

ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 2896-97.

Ueber die auf dem Potsdamer Observatorium unternommenen Untersuchungen über die Bewegung der Sterne im Visionsradius mittelst der spectrographischen Methode.

Von *H. C. Vogel.*

In der in den Sitzungsberichten der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin (15. März 1888) zum Abdruck gelangten ersten Mittheilung über die spectrographische Methode zur Ermittlung der Geschwindigkeit von Sternen im Visionsradius hatte ich nur ganz allgemeine Angaben über die bei den Beobachtungen zu erreichende Sicherheit gemacht, weil die bis dahin erhaltenen Beobachtungen mit einem provisorisch zusammengesetzten Apparate ausgeführt worden waren und wohl die Vortheile der Methode unzweifelhaft darthun konnten, keineswegs aber zu weiterer Verwendung geeignet waren. Ich habe aus diesem Grunde auch alle näheren Details unterdrückt, welche weitere Schlüsse aus den Beobachtungen zugelassen hätten. Auch die später in den Astr. Nachr. Nr. 2839 gegebene kurze Notiz über β Orionis hatte wesentlich nur bezweckt, darzuthun, dass eine recht sichere Einstellung auf die Linien in den Sternspectren möglich sei.

Der erste Apparat bestand aus zwei Rutherford'schen Prismen, welche, für $H\gamma$ auf das Minimum der Ablenkung gestellt, mit dem Collimator von 40 cm Focallänge und der Camera nebst Objectiv von gleicher Brennweite auf einem starken Holzbrett montirt waren. Die Camera und die Cassette waren aus Pappe und Holz gefertigt, und die Einstellung der Platte in die Bildebene des Objectivs war nur auf 1 bis 2 mm sicher. Meine Absicht, den Spectrographen gänzlich umzugestalten und statt der Prismen ein Rowland'sches Interferenzgitter zu nehmen, ist nicht zur Ausführung gebracht worden, da Vorversuche ergeben haben, dass Gitterspectra bei Sternspectralaufnahmen keine Anwendung finden können, weil die Lichtstärke bei der für diesen Zweck erforderlichen starken Dispersion zu gering ist. Ich bin daher wieder zur Anwendung von Prismen zurückgekehrt.

Bei der Construction des neuen Apparates, mit welchem die weiter unten angeführten Resultate erhalten wurden, und dessen ausführliche Beschreibung ich später in den Publicationen des Astrophysikal. Observatoriums zu geben gedenke, waren in Kürze folgende Punkte zu berücksichtigen: Grosse Stabilität; möglichste Leichtigkeit, um den Refractor nicht zu sehr zu belasten; geeignete Dimensionen für Prismen, Collimator- und Camera-Objectiv, um bei möglichst starker Dispersion noch genügende Lichtstärke zu behalten; sichere Einstellung der photographischen Platte in die Bildebene des Cameraobjectivs; sicheres Festhalten des Sternbildes auf dem Spalt des Spectrographen. Den beiden ersten Forderungen bin ich bestrebt gewesen dadurch

nachzukommen, dass ich das Gestell aus Gussstahl anfertigen liess und demselben eine Form gab, die gegen Durchbiegung möglichst grossen Widerstand bot. Bei der Wahl der Prismen und der Objective waren die an dem provisorischen Apparate gemachten Erfahrungen von grossem Werthe. Ich hatte bei diesem Apparate schon sehr nahe die günstigsten Verhältnisse getroffen, so dass eine wesentliche Abweichung von den früher gewählten Dimensionen nicht erforderlich erschien. Eine Vergrösserung der Focallänge des Collimatorobjectivs hätte wohl den Vortheil grösserer Lichtstärke bei gleicher Schärfe der Bilder gebracht, da dann der Spalt bei gleichem Winkelwerthe entsprechend weiter geöffnet werden konnte, wenn nicht eine Vergrösserung der Brennweite auch eine grössere Oeffnung des Collimatorobjectivs und eine damit in starkem Verhältniss wachsende Vergrösserung der Prismen bedingt hätte, während andererseits die Verhältnisse zwischen Objectivöffnung und Brennweite des grossen Fernrohrs, mit welchem der Spectralapparat in Verbindung gebracht wird, auch für das Collimatorobjectiv bestimmend sind. Abgesehen von der nicht unerheblichen Vermehrung des Gewichtes des Apparates, würde eine Lichtschwächung in Folge des längeren Weges der Lichtstrahlen durch die grössere Glasmasse hervorgebracht werden, welchem Nachtheile man zwar durch längere Exposition entgegenwirken könnte; indessen hatte sich im Laufe der Vorversuche bereits herausgestellt, dass eine Expositionsdauer von über einer Stunde Nachtheile mit sich bringt, indem unvermeidliche Temperaturänderungen des Apparates während der Exposition einen schädlichen Einfluss auf die Schärfe der Bilder ausüben. Aus diesem Grunde schien auch eine Vergrösserung der Brennweite des Cameraobjectivs nicht geboten. Zu den Prismen wurde möglichst farbloses Glas verwendet; die Objective sind so dünn als möglich geschliffen und für die Strahlen $H\gamma$ achromatisirt. Die Camera besteht aus Stahlblech; die Cassetten sind aus Messing gefertigt und werden fest mit der Camera verbunden. Die Einstellung der photographischen Schicht in die Bildebene des Objectivs geschieht nur durch Veränderung der Stellung des Objectivs gegen die Platte und kann bis auf $\frac{1}{10}$ mm sicher ausgeführt werden.

Die schon bei den ersten Versuchen angewandte Methode, mittelst eines kleinen, mit dem Apparate fest verbundenen Fernrohrs das von der vorderen Fläche des ersten Prismas reflectirte Spaltbild gleichzeitig mit dem Bild des Sternes zu beobachten, um so während der Exposition den Stern mit Sicherheit auf dem Spalte zu halten, hat sich so

vortrefflich bewährt, dass kein Bedürfniss für eine andere Einrichtung vorlag. Um auch das Spectrum während der Exposition zu controliren, habe ich noch auf Vorschlag von Dr. Scheiner in der Camera ein kleines Prisma anbringen lassen, durch welches ein Theil des Spectrums (Grün) nach aussen reflectirt wird und durch ein Ocular beobachtet werden kann. Ich möchte nicht unerwähnt lassen, dass der Apparat so eingerichtet wurde, dass eine sehr genaue Justirung in Bezug auf die Richtung der optischen Axe des Collimators gegen die des grossen Refractors mit Leichtigkeit auszuführen ist. Desgleichen ist eine Justirung der Geissler'schen Röhre möglich, die sich in einem Abstände von 40 cm vom Spalte befindet, senkrecht auf der optischen Axe des Fernrohrs steht und den Spalt senkrecht kreuzt. Es sind übrigens nicht nur geradlinige, sondern auch verschieden geformte Geissler'sche Röhren verwendet worden. Hierüber werde ich später bei der ausführlichen Beschreibung des Apparates zu sprechen Gelegenheit nehmen.

Der Spectrograph ist in ausgezeichnete Weise ausgeführt worden, und zwar der mechanische Theil von Herrn Mechanikus Töpfer in Potsdam, der optische Theil von Herrn Dr. Steinheil in München.

Schon die ersten Aufnahmen mit diesem Apparat im September 1888 zeigten die grosse Ueberlegenheit desselben über das frühere Instrument. Besonders war der neue Apparat durch Lichtstärke ausgezeichnet, was wesentlich darin seinen Grund hatte, dass die grösseren Prismen den ganzen aus dem Collimator austretenden Strahlenkegel aufzunehmen vermochten. Die grössere Lichtstärke gab Veranlassung, die Spectra nicht linear, wie bei den ersten Aufnahmen, sondern etwas breiter herzustellen, was sehr zum Vortheil der Bilder ausfiel, und zwar liess sich dies ohne Anwendung einer Cylinderlinse dadurch erreichen, dass der Gang des Uhrwerks am Refractor etwas geändert wurde, so dass der Stern nicht auf einem Punkte des in der Rectascensions-Richtung gelegenen Spaltes stehen blieb, sondern eine ganz langsame Bewegung auf letzterem machte. Bei einigen hellen Sternen sind auf diese Weise Spectra bis zu 1.5 mm Breite erhalten worden, die häufig ganz gleichmässig ohne jede Längslinie waren. Weitere Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Breite der Spectra von 0.2 bis 0.3 mm die günstigste für die späteren Ausmessungen ist.

Zunächst wurde mit dem Apparate eine grössere Anzahl Aufnahmen des Sonnenspectrums bei verschiedener Stellung des Cameraobjectivs angefertigt, um die richtige Einstellung für die Linie $H\gamma$ zu ermitteln. Sodann musste die Einstellung des Spaltes in den Vereinigungspunkt der blauen Strahlen ($H\gamma$) des grossen Fernrohrs ermittelt werden. Es geschah dies durch photographische Aufnahmen und zwar, ähnlich wie nach der früher von mir angegebenen Methode, die relative Lage der Vereinigungspunkte für verschiedene Strahlen bei einem Objectiv zu finden, durch Aufsuchung der schmalsten Stelle in dem Spectrum eines hellen Sternes, der während der Exposition möglichst genau auf einer Stelle des Spaltes gehalten wurde. Eine derartige Aufnahme giebt sofort den Sinn der Verschiebung des Spaltes in der Richtung der optischen Axe des Fernrohrs, eine zweite die

Grösse. Zu dem Zwecke ist das Collimatorrohr verschiebbar eingerichtet und mit Theilung versehen worden. Die so ermittelte Stellung gilt nur für eine bestimmte Temperatur, und aus vielen Versuchen ist eine Tabelle abgeleitet worden, nach welcher für jeden Temperaturgrad die Einstellung zu erfolgen hat. Die Einstellung des Cameraobjectivs ist gleichfalls mit der Temperatur zu verändern; auch hierfür wurde eine Tabelle aufgestellt. Eine Veränderung beider Einstellungen hat bei starken Temperaturschwankungen häufig an einem Abend vor jeder Sternaufnahme stattfinden müssen. Während die Einstellung des Objectivs der Camera auf die Schärfe der Bilder von Einfluss ist, bedingt eine unrichtige Einstellung des Spaltes eine Verschiebung zwischen Sternenspectrum und künstlicher Linie, die jedoch nur äusserst gering ist und bei gänzlicher Vernachlässigung der Focaländerung durch Temperatur bei dem hiesigen Refractor nur einige Zehntel geogr. Meilen der Bewegung im Visionsradius ausmachen würde, die aber unter Berücksichtigung der Temperatur bei der verbleibenden Unsicherheit in der Ermittlung des genauen Schnittpunktes der Strahlen $H\gamma$ 0.05 Meilen keinesfalls überschreitet. Der erwähnte Einfluss einer unrichtigen Spaltstellung ist durch kurz aufeinanderfolgende Aufnahmen ein und desselben Objectes bei der richtigen und bei der um ± 5 mm veränderten Stellung des Collimatorrohres ermittelt worden.

Es ist zur Herstellung brauchbarer Spectra unbedingt nothwendig, den Spalt sehr eng zu nehmen; die Weite schwankt bei den hiesigen Beobachtungen zwischen 0.02 und 0.03 mm, entsprechend einem Bogenwerthe von 10 bis 15 Secunden. Die Spectra sind dann auf 60 mm Ausdehnung so scharf, dass eine Messung der Linien mit grosser Sicherheit ausgeführt werden kann. Herr Dr. Scheiner hat beispielsweise auf der Strecke von 412.4 bis 463.8 $\mu\mu$ Wellenlänge*) im Spectrum der Capella 255 Linien gemessen und mit Linien des Sonnenspectrums identificiren können. Die grösste Schärfe besitzen die Platten bei richtiger Einstellung in der Nähe der $H\gamma$ -Linie, und will ich hier, um eine möglichst vollkommene Vorstellung von der Leistung des Apparates zu geben, eine Vergleichung eines kleinen Stückes in der Nähe von $H\gamma$ vom Spectrum der Sonne, von Capella, β Geminorum und ϵ Pegasi mit dem grossen Rowland'schen Sonnenspectrum folgen lassen, in welchem ich nur die allerschwächsten Linien, die unmöglich in dem kleinen Apparate erscheinen konnten, weggelassen habe. Ich bemerke noch, dass die Länge des verglichenen Theiles des Spectrums nur 4 mm beträgt.

Zur Beurtheilung des Apparates dürfte die Bemerkung nicht unwichtig sein, dass die directe Beobachtung des Sonnenspectrums durch ein an Stelle der Cassette angebrachtes Ocular stets mehr Detail erkennen lässt, als selbst die beste Photographie. Liniensysteme, die auf der Photographie in einen Streifen zusammenfliessen, erscheinen bei derselben Spaltstellung deutlich getrennt. Besonders auffällig ist dies bei einer Liniengruppe, an deren Ende die $H\gamma$ -Linie steht. Die Sternspectra sind zu schwach, um bei der starken Dispersion eine directe Beobachtung zuzulassen.

*) Ich wende hier und im Folgenden die Bezeichnung $\mu\mu$ für Milliontel Millimeter an.

Rowland's Sonnenspectr.		Aufnahmen mit dem Spectrographen.			
W. L. $\mu\mu$	Bemerkungen	Sonne	α Aurigae	β Geminorum	ϵ Pegasi
431.43	Doppellinie, $\Delta 0.02 \mu\mu$.	Starke Linie, nicht getrennt.	Starke Linie.	Deutliche Linie.	Deutliche Linie.
.51	Doppellinie, $\Delta 0.03$, weniger brechb. Comp. stärker.	Starke Lin., nicht doppelt, doch deutl. zu erkennen, dass die Linie nach Roth intensiver ist.	Starke Linie.	Starke Linie.	Starke Linie.
.71	Zarte Doppellin., $\Delta 0.02$.	Nicht als Doppellinie zu erkennen, aber als sehr deutliche einf. Linie.	Recht gut sichtbare Lin., etwas breit.	Matte Linie.	Scharf u. deutlich.
.88	Kräftige Linie.	Stark.	Stark.	Stark.	Stark.
432.10	Doppelt, $\Delta 0.02$.	Stark, einfach.	Stark.	Stark und breit.	Stark und breit.
.19	Doppelt schwach, $\Delta 0.01$.	Sehr deutlich.	Sehr schwach.	Fraglich.	—
.32 .40	} Vier eng stehende ziemlich starke Linien.	Streifen, zeigt Andeutungen von Auflöslichkeit.	Stark und breit.	Stark und breit.	Nicht m. Bestimmtheit zu erkennen.
.45					
.52	Starke Linie.	Stark.	Stark.	Fließt mit der folgenden zusammen.	Fließt mit der folgenden zusammen.
.60	Sehr starke Linie, dicht vorher eine schwache.	Sehr starke Linie. Die schw. Lin. vorher hebt sich nicht ab, giebt aber der starken Lin. ein nach Violett verwaschenes Aussehen.	Sehr stark u. breit.	Sehr stark und sehr breit.	Stark u. sehr breit.
.71	Doppelt, $\Delta 0.03$.	Breite Linie.	Sehr schwach.	Sehr deutlich.	Deutlich.
.81	Ziemlich stark.	Deutlich.	Sehr schwach.	Sehr deutlich.	—
.87 .95	} Zwei sehr schwache Lin.	Zwei Linien deutlich zu erkennen.	—	—	—
433. ⁰¹ .11					
.19	Linie; nach Violett eine ganz schw. Lin. dabei, $\Delta 0.02$.	Breite Linie.	Sehr schwach.	Sehr schwach.	Sehr gut sichtbar.
.29	Zwei breite schwache Lin., $\Delta 0.03$.	Streifen.	Schwach.	Sehr deutliche Lin.	Sehr gut sichtbar.
.41	Matter Streifen.	Streifen.	Sehr schwach.	Starke Linie.	Sehr gut sichtbar.
.48 .53	} Zwei sehr matte Streifen.	Ein breiter Streifen noch deutlich zu erkennen.	—	—	—

Rowland's Sonnenspectr.		Aufnahmen mit dem Spectrographen.			
W. L. $\mu\mu$	Bemerkungen	Sonne	α Aurigae	β Geminorum	ϵ Pegasi
433.72 .85	} Vier starke Linien. Die erste ist die stärkste.	Starker Streifen, an manchen Stellen aufgelöst. (Bei direct. Beobacht. mit dem Ocular ist die Auflösung in 4 Linien sehr leicht).	Streifen nach Roth verwaschen.	Streifen nach Roth verwaschen.	Breites Band, verwaschen nach Roth.
.89					
.98	Starke Doppellin., $\Delta 0.03$.	Eine starke Linie.	Linie, sehr dicht an $H\gamma$.	Deutlich.	Fließt mit d. breit. Linie $H\gamma$ zusam.
434.07	Sehr stark und breit. $H\gamma$.	Sehr stark und breit.	Stark und breit.	Stark und breit.	Stark u. sehr breit.
.16	Ziemlich stark.	Deutlich.	Nur vermuthet.	Deutlich.	—
.34	Starke Linie.	} Breiter Streifen.	} Starker breiter Streifen.	} Stark und breit.	} Breit u. verwaschen.
.36	Schwache Linie.				
.39	Ziemlich stark.				
.41	Schwache Linie.	Noch zu erkennen.	—	—	—
.46	Doppellin. ziemlich stark., $\Delta 0.02$	Etwas breite Linie.	Starker breiter Streifen.	Starker breiter Streifen.	Breit u. verwaschen.
.65 .70	} Drei Lin., von denen die mittlere die stärkste ist.	} Streifen oder Linie, beiderseitig verwaschen.	} Breit u. verwaschen, schwach.	} Breite Linie.	} Breite Linie.
.76					
.81	Zwei Linien, $\Delta 0.01$.	} Ein breiter Streifen, der Spuren von Auflöslichkeit zeigt.	} Schwach, breit und verwaschen.	} Schwach und verwaschen.	} Breit.
.85	Ziemlich starke Linie.				
.91	Linie.				
435.12	Ziemlich starke Linie, vorher eine Reihe von Linien, die dicht stehen u. nach dem Violett an Intensität abnehmen.	Nach Violett verwasch. Linie.	Deutlich zu erkennen.	Schwach, etwas verwaschen.	Schwach.
.20	Sehr starke Linie, dicht vorher (Violett) eine Linie, $\Delta 0.02$.	Sehr starke Linie.	Sehr stark.	Sehr stark.	Sehr stark.
.29	Starke Linie, dicht vorher eine schwache, $\Delta 0.01$.	Starke Linie.	Stark.	Stark.	Stark.
.48	Breite, verwaschene Lin.	Breite Linie.	} Streifen, verwasch.	} Verwasch. Streifen.	} Verwasch. Streifen.
.52	Ziemlich starke Linie.	Breite Linie.			

Rowland's Sonnenspectr.		Aufnahmen mit dem Spectrographen.							
W. L. $\mu\mu$	Bemerkungen	Sonne	α Aurigae	β Geminorum	ϵ Pegasi				
435.59 .61	Matte Doppellin., $\Delta 0.02$.	Streifen.	Verwasch. Streifen.	Verwasch. Streifen.	Verwasch. Streifen.				
.65 .68						Andeutung von Auflöslichkeit in zwei Linien.			
.77 .81 .84	Drei matte Linien.	Matter Streifen.	—	—	—				
.87 .90						Breite kräftige Linie.	Starke Linie.	Deutliche Linie.	Sehr deutl., starke Linie.
.98									
436.06 .10	Doppelt, $\Delta 0.02$. Linie.	Breite Linie, vielleicht doppelt.	—	—	—				
.23 .28	Doppelt, sehr matt, $\Delta 0.01$. Doppelt, $\Delta 0.02$.					Matter Streifen, vielleicht Doppellinie.			
.33 .37	Doppelt, $\Delta 0.02$. Schwach, verwaschen.	Breite verwaschene Lin.	Matter Streifen.	Streifen, sehr matt und verwaschen.	Streifen, sehr matt.				
.42	Doppelt, $\Delta 0.01$.					Breite Linie.			
.57	Schwache Linie.	Sehr schwach.	—	—	—				
.61	Linie.	Deutlich zu erkennen.	—	—	—				
.67	Breite Linie.	Breite Linie.	Schw. breite Linie.	Recht schwach.	Matte Linie.				
436.80	Starke Doppellin., $\Delta 0.02$; die nach Rothgelegene Comp. schwächer.	Starke breite Linie, verwaschen nach Roth.	Stark, breit, verwaschen nach Roth.	Stark und breit.	Stark und breit.				

Es darf nicht auffallen, dass Doppellinien von weniger als $0.03 \mu\mu$ Wellenlängenunterschied als eine Linie in den mit dem verhältnissmässig kleinen Spectrographen hergestellten Spectren erschienen sind. Einem Unterschiede von $0.03 \mu\mu$ entspricht auf der Platte die Grösse von 0.023 mm , und da Collimator- und Camera-Objectiv bei dem Spectrographen dieselbe Brennweite (408 mm) haben, auch einer Spaltweite von 0.023 mm . Thatsächlich hat nun die Spaltweite zwischen 0.02 und 0.03 mm variirt. Die Trennung eng stehender Linien ist jedoch auch etwas abhängig von der Feinheit des Silberkorns, und es zeigen bekanntlich weniger empfindliche Platten ein feineres Silberkorn als die empfindlichen. Diesem Umstande ist es wesentlich zuzuschreiben, dass in dem auf einer weniger empfindlichen Trockenplatte hergestellten Sonnenspectrum mehr Detail zu erkennen gewesen ist.

Für die Herstellung der Sternphotographien sind ausschliesslich die sehr empfindlichen Platten von Dr. Schleussner verwendet worden. Die Entwicklung, die von Dr. Scheiner oder von mir vorgenommen wurde, geschah meist mit Eisenoxalat, doch hat Dr. Scheiner auch Versuche mit einem Pyrogallussäure-Soda-Entwickler, sowie bei ganz schwierigen Aufnahmen einen combinirten Hydrochinon und Pyrogallussäure-Entwickler in Anwendung gebracht.

Es erübrigt noch, einige Worte über den Einfluss einer Temperaturänderung während der Exposition zu sagen. Bekanntlich wird der Ablenkungswinkel sowie die Dispersion der Prismen sehr stark von der Temperatur afficirt, und die Folge dieser Aenderung ist eine Wanderung des Spectrums auf der Platte und eine gleichzeitige Ausdehnung oder Zusammenziehung desselben. Die Erfahrung hat nun gelehrt, dass selbst in Fällen, wo sich die äussere Temperatur

während der Exposition um 2 Grad änderte, kein merkbarer Einfluss zu beobachten war. Bei stärkerer Temperaturänderung während längerer Exposition macht sich jedoch der Einfluss durch Unschärfe der Bilder kenntlich. Einige Versuche mit directer Erwärmung des Apparates haben in sehr starkem Maasse die Erscheinung gezeigt, gleichzeitig aber dargethan, dass die wohleingeschlossenen Prismen ganz ausserordentlich langsam den Aenderungen der äusseren Temperatur folgen. Auf die Verschiebung der Linien im Spectrum eines Sterns gegen die künstlich erzeugten Linien eines Vergleichsspectrums kann die Temperaturänderung keine Einwirkung ausüben, wenn die künstliche Lichtquelle während der ganzen Expositionszeit oder in Zeitabschnitten, die symmetrisch zur Mitte der Expositionszeit gelegen sind, zur Wirkung kommt.

Ueber den Einfluss der Luftbeschaffenheit auf die Güte der Spectralphotographien habe ich schon in dem ersten Berichte über die spectrographische Methode gesprochen⁷ und will hier nur hinzufügen, dass die zahlreichen bisher erhaltenen Beobachtungen bestätigt haben, dass die schädliche Wirkung der Unruhe der Luft nicht so gross ist als bei der directen Beobachtung mit dem Auge, obwohl sich jedoch eine vorzüglich ruhige Luft durch die Schärfe der Bilder recht bemerkbar macht. Während bei directen astronomischen Beobachtungen hauptsächlich die Schwankungen des Sternbildes senkrecht zur optischen Axe des Fernrohrs die Beobachtungen erschweren, sind es bei Beobachtungen mit einem Spectralapparat mit Spalt wesentlich die Schwankungen des Vereinigungspunkts der vom Objectiv kommenden Strahlen in der Axe des Fernrohrs, welche Störungen und Unschärfe bedingen. Wenn der Spalt auch sehr eng ist, so wird doch bei starken Luftwallungen ein Theil des vom Objectiv kommenden Strahlenkegels durch den Spalt weiter eintreten können, und der Vereinigungspunkt der Strahlen wird demnach nicht mehr im Brennpunkt des Collimatorobjectivs sich befinden. Die aus dem Collimatorobjectiv austretenden Strahlen werden anstatt parallel divergent auf die Prismen fallen, und dies wird die Ursache von Unschärfe sein. Die senkrecht zur optischen Axe des Fernrohrs gelegenen Schwankungen dagegen können nur eine Bewegung des Vereinigungspunktes innerhalb des Spaltes verursachen, und die dadurch entstehende Unschärfe wird lediglich von der Weite des Spaltes abhängen.

Von sehr merkbarem Einfluss auf die Brauchbarkeit der Photographien ist jedoch die Durchsichtigkeit der Luft. In Folge eines leichten Dunstschleiers kann, besonders bei Sternen, deren Spectrum der II. Classe angehört, die Gegend bei $H\gamma$ so stark absorbirt werden, dass wegen Schwäche des Spectrums die Photographie zur Messung untauglich wird.

Die Ausmessung der Spectralphotographien geschieht mit Hülfe eines Mikroskops unter Anwendung einer 7 bis 35fachen Vergrößerung je nach der Schärfe und Kraft der Photographie. Das Mikroskop, vom Mechanikus Töpfer in Potsdam gefertigt, zeichnet sich vortheilhaft dadurch aus, dass der Abstand zwischen Objectiv und Object ein sehr grosser ist; er schwankt je nach der Vergrößerung zwischen 100 und 33 mm. Den Tisch des Mikroskops bildet ein Schlittenapparat, auf welchem die photographischen Platten mit Klammern festgehalten werden. Der Schlitten ist mit einer

Mikrometerschraube von 0.25 mm Ganghöhe über eine Strecke von 40 mm zu bewegen. Eine Untersuchung der periodischen und fortschreitenden Fehler dieser Schraube, welche Dr. Scheiner vorgenommen, führte zu dem günstigen Resultat, dass die Fehler zu vernachlässigen sind, da sie nur wenige Tausendstel der Schraubenumdrehung betragen. Der Schlittenapparat wurde von Herrn Mechanikus Wanschaff in Berlin gefertigt.

Auf den photographischen Platten bildet sich, wie ich schon früher angegeben habe, gleichzeitig mit dem Sternspectrum auch die Wasserstoff-Linie $H\gamma$ als scharfe schwarze Linie ab, welche das Sternspectrum senkrecht durchsetzt.

In meinem ersten Berichte hatte ich bereits hervorgehoben, dass zur Ermittlung der Differenz zwischen der künstlichen Wasserstoff-Linie und der $H\gamma$ -Linie im Stern die Hinzuziehung anderer Linien im Sternspectrum zur Erreichung grösserer Genauigkeit von Werth werden könnte. Diese Vermuthungen haben sich nun im Laufe der Untersuchungen bestätigt, und es ist, wie ich weiter unten nachweisen werde, möglich geworden, bei einer grossen Anzahl von Sternen eine Genauigkeit in den Bewegungsbestimmungen zu erreichen, die selbst sehr hohen Anforderungen genügen muss. Es sind dies ganz besonders alle Sterne mit linienreichen Spectren Classe II und III. Bei einigen Sternen der ersten Classe — Sirius, Wega, — sind neben den breiten Wasserstoff-Linien noch äusserst zarte Linien zu erkennen; auch bei solchen ist in Folge dessen eine genauere Ermittlung der Bewegung im Visionsradius zu erreichen. Bei vielen Sternen der I. Classe, bei denen die Wasserstoff-Linien sehr breit sind und keine anderen Linien in der Nähe von $H\gamma$ sich befinden, ist jedoch auch mittelst der spectrographischen Methode die Bestimmung der Bewegung von geringerer Sicherheit, wengleich auch hier schon mit Bestimmtheit ausgesprochen werden kann, dass diese Methode grosse Vortheile gegenüber den directen Beobachtungen bietet.

Bei der Untersuchung von Sternen der II. und III. Spectralclassen auf Bewegung hat es sich nun als am vortheilhaftesten herausgestellt, gleichzeitig mit dem Sternspectrum ein mit dem Spectrographen aufgenommenes Sonnenspectrum im Mikroskop zu betrachten. Die Photographien werden so auf dem Tisch des Mikroskops aufeinander gelegt, dass beide Spectra, Sonne und Stern, übereinander erscheinen und nur durch einen kleinen Zwischenraum getrennt sind. Mit Leichtigkeit kann man gleichzeitig erreichen, dass die Linien des einen Spectrums sehr genau die Verlängerung derjenigen des anderen Spectrums bilden. Die Einstellung auf einen Faden des im Ocular des Mikroskops befindlichen Fadensystems geschieht nun durch gleichzeitige Bewegung beider Platten durch den früher erwähnten Schlittenapparat. Es werden erst gewöhnlich 4 Einstellungen auf eine Linie des Sonnenspectrums, dann eben so viele auf die entsprechende Linie des Sternspectrum gemacht, wobei die Linien möglichst in der Nähe der $H\gamma$ -Linie zu beiden Seiten derselben ausgewählt werden. Im Stern wird die $H\gamma$ -Linie nur dann mit gemessen, wenn sie völlig getrennt von der künstlichen Linie erscheint; statt ihrer wird gewöhnlich nur die $H\gamma$ -Linie in dem Sonnenspectrum eingestellt (6 bis 8 mal). Durch

diese Art der Messung werden unausbleibliche Verzerrungen in der empfindlichen Schicht, die bei der ausserordentlichen Kleinheit der zu messenden Grössen schon in Betracht kommen, möglichst eliminirt, und besonders ist jede Voreingenommenheit gänzlich ausgeschlossen, da die Grösse der Distanz zwischen $H\gamma$ im Stern und der künstlichen Linie sich nicht unmittelbar, sondern erst durch Rechnung ergibt.

Zur näheren Erläuterung des Verfahrens setze ich hier eine Messungsreihe her, welche ich am Spectrum von Capella ausgeführt habe. In der ersten Columne sind die Wellenlängen der gemessenen Linien, in der zweiten die Mittelwerthe aus 4 Einstellungen (bei der $H\gamma$ -Linie aus 8) auf Linien des Vergleichsspectrums (Sonne), in der dritten Columne die Mittelwerthe aus eben so viel Einstellungen auf die entsprechenden Linien des Sternspectrums, bezw. auf die künstliche Linie, in Schraubenumdrehungen gegeben. Die vierte Columne enthält die Abweichungen zwischen den beiden Messungen im Sinne Sonne—Stern, welche einen Gang zeigen, der daraus zu erklären ist, dass das Sonnenspectrum bei anderer Temperatur aufgenommen wurde als das Sternspectrum. Nach Reduction der Beobachtungen auf die Dispersion des Sonnenspectrums unter der Annahme einfacher proportionaler Aenderung, ergeben sich die in der fünften Columne enthaltenen wahrscheinlichsten Differenzen, mit der Formel $A_1 = -0.099 - 0.0007 \times$ (Ablesung $-10^{\circ}0$) berechnet.

α Aurigae 1888 Oct. 25, Platte 15.

W. L. $\mu\mu$	Sonne	Stern	A	A_1
431.56	2 ¹ .269	2 ¹ .363	—0 ¹ .094	—0 ¹ .099
431.91	3.427	3.520	—0.090	—0.098
432.12	4.083	4.181	—0.098	—0.102
432.62	5.664	5.757	—0.093	—0.090
433.74	9.161	9.265	—0.104	—0.104
$H\gamma$; K.L.	10.225	10.298	—0.073	—0.073
434.35	11.078	11.177	—0.099	—0.098
434.46	11.455	11.555	—0.100	—0.099
435.22	13.676	13.777	—0.101	—0.098
435.31	13.972	14.068	—0.096	—0.093
436.00	16.022	16.127	—0.105	—0.101
436.81	18.413	18.520	—0.107	—0.101

Hieraus ergibt sich unter Anwendung der obigen Formel eine Verschiebung der $H\gamma$ -Linie im Stern gegen die künstliche Linie von 0¹.026. Um zu finden, nach welcher Richtung die Verschiebung erfolgt ist, hat man nur die Differenz einer oder mehrerer Linien im Sonnenspectrum gegen die $H\gamma$ -Linie mit den entsprechenden Differenzen gegen die künstliche Linie in dem auf die Dispersion des Sonnenspectrums reducirten Sternspectrum zu ermitteln. Eine leichte Ueberlegung ergibt, dass, wenn im Sonnenspectrum im violetten Theile die Differenzen grösser sind als im Sternspectrum, wie im vorliegenden Falle, eine Verschiebung des Sternspectrums nach Roth stattgefunden hat. Aus vielen Beobachtungen ist ermittelt worden, dass 1^r einem Wellenlängenunterschied von 0.324 $\mu\mu$ in der Nähe der $H\gamma$ -Linie entspricht. Unter der Annahme der Lichtgeschwindigkeit 40429 geogr. Meilen und der Wellenlänge für $H\gamma$ 434.07 $\mu\mu$ entspricht ferner einer Differenz von 0.1 $\mu\mu$ Wellenlänge eine Bewegung von 9.314 geogr. Meilen pro Secunde. Hiermit resultirt aus der obigen Beobachtung für die relative Bewegung des Sterns gegen die Erde der Werth: +0.7 geogr. Meilen. Das positive Zeichen deutet auf eine Vergrößerung des Abstandes zwischen Erde und Stern, entsprechend einer Verschiebung der Linien des Sternspectrums nach Roth.

Ich gebe nun im Folgenden die Resultate der Ausmessungen von einigen Platten, die an verschiedenen Tagen und von verschiedenen Sternen erhalten wurden, nach den in der eben angegebenen Weise von Herrn Dr. Scheiner und mir gemachten Beobachtungen. Die Messungen des Dr. Scheiner sind ganz unabhängig von den meinigen und auch meist an anderen Tagen ausgeführt worden, und es hat keine Verabredung über die zur Messung zu wählenden Linien stattgefunden. Einige Platten habe ich zwei oder mehrere Male ausgemessen, um den Einfluss von Beleuchtung und verschiedener Auffassung der Linien unter veränderten Umständen zu ermitteln.

Ich nehme hier Gelegenheit, zu bemerken, dass fast alle bisher erhaltenen photographischen Aufnahmen Herr Dr. Scheiner ausgeführt hat, und wesentlich sein grosser Eifer und seine experimentelle Gewandtheit haben den schnellen Fortgang der Arbeit ermöglicht.

Bewegung einiger Sterne im Visionsradius relativ zur Erde.

Stern	Datum	Nr. der Platte	Beobachter: Vogel		Beobachter: Scheiner		Bemerkungen
			Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.	Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.	
α Aurigae	1888 Oct. 22	14	+0.021	+0.6	+0.017	+0.5	
	» 24	15	+0.026	+0.8	+0.015	+0.5	
	» 24	15	+0.020	+0.6	—	—	
	» 24	15	+0.036	+1.1	—	—	
	» 25	18	+0.025	+0.8	+0.019	+0.6	
	» 28	19	+0.024	+0.7	+0.005	+0.2	

Stern	Datum	Nr. der Platte	Beobachter: Vogel		Beobachter: Scheiner		Bemerkungen	
			Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.	Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.		
α Aurigae	1888 Oct. 28	19	+0.030	+0.9	—	—	Photogr. verwaschen. Beob. unsicher. Photogr. verwaschen. Beob. unsicher.	
	Nov. 9	30	+0.076	+2.3	+0.036	+1.1		
	» 9	30	+0.056	+1.7	—	—		
	Dec. 1	46	+0.081	+2.4	+0.093	+2.8		
	» 1	46	+0.075	+2.3	—	—		
	» 13	67	+0.117	+3.5	+0.102	+3.1		
	» 13	67	+0.120	+3.6	—	—		
	» 13	67	+0.109	+3.3	—	—		
	1889 Jan. 2	79	+0.162	+4.9	+0.148	+4.5		Spectrum etwas verwaschen.
	Febr. 5	95	+0.226	+6.8	+0.248	+7.5		Photogr. verwaschen. Beob. unsicher.
» 5	95	+0.216	+6.5	+0.249	+7.5			
März 6	105	+0.239	+7.2	+0.257	+7.8			
α Tauri	1888 Oct. 28	20	+0.130	+3.9	+0.151	+4.6	Spectrum verwaschen.	
	Nov. 10	34	+0.179	+5.4	+0.177	+5.3		
	Dec. 4	52	+0.220	+6.6	+0.223	+6.7		
α Ursae minoris	1888 Nov. 14	43	-0.124	-3.7	-0.147	-4.4	Künstliche Linie schwach. Spectrum etwas verwaschen.	
	Dec. 6	55	-0.144	-4.3	-0.130	-3.9		
α Persei	1888 Dec. 5	53	-0.020	-0.6	-0.014	-0.4		
	» 10	63	-0.010	-0.3	-0.008	-0.2		
α Canis minoris	1888 Dec. 8	62	-0.115	-3.5	-0.137	-4.1		
	» 29	77	-0.076	-2.3	-0.094	-2.8		

Die kleinen Differenzen zwischen unseren Beobachtungsergebnissen sind meist auf eine abweichende Auffassung der künstlichen Linie zurückzuführen. Die Geissler'schen Röhren nutzen sich bei dem starken Gebrauch sehr bald ab, und in Folge dessen erscheint auf manchen Platten die künstliche Linie nicht mit der Schärfe und Schwärze, die für eine möglichst genaue Messung erforderlich ist. Ueber-

all da, wo die künstliche Linie grosse Intensität besitzt, sind die Abweichungen zwischen unseren Beobachtungen geringer und oft ganz verschwindend. Ich möchte jedoch hier nochmals die Kleinheit der zu messenden Grössen in absolutem Maasse hervorheben. Eine Differenz von 0.012 entspricht einem Unterschiede von 0.004 μ Wellenlänge oder 0.36 geogr. Meilen und beträgt auf der Platte nur 0.003 mm.

Bewegung der Sterne im Visionsradius relativ zur Sonne.

Die in der vorigen Zusammenstellung gegebenen Bewegungen der Sterne relativ zur Erde in geogr. Meilen, die aus ein und derselben Platte abgeleitet wurden, sind hier zum Mittel vereint; auch ist das Mittel aus den von beiden Beobachtern Vogel und Scheiner erhaltenen Bestimmungen nach Maassgabe der Anzahl der Beobachtungen genommen worden. (Positive Bewegung bed. Entfernung, negative Bewegung bed. Annäherung.)

Datum	Beweg. des Sterns rel. zur Erde	Beweg. der Erde zur Zeit der Beob.	Beweg. des Sterns rel. zur Sonne
α Aurigae.			
1888 Oct. 22	+0.6	-2.9	+3.5
» 24	+0.8	-2.8	+3.6
» 25	+0.7	-2.7	+3.4
» 28	+0.6	-2.6	+3.2
Nov. 9	+1.7	-2.0	+3.7
Dec. 1	+2.5	-0.6	+3.1
» 13	+3.4	+0.2	+3.2

Datum	Beweg. des Sterns rel. zur Erde	Beweg. der Erde zur Zeit der Beob.	Beweg. des Sterns rel. zur Sonne
1889 Jan. 2	+4.7	+1.4	+3.3
Febr. 5	+7.1	+3.1	+4.0
März 6	+7.5	+3.7	+3.8
α Tauri.			
1888 Oct. 28	+4.3	-2.1	+6.4
Nov. 10	+5.4	-1.3	+6.7
Dec. 4	+6.7	+0.4	+6.3

Datum	Beweg. des Sterns rel. zur Erde	Beweg. der Erde zur Zeit der Beob.	Beweg. des Sterns rel. zur Sonne
<i>α Ursae minoris.</i>			
1888 Nov. 14	−4.1	−0.9	−3.2
Dec. 6	−4.1	−0.3	−3.8
<i>α Persei.</i>			
1888 Dec. 5	−0.5	+1.0	−1.5
Dec. 10	−0.3	+1.3	−1.6

Datum	Beweg. des Sterns rel. zur Erde	Beweg. der Erde zur Zeit der Beob.	Beweg. des Sterns rel. zur Sonne
<i>α Canis minoris.</i>			
1888 Dec. 8	−3.8	−2.3	−1.5
Dec. 29	−2.6	−1.0	−1.6

Ogleich durch die Art und Weise, wie sich die Erdbewegung bei den Beobachtungen von *α Aurigae* documentirt, die Zuverlässigkeit der hiesigen Messungen eigentlich zur Genüge dargethan ist, will ich doch noch, um auch einen directen Beweis für die Uebereinstimmung unserer Beobachtungen mit bekannten Bewegungsverhältnissen zu geben, zwei Beobachtungen an *Venus* hersetzen.

Datum	Nr. der Platte	Beobachter: Vogel		Beobachter: Scheiner	
		Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.	Verschieb. in Revol.	Beweg. in geogr. Meil.
1889 Jan. 2	78	−0.056	−1.7	−0.070	−2.1
Febr. 10	99	−0.052	−1.6	−0.051	−1.5

Die Berechnung giebt für die Entfernungsänderung von *Venus* und Erde 1889 Jan. 2 −1.6 Meilen, Febr. 10 −1.7 Meilen.

Eine Vergleichung der hier mitgetheilten Beobachtungen mit den bisher durch directe Messungen am Spectralapparate erhaltenen Werthen von Huggins, Seabroke, Christie, Maunder und von mir zeigen, dass die mit dem Spectrographen erhaltenen Geschwindigkeiten beträchtlich kleiner sind. Diese Wahrnehmung bezieht sich nicht nur zufällig

auf die für diese Mittheilung ausgewählten Sterne, sondern wird auch durch die noch nicht zum definitiven Abschluss gebrachten Beobachtungen an etwa 20 anderen Sternen bestätigt. Ich gedenke später, bei Bearbeitung des gesammten Beobachtungsmaterials, auf diesen Punkt näher einzugehen.

Schliesslich mache ich die Mittheilung, dass die Zahl der Sterne, deren Bewegung im Visionsradius hier zu beobachten ist, sich auf etwa 55 belaufen wird. Eine wesentlich grössere Anzahl ist leider mit dem hiesigen Refractor nicht zu erreichen, da die Aufnahme der Sternspectra von Sternen 2.5^{ter} Grösse, bei der zu einer Bestimmung der Bewegung nothwendigen Dispersion, schon grosse Schwierigkeiten bereitet und nur bei bestem Luftzustande auszuführen ist.

Zur Zeit sind bereits über 100 photographische Aufnahmen von Sternspectren angefertigt worden, die sich auf etwa 30 verschiedene Sterne beziehen.

Ueber die Genauigkeit, mit welcher sich die Bewegungen der 55 in die Beobachtungsliste aufgenommenen Sterne bestimmen lassen werden, kann ich vorläufig Folgendes angeben. Etwa 15 Sterne werden sich mit der Genauigkeit

bestimmen lassen, die bei den oben mitgetheilten Beobachtungen an *Capella* erreicht wurde. Bei 20 bis 25 Sternen wird sich die Geschwindigkeit bis auf etwa 1 Meile genau, bei den übrigen mit noch etwas geringerer Genauigkeit ermitteln lassen. Gleichzeitig mit den Untersuchungen über die Geschwindigkeit, wird von Dr. Scheiner eine Untersuchung über die Natur der Spectra vorgenommen werden, welche nicht nur im Allgemeinen zu interessanten Resultaten führen wird, sondern oft für die genauen Geschwindigkeitsbestimmungen unerlässlich ist, indem besonders bei Sternen, deren Spectra Uebergangsstufen zwischen der I. und II. Classe und zwischen der II. und III. Classe bilden, eine Vergleichung mit dem Sonnenspectrum, auf welches alle Beobachtungen bezogen werden, ohne Weiteres nicht zulässig ist. Die Vollendung der Arbeit steht Mitte nächsten Jahres in Aussicht.

Potsdam, Königl. Observatorium im März 1889.