Ueber
eine neue Einrichtung des Schraubenmikrometers.

Von
Hugo von Mohl.

Da durch die Verbesserungen, welche das Mikroskop in den letzten Decennien erreichte, das mikroskopische Sehen in hohem Grade an Schärfe und Bestimmtheit gewann, so muss es zweifelhaft erscheinen, ob die in Deutschland gewöhnlich angewendeten Mikrometer eine im Verhältnisse zur scharfen Begrenzung des mikroskopischen Bildes stehende Grössenbestimmung der beobachteten Objecte zulassen. Auf eine vollkommen richtige Bestimmung dieser Grösse muss man natürlicherweise, wie bei jeder anderen Messung, Verzicht leisten, es kann sich nur um eine mehr oder weniger grosse Annäherung an das wirkliche Verhältniss handeln, dagegen kann es keinem Zweifel unterliegen, dass der Steigerung der Schärfe unseres Gesichtssinnes auch eine Steigerung der durch die Messinstrumente zu erreichenden Genauigkeit parallel gehen soll. Das mindeste, was man verlangen muss ist, dass sich die Breite der kleinsten mittelst des Auges noch erkennbaren Fläche durch das Instrument bestimmen lässt, besser dagegen ist es, wenn die durch das Messinstrument erreichbare Genauigkeit weiter geht, als die Leistungen des Auges, denn nur in diesem Falle sind wir sicher uns der äussersten Grenze der Genauigkeit, die mittelst des mikroskopischen Sehens erreichbar ist, zu nähern und ein Instrument zu besitzen, welches nicht der Gefahr ausgesetzt ist, durch die nächste Verbesserung des Mikroskopes seinen Werth wieder grossentheils zu verlieren.

Gegen die Forderung, dass das Instrument die Grösse der

kleinsten, vom Auge noch erkennbaren Theile bestimmen lässt, verstösst die in Deutschland am gewöhnlichsten angewendete Messungsmethode, die Anbringung eines Glasmikrometers im Oculare in hohem Grade. Das Auge erkennt Grössen, welche wohl zehnmal kleiner als die Abtheilungen der durch den Mikrometer gebildeten Scale sind, ohne dass man diesem Uebelstande durch Anwendung eines feiner getheilten Mikrometers entgehen könnte, indem der letztere nur durch die schwach vergrössernde Ocularlinse gesehen wird und desshalb wohl nicht mehr als 50 Striche auf die Linie erhalten kann, wenn es möglich sein soll, die letzteren deutlich zu unterscheiden und wenn nicht das Bild des Objectes, dessen Deutlichkeit immer unter dem Einflusse des Glasmikrometers noth leidet, durch denselben gar zu undeutlich werden soll. Eine bis auf Bruchtheile einer tausendstel Linie gehende Bestimmung der Grösse eines mikroskopischen Körpers ist daher durch einen ins Ocular eingelegten Mikrometer ebenso unmöglich, als man im Stande wäre mittelst eines in Zolle, aber nicht mehr in Linien eingetheilten Maassstabes die Grösse eines Menschen auf erträgliche Weise zu bestimmen.

Ueberdies leidet der ins Ocular eingelegte Glasmikrometer an dem schweren Gebrechen, dass seine Abtheilungen für die verschiedenen Theile des mikroskopischen Bildes nicht den gleichen Werth besitzen, weil das letztere in seinen vom Mittelpunkte des Gesichtsfeldes entfernten Theilen eine mehr oder weniger bedeutende Verzerrung erleidet. Eine viel grössere Sicherheit als bis zu $\frac{1}{1000}$ ''' oder höchstens $\frac{1}{2000}$ ''' wird man daher schwerlich mit dieser Messungsmethode erreichen; dagegen ist dieselbe leicht und bequem, wo nur eine geringere Sicherheit verlangt wird.

Weit günstiger stellt sich das Verhältniss bei dem Schraubenmikrometer, wenn dieser gut gearbeitet ist. Dieser war in der Form, in welcher er von Fraunhofer eingeführt wurde, bei welcher bekanntlich das Object unter dem feststehenden Mikroskope durch die Mikrometerschraube um seine eigene Grösse verschoben wird, als ein in hohem Grade vollendetes Instrument zu betrachten, weil er gleichmässig die Messung grösserer und kleinerer Objecte gestattet, bei Anwendung der verschiedenen Vergrösserungen des Mikroskops das gleiche, durch eine sehr einfache Rechnung zu ermittelnde Resultat liefert, vorzugsweise aber desshalb, weil bei seiner Anwendung das Sehen genau in der optischen Achse des Mikroskops stattfindet und daher jeder Fehler, welcher in einer durch das

Objectiv und Ocular verursachten Verzerrung des Bildes begründet sein kann, vollständig beseitigt ist, ein Vortheil, den keine andere Messungsmethode mit gleicher Sicherheit gewährt. Die Angaben des Instrumentes gingen endlich zur Zeit seiner Einführung viel weiter, als die damaligen Leistungen der Mikroskope, indem dasselbe die Messung bis auf $\frac{1}{10000}''$ gestattet, während durch die Fraunhofer'schen Mikroskope die Linien eines in $\frac{1}{1000}''$ getheilten Mikrometers nicht mehr unterschieden werden können. Diese Vorzüge des Schraubenmikrometers sind so entschieden, dass es auch noch jetzt in allen Fällen, in welchen es nicht auf die äusserste Genauigkeit ankommt, kein anderes irgend mit ihm in Vergleichung kommendes mikroskopisches Messinstrument giebt.

Nun ist allerdings zuzugeben, dass beim Messen mittelst dieses Instrumentes die Genauigkeit nicht erreicht wird, welche man aus seiner Construction abzuleiten geneigt sein könnte. Da über die Ursachen der Fehler, mit welchen diese Messungen behaftet sind, manche Ansichten ausgesprochen wurden, welche ich nicht für richtig erachten kann und da mein unten zu beschreibender Mikrometer ebenfalls mit einer Schraube versehen ist, und desshalb, wenn auch in vermindertem Grade, an den gleichen Gebrechen leidet, so erlaube ich mir einige Bemerkungen über die Ursache dieser Fehler zu machen.

Man sucht gewöhnlich den Hauptgrund derselben in der mangelhaften Ausführung der Mikrometerschraube, von welcher z. B. Harting (das Mikroskop. 511) annimmt, dass sie gar leicht mit Fehlern behaftet sein könne, welche $\frac{1}{100}$ und mehr vom wahren Werthe der Schraubenumgänge betragen. Sollte, was mir nicht klar wurde, hierunter verstanden sein, dass die vom Mechaniker gemachte Angabe, dass der Schraubenumgang einer gewissen Grösse z. B. $\frac{1}{16}''$ entspreche, nicht genau sei, so kann ich nicht einsehen, wie man hieraus einen den Schraubenmikrometer, als Messinstrument, treffenden Fehler ableiten wollte, das wäre ebensowenig der Fall, als es ein Fehler einer astronomischen Uhr ist, wenn sie zu schnell oder zu langsam geht, vorausgesetzt dass ihr Gang gleichförmig ist. Ebenso ist es völlig gleichgültig, welche Grösse der Umgang einer Mikrometerschraube besitzt, vorausgesetzt dass die verschiedenen Umgänge gleiche Grösse haben. Einen Fehler würde nur der Beobachter begehen, der sich auf die vom Mechaniker angegebene Grösse des Schraubenumganges verlassen würde, ohne sie zu controliren. Sollte aber jener Einwand sagen wollen, dass die Schrauben-

umgänge leicht um $\frac{1}{100}$ unter einander ungleich sein können, so würde darin eine grosse Uebertreibung liegen. Es ist allerdings eine bekannte Thatsache, dass die Verfertigung einer tadellosen Schraube zu den schwierigsten Aufgaben der praktischen Mechanik gehört und ich will auch gar nicht läugnen, dass mir miserabel gearbeitete und vollkommen unbrauchbare Schraubenmikrometer vorgekommen sind, allein in guten Werkstätten gearbeitete Mikrometerschrauben leiden nicht entfernt an solchen colossalen Fehlern. Ich habe die Schraube des unten beschriebenen Mikrometers so genau, als mir möglich war, untersucht und gefunden, dass sie allerdings nicht vollkommen gleichförmig ist, indem die Grösse der Schraubenumgänge von dem einen Ende der Schraube zum andern abnimmt, allein der Unterschied betrug nicht mehr als $\frac{1}{100000}$ “, um welche am einen Ende die Umgänge grösser, am andern kleiner, als die in der Mitte gelegenen, waren. Dieser Fehler ist verschwindend klein und er kann noch überdiess, wenn es für nöthig erachtet wird, in Rechnung gezogen werden.

Die Schriftsteller über das Mikroskop stellen ferner gewöhnlich an den Schraubenmikrometer die Forderung, dass die Schraube keinen todten Gang haben soll. Das heisst das Unmögliche verlangen, eine Schraube die sich so leicht, wie eine Mikrometerschraube soll drehen lassen, hat immer einen todten Gang, wenn er auch so klein ist, dass er nicht durch das Gefühl und das Auge erkennbar ist. Dass dieses ein Uebelstand ist, ist zuzugeben, obgleich bei einiger Vorsicht kein bedeutender Nachtheil für die Messung aus ihm hervorgehen kann, nämlich dann wenn man beim Messen die Schraube nur vorwärts dreht, wobei sie sich in Folge des vom Schieber geleisteten Widerstandes mit ihrem vorderen Ende an ihm feststemmt, während sie in der Schraubenmutter an die Windungen derselben rückwärts angedrückt wird. Auf diese Weise verschwindet jede Ungleichförmigkeit der Bewegung, welche im todten Gange der Schraube begründet sein könnte, von selbst, ohne dass es nöthig ist eine demselben entgegenwirkende Feder anzubringen, wie dieses an den Schraubenmikrometern von Plössl und Schieck geschehen ist, eine Einrichtung, die auch wieder ihre Nachtheile im Gefolge hat. An und für sich ist also der todte Gang der Schraube auf die regelmässige Bewegung derselben ohne Einfluss, allein ich bin doch nicht sicher, ob nicht der Umstand, dass die Schraube in ihrer Mutter einen gewissen Spielraum hat, auf eine andere Weise ihren regelmässigen Gang

stören kann. Die Schraube dreht sich zwar in ihrem hinteren, cylindrisch abgedrehten Theile in einem festen Lager, allein ihr vorderes am Schieber anliegendes Ende ist in seiner Stellung nicht fixirt, unter diesen Umständen kann die Schraube durch einen seitlichen, auf ihren mit dem getheilten Kreise fest verbundenen Kopf ausgeübten Druck, welchen man ganz unwillkürlich beim Drehen der Schraube ausüben kann, in ihrer Mutter, in welcher der mittlere Theil der Schraube liegt, seitwärts verschoben werden, wodurch ihr Gang eine Störung erleiden muss. Ein schwacher seitlicher Stoss auf den Schraubenkopf hat diese üble Folge in einem sehr deutlichen Grade, ein Druck muss ihn also wohl auch, wenn gleich in minderem Grade haben, und dafür dass man einen solchen Druck beim Gebrauche des Mikrometers leicht ausübt, werde ich weiter unten den Beweis bringen.

Ein anderer Einwurf, welcher aber den Schraubenmikrometer nicht selbst, sondern nur seine Anbringung an einem zu schwach gearbeiteten, oder fehlerhaft construirten Stative trifft, ist ebenfalls gegründet. Ein solches federt nämlich sehr leicht unter dem bei dem Drehen der Schraube ausgeübten Drucke. Die hierdurch erzeugten Fehler sind freilich im allgemeinen gering, sie müssen aber einen Einfluss auf das Resultat der Messung haben und es wird von den meisten Mechanikern auf diesen Punkt bei dem Bau ihrer Stative zu wenig Rücksicht genommen, von einzelnen sogar in hohem Grade gegen denselben gesündigt, haben doch einige den Schraubenmikrometer auf einem Objecttische angebracht, welcher nicht einmal an der Säule des Mikroskops festgeschraubt, sondern zum Behufe der Einstellung verschiebbar ist.

Endlich habe ich noch einen Uebelstand zu erwähnen, welcher ebenfalls nicht in der Construction des Schraubenmikrometers begründet ist, sondern durch nachlässige Behandlung desselben hervorgerufen werden kann und welcher im Stande ist zu gar nicht unbeträchtlichen Fehlern Veranlassung zu geben. Wenn nämlich das Fett, mit welchem die Schraube und der Schieber eingeschmiert sind, mit der Zeit zäh wird, so werden in Folge der hierdurch erschwerten Bewegung des Schiebers Spannungen im Instrumente hervorgerufen, welche sich zwar vermöge der Elasticität seiner Theile wieder ausgleichen, aber erst nachdem die Einstellung, welche unter solchen Umständen immer fehlerhaft ausfallen muss, geschehen ist. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man den Spinnenfaden des Oculars auf den

Rand eines Objectes einstellt und nun das Instrument ruhig stehen lässt, indem sich der Spinnenfaden langsam von seiner Stelle bewegt, während er bei einem in guter Ordnung befindlichen Instrumente unverrückt stehen bleibt. Ich fürchte es werden gar wenige mikroskopische Beobachter von Zeit zu Zeit den Schraubenzieher zur Hand nehmen, ihr Instrument auseinandernehmen, reinigen und neu einschmieren.

Auf diese Weise haben wir im Schraubenmikrometer ein Instrument, welches gut ausgeführt und sorgfältig behandelt seinem Zwecke in hohem Grade entspricht, im 'gegentheiligen Falle freilich auch geeignet ist, zu herzlich schlechten Messungen Veranlassung zu geben. Allerdings liegen auch in seiner Construction selbst (in der unvollkommenen Form der Schraube, in dem todten Gang derselben, in der Elasticität der Stative) einige Gründe zu Fehlern, welche aber bei umsichtigem Gebrauche in enge Grenzen eingeschlossen sind. In den meisten Fällen sind dagegen die Fehler, welche den mit diesem Instrumente gemachten Messungen anhaften, um sehr vieles bedeutender, als die im Instrumente selbst begründeten, und sind Schuld des Beobachters, indem dieser die Einstellung des Fadens auf die Ränder des Objectes mehr oder weniger fehlerhaft vornimmt. Bis auf einen gewissen Grad ist dieses unvermeidlich, denn die Schärfe auch des mit dem Mikroskope bewaffneten Auges ist eine begrenzte und lässt immer einige Unsicherheit über den Rand des Objectes übrig. Namentlich erscheint als gewaltiges Hinderniss einer scharfen Einstellung der bekannte Lichtsaum, welcher die Ränder des Bildes umgiebt und in so vielen Fällen zu mikroskopischen Täuschungen Veranlassung gegeben hat. Ferner kommt hinzu, dass wenn sich der Spinnenfaden dem Rande des Objectes nähert, eine Beugung des Lichtes ins Spiel tritt, welche den Moment des Zusammentreffens des Fadens mit dem Objecte unsicher macht, Gründe genug, die Erreichung einer sehr grossen Genauigkeit bei der Einstellung unmöglich zu machen.

Da diejenige Genauigkeit, welche man bei diesen Messungen überhaupt erhält, nur mittelst des mikroskopischen Sehens und nicht mit dem blossen Auge erreichbar ist, so könnte man glauben, dass die Genauigkeit der Einstellung in gleichem Verhältnisse, wie die angewendete Vergrösserung zunehme, allein factisch verhält sich die Sache anders, weil die stärkeren Mikroskopobjective relativ weit schlechter sind, als die schwächeren und weil in Folge davon ein grosser Theil des durch die Vergrösserung des Bildes erlangten Gewinnes wieder

durch die Abnahme der Schärfe seiner Umrisse verloren geht. Dennoch lässt sich leicht zeigen, dass mit der Stärke der Vergrößerung die Möglichkeit genau zu messen in hohem Grade zunimmt. Benützt man z. B. einen mit schön gezogenen Linien versehenen Glasmikrometer als Object, so erscheinen die Linien desselben, wenn sie etwa $\frac{1}{4000}$ ''' breit sind, unter einer schwächeren, etwa 100fachen Vergrößerung als einfache schwarze Striche, dagegen unter einer etwa 400fachen Vergrößerung als ein schmales, von zwei zarten Parallellinien begrenztes Band. Bei dem Gebrauche der schwächeren Vergrößerung muss man auf den Strich als Ganzes einstellen und wird ganz zufrieden sein müssen, wenn die einzelnen Einstellungen bis auf die ganze Breite des Striches übereinstimmen, wogegen eine starke Vergrößerung erlaubt, auf den Rand der Striche einzustellen und damit eine bedeutend grössere Genauigkeit zu erlangen. Das alles liegt so sehr in der Natur der Sache und findet seine Anwendung nicht nur beim Gebrauche des Schraubenmikrometers, sondern bei jeder mikroskopischen Messung, dass ich es für vollkommen überflüssig gehalten hätte, diesen Umstand zu berühren, wenn ich nicht zu meiner Verwunderung in einigen mit Recht berühmten Werken über das Mikroskop die Ansicht gefunden hätte, dass beim Gebrauche des Fraunhofer'schen Schraubenmikrometers »alle begangenen Fehler, mögen sie beim Einstellen des Objectrandes am Faden vorgekommen sein oder in der Schraube selbst liegen, in gleichem Maasse wie die angewendete Vergrößerung wachsen.« (Harting, *Het microskoop*. II. 307. *Das Mikroskop*. 513. Carpenter, *the microscope and its revelations*. 3 edit. p. 110.) Soll hiermit ausgesprochen sein, dass in der Steigerung der Vergrößerung eine Fehlerquelle liege, und einen anderen Sinn kann ich in den angeführten Stellen nicht finden, indem der bezeichnete Umstand als ein Grund für die Unsicherheit der mit dem Schraubenmikrometer ausgeführten Messungen aufgeführt wird, so liegt dieser Meinung, dass mit der Vergrößerung die Fehler wachsen, ein Irrthum zu Grunde, welcher auf eine unklare Vorstellung von dem Verhältnisse des Mikroskops zum Schraubenmikrometer hinweist. Die Messung mittelst des letzteren beruht darauf, dass das zu messende Object mittelst der Schraube quer unter dem Mikroskope um seine eigene Grösse verschoben wird, zu welcher Verschiebung ganz unabhängig von jeder Vergrößerung die Vorwärtsbewegung eines mit dem Objecte gleich grossen Theiles der Schraube verwendet wird, mag dieser Theil der Schraube

beschaffen sein, wie er immer will, mit feinen oder groben, regelmässigen oder unregelmässigen Windungen versehen sein. Damit nun diese Verschiebung genau so gross, als die eigene Grösse des Objectes ist, wird das Mikroskop zur festen Bestimmung des Anfanges und Endes derselben benützt, indem man in dem Momente, in welchem der eine Rand des Objectes mit der Achse des Mikroskops und damit sein mikroskopisches Bild mit dem Spinnenfaden des Oculars zusammentrifft, die Bewegung der Schraube anhält, den Stand derselben abliest und nun die Schraube weiter bewegt, bis der zweite Rand des Objectes mit der Mikroskopachse und dem Spinnenfaden zusammenfällt, worauf die zweite Ablesung erfolgt. Aus dem Unterschiede beider Ablesungen, in Umgängen der Mikrometerschraube ausgedrückt, ergibt sich die Grösse des Objectes; die Drehung der Schraube ist dagegen vom Mikroskope und von der Grösse des von demselben entworfenen Bildes vollkommen unabhängig, wesentlich ist nur die Beobachtung des Zusammentreffens des Spinnfadens mit den Rändern dieses Bildes. Nun ist leicht einzusehen, dass wir uns über dieses Zusammentreffen desto genauer unterrichten können, je stärker die Vergrösserung ist. Begehen wir in dem Aneinanderlegen des Fadens und des Objectrandes einen Fehler, so sehen wir diesen allerdings mit der stärkeren Vergrösserung deutlicher und grösser, desshalb ist aber in der Bewegung der Schraube kein grösserer Fehler gemacht worden, als wenn wir ihn mittelst einer schwächeren Vergrösserung kleiner sehen.

Wenn das zu messende Object ein mit zarten Linien gezeichnetes Bild darstellt, so kann mit den stärkeren Vergrösserungen der neueren Mikroskope eine sehr geringe Grösse bestimmt unterschieden werden. Es ist z. B. mit einer 1000fachen Vergrösserung, mit welcher die Punkte auf dem Panzer eines *Pleurösigma angulatum* als Sechsecke gesehen werden, gar wohl möglich den 4ten bis 5ten Theil der Breite derselben, d. h. $\frac{1}{16000}'''$ bis $\frac{1}{20000}'''$ zu unterscheiden, daher ist es wenigstens der Theorie nach möglich bei günstigen Objecten bis auf diese Grösse genau einzustellen. Allein in den meisten Fällen wird man schon aus optischen Gründen hinter dieser Grenze um ein Beträchtliches zurückbleiben müssen, wenn das Object ein weniger scharfes Bild giebt, wie schon daraus erhellt, dass es mit unseren jetzigen Mikroskopen, wenigstens mit den mir zu Gebote stehenden, unmöglich ist auf einer Nobert'schen Platte die in $\frac{1}{9000}$ und $\frac{1}{10000}'''$ getheilten Gruppen in ihre Linien aufzulösen. Da nun bei einer Messung die Gefahr eintritt an beiden Rändern des

Objectes bei der Einstellung einen Fehler zu machen und da die Fehler beider Einstellungen sowohl innerhalb als ausserhalb der wahren Grenze des Bildes liegen können, so können aufeinanderfolgende Messungen des gleichen Objectes um das Vierfache des bei einer einzelnen Einstellung gemachten Fehlers von einander abweichen. Die Grösse dieser im optischen Theile des Mikroskops begründeten Fehler zu bestimmen wage ich nicht, da sie bei wirklichen Messungen mit den in anderen Verhältnissen begründeten sich vermischen. Da jedoch bei meinem Mikrometer, bei welchem die optischen Mängel natürlicherweise die gleichen sind wie bei dem Fraunhofer'schen Mikrometer, die erfahrungsmässig sich ergebenden grössten Abweichungen unter den einzelnen Messungen des gleichen Objectes beim Gebrauche starker Objective $\frac{1}{12000}'''$ nur selten erreichen und beim Gebrauche mittelstarker Objective meistens kleiner als $\frac{1}{8000}'''$ sind, da ferner so grosse Fehler verhältnissmässig selten vorkommen, und zu vermuthen ist, dass sich in ihnen die Summe der zwei Fehler ausspricht, welche bei den zwei zu einer Messung gehörenden Einstellungen vorkommen können, so lässt sich wohl schliessen, dass die Unsicherheit bei der einzelnen Einstellung, so weit sie auf der Unvollkommenheit des mikroskopischen Sehens beruht, um ein Beträchtliches kleiner als die angegebenen Grössen ist.

Vergleicht man mit diesen Abweichungen diejenigen, welche man mittelst des Fraunhofer'schen Mikrometers erhält, so sind die letzteren weit bedeutender, indem bei verschiedenen Reihen von Messungen, die ich mit Sorgfalt vornahm, die grössten Abweichungen unter den Messungen des gleichen Objectes im Mittel $\frac{1}{1800}'''$ betragen, womit auch die von Harting (*Recherches micrométriques* p. 5, 15, 16) erhaltenen Resultate wohl übereinstimmen. Der Grund dieser stärkeren Abweichungen kann nicht in dem optischen Theile des Messinstrumentes liegen, aber ebensowenig in mangelhafter Ausführung des Mikrometers, denn Harting und ich verwendeten Instrumente, die aus vier verschiedenen ausgezeichneten Werkstätten (Powell, Plössl, Merz, Steinheil) hervorgingen und namentlich war einer der von mir benützten Mikrometer der gleiche, welcher nach meiner Art verwendet die oben angeführten weit geringeren Abweichungen ergab. Der Hauptgrund dieser stärkeren Abweichungen liegt also in der Art und Weise, wie beim Fraunhofer'schen Mikrometer die Schraube verwendet und die Einstellung vorgenommen wird. Man kann sich darüber nicht täuschen, denn man bemerkt gar bald,

wenn man die Messungen ruhig und sorgfältig vornimmt, dass die Bewegung der die Schraube drehenden Hand nicht unter ganz genauer Controle des Auges und des Willens steht, sondern dass der Faden bald zu wenig, bald zu weit vorgeschraubt wird, den Rand des Objectes bald nicht erreicht, bald überschreitet. Um wie viel dieses geschieht hängt zum Theile von den individuellen Eigenschaften des Beobachters ab. Ruhige Aufmerksamkeit, ein scharfes Auge, sichere Hand und Uebung werden eine relativ grössere Sicherheit gewähren, fehlerlose Beobachtungen wird aber keiner liefern, denn Niemand wird beständig dafür gut stehen können, dass er beim Drehen einer Schraube dieselbe nicht um ein oder zwei Tausendstel eines Umganges zu viel oder zu wenig bewegt. Der hierbei begangene Fehler spricht sich aber bei dem Fraunhofer'schen Mikrometer im Resultate der Messung in seiner vollen Grösse aus.

Während auf diese Weise unter einer Reihe von Messungen des gleichen Objectes die am meisten von einander abweichenden Grössenbestimmungen desselben um eine beträchtliche Grösse verschieden sind, so kann man sich bekanntlich der Wahrheit dadurch bedeutend nähern, dass man aus einer grösseren Anzahl von Messungen das Mittel zieht. Sowohl ich als Harting haben den wahrscheinlichen Fehler eines Mittels aus 10 Messungen berechnet und denselben sehr klein gefunden, indem derselbe bei meinen Messungen im Mittel $\frac{1}{47000}$ betrug (Mikrographie. 311), während Harting zu einem ähnlichen Resultate gelangte. Ich kann mich aber eines Zweifels darüber nicht erwehren, ob man nicht in Folge dieser Berechnungen des wahrscheinlichen Fehlers diesen Messungen eine Genauigkeit zuschreibt, welche sie in der That nicht in Anspruch nehmen können. Man kann nämlich an dem einen Tage von einem Objecte eine Reihe von Messungen erhalten, welche sehr gut untereinander stimmen und deren Berechnung den wahrscheinlichen Fehler des Mittels sehr gering erscheinen lässt, wiederholt man aber an einem andern Tage die Messungen, so erhält man wieder gut übereinstimmende Resultate, deren Berechnung wieder einen geringen wahrscheinlichen Fehler zu erkennen giebt, während die aus jeder dieser Messungsreihen gezogenen Mittel weit stärker von einander abweichen, als der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Reihe beträgt. Natürlicherweise würde sich, wenn man in einem solchen Falle den wahrscheinlichen Fehler aus beiden Reihen zusammen ableiten würde, derselbe

höher herausstellen, als die bisherigen Probemessungen zeigten. Da nun von denen, welche den Schraubenmikrometer benützen, wohl sehr selten solche wiederholte Messungen gemacht werden, so ist nicht zu bezweifeln, dass viele der mikrometrischen, mittelst dieses Instrumentes erhaltenen Angaben an nicht unerheblichen Fehlern leiden, um so mehr da die von Harting und mir angestellten Probemessungen, welche das angeführte Resultat ergaben, an besonders geeigneten Objecten und mit besonderer Sorgfalt ausgeführt wurden. Ich wenigstens möchte in Folge der Vergleichung solcher wiederholter Messungen die Sicherheit, welche man mit dem Schraubenmikrometer erreicht, wenn man nicht das Mittel aus einer sehr grossen Zahl von Messungen zieht, nicht über $\frac{1}{10000}$ ''' setzen.

Da ich nun einentheils mit dem Grade der Genauigkeit, den ich bei der einzelnen Messung mittelst des Fraunhofer'schen Mikrometers erhielt, nicht zufrieden war, andernteils ein Instrument zu besitzen wünschte, dessen Angaben sich bei der einzelnen Messung auf kleinere Grössen, als der Fraunhofer'sche Mikrometer angiebt (d. h. in der Regel $\frac{1}{10000}$ ''') erstrecken, so versuchte ich schon vor vielen Jahren den Bau des Schraubenmikrometers auf die Weise abzuändern, dass mit demselben nicht das Object selbst, sondern ein vergrössertes Bild desselben dadurch gemessen wird, dass durch die Mikrometerschraube das Ocular des Mikroskops über dem durch das Objectiv entworfenen Bild hinübergeführt wird. Nach einigen vorläufigen Versuchen, welche zeigten, dass auf diese Weise ein wirklicher Gewinn zu erhalten sei, entwarf ich den Plan zu einem solchen Instrumente, dessen vortreffliche mechanische Ausführung ich meinem Freunde Steinheil verdanke.

Ich ging dabei von dem Gedanken aus, dass die Fehler der Messung, welche bei Benutzung des Fraunhofer'schen Schraubenmikrometers vorkommen, mögen sie in unregelmässigen Gänge der Schraube, oder in unrichtigem Einstellen begründet sein, sich im Resultate der Messung in ihrer vollen Grösse aussprechen, während bei der Messung des vergrösserten Bildes gleich grosse Fehler in demselben Verhältnisse, in welchem das Bild grösser als das Object ist, einen kleineren Werth erhalten. Für die bei der Einstellung begangenen Fehler versteht sich dieses von selbst, dagegen kann es zweifelhaft erscheinen, ob dasselbe auch in gleichem Maasse von denjenigen Fehlern gilt, welche in unregelmässiger Bewegung der Schraube begründet sind. Für einen einzelnen, zufälligerweise vorkommenden

Fehler versteht es sich ebenfalls von selbst, dagegen ist man nicht sicher, dass bei der Methode das vergrößerte Bild zu messen, wozu ein vielfach längerer Theil der Schraube als bei der Messung des Objectes verwendet wird, sich nicht solche Fehler in demselben Verhältnisse wiederholen, in welchem die Zahl der zur Messung verwendeten Schraubenumgänge zunimmt, in welchem Falle nichts gewonnen würde. Es mag sich nun mit dem Vorhandensein solcher im Gange der Schraube vorhandenen Störungen verhalten wie es will, so zeigen jedenfalls die mit dem neuen Instrumente vorgenommenen Messungen, dass dieselben weit geringere Abweichungen untereinander zeigen, als die mit dem Fraunhofer'schen Mikrometer gemachten.

Der Gedanke das vergrößerte Bild des Objectes zu messen gehört meinem Mikrometer nicht eigenthümlich an, indem derselbe schon längst von Ramsden dem in England gebräuchlichen Ocularschraubenmikrometer zu Grunde gelegt war; allein in einem sehr wichtigen Punkte unterscheidet sich mein Mikrometer wesentlich vom Ramsden'schen. Beim letzteren ist das gewöhnliche Mikroskop, bei welchem das Ocular unbeweglich in der Mikroskopachse befestigt ist, benützt und es wird das durch das Objectiv entworfene Bild dadurch gemessen, dass der eine Rand desselben mittelst eines auf dem Objecttische befindlichen Schlittens mit einem im Focus des Oculars befindlichen unbeweglichen Spinnenfaden in Berührung gebracht wird und ein zweiter, mit dem ersten paralleler Spinnenfaden durch die mit dem Oculare verbundene Mikrometerschraube dem ersteren entgegengeführt wird, bis er mit dem zweiten Rande des Bildes zusammentrifft, worauf der Abstand beider Fäden an einer Scale und an dem mit einer Theilung versehenen Kopfe der Mikrometerschraube abgelesen wird. Diese Methode ist eine entschieden fehlerhafte, indem das Bild des Objectes durch das Ocular eine grössere oder geringere Verzerrung erleidet und seine verschiedenen Theile, je nachdem sie von dem Mittelpunkte weiter entfernt liegen, verschieden stark vergrößert sind. Dass diese Ungleichheit der Vergrößerung beim Gebrauche eines Ramsden'schen Oculares bedeutend sein kann, geht aus einer von Harting (Das Mikroskop. 516) gemachten Messung hervor, nach welchem bei einem Dollond'schen, mit einem derartigen Mikrometer versehenen Mikroskope das Bild von 10 Abtheilungen eines Glasmikrometers ein um $\frac{1}{33}$ kleineres Resultat gab, wenn es als Ganzes gemessen wurde, als wenn die einzelnen Abtheilungen des Mikrometers gemessen und die Ergebnisse dieser

partiellen Messungen addirt wurden. Nun kann man allerdings die Abweichungen, welche die Vergrößerung in den verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes besitzt, messen und in Rechnung bringen, allein es wird dadurch die Berechnung einer jeden Beobachtung weitläufig und zuletzt das Resultat doch unsicher.

Um diesem Fehler zu entgehen messe ich die Grösse des durch das Objectiv entworfenen Bildes nicht unter dem feststehenden Oculare durch Bewegung des Spinnenfadens, sondern führe das Ocular mit dem Fadenkreuze mittelst der Mikrometerschraube quer über das Bild weg. Hierbei wird also das Bild nur durch die Achse des Oculars betrachtet, und es kann eine die Sicherheit der Messung beeinträchtigende Verzerrung des Bildes durch das Ocular ebensowenig wie beim Fraunhofer'schen Mikrometer stattfinden.

Eine zweite Aussetzung, die am englischen Ocularmikrometer zu machen ist, betrifft nicht das Princip, auf dem er beruht, sondern seine Anbringung an einem gewöhnlichen Mikroskope. Das letztere gewährt keine hinreichende Stabilität; zur sicheren Messung so kleiner Grössen, zu welchen das Ocularmikrometer an und für sich tauglich ist, bedarf es einer weit grösseren Festigkeit des Instrumentes, als bei der gewöhnlichen Construction des Mikroskopes zu erreichen ist.

Wenige Worte werden genügen, um von der mechanischen Einrichtung meines Mikrometers eine Vorstellung zu geben. Die Grundlage des Stativs bildet eine starke (1,5 Zoll dicke), nach oben zu schwach verjüngte Säule, welche am oberen Ende eine 3''' dicke, horizontal abstehende, in der Mitte mit einer Oeffnung versehene Platte trägt. In diese Oeffnung ist von unten her die Mikroskopröhre eingeschraubt (also unbeweglich), über derselben ist ein Fraunhofer'scher Schraubenmikrometer angeschraubt, welcher jedoch in stärkeren Dimensionen als gewöhnlich ausgeführt ist. Die Schraube desselben hat Umgänge von der Grösse von etwa $\frac{1}{4}$ ''; ihr hinteres Ende läuft um die Abnützung möglichst zu verhindern in einem Lager von Agat, ebenso ist in den Theil des durch die Schraube zu bewegendem Schieber, auf welchen das vordere Ende der Schraube drückt, ein Agat eingelassen. Auf dem Mikrometer befindet sich das durch denselben zu bewegendes Ocular (ein orthoskopisches von Kellner) in eine kurze Röhre eingesteckt. Diese Ocularröhre ist jedoch nicht unmittelbar auf dem durch die Mikrometerschraube beweglichen Schieber des Mikrometers befestigt, sondern auf einem zweiten Schieber, welcher sich auf der oberen Seite des ersten, parallel

mit seiner Mittellinie, folglich auch parallel mit der Mikrometerschraube, zwischen schwalbenschwanzförmigen Leisten durch eine besondere, mit steil ansteigenden Windungen versehenen Schraube verschieben lässt. Objecttisch und Lichtcondensationsapparat sind getrennt vom Mikroskope an einer Metallstange befestigt, welche mittelst zweier kurzer Arme an der Säule des Stativs, parallel mit deren Achse festgeschraubt ist. Die grobe, durch einen Trieb vermittelte Bewegung ist an dieser Stange, die feine am Objecttische angebracht.

Wie aus dem Gesagten erhellt, ist das Ocular sowohl durch die Mikrometerschraube und den mittelst dieser zu bewegenden wesentlich zum Messapparat gehörenden Schieber, als auch durch einen zweiten Schieber (welchen ich Ocularschieber nennen will, und welcher sich auf dem ersteren hin und herbewegen lässt) in horizontaler Richtung über der Mikroskopröhre und damit über dem durch das Objectiv entworfenen, feststehenden Bilde verschiebbar. Da das Ocular auf diese Weise keine feste Stellung und bestimmte Beziehung zur Mikroskopachse und zu dem in derselben liegenden Mittelpunkt des mikroskopischen Bildes besitzt und da es doch zum Behufe des genauen Sehens und noch mehr zum Behufe einer mittelst des Instrumentes vorzunehmenden Messung nöthig ist, das Ocular rasch und genau in die Mikroskopachse stellen zu können, so war zunächst eine bestimmte Stellung des durch die Mikrometerschraube zu bewegenden, bei den Messungen in Thätigkeit tretenden Schiebers, als des auf diesem beweglichen Ocularschiebers auszumitteln, bei welcher die Achse des Oculars mit der Achse der Mikroskopröhre zusammenfällt. Zu diesem Behufe setzte ich drei Blendungen, welche in ihrem Centrum eine Oeffnung von der Grösse eines Nadelstiches hatten, in das Mikroskop ein, die eine an die Stelle des Objectives, die zweite in die Mitte der Mikroskopröhre, die dritte unmittelbar unter das Ocular. Auf diese Weise konnte nur in der Achse der Mikroskopröhre ein schmaler Lichtstrahl zum Oculare gelangen und es war, um das Ocular genau in die Achse zu stellen, nur nöthig dasselbe so weit zu verschieben, bis sein Fadenkreuz die kleine Lichtscheibe, die durch die Blendungen fiel, in vier gleichgrosse Quadranten theilte. Nun wurde der Stand der Mikrometerschraube abgelesen und quer über den Ocularschieber und eine der Leisten, in denen er sich verschiebt, eine Linie eingeschnitten, welche als Index für die Stellung dieses Schiebers dient. Auf diese Weise kann das Ocular jeder Zeit schnell in die Mikroskopachse dadurch gestellt werden, dass die

Mikrometerschraube und der Ocularschieber in die bezeichnete Lage zurückgeführt werden. Will man einen anderen Theil der Mikrometerschraube zu einer Messung verwenden, so wird das Ocular in die Achse gestellt, ein beliebiges Object so unter das Mikroskop gelegt, dass eine bestimmte Stelle desselben mit dem Spinnenfaden zusammentrifft, nun die Mikrometerschraube gedreht, bis der Theil derselben mit dem man messen will, in Thätigkeit tritt und dann durch den Ocularschieber das Ocular soweit zurückgeführt, bis sein Faden wieder auf der gleichen Stelle des Objectes einsteht. Man könnte auch in die Leiste des Ocularschiebers eine Scale einschneiden, welche der Scale entspricht, welche die Umgänge der Mikrometerschraube anzeigt, und die erstere Scale in umgekehrter Weise numeriren, wobei alsdann wenn beide Scalen auf die gleiche Nummer gestellt würden, das Ocular in die Mikroskopachse zu stehen käme.

Nach diesen Vorbereitungen konnte ich zu den Messungen übergehen. Zuerst war zu bestimmen, welchen Werth ein Schraubenumgang in einem gebräuchlichen Maasse besitzt. In dieser Beziehung ist mein Mikrometer, wie überhaupt jeder Ocularmikrometer im Nachtheile gegen den Fraunhofer'schen, indem man bei dem letzteren nur Einmahl den Werth der Schraubenumgänge zu bestimmen hat, da auf diesen die Vergrößerung des Mikroskops keinen Einfluss ausübt, während bei einem Ocularmikrometer dieser Werth für jedes Objectiv, welches man benützen will, besonders bestimmt werden muss. Um den Werth der Schraubenumgänge zu ermitteln, bediente ich mich der Messung eines in $\frac{1}{100}$ getheilten, von Nobert für diesen Zweck besonders verfertigten Mikrometers ¹⁾.

1) Ich kann nicht umhin, ein paar Worte über die Nobert'schen Mikrometer beizufügen. Die hinsichtlich ihrer Schönheit und Genauigkeit ans Wunderbare grenzenden Theilungen auf Glas, wie wir sie diesem Künstler verdanken, sind weltbekannt. Desto mehr ist es aber billig dieselben gegen einen Vorwurf zu verwahren, welcher gewiss nicht in Verkennung der Leistungen des Künstlers, sondern in einem Missverständnisse begründet ist. Harting sagt nämlich (Das Mikroskop 881), dass wenn man die Breite der Gruppen von Nobert's Probetafeln an beiden Enden messe, eine kleine Differenz hervortrete, die davon herrühre, dass Nobert seine Theilungen mittelst einer Kreistheilungsmaschine verfertige. Das letztere ist vollkommen richtig, allein Nobert verwendet die Kreistheilungsmaschine nicht, wie Harting anzunehmen scheint, auf die Weise, dass er die zu theilende Platte auf einem Radius des Theilungskreises befestigt, in welchem Falle allerdings die Striche des Mikrometers gegen das Centrum des Kreises convergiren und die Gruppen der Linien am einen Ende schmaler, als am anderen Ende ausfallen

Gleich beim ersten Versuche das Instrument zu benützen machte ich eine Erfahrung, die mich auf das unangenehmste überraschte. Ich hatte bei den starken Dimensionen, welche ich der Säule des Stativs und der horizontalen Platte, an welcher der Mikrometer und die Mikroskopröhre befestigt sind, gegeben hatte, gehofft, dass alle Theile stark genug seien um keine merkliche Biegung unter dem schwachen Drucke zu erleiden, welchen man bei der Drehung der Mikrometerschraube auf dieselbe ausüben kann. Darin sah ich mich jedoch hässlich getäuscht, ungeachtet der Mikrometer eine äusserst sanfte und leichte Bewegung besitzt. Derselbe bildete mit der Mikroskopröhre einen winkelförmig geformten Hebel, welcher mittelst der starken Vergrösserung des Mikroskops die leichten Biegungen, die das Instrument unter dem Drucke der die Schraube drehenden Hand erlitt, als ein äusserst feiner Fühlhebel zu erkennen gab und eine genaue Einstellung unmöglich machte. Ich sah mich dadurch genöthigt, die Mikroskopröhre mit der Säule des Instrumentes noch durch einen aus starken, sich rechtwinklig kreuzenden Messingplatten bestehenden Rahmen zu verbinden. Nun war allerdings die nothwendige Festigkeit und Unbeweglichkeit in vollstem Maasse erreicht.

Nach Beseitigung dieses Hindernisses konnte ich endlich zu Messungen, bei welchen der Glasmikrometer als Object diente, übergehen. Dieselben liessen sich zur Ausmittlung von dreierlei Verhältnissen verwenden.

Erstens ergab sich aus ihnen der Werth in pariser Linien, welchen bei Anwendung verschiedener Objective ein Umlauf der Mikrometerschraube besitzt. Dieses Verhältniss hat nur insoferne ein allgemeines Interesse, als sich ergab, dass sich schon beim Gebrauche ziemlich schwacher Vergrösserungen die Angaben des Instrumentes auf sehr geringe Grössen erstrecken, ungeachtet die Windungen der Schraube ungefähr $\frac{1}{4}$ Linie stark sind. Bei einer 218fachen würden, sondern er bewegt mittelst des Kreises einen Schieber, auf dem die Platte befestigt ist, und es müssen die Striche der Theilung parallel werden. Die Messung von Harting, nach welcher die erste Gruppe einer solchen Tafel am einen Ende um 0,0003 Millimeter breiter als am andern Ende sein soll, ist sicherlich mit einem Fehler behaftet. — Um aber nicht meinerseits Harting ein Unrecht zu thun, wenn ich ohne die Sache selbst zu prüfen, seine Messung für fehlerhaft erkläre, mass ich an meiner Nobert'schen Platte die Breite der ersten Liniengruppe an ihren beiden Enden, die beiden Messungen stimmten bis auf $\frac{1}{1000000}$ überein, d. h. bis auf eine Grösse, die innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt, während die Differenz nach Harting $\frac{1}{100000}$ betragen soll.

Vergrößerung entspricht ein Schraubenumgang $\frac{1}{70}''$; es konnte also die Grösse des Objectes bis auf $\frac{1}{70000}''$ abgelesen werden; bei einer 487fachen Vergrößerung entspricht der Schraubenumgang $\frac{1}{152}''$, bei einer 1100fachen $\frac{1}{342}''$. Auf diese Weise gehen bei jeder Vergrößerung die Angaben des Messapparates weit über die optischen Leistungen des Mikroskops hinaus.

Eine zweite, für den sicheren Gebrauch des Mikrometers höchst wichtige Frage betraf den Umstand, ob nicht in dem durch das Objectiv entworfenen Bilde eine Verzerrung stattfindet, welche die Messung desselben auf ähnliche, wenn auch geringere Weise fehlerhaft mache, wie dieses beim Ramsden'schen Ocularschraubenmikrometer stattfindet. Dass ein solcher Fehler stattfinden würde, wenn ein grosser Theil dieses Bildes zur Messung verwendet würde, ist unzweifelhaft, theils weil die verschiedenen Theile des Bildes in verschiedenem Grade vergrößert sein können, theils weil das Bild in einer gekrümmten Fläche liegt, während das Ocular in der Richtung der Tangente über dasselbe hinweg geführt wird. Wenn man von der Vorstellung ausginge, dass das Bild die gleiche Krümmung hätte, wie eine Kugel deren Radius dem Abstände des Objectives vom Focus des Oculars gleich käme, so könnte man versucht sein zu berechnen, wie weit man sich bei der Messung vom Centrum des Bildes entfernen dürfe, und es kann keinem Zweifel unterliegen, dass es ohne jede Gefahr einen irgend in Betracht kommenden Fehler zu begehen, erlaubt wäre, diese Entfernung auf einen halben Grad auszudehnen. Bei meinem Instrumente beträgt jener Abstand 6 Zoll; bei einer Kugel von 6 Zoll Halbmesser ist ein Grad nahezu $1''{,}25$ breit, man könnte also annehmen, dass ein Object dessen vom Objectiv entworfenes Bild nicht über $1''{,}25$ breit sei, mit voller Sicherheit gemessen werden könne. Nach dieser Annahme könnte man bei meinem Instrumente bei einer Vergrößerung von 285 die Messung auf Objecte von $\frac{5}{100}''$ Breite ausdehnen, indem das vergrößerte Bild derselben noch innerhalb jener Grenze liegen würde. Eine solche Berechnung würde aber desshalb keine sicheren Anhaltungspunkte gewähren, weil Objective von gleicher Brennweite nicht unbedeutend darin von einander abweichen können, dass das eine ein sehr flaches, im ganzen Gesichtsfeldes des Oculars vollkommen deutliches Bild entwirft, während es andere unglücklich construirte Objective giebt, welche ein in hohem Grade gekrümmtes, nur in der Mitte des Gesichtsfeldes klares Bild liefern. Unter diesen Umständen ist es das

sicherste durch Messung kleinerer und grösserer Abtheilungen eines guten Glasmikrometers zu ermitteln, ob in den verschiedenen Abtheilungen des Bildes eine Abweichung der Vergrösserung vorhanden ist. Es zeigte sich, dass ich bei einer etwas über 100fachen Vergrösserung die Messung mit voller Sicherheit auf $\frac{1}{4}'''$, bei einer 500fachen Vergrösserung auf ein $\frac{1}{100}'''$ im Durchmesser haltendes Object ausdehnen kann; ob auch noch weiter, habe ich nicht untersucht, indem dieser Mikrometer überhaupt nur für Messung kleinerer Objecte berechnet ist. Will man grössere Objecte mittelst desselben messen, so lässt er sich augenblicklich in einen Fraunhofer'schen verwandeln, indem man ihn von seinem Stative abschraubt und auf dem Objecttische eines gewöhnlichen Mikroskops befestigt.

Drittens lässt sich aus der mehr óder minder grossen Uebereinstimmung wiederholter Messungen des gleichen Objectes die bei denselben erlangte Genauigkeit ermitteln. Dieselbe nimmt aus nahe liegenden Gründen mit der Stärke der Vergrösserung zu, erreicht aber schon bei schwachen Vergrösserungen einen weit höheren Grad, als man beim Gebrauche des Fraunhofer'schen Mikrometers erlangt.

Da es zu weitläufig wäre, die Messungen in allem Detail mitzutheilen, so begnüge ich mich, die Resultate in einer kurzen tabellarischen Uebersicht aufzuführen und erlaube mir, über die Berechnung derselben einige Bemerkungen voranzuschicken.

Das richtigste Verfahren um den Grad der bei diesen Messungen erreichten Genauigkeit zu bezeichnen, wäre unstreitig gewesen den wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Messungen und des aus jeder Reihe von Messungen gezogenen Mittels zu berechnen. Ich glaubte aber eine anschaulichere Vorstellung von der Zuverlässigkeit, welche das Instrument in Anspruch nehmen kann, und von der Grösse der Fehler, die man beim Messen begeht, dadurch zu geben, dass ich nicht ein aus den letzteren abgeleitetes theoretisches Resultat, sondern die begangenen Fehler in aller ihrer Schroffheit aufführte, indem ich die grössten Abweichungen zusammenstellte, welche in einer Reihe von Messungen des gleichen Objectes sowohl zwischen den einzelnen Messungen, als auch zwischen den aus je 5 und aus je 10 Messungen gezogenen Mitteln vorkamen. Diese Abweichungen zeigen das Maximum der Fehler an, welche man bei sorgsamer Benützung des Instrumentes begeht. Natürlicherweise stimmen diese Maxima unter einander nicht genau überein, indem ihre Grösse von vielen

zufälligen Umständen abhängt, allein auch sie müssen einer gewissen Regel unterliegen, die sich mehr oder weniger sicher in der aus ihnen gezogenen Mittelzahl ausspricht. Für die praktische Benützung des Instrumentes scheint es mir wichtiger zu sein, die Grösse der extremsten Fehler, die man bei seiner Benützung begeht, als die Grösse des wahrscheinlichen Fehlers des Gesamteresultates der Messungen zu kennen. Wenn es mir z. B. darum zu thun ist, die Grösse eines Objectes auf $\frac{1}{20000}''$ genau zu messen und ich sehe in dieser Uebersicht, dass bei einer 400—500fachen Vergrösserung die äusserste Abweichung zweier Mittel von 10 Messungen von einander $\frac{1}{43000}''$ beträgt, dass also jedes dieser Mittel vom Gesamteresultate um etwa $\frac{1}{86000}''$ abweicht, und dass die mittelst dieser Vergrösserungen angestellten Messungen im Mittel nur halb so grosse Abweichungen zeigen, so werde ich mich darüber vollkommen beruhigen können, dass ich bei einer neuen Messung unter allen Umständen innerhalb der im vorliegenden Falle als zulässig angenommenen Fehlergrenze von $\frac{1}{20000}''$ bleiben werde, wenn ich das Object mit jener Vergrösserung 10mal messe und das Mittel ziehe. Wir gehen, wenn wir uns an diese äussersten Fehler halten, welche man beim Gebrauche des Instrumentes erfahrungsmässig zu begehen Gefahr läuft, weit sicherer, als wenn wir uns auf den aus einzelnen Reihen von Probenmessungen abgeleiteten wahrscheinlichen Fehler verlassen, welcher in der Regel eine äusserst geringe Grösse besitzt und uns verleiten kann, den mikrometrischen Messungen eine weit grössere Genauigkeit zuzutrauen, als sich bei wiederholten Messungen des gleichen Objectes zu erkennen giebt. Ich habe das oft genug erfahren und es liegt ohne Zweifel dieser Umstand den oben angeführten abweichenden Resultaten der von Harting an beiden Enden der 1ten Gruppe einer Nobert'schen Probeplatte angestellten Messungen zu Grunde. Harting ist in seinen Arbeiten viel zu sorgfältig, als dass er Vertrauen in das Resultat seiner Messungen gesetzt hätte, wenn nicht die einzelnen Messungen eines jeden von den beiden Enden der Liniengruppe unter einander gut übereingestimmt und einen weit geringeren wahrscheinlichen Fehler angezeigt hätten, als $\frac{1}{7330}''$, um welche die beiden Messungen von einander abweichen und um welche Grösse die beiden Enden der Liniengruppe in Wirklichkeit gar nicht abweichen können.

Es mag einem, der nicht viele Erfahrungen in mikroskopischen Messungen besitzt, auffallen, wenn ich behaupte, dass bei wiederholten Messungen der gleichen Objecte der wahrscheinliche Fehler

der einzelnen Reihen von Messungen sehr klein sein könne, und dass dennoch die Mittel dieser verschiedenen Messungsreihen weit grössere Abweichungen, als jene wahrscheinlichen Fehler betragen, von einander zeigen können. Es erklärt sich dieses aber einfach aus dem Umstande, dass zu verschiedenen Zeiten vorgenommene mikroskopische Messungen des gleichen Objectes nicht an vollkommen identischen mikroskopischen Bildern vorgenommen werden. Das mikroskopische Bild ist, namentlich bei starken Vergrösserungen, ein ziemlich unvollkommenes, sein Umriss ist niemals ganz scharf gezogen, sondern stellt eine Linie dar, welche eine gewisse Breite und verwaschene Ränder besitzt, und überdiess findet sich noch ausserdem häufig ein heller Lichtsaum neben dem Bilde, welcher seine Begrenzung noch unsicherer erscheinen lässt. Diese Verhältnisse erleiden wieder je nach der Beleuchtung und der mehr oder weniger scharfen Einstellung kleine Aenderungen. Macht man nun eine Reihe von Messungen, während deren man das Object nicht mehr berührt und die Beleuchtung und Einstellung nicht ändert, so bleibt der Zustand des Bildes unverändert und seine Messungen stimmen unter einander gut überein; wenn man aber dasselbe Object ein anderesmal misst, das Mikroskop hierbei etwas höher oder niedriger einstellt, vielleicht auch die Beleuchtung anders regulirt, so erhält man ein etwas verschiedenes Bild, dessen Messungen wieder gut übereinstimmen, aber von den früheren verschieden sind. Wenn man ins Auge fasst, dass es sich hier um Grössen handelt, welche an und für sich unbedeutend sind, z. B. $\frac{1}{30000}''$ und weniger betragen, so wird man wohl begreifen, dass die angeführten Umstände eine dieser Grösse entsprechende Umänderung des Bildes hervorrufen können, und dass man bei wiederholten und mit gleicher Sorgfalt angestellten Messungen im Gesamtergebnisse derselben Abweichungen erhalten kann, die zwar an und für sich immerhin klein sind, allein doch mit dem wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Messungsreihe, welcher auf weit weniger als $\frac{1}{100000}''$ herabsinken kann, auf den ersten Anblick nicht verträglich erscheinen. Damit verliert aber der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Reihe von Messungen seine praktische Bedeutung gressentheils.

Hiemit will ich mich natürlicherweise nicht dahin aussprechen, dass es überflüssig oder unzweckmässig sei, in speciellen Fällen, in welchen es von besonderer Wichtigkeit ist, die Genauigkeit einer Reihe von Messungen genau zu kennen, ihren wahrscheinlichen Fehler zu berechnen, aber ebenso überzeugt bin ich auch, dass die Mehrzahl von

Naturforschern. welche das Mikroskop gebrauchen, sich diesen immerhin zeitraubenden Rechnungen nicht unterziehen wird.

Vergrößerung.	Grosse des Objectes.	Stärkste Abweichung von zwei einzelnen Messungen.	Stärkste Abweichung der Mittel von 5 Messungen.	Abweichung der Mittel von 10 Messungen.	Mittlere Abweichung der einzelnen Messungen vom Gesamtmittel.
104 bis 149	$\frac{1}{100}''' - \frac{2}{100}'''$ (Glasmikrometer)	$\frac{38}{100}'''$	$\frac{13}{100}'''$	$\frac{50}{100}'''$	$\frac{14}{100}'''$
		$\frac{25}{100}$	$\frac{14}{100}$	$\frac{23}{100}$	
		$\frac{30}{100}$	$\frac{8}{100}$	$\frac{12}{100}$	
	Im Mittel	$\frac{41}{100}$	$\frac{11}{100}$	$\frac{28}{100}$	$\frac{14}{100}$
218 bis 285	$\frac{1}{100}''' - \frac{2}{100}'''$	$\frac{82}{100}$	$\frac{31}{100}$	$\frac{77}{100}$	$\frac{32}{100}$
		$\frac{50}{100}$	$\frac{17}{100}$	$\frac{43}{100}$	
		$\frac{89}{100}$	$\frac{34}{100}$	$\frac{45}{100}$	
	Im Mittel	$\frac{87}{100}$	$\frac{28}{100}$	$\frac{40}{100}$	$\frac{32}{100}$
430 bis 487	$\frac{1}{100}'''$	$\frac{73}{100}$	$\frac{55}{100}$	$\frac{1}{100000}$	$\frac{1}{50000}$
		$\frac{117}{100}$	$\frac{40}{100000}^1)$	$\frac{1}{1527800}^2)$	
		$\frac{71}{100}$	$\frac{24}{100}$	$\frac{1}{43000}$	
	$\frac{3}{4}'''^3)$	$\frac{173}{100}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{1}{90000}$	
	Im Mittel	$\frac{103}{100}$	$\frac{1}{49750}$	$\frac{1}{77900}$	$\frac{1}{50000}$
800 1100	$\frac{1}{100}'''$	$\frac{1}{12000}$	$\frac{1}{50000}$	$\frac{1}{100000}$	$\frac{1}{88000}$
		$\frac{1}{16600}$	$\frac{1}{55000}$	$\frac{1}{111110}$	$\frac{1}{100000}$
		$\frac{1}{16600}$	$\frac{1}{68000}$	$\frac{1}{75000}$	$\frac{1}{66000}$
	$\frac{1}{4040}'''^6)$	$\frac{1}{15600}$	$\frac{1}{40000}$	$\frac{1}{71400}$	$\frac{1}{77000}$
	Im Mittel	$\frac{1}{15200}$	$\frac{1}{53300}$	$\frac{1}{98400}$	$\frac{1}{77750}$

Zur Vergleichung mit diesen Messungen füge ich eine kleine Tabelle bei, in welcher ich einige von Harting (Recherches micro-métriques. pag. 7. 18. 19.) mit Hülfe eines Ramsden'schen Ocularmikrometers gemachte Messungen zusammenstellte, welche ich auf gleiche Weise, wie die oben mitgetheilten berechnete.

- 1) und 2) Bei der Berechnung des Mittels nicht in Betracht gezogen.
- 3) Spiralfaser von Musa.
- 4) Zwischenraum zwischen zwei Querstreifen von Pleurosigma Hippocampus.
- 5) Fünf Querstreifen von Pleurosigma Hippocampus.
- 6) Zwischenraum zwischen zwei schiefen Streifen von Pleurosigma angulatum.

Vergrößerung.	Object.	Stärkste Abweichung von zwei einzelnen Messungen.	Abweichung der Mittel von 5 Mes- sungen.	Abweichung der Mittel von 10 Mes- sungen.
435	0 ^{'''} ,0322 (Glasmikrometer)	$\frac{1}{748}$ '''	$\frac{1}{952}$ '''	$\frac{1}{5400}$ '''
820	0 ^{'''} ,0133 (Glasmikrometer)	$\frac{1}{3700}$	$\frac{1}{14000}$	$\frac{1}{50000}$
	—	$\frac{1}{2344}$	$\frac{1}{21000}$	
	$\frac{1}{262}$ ''' (Blutkörperchen)	$\frac{1}{4130}$	$\frac{1}{21000}$	

Der Unterschied im Resultate ist ein auffallender. Indessen ist derselbe wohl nicht allein in den von uns beiden angewendeten mikrometrischen Apparaten begründet, sondern wohl auch in der Beschaffenheit der mikroskopischen Bilder. Harting wendete grossentheils stärkere Vergrößerungen an, allein der dadurch erreichte Vortheil wurde vielleicht dadurch mehr als aufgewogen, dass er gegen mich in Beziehung auf die Schärfe der von seinem Mikroskope entworfenen Bilder im Nachtheil war, indem er im Jahre 1845, in welchem seine Schrift erschien, schwerlich über gleich gute Objective zu verfügen hatte, wie ich im Jahre 1864. Bemerken muss ich übrigens, dass ich keine Objective anwendete, welche nicht Jedem zugänglich sind, indem ich mit Ausnahme eines Kellner'schen Objectives No. 2 lauter Hartnack'sche verwendete.

Uebersieht man die Resultate meiner Probemessungen, so erhellt auf den ersten Blick, dass die mittelst des mikroskopischen Sehens bei Messungen erreichbare Genauigkeit hinter der durch mechanische Mittel zu erlangenden zurückbleibt, aber eben so wenig wird es einem Zweifel unterliegen, dass die von mir angewendete Messungsmethode für die Zwecke des mit der Untersuchung organischer Körper sich beschäftigenden Mikroskopikers vollkommen ausreichend ist und auch bei weiterer Verbesserung des Mikroskopes anwendbar bleiben wird, da mit erhöhter Leistung der Mikroskopobjective auch die Leistung des beschriebenen Mikrometers steigen wird. Ohne allen Zweifel ist beides bereits eingetreten, allein ich bin nicht im Stande im gegenwärtigen Augenblicke hierüber etwas zu sagen, da ich die von Powell und Lealand in der neuesten Zeit verfertigten Objective von $\frac{1}{25}$ und $\frac{1}{50}$ '' Brennweite nicht besitze.

Tübingen, Januar 1865.