsern oder dergleichen, ein Präparat in rein blauer Beleuchtung beobachtet. Man sieht dann, wie ein solches, welches bei gewöhnlicher Beleuchtung die Grenzen der Auflösung übersteigt, mit monochromatischem blauen Licht von demselben Objektiv und unter sonst genau gleichen Umständen bequem gelöst wird. In der That ist das Auge noch für die Wellenlänge 0.44μ genügend empfindlich, um unter Ausschluss andersfarbigen Lichtes einen recht intensiven Eindruck erhalten zu können. Eine Verminderung der wirksamen Wellenlänge von 0.55 auf 0.44 ist aber gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Apertur, z. B. von **1.40** auf **1.75!** Wie man sieht, ist hier ein relativ großer Fortschritt mit sehr einfachen Mitteln zu Wege gebracht.

Es ist, zuerst wohl von Helmholtz¹⁾, dann wiederholt von Anderen darauf hingewiesen worden, dass die Photographie ein Hilfsmittel biete, um auf diesem Wege die Leistungsfähigkeit des Mikroskops zu steigern, da die photographischen Platten meist für kurzwelligeres Licht empfindlich sind und auch das Maximum der Empfindlichkeit haben als das Auge. Der Erfolg hat aber nicht immer der Theorie entsprochen. In der That hat man oft eine wichtige Voraussetzung unbeachtet gelassen, welche für das praktische Gelingen ausschlaggebend ist.

Es ist nämlich bei allen theoretischen Deduktionen stillschweigend, oder auch ausdrücklich, vorausgesetzt, dass das zur Photographie benutzte Objektiv mit den Lichtstrahlen der geringen Wellenlänge auch an sich gleich gute Bilder gebe wie bei gewöhnlicher, weißer Beleuchtung. Dies ist aber keineswegs von selbst der Fall. Ja bei den Objektiven des gewöhnlichen Typus, d. h. bei den bis vor wenigen Jahren allein existierenden „achromatischen“ Objektiven war eine solche Anforderung überhaupt nicht zu erreichen. Wenn

1) l. c. S. 576.

das Objektiv für Licht von der Wellenlänge 0.55μ gute Bilder gab, „korrigiert war“, so waren die Bilder vom Licht der Wellenlänge 0.44μ für sich betrachtet bereits so schlecht, d. h. die sphärische und chromatische Korrektion des Objektivs für diesen Teil des Spektrums eine so mangelhafte, dass der theoretisch postulierte Vorteil eines erhöhten Auflösungsvermögens wenig oder gar nicht zur Geltung kommen konnte. Wohl half man sich auch früher schon in derselben Weise, wie man sich bei gewöhnlichen (makro)photographischen Objektiven — bei denen die Verhältnisse ganz ähnlich liegen — von jeher beholfen hat und noch heute behilft. Man korrigierte das Objektiv sphärisch für Strahlen von derjenigen Wellenlänge, welche in der Photographie vornehmlich zur Geltung kommt, z. B. bei Bromsilbergelatine- und mehreren anderen Plattenarten für $\lambda = 0.44 \mu$ und bewirkte die chromatische Korrektion des Objekts in der Weise, dass das der Wellenlänge 0.55 entsprechende Bild örtlich mit jenem photographisch wirksamen zusammenfiel. Hierdurch wurde wenigstens erreicht, dass man das photographisch wirksame Bild mit Hilfe des mit bloßem Auge sichtbaren richtig einstellen konnte. Es blieb aber dabei 1) das optisch wirksame Bild an sich schlecht (sphärisch unter-, chromatisch überkorrigiert) und 2) auch im photo-chemisch wirksamen Teile des Spektrums die Konzentration des Lichtes eine sehr unvollkommene: die Bilder, welche den verschiedenen wirksamen Wellenlängen entsprechen, fallen an Ort und Größe auseinander (chromatische Unterkorrektion für diesen Teil des Spektrums). Die diesen verschiedenen Wellenlängen entsprechenden Bilder können sich daher nicht verstärken, sondern es liegt im Gegenteile die Gefahr nahe, dass der eine Teil eine Verschleierung des von dem anderen Teile herrührenden Bildes bewirkt.

Man hat sich auch hier einigermaßen zu helfen gewusst, indem man nur einen kurzen Spektralbezirk wirksam werden ließ, worauf ich gleich näher eingehen werde. Es ist aber von vornherein klar, dass hierdurch jedenfalls die Intensität der Beleuchtung ganz außerordentlich vermindert wird, und dies ist wieder in anderer Hinsicht unangenehm. Jedenfalls konnten Objektive, welche vom Optiker für den Zweck der Mikrophotographie konstruiert waren, gar nicht mehr vorteilhaft für die gewöhnliche Beobachtung benutzt werden und umgekehrt.

Der große Fortschritt, welcher in dieser Hinsicht durch die Konstruktion der Apochromate herbeigeführt worden ist, besteht eben darin, dass bei ihnen die den verschiedenen Wellenlängen des ganzen sichtbaren Spektrums bis ins Violette hinein entsprechenden Bilder bis auf praktisch gleichgiltige Unterschiede dem Orte und der Größe nach zusammenfallen. Der Vorzug, den die Apochromate in der Benützung zur Photographie vor Systemen der älteren Art besitzen, ist unvergleichbar größer als die Ueberlegenheit, welche sie

bei bloßem optischen Gebrauch, im direkten Sehen aufweisen. In der That ist auch nicht zu verkennen und wiederholt hervorgehoben, welchen Aufschwung die Mikrophotographie seit der Einführung der Achromate genommen hat, und ebenso haben sich die Fälle gemehrt, in welchen durch die Photographie Strukturen sichtbar gemacht worden sind, welche dem Auge ganz oder beinahe verborgen geblieben waren.

Aber auch hier sind meines Erachtens nicht immer die Bedingungen eingehalten worden, von welchen eine erhöhte Leistungsfähigkeit des Objektivs abhängt. Dieselbe kann, wie eingangs bemerkt, nur dann erwartet werden, wenn Licht kürzerer Wellenlänge unter Ausschluss von Licht größerer Wellenlänge zur Verwendung kommt. Denn wenn gleichzeitig auch Licht größerer Wellenlänge zur Bildung des Photogramms beiträgt, so kann leicht auf der photographischen Platte dasselbe passieren, was wir bei der Ocularbeobachtung mit weißem Licht der Netzhaut des Auges gegenüber konstatiert haben: dass das den größeren Wellenlängen entsprechende gröbere Bild das von den kurzwelligen Strahlen entworfenen, feiner strukturierte, aber auch lichtschwächere überdeckt. Man wird also von Photogrammen, die z. B. auf sogenannten orthochromatischen Platten erstellt sind, oder gar von solchen, bei welchen grüne, gelbe, braune Lichtfilter angewandt sind, in dieser Hinsicht von vornherein nichts erwarten dürfen.

Bekanntlich nötigt aber sehr oft die Beschaffenheit des Präparates, d. h. seine eigene Färbung, zur Anwendung solcher Filter, aus rein photochemischen Gründen, um die vorhandenen Details genügend zum Ausdruck zu bringen. Diese Klasse von Präparaten bleiben also von einem Fortschritt in ihrer Abbildung mit Hilfe der Photographie von vornherein ausgeschlossen.

Damit soll natürlich keineswegs gesagt sein, dass die Photographie bei solchen gar keinen Vorteil biete; doch liegen diese Vorteile auf einem anderen, hier nicht näher zu erörternden Gebiete.

Die Bedingung einer durch die Photographie zu erreichenden gesteigerten Leistungsfähigkeit der Objektive und die Grenzen einer solchen liegen meines Erachtens vielmehr in folgenden Umständen:

Erstens in dem schon erwähnten, dass das benutzte System geeignet korrigiert sei, so dass die Bilder, welche von der zur Anwendung zu bringenden kurzen Wellenlänge $\lambda = x$ herrühren, an sich scharf seien und dem Orte nach mit dem auf das Auge wirkenden zusammenfallen — wie oben erwähnt, um die Einstellung zu ermöglichen. In dem Maße, in welchem diese Korrektur früher bei makrophotographischen Objektiven für $\lambda = 0.55$ etwa und $\lambda = 0.44$ erreicht war, würde sie an sich auch für dasselbe $\lambda = 0.55$ einerseits und noch viel kurzwelligeres Licht andererseits erreichbar sein. Man würde zwar die Brechungsexponenten der Gläser, aus welchen das

Objektiv besteht, für Licht von einer Wellenlänge, welche keinen merklichen Eindruck mehr auf das Auge macht, nur mit Hilfe der Photographie selbst bestimmen können. Doch würde dies mit genügender Genauigkeit möglich sein, und es würde ebenso möglich sein, mit den Mitteln, über welche jetzt der rechnende und der technische Optiker verfügt, Systeme herzustellen, von denen der Mikroph a priori sicher sein kann, dass sie für jene unsichtbaren Wellenlängen in der gewünschten Weise korrigiert sind, ohne dass die Kontrolle durch das Auge zu Hilfe genommen zu werden brauchte. Diese Anforderung ist also an sich bis zu beliebigen Grenzen des λ erfüllbar.

Die zweite besteht darin, dass das Licht von der gewünschten kurzen Wellenlänge photographisch wirksam werden muss. Dieselbe zerfällt in vier Unterbedingungen. Es muss 1) die Lichtquelle Wellen von der gewünschten Kürze und diese in hinreichender Intensität überhaupt ausstrahlen. Es müssen 2) die den größeren Wellen entsprechenden Strahlen durch geeignete Lichtfilter von der Wirkung ausgeschlossen werden, ohne dass zugleich die Intensität der kurzwelligen Strahlen zu sehr vermindert wird. Es muss 3) die photographische Platte für das Licht der betreffenden Wellenlänge genügend empfindlich sein (wenn die Empfindlichkeit der Platte für das betreffende Licht ein ausgesprochenes Maximum besitzt, so wird hierdurch dasselbe erreicht, wie durch einen Lichtfilter). 4) aber müssen alle Medien zwischen Lichtquelle und photographischer Platte die Strahlen von der betreffenden kurzen Wellenlänge auch durchlassen.

Diese letztere Forderung zieht meines Erachtens die Grenzen des möglichen Fortschritts am engsten. Bekanntlich lassen schon die gewöhnlichen Gläser nur einen sehr kleinen Bruchteil des Lichtes von der Wellenlänge 0.3μ hindurch. Welche Schwierigkeiten damit verbunden sind, kurzwelligeres Licht zur Anwendung zu bringen, davon kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man die auf Photographie des ultravioletten Spektrums ausgehenden Arbeiten der Physiker, z. B. von Cornu und Schumann verfolgt. Es scheint mir daher, dass die Anwendung von Licht der Wellenlänge 0.35μ das äußerste ist, was wir in absehbarer Zeit erhoffen können, d. h. was sich erreichen lässt, ohne die Schwierigkeit des Arbeitens über alles Maß hinaus zu erhöhen. Um diese Anwendung aber wirklich zu erreichen, dazu wird es noch der vereinigten Anstrengungen der Optiker, Physiker, Photochemiker und der Mikroskopiker selbst in den genannten Richtungen bedürfen.

Der Lohn solcher Bemühungen ist im Vergleich zu den durch eine Steigerung der Apertur erreichbaren Erfolge immerhin groß und daher verlockend genug. Denn eine Wirksammachung der Wellenlänge 0.35μ statt der mittleren Wellenlänge des gewöhnlichen Tages-

lichts $\lambda = 0.55 \mu$ wäre gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Apertur von z. B. **1.40** auf **2.20**.

Die Wirksammachung der Wellenlänge $\lambda = 0.30 \mu$ würde einer Steigerung der Apertur von 1.40 auf **2.57** entsprechen. Bei zentraler Beleuchtung würden unter diesen Umständen Strukturen aufgelöst werden, welche im ersteren Falle 4000 Elemente auf der Länge eines Millimeters enthielten, im zweiten Falle 4667 oder solche, deren gegenseitiger Abstand im ersteren Falle 0.25μ ist, im letzteren Falle 0.21μ , während jetzt die entsprechenden Zahlen (bei der Apertur 1.40 und weißer Beleuchtung) 2545 und 0.39μ sind. Bei schiefer Beleuchtung würden sich diese Zahlen (nahezu) verdoppeln bzw. halbieren.

Das Resultat dieser Ueberlegungen, um es noch einmal hervorzuheben, ist also dieses: Für die Beobachtung mit dem Auge und bei gewöhnlichem Tages- oder Lampenlicht sind wir, insofern es sich um das Studium der organischen Welt handelt, mit Systemen von der Apertur 1.40—1.45 praktisch am Ende des Erreichbaren angelangt. Hier ist eine weitere Steigerung des Vermögens der Mikroskope nur mit äußerster Anstrengung unter Opferung bequemen Arbeitsabstandes der Systeme und auch dann nur um einige wenige Prozent herbeizuführen.

Für die gegen gewisse Reagentien unempfindlichen Produkte der unorganischen Natur, für die Kieselskelette mancher Diatomeen und ähnliche Präparate würden auch Systeme höherer Apertur noch praktisch verwendbar und solche bis zur Apertur 1.8 oder 1.9 wahrscheinlich noch von den Optikern konstruierbar sein.

Eine weitere Steigerung im Abbildungsvermögen der Mikroskope ist hier wie dort ersichtlichermaßen nur durch Anwendung kurzwelligeren Lichtes erreichbar; bis zu einem gewissen Grade wird dieselbe durch monochromatische Beleuchtung erzielt; darüber hinaus könnte man nur unter Verzicht auf die unmittelbare Beobachtung mit dem Auge unter den oben angegebenen Bedingungen und bis zu den genannten Grenzen durch Mikrophotographie gelangen. Ob dieser umständliche und mühselige Weg jemals von einer nennenswerten Zahl von Forschern beschritten werden wird, will ich dahingestellt sein lassen.

Notiz über den Wassergehalt des Muskelfleisches.

Von Prof. **Joh. Frenzel**.

In einem anregend geschriebenen Aufsätze „Ueber eine wichtige Veränderung der Körperbeschaffenheit, welche der Mensch und die Säugetiere der gemäßigten Zone im heißen Klima erleiden“¹⁾, hat sich W. Kochs die Frage vorgelegt: „kann der Europäer wenigstens für eine gewisse Zeit, wenn auch nicht so andauernd und intensiv wie in der gemäßigten Zone, in den heißen Klimaten thätig sein?“ —

1) *Biolog. Centralblatt*, 10. Bd., Nr. 10, S. 289 fg.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Czapski Siegfried

Artikel/Article: [Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops. 609-619](#)