

Über  
die Bedeutung der Photographie  
für die Erforschung  
der Beschaffenheit und der Bewegungen  
der Gestirne.

Von

**Dr. Friedrich Bidschof,**

Assistent an der k. k. Sternwarte zu Wien.

---

Vortrag, gehalten den 25. November 1896.

*(Mit Demonstrationen.)*



Die offenbaren Vortheile, welche die Anwendung des photographischen Verfahrens auf die Gegenstände der astronomischen Beobachtungen mit sich bringt, haben schon bald nach dem Gelingen der ersten Versuche auf dem Gebiete der Lichtbildkunst Anlass geboten, diese Errungenschaft in den Dienst der Sternkunde zu stellen. Daguerre selbst gebürt der Ruhm, als Erster seine Erfindung zur Herstellung von Abbildungen cölestischer Objecte benutzt zu haben; Draper hat bereits im Jahre 1840 Bilder des Mondes auf photographischem Wege erhalten; G. Bond, der berühmte Director der Sternwarte zu Cambridge bei Boston in Nordamerika — eines Institutes, welches stets eine führende Stellung auf dem Felde der Astrophotographie einnahm — hat in den Fünfzigerjahren hervorragende Studien in dieser Hinsicht angestellt, welche auch die hohe Bedeutung des neuen Verfahrens für die Zwecke der messenden Astronomie deutlich erkennen ließen; und Warren de la Rue, ein englischer Gelehrter, hat ebenfalls hier zu erwähnende astrophotographische

Untersuchungen unternommen und erfolgreich durchgeführt. Wie aber jedem neuen Verfahren bei der ersten Anwendung vielfache Mängel anhaften und sich ihm häufig in der Praxis scheinbar kaum überwindbare Schwierigkeiten entgegenstellen, so war dies auch bei den genannten ersten astrophotographischen Versuchen der Fall — fast schien es, als ob die Neuerung trotz ihrer vielversprechenden Vortheile die Feuerprobe der Anwendung nicht völlig bestehen können würde. Die Lichtbildkunst stand eben zur Zeit der vorhin genannten Experimente noch nicht auf der hohen Stufe der Entwicklung, auf welcher sie sich in der Gegenwart — dank der unablässig ausgestaltenden und verbessernden Thätigkeit so vieler auf dem Gebiete der theoretischen wie in der praktischen Photochemie wirkenden Forscher — befindet, und ihre Verwertung für astronomische Zwecke begegnete überdies Schwierigkeiten, welche nicht durch eine bloße Verbesserung der photographischen Kunst behoben werden konnten, sondern auch eine Anpassung, eine theilweise Umgestaltung und eine gewisse Verfeinerung der astronomischen Beobachtungsapparate erforderten.

Es darf daher nicht Wunder nehmen, wenn einige Zeit verfließen musste, bis die Hindernisse, welche einer ausgedehnten und systematischen Benützung der Lichtbildkunst im Bereiche der astronomischen und astrophysikalischen Arbeit im Wege waren, wenigstens der Hauptsache nach als beseitigt gelten konnten. Einer der bedeutendsten Fortschritte der photogra-

phischen Technik bestand in der Erfindung der Trockenplatten, welche in einer zumeist auf Glas befindlichen Schicht von Gelatine (d. i. reinster Leim) das lichtempfindliche Bromsilber in thunlichst feinem Niederschlag enthalten; eine Erfindung, welche dem englischen Arzte Dr. Maddox vor einem Vierteljahrhundert gelang. Die Vorzüge dieser photographischen Platten, welche etwa seit dem Jahre 1880 eine weite und stets wachsende Verbreitung gewonnen haben, vor den seit 1850 bis dahin verwendeten nassen Collodionplatten bestehen im wesentlichen darin, dass erstere ungemein lichtempfindlich sind und beliebig lange der Einwirkung der Lichtstrahlen ausgesetzt werden können. Auch ist das Arbeiten mit den Bromsilber-Gelatine-Trockenplatten ein angenehmeres, ein durchaus nicht ganz unerheblicher Vortheil gegenüber dem Collodionprocess; ebenso muss die leichte Verletzlichkeit der Collodionplatten nach der vollständigen Beendigung der Operationen, welche zur Sichtbarmachung des Bildes führen, erwähnt werden, und der Umstand, dass die Gelatine-Trockenplatten eine bedeutend größere Widerstandsfähigkeit besitzen, hervorgehoben werden. In einem gewissen, allerdings sehr losen Zusammenhang mit dem letztgenannten, vorwiegend praktische Bedeutung besitzenden Punkt steht aber eine Eigenschaft der Trockenplatten, welche für die messende Astronomie geradezu von ausschlaggebendem Werte ist.

Die Gelatineschicht leidet nämlich fast gar nicht oder nur sehr wenig unter Einflüssen, welche Ver-

zerrungen in ihr hervorzubringen vermögen, wogegen die Schicht der Collodionplatten während des Verfahrens zur Hervorrufung und Festigung des Bildes manchmal solche Structurverschiebungen erleidet, welche durch controlierende Vorrichtungen nicht mehr unwirksam gemacht werden können und die Verwertung der Aufnahme für Messungen, auf welche es bekanntlich in der praktischen Astronomie zumeist ankommt, verhindern. Allen diesen Vorzügen der von Dr. Maddox in die photographische Praxis eingeführten Platten steht aber ein Nachtheil gegenüber, welchen die Photochemiker bisher nicht beseitigen konnten. Dieser Nachtheil der Bromsilber-Gelatine-Trockenplatten ergibt sich aus dem Umstande, dass die Empfindlichkeit ihrer Schicht für das Licht und die Feinheit der sie bildenden Bromsilberpartikelchen zu einander in verkehrtem Verhältnis stehen; je lichtempfindlicher eine solche Schicht gemacht wird, desto größer sind die in ihr befindlichen Bromsilbertheilchen, und umgekehrt bewirkt eine gesteigerte Feinheit des „Kornes“ geringere Empfindlichkeit. Welche Folgen diese Thatsache für einzelne Zweige der Astrophotographie mit sich bringt, wird bei der Besprechung der astrophotographischen Arbeitsgebiete, in welche nun eingetreten werden soll, klar werden. Hiebei soll dann auch auf einzelne in vorstehender Einleitung nicht berührte Punkte, welche Eigenschaften der photographischen Platten betreffen, besonders eingegangen werden. Für die folgenden Erörterungen dürfte es am zweckmäßigsten sein, die ein-

zelen Objecte astrophotographischer Studien in der gewöhnlich eingehaltenen Reihenfolge vorzunehmen. Es werden daher die auf die Sonne und die Körper ihres Systems bezüglichen Untersuchungen vorangestellt werden und hierauf jene Forschungen, welche den Fixsternhimmel betreffen, zur Darstellung gelangen, wobei jedoch die durch den Titel vorliegender Zeilen bestimmten Grenzen nicht überschritten werden können, weshalb die folgende Skizze durchaus keinen vollständigen, alles erschöpfenden Überblick über die gesammte Astrophotographie bieten wird; sie bezweckt nur die Wiedergabe der wichtigsten Resultate dieses Forschungsverfahrens, welche sich auf die Beschaffenheit und die Bewegungen der Gestirne beziehen.

Die Sonne ist begreiflicher Weise Gegenstand vielfacher astrophotographischer Arbeiten gewesen, weil die zahlreichen merkwürdigen Vorgänge, welche sich auf dem Centalkörper unseres Systems abspielen, durch die auf photographischem Wege erzielbare Festhaltung ihrer einzelnen Phasen am sichersten dem Studium zugeführt werden können. Die ungeheure Lichtfülle des Tagesgestirnes bedingt aber eine Reihe von Modificationen der bezüglichen Aufnahmen. Sie gestattet das im Brennpunkte entstehende Bild unmittelbar durch ein dort angebrachtes System von Linsen zu vergrößern und zwingt ferner den Astronomen, die Zeit, während welcher das Licht auf die empfindliche Platte zur Hervorrufung der chemischen Prozesse einwirkt, auf das denkbar kleinste Maß herabzusetzen. Das letztere

geschieht dadurch, dass man einen Schieber, der einen feinen Spalt enthält, vor der lichtempfindlichen Platte vorbeischnellt, wodurch successive die Oberfläche der Sonne abgebildet wird und die Dauer der Belichtung auf weniger als den tausendsten Theil einer Secunde herabgesetzt werden kann. Bei der Erzeugung solcher Sonnenbilder hat der Astrophograph in hohem Grade mit einem Übelstande zu kämpfen, welcher dem Gedankenkreise des Laien völlig fremd ist, der aber alle astronomischen Arbeiten mehr oder weniger ungünstig beeinflusst. Es ist dies die Unruhe der einzelnen Schichten unserer Luft, welche bei den Sonnenaufnahmen sich einerseits darin äußert, dass die einzelnen Partien des Bildes Schwankungen unterliegen, andererseits durch das Vorbeiziehen von Luftschichten, die nicht gleich warm sind, eine fortwährende Änderung der Brennweite des photographischen Fernrohres und damit eine fortwährende Änderung der Schärfe der Contouren des entstehenden Sonnenbildes bewirkt. Erfolgt die Exposition in einem Moment, wo letztere Erscheinung stark zur Geltung kommt, so misslingt die Aufnahme; ob der betreffende Augenblick günstig war, kann man vorher nicht bestimmen. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Verfahren des beobachtenden Astronomen und dem Functionieren der lichtempfindlichen Platte. Während ein nicht zu unterschätzender Theil der Beobachtungskunst darin besteht, dass der Beobachter jenen Zeitpunkt richtig erkennt, in dem die äußeren Umstände die Anstellung



der betreffenden Beobachtung oder Messung gestatten, erfüllt die photographische Platte ihre Aufgabe in jenem Moment, in welchem sie den Strahlen des Lichtes ausgesetzt wird; ob die Aufnahme taugt, ob der Moment ein günstiger war, das zeigt sich erst dann, wenn der ganze folgende chemische Process der Hervorrufung und des Fixierens des gewonnenen Bildes vorüber ist. Da nun bei Aufnahmen der Sonne die Expositionszeit eine so geringe ist, so darf es nicht Wunder nehmen, wenn zahlreiche Sonnenaufnahmen misslingen und nicht jene hohe Schärfe des Bildes zeigen, welche für ein genaues Studium der Structur der Sonnenoberfläche erwünscht ist. Auf dem Observatorium zu Meudon (bei Paris) und auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam sind besonders scharfe, starke Vergrößerungen gestattende Aufnahmen der Sonne gelungen, welche ein reiches und instructives Material für die Erkenntnis der Beschaffenheit der Sonnenoberfläche abgeben. Auf den beiden genannten Instituten, sowie auf mehreren anderen Sternwarten wird täglich, soferne es die Witterung gestattet, die Sonne photographiert. Da es nun wenig wahrscheinlich ist, dass an einem und demselben Tage an allen diesen Orten der Himmel bewölkt ist, so bilden diese Aufnahmen in ihrer Gesammtheit eine — wenn der Ausdruck gestattet ist — photographische Chronik der Vorgänge auf der Sonne, insbesondere der wechselnden Gestaltungen der Sonnenflecke; sie werden auch, wenn einmal die Zeit gekommen sein wird, wo der Schleier,

welcher die gegenwärtig so viele Räthsel darbietenden Beziehungen zwischen dem Phänomen der Sonnenflecken und irdischen Vorgängen bedeckt, gelüftet werden wird, ein ungemein wertvolles Mittel für die weitere ausgestaltende Forschung abgeben.

Auch die Umgebung der Sonne hat man photographisch im Bilde festzuhalten versucht, und zwar sowohl zur Zeit totaler Sonnenfinsternisse, als auch bei unverfinsteter Sonne. Es sei hier einschaltend bemerkt, dass ein sehr bedeutender Erfolg der Astrophotographie schon frühzeitig in der durch Aufnahmen der vom Monde total verfinsterten Sonnenscheibe gelungenen Feststellung zu erblicken ist, dass die bei den totalen Sonnenfinsternissen häufig wahrnehmbaren hellen und oft rasch veränderlichen Gebilde am Sonnenrande, die „Protuberanzen“, zur Sonne gehören. Auch der leuchtende Strahlenkranz, welcher die total verfinsterte Sonne umgibt und der den bezeichnenden Namen „Corona“ erhalten hat, ist Gegenstand photographischer Aufnahmen gewesen, und zwar nicht nur bei totalen Sonnenfinsternissen, indem Huggins, Lohse und Gothard durch eigenartige Vorrichtungen, bei welchen Abblendungen der Sonnenscheibe eine bedeutende Rolle spielen, Bilder der Corona auch beim vollen Glanz der Sonne zu erhalten suchten. Einen anderen Weg zu diesem Ziel hat in jüngster Zeit Mr. Hale, der Director des Yerkes-Observatory bei Chicago, eingeschlagen; doch würde eine Darlegung desselben zu weit führen und kann daher um so eher unterbleiben,

als alle die erwähnten sehr schwierigen Arbeiten zur Abbildung der Corona bei unverfinsterter Sonne bisher nicht vollständig die gewünschten Resultate ergeben zu haben scheinen. — Da die Besprechung der spektrographischen Untersuchungen einem späteren Abschnitte vorliegender Zusammenstellung vorbehalten bleibt, so kann hier sofort zur Erörterung derjenigen photographischen Studien geschritten werden, welche das zweithellste Gestirn unseres Himmels, den Mond betreffen. Mit ihm haben sich zahlreiche Astrophographen beschäftigt, hauptsächlich in der ersten Epoche der Anwendung der Lichtbildkunst auf den Himmel ist er ein Gegenstand besonderer Aufmerksamkeit der betreffenden Astronomen gewesen. Der Umstand, dass der Mond zur Zeit seines größten Glanzes — als Vollmond — 620.000 mal schwächer leuchtet als die Sonne und uns zur Zeit seiner übrigen Phasen natürlich noch weniger Licht zusendet, lässt es begreiflich erscheinen, dass man, um ein Bild des Mondes zu erhalten, die lichtempfindliche Platte beträchtlich länger den Strahlen des Mondlichtes aussetzen muss, als dies für Sonnenlicht nothwendig war. Besonders dann, wenn das Mondbild unmittelbar im photographierenden Fernrohr in vergrößertem Maßstabe erhalten werden soll, ist eine erhebliche Verlängerung der Expositionszeit nöthig, so dass diese auch bei Benützung sehr empfindlicher Platten bis auf etwa 30 Secunden ansteigen kann. Während eines solchen Zeitintervalls bewirkt aber die Drehung der Erde um ihre Achse eine sehr merkbare Verschie-

bung des Bildes auf der photographischen Platte. Denn die Drehung der Erde um ihre Achse spiegelt sich bekanntlich in der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne am Firmament ab, was zur Folge hat, dass z. B. ein Stern sich auf der Platte nicht als Punkt, sondern als Linie einzeichnet, wenn man nicht während der Expositionsdauer den Einfluss der Achsendrehung der Erde unwirksam macht. Dies geschieht einfach dadurch, dass man ein Uhrwerk, welches entsprechend reguliert ist, mit dem Fernrohre in Verbindung bringt; dieses Uhrwerk dreht dann das Fernrohr so, dass letzteres der scheinbaren täglichen Bewegung der Sterne folgt.<sup>1)</sup> Dann wirkt derselbe leuchtende Punkt am Himmel immer auf denselben Punkt der photographischen Platte; ein Stern erscheint somit auf ihr als Punkt. Diese für die Stellarphotographie nothwendige Bedingung muss auch bei den Aufnahmen des Mondes erfüllt werden. Sehr beeinträchtigt werden diese Arbeiten ebenso wie die Aufnahmen der Sonne durch das Wallen und Zittern unserer Atmosphäre, welche Erscheinungen die Einzelheiten auf den Bildern verschwinden machen und ein verschwommenes Aussehen der letzteren zur Folge haben. Auch die ungleiche Helligkeit der verschiedenen Theile der beleuchteten Mondsichel vermindert den Wert der Mondaufnahmen, indem einzelne

---

<sup>1)</sup> Diese Einrichtung ist auch für andere astronomische Arbeiten sehr nützlich und wird deshalb bei allen größeren Teleskopen, auch wenn diese nicht photographischen Zwecken dienen, ausgeführt.

Gegenden auf derselben Mondphotographie bereits überbelichtet erscheinen, andere gerade gut zum Ausdruck kommen, eine dritte Partie aber noch nicht scharf sichtbar ist, weil das noch schwache Licht derselben nicht genügend lange Zeit gewirkt hat, um alle in ihr befindlichen Einzelheiten zur Geltung gelangen zu lassen. Diese Erwägungen führen zu dem Schlusse, dass die Herstellung von Mondbildern auf photographischem Wege besondere Umsicht erfordert — spätere Darlegungen werden zeigen, dass sie noch nicht allen zu berücksichtigenden Umständen Rechnung tragen. In der ersten Zeit der Astrophotographie haben Warren de la Rue und Rutherford Mondbilder geliefert, welche sich durch ihre Schönheit auszeichneten; dieselben wurden aber weit übertroffen durch Aufnahmen, welche in der letzten Zeit auf der Pariser Sternwarte von den Brüdern Paul und Prosper Henry — beide gleich bedeutend als Astronomen wie als Meister auf dem Gebiete der Construction großer Fernrohrlinsen, sowie als Mitbegründer der modernen Astrophotographie — erhalten worden sind. Auch auf der Wiener Sternwarte sind mehrere trefflich gelungene Mondphotographien hergestellt worden. Ebenso sind die auf der Lick-Sternwarte zu Mount-Hamilton in Californien gewonnenen Mondbilder von hervorragender Schönheit. Diese Photographien erlauben eine mehrfache (bis 24 mal) Vergrößerung und ermöglichen ein bequemes Studium des auf der Mondoberfläche sichtbaren Details. Die letztgenannten Platten haben auch die Grundlage für

die prachtvollen Zeichnungen im vergrößerten Maßstabe abgegeben, welche der Director der k. k. Sternwarte zu Prag, Prof. Dr. L. Weinek, von einer Reihe von Ringgebirgen des Mondes ausgeführt und im 3. Bande der Publicationen der Lick-Sternwarte veröffentlicht hat.

Bei derartigen Vergrößerungen macht sich aber das „Korn“ der Platte in unangenehmer Weise geltend, indem es Einzelheiten des Bildes dem Blick des Beobachters entzieht oder sie entstellt. Hier ist nun aus jener Eigenschaft der Trockenplatten, welche in den einleitenden Zeilen dahin skizziert wurde, dass ihre gesteigerte Empfindlichkeit gröberes „Korn“ bedingt, ein erhebliches Hindernis für die Mondforschung, die „Selenographie“ erwachsen.

Im Interesse der Herstellung einer an Detail möglichst reichen Mondphotographie liegt es nämlich, thunlichst feine Emulsionen enthaltende Platten zu verwenden. Solche Platten sind nun — wie früher erwähnt — nicht besonders lichtempfindlich und erfordern eine längere Expositionszeit. Dieser letztere Umstand hat aber für die Mondaufnahmen einen ziemlichen Nachtheil zur Folge — der Mond verändert nämlich seinen Ort zwischen den Sternen, und diese eigene Bewegung des Mondes kann bei einer Expositionsdauer von mehreren Secunden — bei den Mondaufnahmen mit dem Riesenfernrohr der Lick-Sternwarte wurde die Belichtungsdauer mit 2—4 Secunden bemessen — einen merklichen Einfluss auf das Bild ausüben. Dieses

Dilemma ist in allerjüngster Zeit durch die folgenden Erwägungen, die vom Director der Pariser Sternwarte, M. Loewy, herrühren, behoben worden. Die eigene Bewegung des Mondes lässt sich nämlich nach zwei Richtungen zerlegen, u. zw. in eine zum Aequator parallele westöstliche und in eine dazu senkrechte Richtung. Erstere Componente der Bewegung fällt ihrer Richtung nach mit jener der scheinbaren täglichen Bewegung der Sterne zusammen, welche letztere durch das am Fernrohr befestigte und dasselbe drehende Uhrwerk aufgehoben wird — man braucht also nur den Gang dieses Uhrwerkes entsprechend zu verändern und wird dann sowohl die tägliche Bewegung des Firmaments, als auch den aus der eigenen Bewegung des Mondes herstammenden, in dieselbe Richtung fallenden Betrag der Ortsveränderung des Mondes zwischen den Sternen für die photographischen Aufnahmen unwirksam gemacht haben. Die zweite Componente der Mondbewegung, welche in die Richtung Nord-Süd fällt, muss auf eine andere Weise unschädlich gemacht werden. Da mechanische Hilfsmittel in diesem Falle nicht zum Ziele führen dürften, hat Director Loewy eine Folge des Umstandes, dass die Beobachtungen auf Punkten der Erdoberfläche angestellt werden, zur Beseitigung des zweiten Theiles der Mondbewegung benützt. Der genannte Umstand bewirkt nämlich eine Verschiebung des Mondortes, und es kann der Fall eintreten, dass diese Verschiebung und der zweite Theil der Mondbewegung entgegengesetzt gerichtet und ihrem Be-

trage nach gleich groß sind. In solchen Augenblicken werden sie sich aufheben, d. h. der Mond wird für eine ganz kurze Spanne Zeit unbewegt erscheinen. Macht man zu solchen Zeiten Aufnahmen unseres Trabanten, so sind dieselben durch keine von seiner Bewegung her stammende Verzerrung entstellt. Die Bestimmung dieser Zeitpunkte ist eine nicht schwer zu lösende Aufgabe der rechnenden Astronomie. Man wird es aber begreiflich finden, dass solche Aufnahmen, welche nur zu vorher bestimmten Zeiten stattfinden können, nicht selten durch die Ungunst des Wetters vereitelt werden und daher an Zahl weit geringer sein werden können als die nicht hiedurch beschränkten, zumal auch noch auf andere einschränkende Bedingungen Bedacht genommen werden muss. Dafür entschädigt aber reichlich die Thatsache, dass man einwurfsfreie Bilder erhält und die Möglichkeit, länger exponieren und somit feinkörnigere Platten benützen zu können. In der That übertreffen die von Director Loewy auf diese Weise mit Hilfe des großen Equatoreal coudé der Pariser Sternwarte erhaltenen Aufnahmen die früheren und gestatten beträchtliche Vergrößerungen. Sie haben Anlass zur Herausgabe eines großartigen photographischen Mondatlasses durch die Pariser Sternwarte gegeben, dessen erste Abtheilung bereits erschienen ist. Der Durchmesser des Mondbildes beträgt hiebei 2·58 Meter. Diese Abbildungen lassen deutlich alle die merkwürdigen Gestaltungen ersehen, welche die Oberfläche des Begleiters der Erde bedecken; man nimmt



auch auf ihnen die eigenthümlichen Unterschiede des Farbtones der einzelnen Mondlandschaften wahr. Allerdings zeigen mächtige Teleskope dem Auge des Beobachters noch immer mehr, als diese Blätter bieten, man darf jedoch in dieser Hinsicht von der Vervollkommnung des photochemischen Verfahrens weitere Erfolge erwarten. Die zuletzt erwähnte Thatsache hat einzelnen Liebhabern der Astronomie, die sich mit der Durchforschung der Mondoberfläche beschäftigen, Anlass gegeben, vergrößerte Photographien einzelner Partien des Mondes als Grundlagen für die Einzeichnung weiterer von ihnen am Fernrohr wahrgenommener Objecte zu benützen — ein Verfahren, welches die Selenographie gewiss fördern wird.

Es sei aber an dieser Stelle gestattet, der weit verbreiteten Meinung entgegenzutreten, dass die Erforschung der Oberfläche der Himmelskörper die Hauptaufgabe der Astronomen bildet — es ist dies durchaus nicht der Fall. Dieses Gebiet hat, verglichen mit den großen Zielen der Himmelforschung, nur eine secundäre Bedeutung; speciell die Erforschung der Mondoberfläche ist eine Aufgabe, welche mehr den Geologen als den Astronomen interessieren kann.

Auch die großen Planeten des Sonnensystems hat man photographisch aufgenommen. Die geringe Ausdehnung der Bilder — die Durchmesser der in Betracht kommenden Planeten erreichen nicht den Betrag einer Bogenminute — gestattet nur die Wahrnehmung der wesentlichsten Configurationen der be-

treffenden Oberflächen und bleibt der Anblick weit hinter dem zurück, welchen auch kleinere Fernrohre dem Auge des Beobachters von dem betreffenden Wandelstern bieten. In diesem Falle zeigt sich auch gegenwärtig noch eine bedeutende Inferiorität des photographischen Verfahrens; dasselbe ist noch nicht leistungsfähig genug, um einigermaßen mit dem optischen in Concurrenz treten zu können. Es ist ebenfalls Aufgabe der Photochemie, späteren Zeiten eine an Erfolgen reichere Wirksamkeit auf dem Gebiete der Planetenphotographie zu ermöglichen.

Die Kometen bieten dem Astrophographen Gelegenheit zu sehr interessanten Studien, wenn derselbe auch in diesem Falle mit erheblichen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Die Kometen besitzen bekanntlich eine häufig sehr beträchtliche eigene Bewegung zwischen den Sternen, welche — soferne man ein Bild des Kometen haben will — durch entgegengesetzte Bewegung des Fernrohres während der Aufnahme unwirksam gemacht werden muss. Natürlich zeichnen sich hiebei die in der Nähe des Kometen befindlichen Sterne als Linien auf der photographischen Platte ein. Um nun zu bewirken, dass derselbe Punkt des Kometen stets auf denselben Punkt der empfindlichen Schicht wirkt, verbindet man mit dem photographischen Rohre starr ein zweites Fernrohr, in dessen Gesichtsfeld eine Marke (ein Fadenkreuz) sich befindet, und reguliert mit Hilfe von Schrauben fortwährend die Stellung der beiden starr mit einander verbundenen Teleskope so,

dass man während der ganzen Belichtungszeit den Kopf des Kometen im zweitgenannten Fernrohr, welches bezeichnender Weise der „Pointer“ heißt, im Kreuzungspunkt der Fäden erblickt. Diese Pointierarbeit, welche auch bei Fixsternaufnahmen zur Beseitigung des Einflusses der Änderungen der Strahlenbrechung und zur Controle des Functionierens des Uhrwerkes unumgänglich nöthig ist, macht derartige Aufnahmen zu ungemein mühsamen und um so anstrengenderen, je längere Zeit sie in Anspruch nehmen. Die erste photographische Aufnahme eines Kometen gelang im Jahre 1881 dem französischen Astrophysiker Janssen; später hat man dann recht häufig Kometen photographiert. Weiterhin hat die Photographie sogar zur Auffindung solcher Himmelskörper gedient; so ist der fünfte Komet des Jahres 1892 von Barnard auf einer photographischen Platte, welche er zur Aufnahme einer Himmelsgegend aus anderen Gründen exponiert hatte, entdeckt worden. Ferner ist der periodische Komet von Encke bei seiner letzten Wiederkehr unabhängig auch auf photographischem Wege wiedergefunden worden. Bei den photographischen Aufnahmen von Kometen macht sich ein Umstand geltend, welcher für die gesammte Astrophotographie von größter Wichtigkeit ist und aus diesem Grunde hier zur Erörterung gelangen muss. Die chemischen Prozesse, welche die Einwirkung des Lichtes in der sensiblen Schicht hervorrufft, werden nämlich wesentlich von der Farbe des einwirkenden Lichtes beeinflusst, und zwar macht sich dieser Einfluss der

einzelnen Farben nicht in der gleichen Weise wie bei der Empfindung des Sehens geltend. Für das menschliche Auge sind die gelben Strahlen die hellsten, oder anders ausgedrückt, das optische Intensitätsmaximum liegt im gelben Theile des Spectralbandes. Die blauen Strahlen erscheinen dem Auge etwa hundertmal schwächer als die gelben. Das Verhalten der photographischen Platte ist ein hievon völlig verschiedenes — sie ist gerade für blaue und violette Lichtstrahlen besonders empfindlich; es kann nach den Untersuchungen, welche von dem Director der k. k. Lehr- und Versuchsanstalt für Photographie, Herrn Regierungsrath Prof. Dr. Eder, angestellt worden sind, vorkommen, dass die blauen Strahlen sich zwanzig-, ja fünfzigmal wirksamer erweisen als die gelben. Diese Thatsache ist für alle astrophotographischen Arbeiten von der größten Bedeutung; es werden z. B. helle rothe Sterne weit weniger auf die photographische Platte einwirken, sich somit im Bilde unscheinbarer darstellen als dem Auge gleich hell erscheinende weiße Sterne. Das Licht der Kometen enthält nun ungemein viele chemisch wirksame Strahlen, ein Umstand, welcher die Aufnahmen dieser merkwürdigen Himmelskörper sehr begünstigt. Von besonderem Interesse ist die Thatsache, dass die photographisch erhaltenen Bilder von Kometen nicht selten mehr Detail zeigen, als die Beobachter am Fernrohr wahrnehmen konnten. So hat z. B. der am 1. April 1894 von Gale entdeckte schöne Komet dem Beobachter kaum die Spur einer Schweifbildung gezeigt;

die gleichzeitigen photographischen Aufnahmen der Brüder Henry zu Paris und des Prof. Wolf in Heidelberg lassen aber einen mehrere Grade langen Schweif dieses Kometen deutlich erkennen.

Die letzten zum Sonnensystem gehörigen und hier in Betracht zu ziehenden Körper sind die Sternschnuppen. Ihr Bild auf der lichtempfindlichen Platte festzuhalten, ist mehrfach versucht worden, jedoch ohne wesentlichen Erfolg. Die Ursachen hiefür lassen sich dahin aussprechen, dass einerseits die Leuchtdauer eines solchen Meteors in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine sehr kurze — kaum eine Zeitsecunde übersteigende — ist, und andererseits noch dazu die Sternschnuppen fast immer in gelbem Licht oder in einer dem Gelben nahestehenden Nuance erstrahlen — es werden daher nur sehr wenige Sternschnuppen ihre Bahn zwischen den Sternen auf der exponierten Platte einzeichnen können. Das Interesse an der Photographie der Meteorbahnen hat einen doppelten Grund. Da nämlich sehr viele in derselben Nacht aufleuchtende Sternschnuppen einen gemeinsamen Ursprung haben und von demselben Punkte der Himmelsphäre auszugehen scheinen, so könnte man durch Aufnahme einiger Meteorbahnen auf einer Platte nach Ausmessung derselben diesen Strahlungspunkt der Meteore ermitteln, und zwar mit einer allem Anscheine nach erheblich größeren Genauigkeit, als dies jetzt der Fall ist. Die Kenntniss des genauen Ortes des Strahlungspunktes eines Meteorschwarmes erleichtert die Untersuchungen

des rechnenden Astronomen hinsichtlich des eventuellen Zusammenhanges des betreffenden Schwarmes mit einem Kometen u. dgl. ganz ungemein.

Ein zweiter Gedanke zur Verwertung der photographischen Aufnahme der Sternschnuppen erregt deshalb erhebliches Interesse, weil er eine Möglichkeit eröffnet, die Höhe der unsere Erde umgebenden Luft-hülle zu ermitteln. Die Sternschnuppen leuchten bald nach ihrem Eintritt in die Erdatmosphäre auf und sind dann nicht sehr weit von der Erdoberfläche entfernt. Von zwei nicht zu weit von einander entfernten Beobachtungsorten aus beobachtet, kann daher der Lauf eines solchen Meteors wohl gleichzeitig beobachtet werden, das Meteor wird aber für die zwei Beobachter nicht denselben Weg zwischen den Fixsternen zurückzulegen scheinen. Ersetzt man die Beobachter durch photographische Apparate, so kann man den von dem Ortsunterschied herrührenden Unterschied der beiden scheinbaren Bahnen sehr scharf ermitteln und dann durch Rechnung aus der bekannten Entfernung der beiden Beobachtungsstationen und den übrigen gegebenen Größen die Entfernung des Punktes der Atmosphäre, in welchem das Meteor zu leuchten und daher sich auf den Platten einzuzeichnen begann, von der Erdoberfläche bestimmen.

Diese Arbeiten sind aus den vorhin angegebenen Gründen bisher noch wenig gefördert worden, sie lassen aber wieder erkennen, wie sehr die Astronomie auch in der höchsten Entwicklung ihrer Specialgebiete

geeignet ist, Fragen aus anderen Zweigen der Naturwissenschaft der Lösung zuzuführen.

Erwägt man nun, nachdem die Leistungen der Astrophotographie — soweit sie die Körper des Sonnensystems betreffen — zur Darstellung gekommen sind, ruhigen Sinnes die bisherigen Erfolge dieses Forschungsmittels des Astronomen, so kann man sich der Meinung nicht verschließen, dass diese Erfolge — wenn sie auch für die Zukunft viel versprechen — gegenwärtig nur sehr bescheidene genannt werden dürfen. Sie stellen sich zumeist als oft theuer erkaufte Erleichterungen der astronomischen Arbeit dar, Neues lassen sie nur selten erkennen. Die Ursache hiefür liegt in der hohen Stufe der Entwicklung, auf welche die optischen Hilfsmittel der Gegenwart die Erforschung der Beschaffenheit der Himmelskörper des Sonnensystems zu erheben gestattet haben, mit welcher der Grad der Ausbildung der photochemischen Mittel, welcher sich die Astrophotographie bedient, infolge der verhältnismäßig kurzen Spanne Zeit, die seit ihrer Erfindung verflossen ist, nicht verglichen werden kann. Dagegen gestalten sich die Verhältnisse ganz anders, wenn man jene Gebiete der beobachtenden Astronomie in den Kreis dieser Erwägungen einbezieht, hinsichtlich welcher die Eigenschaften der photographischen Platte, soweit sie bisher dargelegt wurden, die Function des menschlichen Auges mit Vorthail zu ersetzen oder weiterzuführen erlauben. Das ganze ungeheure Feld der messenden Stellar-astronomie ist mit geringen Ausnahmen bereits eine

Domäne der Astrophotographie geworden: die Herstellung von Karten des Himmels, die an Genauigkeit der eingezeichneten Sternorte, an Sternreichthum und — last but not least — an zweifelfreier Richtigkeit alles weit hinter sich zurücklassen, was bisher Menschenfleiß in langwieriger Arbeit, unter Schwächung des Augenlichtes vieler Astronomen nur bruchstückweise und ungleichförmig herstellen konnte, ist eine leichte und schnell ausführbare Arbeit geworden; die Anlegung von Sternkatalogen, deren Grundlagen jedoch nach der alten Arbeitsmethode erhaltene Sternverzeichnisse, welche die Orte der helleren Sterne geben, stets bilden werden müssen, ist durch das astrophotographische Verfahren in ausgedehnterem Maße möglich geworden. Die Aufsuchung von neuen Gliedern der zahlreichen Planetengruppe zwischen Mars und Jupiter wird gegenwärtig, nachdem hiefür ein Verfahren durch die Arbeiten von Prof. Max Wolf in Heidelberg ausgebildet worden ist, ausschließlich mit Hilfe der Photographie betrieben. Während nämlich die Fixsterne sich als Punkte in der lichtempfindlichen Platte einzeichnen, wird ein Planet — als Wandelstern — im Verlauf der Belichtungsdauer sich als Strich einzeichnen, und zwar wird dieser Strich im allgemeinen desto länger sein, je länger die Platte exponiert wird, weil der Weg des Planeten am Firmament dann ein größerer gewesen sein wird.

Diese Arbeitsgebiete der Astrophotographie können — ohne die Grenzen, welche dieser Skizze gezogen sind, zu überschreiten — hier nur angedeutet



werden; sie sind durch die Benützung der photographischen Methode ungemein gefördert worden, und diese Thatsache allein würde genügen, um deren Einführung in die astronomische Forschung als vollberechtigt erscheinen zu lassen. Die astronomische Photographie hat aber auch der praktischen Astrophysik außerordentliche Dienste geleistet und ferner eine genauere Erkenntnis zahlreicher Nebelmassen des Firmamentes angebahnt. Die Verwertung der Photographie für astrophysikalische Studien hat überraschende und wahrhaft großartige Ergebnisse geliefert; letztere sind hauptsächlich durch die bezüglichen Arbeiten der Gelehrten des berühmten astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam, insbesondere durch die Untersuchungen des Herrn Directors H. C. Vogel und des Herrn Professors J. Scheiner gewonnen worden. Ehe nun diese Studien besprochen werden können und auch über die Bedeutung der Astrophotographie für die Erforschung der Nebel einiges mitgetheilt wird, ist es nothwendig, auf eine Eigenschaft der photographischen Platte, deren bei den früheren Erörterungen absichtlich nicht besonders gedacht wurde, ausdrücklich aufmerksam zu machen, weil man dieselbe im allgemeinen wohl kennen dürfte, ohne über die Bedeutung und den Wert derselben für astronomische Zwecke vollständig orientiert zu sein. Diese höchst wichtige Eigenschaft der lichtempfindlichen Platte besteht darin, dass sich in ihr die Lichteindrücke, die in den einzelnen Zeittheilchen der Expositionsdauer auf denselben Punkt wirken, addieren.

Während z. B. das menschliche Auge im Innern eines Domes nach Verlauf von wenig Augenblicken alles Wahrnehmbare überblickt, dürfte nach Ablauf derselben Frist auf einer photographischen Platte kaum ein Bild entstanden sein. Lässt man jedoch das Licht durch längere Zeit auf die Platte einwirken — die nöthige Dauer der Exposition kann unter solchen Umständen auf Stunden anwachsen — so werden die chemischen Prozesse in der empfindlichen Schicht unter dem Einflusse des spärlichen Lichtes fortwährend angeregt und liefern dann schließlich ein Bild, welches oft weit mehr Einzelheiten enthält, als der Blick des Menschen erkennen konnte. Erklärt wird dieses ungemein wichtige Verhalten der photographischen Platte durch die That- sache, dass bei ihr die Menge des Lichtes für die Er- zeugung des Bildes maßgebend ist, während für das menschliche Auge die Stärke des Lichtreizes ausschlag- gebende Bedeutung hat. Letztere kann durch längere Einwirkung nicht gesteigert werden, wohl aber wächst die Menge des auf die sensitive Platte einwirkenden Lichtes mit der Zeit. Die hier erörterte Erscheinung bietet nun eine Möglichkeit dar, auch ganz wenig Licht aussendende Objecte zu photographieren; Objecte, welche dem Auge stets verborgen bleiben, weil ihr Licht nicht stark genug ist, um optisch zur Geltung zu kommen. Für astronomische und astrophysikalische Arbeiten sind diese Verhältnisse von ganz besonderer Wichtigkeit; ebenso auch die bereits besprochene That- sache, an welche hier zu erinnern erlaubt sein möge,

dass die photographischen Platten für blaue und violette Strahlen ungemein empfindlich sind.

Da die Erörterung der Bedeutung der Photographie für die Zwecke der Ortsbestimmung der Gestirne außerhalb des Rahmens dieser Darstellung liegt, so kann hier gleich auf die Erfolge hingewiesen werden, welche die Lichtbildkunst auf dem Gebiete der Erforschung der Nebel- und der Fixsternhaufen des Himmels errungen hat. Einer der ersten bestand in dem durch Aufnahmen der Brüder Henry in Paris geführten Nachweis, dass einzelne Sterne in der bekannten Gruppe der Plejaden von schwachen Nebeln umgeben sind. Spätere Photographien von Roberts bestätigten diese Entdeckung und ließen die große Ausdehnung mancher dieser Nebelmassen erkennen. Endlich hat Barnard durch besonders lange Expositionszeiten Bilder dieser Himmelsgegend erhalten, auf welchen die Grenzen des über ihr lagernden Nebelschleiers ungemein weit über die Sterngruppe hinausgerückt erscheinen. Ähnliche Entdeckungen von ausgedehnten, über ganze Quadratgrade des Himmels sich erstreckenden Nebeln gelangen auf photographischem Wege unter anderen Prof. Wolf in Heidelberg, welcher den seiner Form wegen „Amerika“-Nebel genannten Nebelfleck im Schwan auffand, und Herrn Archenhold in Grunewald bei Berlin, welcher im Sternbilde des Perseus einen solchen Nebel entdeckte. Der Photographie verdankt man auch die richtige Erkenntnis der spiraligen Structur des berühmten Andromedanebels und jene der Beschaffenheit des ebenfalls nach

seiner Form genannten Ringnebels im Sternbilde der Leyer, sowie der planetarischen Nebel. Der Ringnebel in der Leyer zeigt in seiner Mitte ein für das Auge kaum wahrnehmbares schwaches Sternchen; die Photographien, welche P. Denza in Rom und Professor Scheiner in Potsdam von diesem merkwürdigen Object erhielten, lassen erkennen, dass dieses schwache Sternchen im Centrum des Ringes sich als eine ausgedehnte Masse darstellt, die viel stärker auf die lichtempfindliche Platte wirkt als irgend eine Stelle des Ringes — von ihr breitet sich die Nebelmaterie über die innerhalb des Ringes gelegene Fläche aus, sie bildet den Kern des Nebels. Auch die Milchstraße, jenes lichte Band, welches sich über das ganze Firmament hinzieht, ist streckenweise photographisch aufgenommen worden; Russell in Sydney, Barnard und Wolf haben sich dieser Arbeit gewidmet, die nach ihrer systematischen Ausgestaltung ein treues und unsere gegenwärtige Kenntniss weit übertreffendes Bild dieser Himmelszierde abgeben wird. Einzelne Sternhaufen, so der berühmte im Sternbilde des Herkules und jener in der Constellation des Sobieski'schen Schildes, sind von Professor Scheiner in Potsdam, respective von Professor Oppenheim in Wien, photographisch aufgenommen und dann die Aufnahmen ausgemessen worden. Beim Sternhaufen im Herkules zeigte sich die entschiedene Überlegenheit der photographischen Methode über jene der beobachtenden Astronomie; in ihm stehen nämlich die Sterne so gedrängt, dass man Messungen ihrer gegenseitigen

Stellung, respective ihrer Abstände am Fernrohr kaum vornehmen kann; Prof. Scheiner konnte aber durch Messungen auf seinen Platten die Orte von 833 Sternen des Haufens bestimmen.

Diese cursorischen Bemerkungen werden die Bildung einer Vorstellung von dem ungeheuren Werte des photographischen Verfahrens für die Zwecke der Erkenntnis der äußeren Beschaffenheit der coelestischen Objecte erlauben; das astronomische Gebiet, auf welchem die Photographie fast unumschränkte Herrin geworden ist, betreten wir jedoch erst jetzt.

Zur besseren Orientierung mögen aber einige Bemerkungen astrophysikalischen Inhalts vorangestellt werden.

Es darf wohl als bekannt angenommen werden, dass wir alle Kenntnis der physischen Beschaffenheit der Gestirne der Untersuchung des Lichtes, welches sie uns zusenden, verdanken. Diese Untersuchung des Lichtes erfolgt durch ein genaues Studium des Farbenbandes, welches das Licht des betreffenden Objectes, nachdem es einen engen Spalt und hierauf ein das Licht zerlegendes und die einzelnen Strahlenarten je nach ihrer Farbe verschieden ablenkendes Prisma passiert hat, entwirft. Weißglühende feste oder tropfbarflüssige Körper erzeugen ein alle Farben vom Roth bis zum Violett ohne Unterbrechung enthaltendes Band, ein „continuierliches Spectrum“; glühende Gase — Metaldämpfe — haben hingegen ein nur aus einzelnen hellen Linien bestehendes Spectrum. Das Spectrum der

Sterne gehört zu keiner dieser beiden Arten; es stellt sich bei den meisten als ein Farbenband dar, welches von dunklen Linien durchzogen ist. Dank der großen 1860 von Kirchhoff und Bunsen gemachten Entdeckung weiß man, dass ein solches Spectrum dann entsteht, wenn das Licht eines glühenden Körpers durch eine ihn umgebende Hülle von Dämpfen niedrigerer Temperatur gehen muss; diese Hülle verschluckt dann gerade jene Strahlenarten, welche sie selbst ausenden würde, wenn sie allein vorhanden wäre. Auf diesem Satze fußt die gesammte astrophysikalische Wissenschaft. Umfassende, auf das Studium der Sternspectra gegründete Untersuchungen haben nun ergeben, dass sich die Sterne in drei Gruppen eintheilen lassen, welche Gliederung auch eine gewisse organische Bedeutung hat. Die erste Gruppe umfasst die weißen Sterne, wie Sirius und Wega, in deren Spectren die Linien des Wasserstoffgases sehr stark auftreten und neben ihnen Linien einzelner Metaldämpfe sichtbar sind. Die zweite Gruppe enthält die gelben Sterne (wie Arktur, auch unsere Sonne gehört hieher); die Farbenbänder sind hier von zahlreichen dunklen Metalllinien durchzogen; auch die Linien des Wasserstoffgases sind in den Spectren dieser Classe sichtbar. In die dritte und letzte Gruppe gehören Sterne wie Rigel im Orion, in deren Spectren außer dunklen Linien auch breite dunkle Bänder erkannt werden — hieher rangieren die rothen Sterne. Es sei gestattet, dieser kurzen Charakterisierung der drei Arten der Fixsterne

sofort die Ursache dieser von dem bedeutendsten Astrophysiker der Gegenwart, Geheimrath Vogel in Potsdam, herrührenden Eintheilung anzufügen. Die drei Gruppen stellen sich als zeitlich aufeinanderfolgende Stadien der Entwicklung der Fixsterne dar — die erste Gruppe enthält Sterne, deren Glühzustand ein solcher ist, dass die in ihren Atmosphären außer dem Wasserstoff enthaltenen Metaldämpfe nur sehr wenig auf die vom Kerne ausgesendeten Strahlen absorbierend wirken; in der zweiten Gruppe finden sich jene Sterne, bei welchen sich bereits eine Hülle kühlerer Metaldämpfe gebildet hat, in der somit zahlreiche Strahlenarten des vom Kerne entsendeten continuierlichen Spectrums zurückgehalten werden. Eine weiter fortschreitende Abkühlung kann endlich die Möglichkeit der Bildung chemischer Verbindungen in der Atmosphäre des betreffenden Sternes ergeben, deren Auftreten sich in dem Spectralband erkennen lässt. Dieser Zustand ist durch die dritte Vogel'sche Gruppe dargestellt. Wesentlich unterstützt wird die von Vogel gegebene Anordnung der Spectralclassen der Sterne und ihre Deutung durch den Umstand, dass gewisse Fixsternspectra als Zwischenglieder zwischen den Spectren der ersten und zweiten, sowie der zweiten und dritten Vogel'schen Classe betrachtet werden können.

Man sieht aus diesen wenigen Worten, wie erheblich die Kenntniss der eigentlichen Beschaffenheit der Fixsterne durch ein ausgedehntes Studium ihrer Spectren gefördert wird. Dieses Studium wird aber

durch das photographische Verfahren außerordentlich erleichtert. Das Messen der Spectrallinien am Fernrohr ist für einen Beobachter eine sehr mühevoll Arbeit — die unruhigen Bewegungen des oft lichtschwachen Farbenbandes, sowie die nicht selten unbequeme Lage des Kopfes des Beobachters erschweren dieselbe besonders. Die photographische Platte ermöglicht es nun, die Arbeit der Ausmessung der Linien eines Sternspectrums jederzeit auszuführen, sie in aller Ruhe, mit aller Sicherheit vorzunehmen und sie beliebig oft zu wiederholen. Die Photographie hat aber für den Astrophysiker noch einen besonderen Vorzug gegenüber der unmittelbaren Beobachtung. Man kann ganz schwache Linien, die sich fast dem Blicke des Beobachters entziehen, durch eine entsprechende Ausdehnung der Belichtungsdauer der Platte auf dieser noch erhalten. Ferner kann man durch weitere Einschaltung von Glasprismen das von einem Stern entworfene Farbenband verlängern, wodurch man die Genauigkeit der späteren Messungen natürlich steigert — dann ist das Spectrum allerdings sehr lichtschwach, aber die photographische Platte wird bei genügend langer Einwirkung ein getreues Bild desselben liefern. Die Photographie leistet für die Erforschung der Sternspectra unter Umständen jedoch noch mehr. Der Beobachter kann auf einmal nur das Spectrum eines einzigen Sternes aufnehmen — die photographische Platte kann unter Benützung entsprechender Vorrichtungen gleichzeitig die Spectra vieler Sterne fixieren. Bringt man nämlich das licht-



brechende Prisma vor dem Objective des Fernrohres an, so wird das Licht aller Sterne, deren Strahlen zugleich auf das Objectiv fallen, zerlegt, und die sensitive Platte wird gleichzeitig die Spectren aller dieser Sterne aufnehmen. Dieses massenspectrographische Verfahren wird besonders auf der Sternwarte zu Cambridge in Nordamerika geübt. — Im allgemeinen kann man sagen, dass die Untersuchungen spectralphotographischer Natur bisher eine reiche Fülle von Material geliefert haben, dessen wissenschaftliche Verwertung aber noch durchaus nicht vollständig ausgeführt ist. Wie interessant und ergebnisreich solche Studien sind, zeigt eine von Prof. Scheiner in Potsdam gemachte Wahrnehmung, welche ihn zu einer überraschenden Folgerung hinsichtlich der Temperaturen der äußersten Schichten der Fixsterne berechtigte. Der Magnesiumdampf besitzt ein Spectrum, in dem zwei, auch in Fixsternspectren erscheinende Linien vorkommen, welche Linien ein entgegengesetztes Verhalten zeigen, je nachdem bei den im Laboratorium angestellten Versuchen das Spectrum durch Verdampfen von Magnesium bei verschieden hohen Temperaturen erzeugt wird. Während die eine dieser Linien im Magnesiumspectrum des elektrischen Bogenlichtes, dessen Hitze etwa  $3000^{\circ}$  bis  $4000^{\circ}$  beträgt, nicht sichtbar ist, erscheint hier die andere kräftig und breit. Bei Verwendung des elektrischen Funkens, dessen obere Temperaturgrenze bei  $15000^{\circ}$  liegt, sieht man die erstgenannte breit und intensiv, die zweite ist dann kaum oder gar nicht zu erkennen.

Prof. Scheiner hat nun bei der Untersuchung der von Geheimrath Vogel und ihm aufgenommenen Spectrogramme, mit welchen auch noch ein anderer, weit großartigerer Erfolg errungen wurde, bemerkt, dass die zwei erwähnten Linien des Magnesiumdampfes ein ganz ähnliches Verhalten in den Fixsternspectren zeigen, je nachdem der betreffende Fixstern der dritten oder der ersten der vorhin skizzirten Sternklassen angehört. Diese Thatsache gestattet einen Rückschluss auf die Oberflächentemperatur der Sterne: jene der ersten Classe — die weißen Sterne — haben eine Oberflächentemperatur von mindestens  $15000^{\circ}$ , jene der dritten haben eine solche von  $3000^{\circ}$ — $4000^{\circ}$ ; sie sind also in der That nicht so heiß wie erstere.

Der schönste Erfolg, welchen die Astronomie dem photographischen Verfahren verdankt, liegt auf einem bisher noch nicht berührten Gebiete, das zu den geheimnisvollsten Bereichen der Sternkunde gehört. Die scheinbar unveränderlich festen Sterne sind in Wahrheit doch in Bewegung, auch unsere Sonne selbst wandert durch die Räume des Himmels. Es ist ein Verdienst Halleys, des großen Zeitgenossen des größeren Newton, zuerst darauf hingewiesen zu haben, dass einzelne Sterne seit den Zeiten Hipparchs, der um das Jahr 150 vor Christus den ersten Sternkatalog verfasst hat, ihren Ort gegen andere Sterne merklich verändert haben. Seit Halleys Entdeckung hat man infolge der zunehmenden Genauigkeit der astronomischen Messungen tausende von solchen in Bewegung befind-

lichen Fixsternen kennen gelernt; man kann wohl sagen, dass der ganze Sternenhimmel in Bewegung sein dürfte. Allerdings sind diese Bewegungen nicht groß; der schnellst bewegte Stern am Himmel braucht etwa 250 Jahre, um seinen Ort um einen Monddurchmesser zu verändern, und jene Sterne, welche, um die genannte Ortsveränderung zu vollführen, drei Jahrtausende benöthigen, gelten noch immer als recht rasche Wanderer am Firmament. Der Gedanke, dass auch unsere Sonne, in welcher wir ja auch einen Fixstern zu erblicken haben, nicht in ewiger Ruhe an ihrem Orte verharren dürfte, ist ziemlich bald nachdem man einige Kenntniss von den eigenen Bewegungen der Sterne gewonnen hatte, aufgetaucht und man hat schon zu Anfang des laufenden Jahrhunderts den Versuch gemacht, die Gegend des Himmels, auf welche die Sonne hinsteuert, durch Untersuchung der Größen der eigenen Bewegungen der Sterne zu finden. In jener Gegend des Himmels, auf welche die Sonne zustrebt, werden nämlich, wie man sich leicht erklären kann, die Sterne von einander wegzugehen scheinen; dagegen werden in jenem Theil des Himmels, von dem sich die Sonne entfernt, die Sterne zusammenzurücken scheinen — es ist derselbe Vorgang, den man bei einer Annäherung an eine Gruppe von Menschen oder bei einer Entfernung von einer solchen leicht beobachten kann. Der Punkt des Firmaments, auf welchen die Sonne lossteuert, hat eine gerade Aufsteigung von etwa  $267^{\circ}$  und eine nördliche Abweichung von  $31^{\circ}$ ; er liegt

also südöstlich von dem Sterne Wega, dem hellsten Sterne des sommerlichen Himmels, und befindet sich im Sternbilde des Herkules.

Die hier besprochenen Ortsveränderungen der Fixsterne entstammen ohne Zweifel wirklichen Bewegungen der betreffenden Sterne; man ist aber nicht in der Lage, die Größe dieser Bewegungen in einem Längenmaß, etwa die Geschwindigkeit in einer Secunde in Kilometern oder ihre wahre Richtung anzugeben. Um dies zu begreifen, muss man sich daran erinnern, dass wir die Vorgänge am Himmel nur so erblicken, wie sich dieselben uns auf der scheinbaren Himmelskugel darstellen. Wir können nicht erkennen, ob ein Stern uns näher kommt, oder ob er sich von uns entfernt, wenn wir auch die Wahrnehmung machen und durch Messungen den Beweis dafür liefern können, dass er seinen Ort thatsächlich im Laufe der Zeit verändert, weil sein Bild am Himmelsgewölbe seine Lage zwischen den Bildern anderer Sterne verändert. Mit der Constatierung dieser Thatsache und der scharfen Ermittlung des Betrages dieser Ortsveränderung auf der Himmelskugel hat die messende Astronomie ihre Aufgabe beendet; ihre Mittel gestatten ihr kein tieferes Eindringen in dieses hochinteressante Gebiet wissenschaftlicher Forschung. Dieses Versagen der Hilfsmittel hat dahin geführt, dass man versucht hat, durch eine Reihe von oft sehr scharfsinnigen Überlegungen wenigstens einige allgemeine Vorstellungen über die hier in Frage kommenden Verhältnisse zu

erlangen. Eine thatsächliche Beantwortung der Fragen, ob sich ein bestimmter Fixstern von uns entfernt oder sich uns nähert und wie groß seine Geschwindigkeit bei dieser Bewegung ist, hat erst das spectrographische Verfahren, dank der hohen Ausbildung, welche ihm die Gelehrten des Potsdamer astrophysikalischen Observatoriums gegeben haben, geliefert. Man kennt derzeit von einer ganzen Reihe zumeist hellerer Sterne den Sinn ihrer Bewegung in jener Richtung, in welcher wir nach ihnen blicken, und die Geschwindigkeit dieser Bewegung, d. h. man kann die Anzahl der Kilometer angeben, um welche sich jeder der in diese Untersuchungen einbezogenen Sterne von uns in einer Zeitsecunde entfernt oder uns näher rückt. Dies ist der oben berührte großartige Erfolg der modernen Spectrophotographie, welcher wie jede neue That im Bereich der Naturwissenschaft eine reiche Folge anderweitiger Entdeckungen mit sich gebracht hat.

Ehe jedoch die Ergebnisse dieser Arbeiten dargelegt werden, möge es gestattet sein, die theoretischen Grundlagen derselben vorzuführen, wozu es jedoch nöthig ist, etwas weiter auszugreifen und einige dabei zur Verwertung gelangende Sätze der Lehre vom Licht auseinanderzusetzen. Der leitende Gedanke, auf welchem die ganze bezügliche Theorie aufgebaut ist, deren praktische Anwendung die angedeuteten Ergebnisse geliefert hat, wurde vor etwas mehr als fünfzig Jahren von einem Österreicher, Professor Christian Doppler ausgesprochen, welchem aber nicht die Freude zutheil

wurde, den Triumph und die fast wunderbaren Resultate seiner anfangs hart angefochtenen Idee zu erleben. Diese Idee, welche gegenwärtig nach ihrer Ausgestaltung als das „Princip von Doppler“ bezeichnet wird, gründet sich auf folgende Erwägungen:

Das Licht — sowie der Schall — wird durch Wellenbewegungen erzeugt, und zwar entsteht jene Lichtempfindung, welche wir als Eindruck rothen Lichtes bezeichnen, dann, wenn in einer Zeitsecunde 500 Billionen Schwingungen die Netzhaut unseres Auges treffen; steigt die Anzahl der die Netzhaut in einer Secunde treffenden Ätherwellen auf 750 Billionen, so haben wir den Eindruck violetten Lichtes. Zwischen den genannten Zahlen liegenden Beträgen entsprechen andere Strahlenarten, die von Roth durch Gelb, Grün und Blau bis Violett variieren können; jedem solchen Betrag von Schwingungen entspricht eine bestimmte Stelle im Farbenband, im Spectrum.

Die von Doppler angestellten Betrachtungen galten nun der Frage, was für in dem Farbenband wahrnehmbare Folgen eine Bewegung der Lichtquelle, welche das Farbenband erzeugt, bewirkt. Die Erörterung dieser Frage wird wesentlich leichter, wenn vorher die einfacher liegenden Verhältnisse, welche die Bewegung des Schalles darbietet, besprochen worden sind. Es sei zuvor daran erinnert, dass der Schall etwa drei Zeitsecunden braucht, um einen Kilometer zurückzulegen, und dass die Beschaffenheit des Tones, welchen das Gehörorgan empfindet, die „Tonhöhe“, von der

Anzahl der in einer Zeitsecunde dasselbe treffenden Schallwellen abhängt; sind ihrer in einer Secunde 435, so hören wir den in der Musik mit  $a$  bezeichneten Ton. Nun nehmen wir an, dass der Schallwellenerreger in Bewegung sei, und betrachten die hieraus folgenden Veränderungen des Schallphänomens. Der Einfachheit wegen soll die Voraussetzung gemacht werden, dass sich der Schallwellenerreger gerade auf uns zu bewege, dass also etwa eine Locomotive, deren Pfeife eben den Ton  $a$  erzeugt, auf einem geradlinig verlaufenden Geleise, neben welchem wir stehen, dahereile. Hat die Locomotive eine stündliche Geschwindigkeit von  $72\text{ km}$ , so nähert sie sich uns in einer Secunde um  $20\text{ m}$ , während der Schall nach obiger Andeutung  $330\text{ m}$  durchmisst. Die Annäherung der pfeifenden Locomotive bewirkt nun in jeder Secunde — um ganz elementar zu sprechen — eine Zufuhr von Schwingungen, ein Plus gegenüber jener Anzahl, die unser Ohr treffen würde, wenn die pfeifende Locomotive stehen würde; es findet eine Vermehrung der unser Ohr treffenden Schallwellen statt, und zwar erfolgt diese Vermehrung gemäß dem Verhältnis der Geschwindigkeit der Locomotive zu jener des Schalles. Unser Ohr treffen in einer Secunde nicht bloß die 435 Schwingungen, welche die stehende Locomotive uns zusenden

$$\text{würde, sondern } 435 + 435 \times \frac{20}{330} = 435 + 26 = 461$$

Schwingungen, eine Schwingungszahl, welche höher als die des Tones  $a$  ist, und welcher etwa der Ton  $b$

entspricht. Somit steigert die Annäherung des Schallwellenerregers die Höhe des Tones, den wir vernehmen; er ist ein anderer, als jener, den die Pfeife der Locomotive erzeugt. Den letzteren Ton, das *a*, hören wir aber ganz gewiss in dem Moment, wo sich die Locomotive gerade vor uns befindet. Bei der unmittelbar darauf folgenden Entfernung des Schallerregers entführt die Locomotive unserem Ohr in jeder Secunde dieselbe Anzahl von Schallwellen, welche sie uns bei der vorangehenden Annäherung in jeder Secunde zuführte; das Ohr wird daher in jeder Secunde nur von 409 Schwingungen ( $409 = 435 - 26$ ) getroffen, die Tonhöhe ist somit weiter gesunken; der Ton liegt bereits bei *as*. Diese Folge von Wahrnehmungen spielt sich rasch ab, das Sinken des Tones der Locomotivpfeife beim Vorübersausen der Maschine kann auch ein ungeübtes Ohr leicht erkennen. Die Bewegung des Wellenerregers verändert also die Tonhöhe, und man könnte aus dem Unterschiede der beiden wahrgenommenen Töne auf die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Schallerreger auf uns zu und dann von uns weg bewegt hat, schließen, d. h. diese Geschwindigkeit berechnen. Das ist der Hauptpunkt der ganzen Erörterung. Der berühmte Buys Ballot hat zuerst derartige Versuche im Jahre 1845 auf der Eisenbahn zwischen Utrecht und Maarsen angestellt und auf Grund ihrer Ergebnisse die Frage Dopplers in Bezug auf den Schall zu Gunsten Dopplers beantwortet. In Bezug auf die Wellenbewegung des Lichtes



hat Doppler selbst seine Idee, dass die Bewegung eines leuchtenden Objectes auf die Lichtempfindung einen Einfluss übe, zur Erklärung der oft verschiedenen Farben der einzelnen Sterne von Doppelsternpaaren benützen wollen und ist damit in eine falsche Bahn gerathen; jedoch hat der französische Physiker Fizeau, sowie später Prof. Mach, dem Gedanken Dopplers jene Form gegeben, in welcher er wissenschaftlich für die Erkenntnis von Bewegungen leuchtender Körper verwertet werden kann und in welcher er berufen ist, der Astronomie wesentliche Dienste zu leisten. Wie die Höhe des Tones der Schwingungszahl entspricht, welche durch die Bewegung des Schallerregers verändert wird, so entspricht eine bestimmte Stelle im spectralen Farbenband einer bestimmten Anzahl Ätherwellen, die unser Auge treffen. Entfernt sich der Wellenerreger, von dem wir annehmen wollen, dass er ein von dunklen Linien durchzogenes Farbenband entwerfe, so werden unser Auge weniger Wellen in jeder Secunde treffen; alle Stellen im Farbenbande — also auch die dunklen Linien — werden sich deshalb etwas gegen jenes Ende des Farbenbandes verschieben, wo jene Lichtarten auftreten, welchen Strahlen von kleinerer Schwingungszahl entsprechen, d. h. auch die dunklen Linien, diese Merkstellen bestimmter Lichtarten, werden bei Entfernung des leuchtenden Körpers gegen das rothe Ende verschoben erscheinen. Kommt uns dagegen der leuchtende Körper näher, treffen somit mehr Ätherwellen in der Secunde ein, als wenn der Körper in Ruhe wäre,

dann rückt das ganze Farbenband und mit ihm rücken auch die dunklen Linien jener Gegend des Spectrums näher, wo sich die violetten Lichtarten befinden, weil eben diese durch eine größere Anzahl von Ätherwellen erzeugt werden. Zwei Bedingungen für die praktische Anwendung dieser Gedankenfolge werden bei einer kurzen Überlegung klar werden. Einerseits darf als Lichtquelle kein weißglühender Körper fungieren, weil ein solcher ein continuierliches, also ein von dunklen Linien nicht unterbrochenes Farbenband im Spectroskop erzeugt. Seine Bewegung würde wohl das Spectrum verschieben, man würde aber davon nichts gewahren; es würden nämlich, z. B. bei einer Annäherung, das ganze Band etwas gegen das Violett hinrücken, ein Stückchen des Violett in das dem Auge nicht sichtbare Ultraviolett rücken und andererseits aus dem ebenfalls uns unsichtbaren Ultraroth ein Stückchen ins sichtbare Spectrum hineinwandern, im ganzen würde aber das Farbenband trotz dieser Verschiebung keine Änderung aufweisen. Es sind also die dunklen Linien, die ein Farbenband unterbrechen, zugleich jene Stellen desselben, an welchen man Verschiebungen wahrnehmen kann; auch kann man solche bei Spectren, die nur aus hellen Linien bestehen, beobachten. Erstere Spectren verdanken bekanntlich ihre Entstehung glühenden Körper, die von einer bestimmte Strahlenarten verschluckenden Hülle umgeben sind; letztere werden von glühenden Gasen erzeugt. Die zweite Bedingung der praktischen Anwendung von Dopplers

Idee besteht darin, dass man zur Feststellung des Vorhandenseins einer Verschiebung der Linien im Spectrum das letztere mit dem einer ruhenden Lichtquelle stets vergleichen muss, die eine oder das andere chemische Element, welches in der bewegten Lichtquelle vorkommt, ebenfalls in glühendem Zustande enthält, z. B. Wasserstoff oder Eisen. Dieser Gedankengang war bald gebildet, als die richtige Erkenntnis von der Beschaffenheit der Fixsternspectra sich Bahn gebrochen hatte. Aber der praktischen Anwendung stellten sich ungeheure Schwierigkeiten entgegen; vor allem jene, welche durch die riesige Geschwindigkeit des Lichtes — dieses legt bekanntlich in einer Secunde 300.000 *km* zurück — bedingt wurde. Die Größe der Verschiebung einer Linie, die in dem einen Spectrum von einem bewegten leuchtenden Körper, in dem zweiten, dem Vergleichsspectrum, von der ruhenden Lichtquelle erzeugt wird, hängt — genau so wie die oben besprochene Änderung des Tones auch von dem Verhältnis der Geschwindigkeit des bewegten Schallerregers zu jener des Schalles abhängt — von dem verkehrten Verhältnis der Geschwindigkeit des Lichtes zu jener Geschwindigkeit ab, mit welcher sich der leuchtende Körper auf uns zu oder von uns weg bewegt. Bedenkt man, dass die Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Himmelskörper bewegen, im allgemeinen keine sehr großen genannt werden können, so ergibt sich leicht der Schluss, dass das Verhältnis einer solchen Geschwindigkeit zu jener des Lichtes durch einen kleinen, sehr kleinen Bruch

dargestellt wird, und dass infolge dessen auch die Verschiebung derselben Linie im zweiten Spectrum gegen ihren Ort im ersten Spectrum eine ganz geringfügige ist und für die optische Wahrnehmung schon hieraus eine kaum überwindbare Schwierigkeit folgt. Es würde zu weit führen, wenn hier alle hierauf bezüglichen Versuche geschildert werden sollten und einzelne Erfolge besprochen würden, wie solche z. B. hinsichtlich der Beobachtung der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Sonne um ihre Achse dreht, durch Vergleichung der Linien des von den auf uns zu sich bewegenden Randpartien entworfenen Spectrums mit den Linien, welche von jenen Randpartien, die sich wegen der Achsendrehung von uns wegbewegen, herkommen, erzielt wurden. Es darf aber behauptet werden, dass die lange Zeit hindurch fortgesetzten Anstrengungen einzelner Forscher, die wirklich nicht bloß als Meister, sondern geradezu als Schöpfer der modernen astrospectroskopischen Beobachtungskunst gelten dürfen, in Bezug auf die praktische Verwertung der auseinandergesetzten Theorie zur Bestimmung der Geschwindigkeiten, mit welchen sich einzelne Sterne in der Richtung, in welcher wir nach denselben blicken, an den Hindernissen, mit denen der Spectroskopiker überhaupt und insbesondere bei so delicaten Arbeiten zu kämpfen hat, gescheitert sind. Erst in jüngster Zeit hat man auf der Lick-Sternwarte auf dem Mount Hamilton in Californien, dank der günstigen Höhenlage dieses Observatoriums, der kolossalen Lichtstärke des daselbst

befindlichen Fernrohres, sowie der Ausdauer der dort thätigen ausgezeichneten Astrophysiker durch directe spectroscopische Beobachtungen einige Erfolge auf dem in Rede stehenden Gebiete erzielt — die Lichtbildkunst ihrerseits hat aber schon früher durch Aufnahmen von Sternspectren und von zugehörigen Vergleichspectren mit einem kleineren Teleskop, welches nicht in so besonders günstiger Höhenlage aufgestellt war, die praktische Lösung des Problems ermöglicht. Es ist dies durch jene Aufnahmen von Sternspectren gelungen, welche von Geheimrath Vogel und Professor Scheiner auf dem Observatorium zu Potsdam erhalten worden sind. Auch in diesem Falle hat die Photographie ihre hohen Vorzüge, welche bereits wiederholt betont wurden, bewährt und ihre Überlegenheit über die directe Beobachtung bewiesen. Es muss aber mit allem Nachdruck auf die Thatsache aufmerksam gemacht werden, dass die Vorzüge der Lichtbildkunst allein den großartigen Erfolg bei deren Anwendung nicht mit sich gebracht haben; sondern dass derselbe auch wesentlich dadurch erreicht worden ist, dass diese feinen und mühevollen Studien von Forschern ausgeführt wurden, welche in sämtlichen hier in Frage kommenden Gebieten theoretischer wie experimenteller Natur gewirkt, und zwar oft bahnbrechend gewirkt haben. Ehe nun die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeiten dargelegt werden, sei es noch gestattet, auf zwei sehr interessante Punkte, welche hier in Betracht kommen, besonders aufmerksam zu machen. Die Lösung

der schwierigen Aufgabe, an welche die Astrophysiker der Potsdamer Sternwarte herantraten, erforderte ein glattes Functionieren sämmtlicher Theile des feinen und complicierten spectrographischen Apparates, weshalb es wünschenswert erschien, eine ganz unabhängige Probe hiefür durchzuführen. Die Möglichkeit einer solchen Controle bieten die Planeten dar; speciell der hellste derselben, die Venus, ist zu solchen Prüfungen aus mehreren Gründen sehr geeignet. Ein Planet bewegt sich nämlich ebenso wie die Erde um die Sonne; es ändern sich somit seine Abstände von der Erde fortwährend, was zur unmittelbaren Folge hat, dass die in dem vom Planeten entworfenen Spectrum auftretenden dunklen Linien gegen die gleichartigen einer ruhenden irdischen Lichtquelle verschoben erscheinen müssen. Aus dem Sinne der Verschiebung kann man nun — wie oben auseinandergesetzt — auf den Sinn der Bewegung des Planeten in Bezug auf die Erde schließen und aus der Größe der Verschiebung die Geschwindigkeit dieser Bewegung zur Zeit der Aufnahme, d. h. die Anzahl Kilometer, welche der Planet in der Secunde in der Linie: Erde—Planet zurücklegt, ermitteln. Andererseits ist man aber in der Lage, diese Geschwindigkeit ohne Benützung des Spectroskops, bloß durch eine sehr einfache Rechnung zu finden. Man kennt ja die Lage und die Dimensionen der Bahnen der Erde und des betreffenden Planeten, sowie ihre Orte sehr genau und kann aus diesen bekannten Größen leicht für jeden Augenblick den gegenseitigen Abstand

beider Himmelskörper bestimmen. Eine weitere kleine Rechnung gibt dann die Änderung dieses Abstandes in einer Zeitsecunde, und dies ist eben die gesuchte Geschwindigkeit des Planeten in Bezug auf die Erde für den betreffenden Augenblick. Die auf diesem Rechnungsweg gefundenen Geschwindigkeiten sind sehr sicher — die berechneten in Kilometern ausgedrückten Angaben dürften kaum um mehr als 1<sup>0</sup>/<sub>10</sub> ihres Betrages von der Wahrheit abweichen.

Bestimmt man nun auf spectrographischem Wege die Geschwindigkeit eines Planeten, z. B. der Venus, in Bezug auf die Erde und vergleicht den durch Ausmessung der Linienverschiebung ermittelten Betrag dieser Geschwindigkeit mit dem hievon ganz unabhängigen Ergebnis der directen Rechnung, so wird die obwaltende Übereinstimmung einen Rückschluss auf die beim spectrographischen Verfahren erreichte Schärfe und Genauigkeit zu machen erlauben. Solche Proben hat man in Potsdam ausgeführt; das folgende Täfelchen gibt ihre Ergebnisse wieder und gestattet dem Leser, sich eine Vorstellung von der erzielten Genauigkeit zu bilden.

Tag der Aufnahme	Geschwindigkeit der Venus in der Absehenslinie, bestimmt	
	auf spektro- graphischem Weg	durch Rechnung
1888 December 7 . . .	— 11·0 <i>km</i>	— 10·5 <i>km</i>
1889 Januar 2 . . . . .	— 12·5 „	— 11·6 „
1889 Februar 10 . . . . .	— 11·6 „	— 12·8 „

Das Zeichen vor den Zahlenangaben gibt den Sinn der Bewegung der Venus in Bezug auf die Erde an, und zwar bedeutet das negative Zeichen, dass der Abstand der beiden Himmelskörper sich verkleinerte, dass sich also Venus der Erde näherte; ein positives würde auf wachsende Entfernung deuten.

Wie man sieht, ist die Übereinstimmung eine befriedigende und gestattet den Schluss, dass die spectrographisch ermittelten Geschwindigkeiten recht genau sind. Ein weiter unten angeführtes Beispiel, welches eine Reihe von Bestimmungen der Geschwindigkeit eines Fixsternes enthält, führt durch die Übereinstimmung der einzelnen Resultate zu demselben Schluss. Diese bezüglich der Genauigkeit der spectrographischen Aufnahmen sehr befriedigenden Ergebnisse eröffnen für diese neue Methode der astronomischen Forschung eine Perspective von ganz besonderer Bedeutung, der hier gedacht werden möge. Es steht gewiss zu hoffen, dass es kommenden Zeiten gelingen wird, die Schärfe und Genauigkeit der spectrographischen Ermittlungen noch erheblich zu steigern, und dann wird man daran gehen können, dieselben zur Lösung einer scheinbar ganz ferne liegenden Aufgabe, die zu den wichtigsten der gesammten Astronomie zählt, zu verwenden, nämlich zur Bestimmung der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, zur Messung dieses Maßstabes der Astronomen. Ist nämlich einmal die Genauigkeit der spectrographischen Methode eine wesentlich größere geworden, so wird man die spectrographisch ermittelten



Geschwindigkeiten der Planeten in Bezug auf die Erde zur Controle der durch die Rechnung bestimmten benutzen können. Der numerische Betrag der letzteren hängt aber von dem in Kilometern ausgedrückten Werte, welchen man für die Entfernung der Erde von der Sonne annimmt, ab; man kann somit, wenn seinerzeit einmal die spectrographischen Resultate eine entsprechende Genauigkeit erreicht haben, aus ihnen einen genaueren Wert für den Abstand: Sonne—Erde ermitteln. Die Verwirklichung dieses Gedankens liegt wohl noch in weiter Ferne; er gibt aber neuerlich eine Vorstellung von der wachsenden Bedeutung der astrophysikalischen Methoden für die gesammte Astronomie. Diese Andeutung über Ergebnisse, welche die Photographie der Planetenspectra künftig zu liefern berufen sein dürfte, möge hier genügen und nun der zweite Punkt, dessen Erörterung für die Erkenntnis des spectrographischen Verfahrens zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Fixsterne in der Absehenslinie von besonderer Wichtigkeit ist, zur Besprechung gelangen. Eine leichte Überlegung wird jeden zur Überzeugung bringen, dass es für die Erscheinungen, welche bei den in Rede stehenden Bewegungen im Spectroskop beobachtet oder mittels des Spectrographen abgebildet werden, gleichgiltig ist, ob sich der Wellenerreger in Bewegung befindet, oder ob jenes Object, welches die Wellen aufnimmt, sich bewegt. Bei den Beobachtungen der Bewegungen der Sterne treten nun die beiden eben genannten Fälle zugleich auf: einerseits bewegt sich

der Wellenerreger — der Stern, andererseits befinden sich die Apparate, mit welchen die Beobachtungen ausgeführt werden — seien dies nun Spectroskope oder Spectrographen — auf der Erde. Und die Erde bewegt sich auch, und zwar in einem doppelten Sinn: sie besitzt eine Bewegung um ihre Achse und eine zweite, die sie um die Sonne führt. Die Achsendrehung der Erde vollzieht sich nun mit einer für die hier in Betracht kommenden Verhältnisse so kleinen Geschwindigkeit, dass man ihren Einfluss überhaupt vernachlässigen darf. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Erde um die Sonne bewegt, ist hingegen eine so beträchtliche, dass man sie unbedingt in Rechnung ziehen muss. Es geschieht dies dadurch, dass man den Theil der jeweiligen Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, der in jene Richtung, in welcher wir nach dem Stern blicken, dessen Spectrum eben photographisch aufgenommen wird, fällt, durch eine wieder sehr einfache Rechnung ermittelt. Der so gefundene Betrag wird dann zu der durch die Vergleichung gleichartiger Linien der photographischen Aufnahmen des Sternspectrum und des Spectrum einer irdischen Lichtquelle bestimmten Geschwindigkeit addiert, wenn es sich zeigt, dass Erde und Stern sich gegen einander bewegen, oder subtrahiert, wenn sich die Erde vom Stern entfernt. Die Ausführung dieser kleinen Rechnung nennt man die Reduction der Geschwindigkeit auf die Sonne. Welche Beträge bei dieser Umrechnung in Frage kommen, kann man aus dem in der nachste-

henden Tabelle enthaltenen Beispiel ersehen, welches den Publicationen des Potsdamer Observatoriums entlehnt ist.

Die Aufnahmen betrafen das Spectrum eines der hellsten Sterne des Himmels, nämlich das der Capella, des Hauptsternes im Sternbilde des Fuhrmanns.

Tag der Aufnahme	Spectrographisch bestimmte Geschwindigkeit des Sternes	Reduction auf die Sonne	Geschwindigkeit des Sternes in Bezug auf die Sonne
1888 October 22 .	+ 4·0 <i>km</i>	+20·9 <i>km</i>	+24·9 <i>km</i>
October 28 .	+ 1·1 "	+18·9 "	+20·0 "
November 9 .	+ 7·6 "	+14·3 "	+21·9 "
December 1	+20·8 "	+ 4·6 "	+25·4 "
December 13	+23·3 "	— 1·2 "	+22·1 "
1889 Januar 2 . .	+32·1 "	—10·5 "	+21·6 "
Februar 5 .	+55·0 "	—23·0 "	+32·0 "
März 6 . . .	+57·6 "	—26·2 "	+31·4 "

Aus dieser Tafel ersieht man, wie sehr die Bewegung der Erde bei diesen Beobachtungen mit ins Spiel kommt, und gelangt bei der Betrachtung der Zahlen zur Überzeugung, dass eine Vernachlässigung derselben geradezu eine Fälschung der Resultate bedeuten würde. Überdies kann man aus der Tabelle auch entnehmen, dass die Genauigkeit, welche sich bei diesen Arbeiten bereits jetzt erreichen lässt, keine unbeträchtliche genannt werden darf. Es muss hiebei noch dem Umstand Rechnung getragen werden, dass einige der

hier angeführten Ergebnisse durch Ausmessungen von Spectralaufnahmen, bei welchen die äußeren Verhältnisse keine ganz günstigen waren, erhalten worden sind.

Für Physiker ist noch die Angabe von Interesse, dass in Potsdam zur Bestimmung der Linienverschiebungen eine im Violett gelegene Linie des Wasserstoffspectrums benützt worden ist, deren Wellenlänge 434·07 Milliontel eines Millimeters beträgt; nur für die Bestimmung der Bewegung des Sirius in der Absehenslinie sind Linien des Eisenspectrums verwendet worden.

Diese Erörterungen werden nun die nachstehende Tafel, welche die Ergebnisse der bezüglichen spectrographischen Aufnahmen zu Potsdam wiedergibt, ohne weitere Erklärung verständlich erscheinen lassen. Sie gibt die Namen, die Größen und den auf den Anfang des Jahres 1900 bezogenen Ort der nach ihren geraden Aufsteigungen geordneten Sterne, sowie die bereits auf die Sonne reducierten Geschwindigkeiten derselben, d. h. die Anzahl Kilometer, welche jeder dieser Sterne in der Richtung Sonne—Stern in einer Secunde zurücklegt. Ein negatives Zeichen zeigt eine Annäherung des Sternes an, ein positives deutet auf eine mit der Zeit steigende Entfernung.

Stern	Größe	Gerade Aufsteigung	Abweichung + nördl., — südl.	Ge- schwin- digkeit in km
α Andromedae . . .	2.	0 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	+28° 32' 3	+ 4·5
β Cassiopeiae . . .	2.	0 3 49	+58 35·9	+ 5·2

Stern	Größe	Gerade Aufsteigung	Abweichung + nördl., — südl.	Ge- schwin- digkeit in km.
$\alpha$ Cassiopeiae . . . .	2.-3.	0 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup>	+55° 59' 3	-15·6
$\gamma$ Cassiopeiae . . . .	2.	0 50 40	+60 10·5	- 3·7
$\beta$ Andromedae . . . .	2.	1 4 7	+35 5·4	+11·1
$\alpha$ Urs. min. (Polarstern)	2.	1 22 27	+88 46·4	-25·9
$\gamma$ Andromedae . . . .	2.	1 57 43	+41 50·9	-12·6
$\alpha$ Arietis . . . . .	2.	2 1 32	+22 59·4	-14·8
$\beta$ Persei (Algol) . . .	2.-4.	3 1 38	+40 34·2	- 1·5
$\alpha$ Persei . . . . .	2.	3 17 10	+49 30·3	-10·4
$\alpha$ Tauri (Aldebaran)	1.	4 30 10	+16 18·5	+48·2
$\alpha$ Aurigae (Capella)	1.	5 9 17	+45 53·8	+24·5
$\beta$ Orionis . . . . .	1.	5 9 42	- 8 19·0	+16·3
$\gamma$ Orionis . . . . .	2.	5 19 46	+ 6 15·5	+ 8·9
$\beta$ Tauri . . . . .	2.	5 19 58	+28 31·4	+ 8·2
$\delta$ Orionis . . . . .	3.	5 26 53	- 0 22·4	+ 0·7
$\epsilon$ Orionis . . . . .	2.	5 31 8	- 1 15·9	+26·7
$\zeta$ Orionis . . . . .	2.	5 35 43	- 1 59·7	+14·8
$\alpha$ Orionis (Beteugauze)	1.	5 49 45	+ 7 23·3	+17·1
$\beta$ Aurigae . . . . .	2.	5 52 11	+44 56·3	-28·2
$\gamma$ Geminorum . . . .	2.	6 31 55	+16 29·1	-16·3
$\alpha$ Canis majoris (Sirius)	1.	6 40 44	-16 34·7	-15·6
$\alpha$ Geminorum (Kastor)	2.	7 28 10	+32 6·5	-29·7
$\alpha$ Canis min. (Procyon)	1.	7 34 3	+ 5 28·9	- 8·9
$\beta$ Geminorum (Pollux)	1.	7 39 11	+28 16·0	+ 1·5
$\alpha$ Leonis (Regulus)	1.	10 3 3	+12 27·4	- 8·9
$\gamma$ Leonis . . . . .	1.	10 14 14	+20 20·9	-38·6
$\beta$ Ursae majoris . . .	2.	10 55 48	+56 55·1	-29·7
$\alpha$ Ursae majoris . . .	2.	10 57 34	+62 17·4	-11·9
$\delta$ Leonis . . . . .	2.	11 8 47	+21 4·3	-14·1
$\beta$ Leonis (Denebola)	2.	11 43 57	+15 7·9	-11·9
$\gamma$ Ursae majoris . . .	2.	11 48 33	+54 15·0	-26·7

Stern	Größe	Gerade Aufsteigung	Abweichung + nördl., — südl.	Ge- schwin- digkeit in km
ε Ursae majoris . .	2.	12 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup> 38 <sup>s</sup>	+56° 30' 2	— 30·4
α Virginis (Spica) .	1.	13 19 55	— 10 38·4	— 14·8
ζ Ursae majoris (Mizar)	2.	13 19 55	+55 26·8	— 31·2
η Ursae majoris . .	2.	13 43 35	+49 48·7	— 25·9
α Bootis (Arkturus)	1.	14 11 6	+19 42·2	— 7·4
ε Bootis . . . . .	2.	14 40 37	+27 33·8	— 16·3
β Ursae minoris . .	2.	14 51 0	+74 33·8	+14·1
β Librae . . . . .	2.	15 11 38	— 9 0·9	— 9·7
α Coron. borealis . .	2.	15 30 27	+27 3·1	+31·9
α Serpentis . . . . .	2.	15 39 21	+ 6 44·4	+22·2
β Herkulis . . . . .	2.	16 25 55	+21 42·4	— 35·6
α Ophiuchi . . . . .	2.	17 30 17	+12 37·9	+19·3
α Lyrae (Wega) . .	1.	18 33 33	+38 41·4	— 15·6
α Aquilae (Altair) .	1.	19 45 54	+ 8 36·2	— 37·1
γ Cygni . . . . .	2.	20 18 37	+39 56·2	— 6·7
α Cygni (Deneb) . .	2.	20 38 1	+44 55·4	— 8·2
ε Pegasi . . . . .	2.	21 39 27	+ 9 25·0	+ 8·2
β Pegasi . . . . .	2.-3.	22 58 56	+27 32·4	+ 6·7
α Pegasi . . . . .	2.	22 59 46	+14 40·1	+ 1·5

Diese Tabelle gibt, trotzdem sie nur 51 Sterne enthält, bereits eine zureichende Vorstellung von der Größe der Bewegungen der Sterne in der Absehenslinie. Sie enthält nur hellere Sterne, weil die Dimensionen des Potsdamer Fernrohres, welches eine Öffnung von nur 30 cm hat, die Anstellung der bezüglichen Spectraluntersuchungen an schwächeren Sternen nicht mehr in befriedigender Weise durchzuführen gestattete. Nach dem Bekanntwerden der ersten Ergebnisse der Pots-

damer spectrographischen Forschungen haben die Astrophysiker Deslandres in Paris, Newall in Cambridge (England) und Belopolsky in Pulkowa bei St. Petersburg unter Benützung bedeutend mächtigerer Instrumente spectralphotographische Studien ausgeführt.

So hat Belopolsky die Geschwindigkeit des Sternes  $\delta$  Cephei — eines Sternes von veränderlicher Helligkeit, dessen Ort durch die gerade Aufsteigung von  $22^{\text{h}} 25^{\text{m}} 24^{\text{s}}$  und die nördliche Abweichung von  $57^{\circ} 54'$  gegeben ist — zu  $24.5 \text{ km}$  bestimmt, und zwar nähert sich uns dieser Stern in jeder Secunde um den genannten Betrag. Belopolsky hatte ein sehr großes Fernrohr — den Repsold'schen Refractor der Pulkowaer Sternwarte, dessen Öffnung  $76 \text{ cm}$  im Durchmesser misst — zeitweilig für seine spectrographischen Arbeiten zur Verfügung, weshalb er auch etwas lichtschwächere Objecte in Hinsicht auf ihre Bewegung in der Absehenslinie beobachten konnte. Ein solches Object ist z. B. der berühmte 61. Stern im Sternbilde des Schwans, welcher die ziemlich starke, scheinbare eigene Bewegung von  $5.2''$  im Jahr zeigt und deshalb von Bessel besonders in Betracht gezogen wurde, als dieser bisher noch nicht übertroffene Meister auf dem Gebiete astronomischer Beobachtungskunst die Entfernung einzelner Sterne von uns zu bestimmen versuchte. Nach Belopolskys Untersuchungen nähert sich dieser Stern sechster Größe der Sonne in jeder Secunde um  $54.2 \text{ km}$ ; er übertrifft somit an Geschwindigkeit sämmtliche in Potsdam beobachteten weit helleren Sterne. Doch ist diese Ge-

schwindigkeit noch nicht die größte bisher bekannte; am schnellsten bewegt sich, und zwar ebenfalls gegen die Sonne zu ein Stern dritter Größe,  $\zeta$  Herkulis, welcher nach Belopolskys Ermittlungen  $70.5 \text{ km}$  in der Secunde zurücklegt.<sup>1)</sup> Diese Thatsache gibt in Verbindung mit verschiedenen Erwägungen und dem an einer früheren Stelle angeführten Ergebnisse anderweitiger astronomischer Studien, dass unsere Sonne sich gegen das Sternbild des Herkules bewegt, Anlass zur Frage, ob nicht auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne die Räume des Himmels durchzieht, sich bestimmen lässt. Dass die spectrographischen Arbeiten die Existenz dieser Bewegung überhaupt bestätigen, kann nicht bezweifelt werden. Eine solche Bestätigung liegt auch in der Wahrnehmung, welche man bei aufmerksamer Durchsicht der auf den vorigen Seiten befindlichen Tabelle macht; man ersieht aus derselben, dass z. B. alle Sterne des Orion sich von uns zu entfernen scheinen, während die zum großen Bären gehörenden sich uns nähern. Kann nicht diesen auffälligen Erscheinungen die Ursache zu Grunde liegen, dass unsere Sonne, auf welche alle diese Geschwindigkeiten bezogen werden, selbst eine ziemlich große Geschwindigkeit besitzt? Sie führt uns in einer bestimmten, bereits bekannten Richtung; es werden also die dort befindlichen Sterne rascher auf uns zuzueilen

---

<sup>1)</sup> Nach Deslandres' Beobachtungen beträgt die Geschwindigkeit dieses Sternes  $61.7 \text{ km}$ .



scheinen, während in jenen Gegenden des Himmels, von welchen wir uns infolge der Bewegung der Sonne entfernen, sich die Sterne mit einer deshalb vorwiegend positiven Geschwindigkeit bewegen. Die bezüglichlichen Untersuchungen obliegen dem rechnenden Astronomen, welcher aus den gegebenen Geschwindigkeiten der Sterne den wahrscheinlichsten Wert der Geschwindigkeit der Sonne abzuleiten hat; sie wurden unter Benützung der Ergebnisse der Potsdamer Beobachtungen von dem Observator der dortigen Sternwarte Dr. Kempf ausgeführt. Nach diesen Rechnungen legt die Sonne in jeder Secunde etwa 13 *km* zurück, welche Angabe nur um wenige Kilometer unsicher sein dürfte. Allerdings ist zu erwägen, dass als Grundlagen dieser Rechnungen nur die Geschwindigkeiten der verhältnismäßig geringen Zahl von 51 Sternen — so viel Sterne hat man in Potsdam untersucht — benützt werden konnten; doch liegt hierin keine Ursache, welche zu einem Zweifel an der Reellität des Ergebnisses dieses ersten unter Benützung zuverlässiger Daten gemachten Versuches einer Bestimmung der Größe der Geschwindigkeit der Sonne berechtigen würde. Aufgabe späterer Zeiten wird es sein, den Betrag dieser Geschwindigkeit genauer zu ermitteln, und dies wird um so eher und leichter möglich sein, je mehr Sterne bezüglich ihrer Bewegung in der Absehlinie untersucht sein werden, wobei besonders solche, die sich in der Nähe des Zielpunktes der Sonnenbewegung, und solche, welche sich demselben gerade gegenüber befinden, in die Untersuchungen einzubeziehen wären.

Überblickt man die bisher geschilderten Arbeiten, welche die Anwendung des photographischen Verfahrens theils wesentlich erleichtert, theils überhaupt erst ermöglicht hat, so gewinnt man die Überzeugung, dass die Lichtbildkunst ein gegenwärtig unentbehrliches Hilfsmittel sowohl der Astronomie wie auch der Astrophysik geworden ist, und dass ihr auch das nicht zu unterschätzende Verdienst zukommt, diese beiden Zweige der Himmelskunde neuerlich vereint zu haben; sie hat — um Worte H. C. Vogels zu gebrauchen — durch die Realisierung des Gedankens, auf spectrokopischem Wege die Geschwindigkeiten der Sternbewegungen in der Gesichtslinie zu ermitteln, ein festes Verbindungsglied zwischen der eigentlichen Astronomie und der Astrophysik geschaffen, welches beide schon so nahe verwandte Wissenschaften nunmehr aufs engste verbunden und eine vielleicht zu befürchtende allmähliche Trennung derselben unmöglich gemacht hat.

Wie nun jede große That auf dem Gebiete der exacten Forschung außer ihrem Haupterfolg auch andere, nicht beabsichtigte und zumeist nicht geahnte Ergebnisse liefert, so haben auch die spectrographischen Arbeiten, welche die Bestimmung der Geschwindigkeit der Sterne zum Ziele hatten, ebenfalls noch zu weiteren wichtigen Resultaten geführt. Eines derselben, welches interessante Aufschlüsse über die Oberflächentemperatur der Fixsterne anbahnt, ist bereits an einer früheren Stelle besprochen worden. Ein weiteres Ergebnis dieser Untersuchungen ist in der Entdeckung

zu erblicken, welche dabei hinsichtlich der Beschaffenheit einzelner Sterne von zum Theil veränderlicher Helligkeit gemacht wurde. Die spectrographischen Beobachtungen haben nämlich gewisse Sterne als Doppelsterne erkennen lassen. Als ein besonders hervorragendes Glied dieser Gruppe kann der Stern Algol (im Sternbild des Perseus) gelten. Die Veränderlichkeit seines Lichtes entdeckte bereits im Jahre 1667 Montanari, doch bemerkte erst Goodricke im Jahre 1782 den absonderlichen Verlauf der Helligkeitsänderungen, welche später Argelander, Pickering und Schönfeld genau verfolgten. Nach Scheiners Untersuchungen strahlt Algol durch etwa 2 Tage  $11\frac{1}{2}$  Stunden in gleicher Helligkeit, dann sinkt dieselbe während 4 Stunden 50 Minuten um mehr als eine Größenklasse (genauer  $1\cdot05$  Größenklassen); hierauf steigt Algol während 4 Stunden 55 Minuten zu seinem vollen Glanze an, den er wieder während 2 Tagen  $11\frac{1}{2}$  Stunden beibehält und dann spielen sich die geschilderten Erscheinungen aufs Neue ab. Zur Erklärung dieses merkwürdigen Verhaltens hat man bald, nachdem die Einzelheiten festgestellt waren, die Annahme gemacht, dass Algol von einem dunklen oder nur sehr wenig leuchtenden Körper von ziemlich bedeutenden Dimensionen umkreist wird und wir diese regelmäßig auftretenden und regelmäßig verlaufenden Helligkeitsänderungen eigentlich als theilweise Verfinsterungen des Algol zu betrachten hätten, welche während jedes Vorüberganges dieses dunklen Körpers vor Algol sich ereignen.

Nach dieser Voraussetzung wäre also Algol ein äußerst enger Doppelstern, dessen beide Componenten — die eine hell leuchtend, die andere wenig, vielleicht gar kein Licht ausstrahlend — sehr beträchtliche Massen besitzen und verhältnismäßig nicht weit von einander abstehen. Hierin lag eine bedeutende Schwierigkeit, welche sich dieser Erklärung entgegenstellte; man konnte nicht glauben, dass ein solches System unter solchen Umständen als ein stabiles betrachtet werden dürfe. Die Frage, ob Algol thatsächlich ein solcher Doppelstern ist, konnte auf Grund des Doppler'schen Principes mit Hilfe des Spectroskops gelöst werden. Die beiden Doppelstern-Componenten bewegen sich nämlich um den gemeinsamen Schwerpunkt, welcher bei den Verhältnissen der beiden Massen außerhalb des Hauptkörpers liegt. Somit bewegt sich auch die leuchtende Componente um diesen Schwerpunkt; eine Bewegung, von welcher die messende Astronomie nichts wahrnimmt, weil die Dimensionen der Bahn des Algol im Verhältnis zu seiner Entfernung viel zu klein sind, um mit Hilfe auch der feinsten Messapparate wahrgenommen zu werden. Dagegen bewirkt die Bewegung eines Sternes um einen außerhalb befindlichen Schwerpunkt einen zweimaligen Wechsel seiner Bewegungsrichtung in Bezug auf die Sonne während jedes seiner Umläufe, natürlicherweise ist auch die Geschwindigkeit, mit der sich der Stern gegen die Sonne zu bewegen scheint, eine veränderliche — beide Erscheinungen müssen nach Dopplers Princip in Verschie-

bungen der Linien des Spectrums des Sternes zum Ausdruck kommen. Die photographischen Aufnahmen des Algolspectrums haben nun in der That diese eigenthümliche Veränderlichkeit der Linienverschiebungen erkennen lassen. Die Messungen der auf die Sonne reducierten Geschwindigkeiten haben nämlich für die Geschwindigkeit der Bewegung Algols in der Gesichtslinie die in dem folgenden Täfelchen enthaltenen Werte ergeben.

Tag der Aufnahme	Beobachtete Geschwindigkeit
1888 December 4 .	—38·9 <i>km</i>
1889 Januar 6 . .	+31·4 "
Januar 9 . .	+43·9 "
November 13	—38·9 "
November 23	+38·2 "
November 26	+38·0 "
December 21	—28·7 "
1890 Januar 1 . .	—40·4 "
Januar 3 . .	+20·5 "
September 13	—43·8 "
October 13 .	+34·5 "
1891 März 17 . .	+34·9 "

Der wahrscheinliche Fehler einer solchen Beobachtung beträgt etwa 2 *km*; es ist also zweifellos, dass diese Angaben wirklich die jeweilige Bewegung Algols darstellen. Man sieht, dass sich Algol — ganz wie dies die oben auseinandergesetzte Hypothese verlangt — abwechselnd auf uns zu und von uns weg

bewegt. Es trat jetzt an die rechnenden Astronomen die Aufgabe heran, diese Daten in Verbindung mit den vorhin angeführten Elementen des Lichtwechsels Algols zu einer Bestimmung der Dimensionen des Doppelsternsystems zu benützen. Die Dauer eines Umlaufes war durch die Größe der Periode eines vollen Lichtwechsels gegeben — sie beträgt also 68 Stunden 49 Minuten. Nimmt man nun an, dass die Bewegung in einer kreisförmigen Bahn vor sich geht, so lassen sich aus der vorstehenden Tabelle als Betrag der Geschwindigkeit Algols in seiner Bahn die Zahl von 42 *km* ableiten und zugleich für die Geschwindigkeit, mit der sich das ganze System gegen uns bewegt, der Betrag von 2 *km* ermitteln. Der Lichtwechsel Algols umfasst (wie oben bemerkt) 1.05 Größenklassen. Da nun nach den Grundsätzen der Astrophotometrie ein Stern dann als um eine Größenklasse schwächer wie ein zweiter zu bezeichnen ist, wenn seine Helligkeit nur vier Zehnthelle der Helligkeit des letzteren beträgt, so beträgt die Helligkeit Algols zur Zeit seines kleinsten Lichtes nur 38 Hunderttheile seiner größten Helligkeit;<sup>1)</sup> der Begleiter raubt also 0.62 derselben. Unter der Voraussetzung, dass sich die Mittelpunkte beider Körper bei den Vorübergängen von uns aus gesehen decken, ergibt sich als Folge einer einfachen Betrachtung, dass der Halbmesser des Begleiters gleich der Quadratwurzel aus dem zuletzt angeführten Betrage ist; er beträgt

---

<sup>1)</sup> Es ist nämlich:  $0.4 : 1.05 = 0.38$ .

also 0.79 des Halbmessers des Algol. Besitzen die beiden Körper des Algolsystems gleiche Dichte, so verhalten sich ihre Massen wie die Würfel der Halbmesser; somit wie 1 : 0.49. Algols Masse ist also unter den angeführten Voraussetzungen etwas mehr als doppelt so gross als die seines dunklen Begleiters. Dieselbe Beziehung gilt auch für die Abstände der beiden Himmelskörper von ihrem gemeinsamen Schwerpunkt und für ihre Bahngeschwindigkeiten. Die Bahngeschwindigkeit Algols ist oben zu 42 *km* angegeben worden, somit ist jene des Begleiters 89 *km*. Zur Zeit einer Algolfinsternis bewegen sich beide Himmelskörper an einander vorbei; es ist dies gleichbedeutend mit der Annahme, dass Algol in Ruhe bleibt, sein Begleiter aber mit einer Geschwindigkeit, welche der Summe der Geschwindigkeiten beider gleich ist; also 131 *km* in der Secunde betragen würde, an ihm vorüberziehen würde. Nun dauert eine Algolverfinsterung 9 Stunden 45 Minuten; doch hat Geheimrath Vogel nicht diesen Wert für die weiteren Rechnungen benützt, sondern für dieselben als Dauer der Verfinsterung nur  $\frac{2}{3}$  dieser Zeit angenommen, weil die merklichere Lichtänderung Algols nur diesen kleineren Zeitraum umfasst und man sich sowohl Algol als auch seinen Begleiter von mächtigen Atmosphären umgeben denken muss, deren gegenseitiger Vorübergang wohl einige Zeit in Anspruch — sowohl am Beginn als am Ende der Verfinsterung — nimmt. Unter diesen Annahmen ergeben sich dann folgende Dimensionen des Algolsystems:

Durchmesser des Algols . . . .	1,700.000	<i>km</i> ,
Durchmesser seines Begleiters .	1,330.000	"
Abstand der Mittelpunkte beider	5,180.000	"
Höhe	{ des Algols . . . . 400.000 " { des Begleiters . . . . 300.000 "	"
der Atmosphäre		"

Hiernach stehen die Atmosphären der beiden Körper etwa 3,000.000 *km* von einander ab; sie sind also ungefähr achtmal so weit von einander entfernt als der Mond von der Erde. Algols Masse ist auf etwa  $\frac{4}{9}$ , die des Begleiters auf  $\frac{2}{9}$  der Sonnenmasse zu veranschlagen. Den Weg zu diesen merkwürdigen Einzelheiten hat die Spectrographie erschlossen. Man darf aber ja nicht glauben, dass alle im Verlauf der geschilderten Rechnung gegebenen Ziffern unbedingt genau sind; sie gelten nur unter den angeführten Voraussetzungen; die Rechnung selbst soll nur die Bildung einer beiläufigen Vorstellung von den obwaltenden Verhältnissen ermöglichen und in einfacher Weise zeigen, wie man — dank der Benützung der photographischen Methode bei astrophysikalischen Untersuchungen — Aufschluss über das mehr als ein Jahrhundert alte Räthsel der Veränderlichkeit Algols gewonnen hat.

Veränderliche Sterne, die ein dem Algol ähnliches Verhalten zeigen, kennt man derzeit noch sieben. Man wird nunmehr auch bei diesen annehmen dürfen, dass sie eigentlich sehr enge Doppelsterne sind, deren eine Componente hell leuchtet. Es sei ausdrücklich bemerkt, dass die andere Componente durchaus nicht dunkel zu



sein braucht; sie kann sich in einem Glühzustande befinden und leuchten; doch dürfte jedenfalls ihre Leuchtkraft gegenüber jener des Hauptsternes ziemlich gering zu veranschlagen sein, z. B. muss die Helligkeit des Alglobegleiters kleiner als der achtzigste Theil der Helligkeit Algols sein. Da es zu weit führen würde, alle derartigen Specialuntersuchungen anzuführen, so sei hier noch der Thatsache gedacht, dass auch der hellste Stern im Sternbilde der Jungfrau, die Spica, sich genau so wie Algol als Doppelstern entpuppt hat. Von einer Veränderlichkeit der Spica ist aber nichts bekannt; man muss daher annehmen, dass die Bahn, in welcher sich der dunkle Begleiter um Spica bewegt, eine ziemliche Neigung gegen die Richtung, in welcher wir nach Spica blicken, besitzt; andernfalls würde er eben bei einem Vorübergang Spica theilweise verdunkeln und uns somit diesen Stern veränderlich erscheinen lassen. Bei dem Sterne  $\beta$  Aurigae zeigen zu verschiedenen Zeiten gemachte Aufnahmen, welche in Cambridge, Potsdam und in Paris erhalten wurden, die Spectrallinien oft doppelt, in anderen Fällen wieder einfach. Man hat es hier offenbar wieder mit einem sehr engen Doppelstern zu thun, bei dem aber beide Componenten leuchten, beide von Atmosphären umgeben sind und deshalb beide liniendurchzogene Spectren entwerfen. Da sich nun die beiden Componenten um den gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, so verändern sich ihre gegen unsere Sonne gerichteten Geschwindigkeiten fortwährend, und damit ändern auch

die Spectrallinien ihre Lage. Passieren die beiden Sterne in ihrer Bahn gerade die Richtung, in welcher wir nach ihnen blicken, der eine von rechts nach links, der andere von links nach rechts, so haben sie in diesem Augenblick gar keine auf uns zu gerichtete Geschwindigkeit, sondern nur eine seitliche; es werden daher die von denselben Dämpfen erzeugten dunklen Spectrallinien beider Sterne eine Verschiebung nicht zeigen können; dieselben werden zusammenfallen, d. h. einfach erscheinen. Nach einem Viertelumlauf geht der eine Stern direct von uns weg, der andere direct auf uns zu; es werden deshalb die vom ersteren herrührenden Spectrallinien etwas gegen das Roth und die gleichartigen durch den zweiten erzeugten gegen das Violett verschoben erscheinen; man erblickt daher statt jeder den beiden Spectren gemeinsamen, vorhin einfachen Linien nun ein Linienpaar, und zwar ist in dem skizzierten Fall der Abstand der Linien eines jeden solchen Paares der größtmöglichste. Man hat aus den bezüglichen Beobachtungen und Messungen die Umlaufzeit des Systems von  $\beta$  Aurigae zu 3 Tagen 23 Stunden 37 Minuten bestimmen können; der Abstand der beiden Sterne beträgt etwa 12,000.000 *km*. Ähnliche Erscheinungen wie bei  $\beta$  Aurigae hat man bei dem Sterne Mizar ( $\zeta$  ursae majoris) beobachtet; derselbe lässt alle 105 Tage Verdoppelungen der Spectrallinien erkennen. Auch Rigel ( $\beta$  Orionis), sowie der Stern  $\beta$  ursae minoris zeigen Spuren von Veränderungen im Spectrum. Besonderes Interesse beanspruchen die Atair ( $\alpha$  Aquilae)

betreffenden einschlägigen Studien von Deslandres, die vermuthlich durch eine Bemerkung von Professor Scheiner, welcher zuerst die Eigenthümlichkeiten von Atairs Spectrum bemerkt hat, angeregt worden sind. Dasselbe zeigt nämlich — wie dies bei allen weißen Sternen der Fall ist — die Linien des Wasserstoffgases und überdies auffällig breite Metalllinien. Es können hier nur die Ergebnisse der sich über drei Jahre erstreckenden Pariser Aufnahmen wiedergegeben werden. Dieselben lassen erkennen, dass Atair ein dreifacher Stern ist; auch hat Deslandres bei Atair das der Atmosphäre desselben eigenthümliche Licht nachweisen können.

Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass unter dem halben Hundert hellerer Sterne, welche bis jetzt in die Untersuchungen über die Bewegungen in der Gesichtslinie einbezogen worden sind, sich bereits eine verhältnismäßig stattliche Anzahl von Himmelskörpern vorfindet, deren eigenartige Beschaffenheit und deren Zustand vor den eben geschilderten Erfolgen der Spectralphotographie kaum geahnt werden konnte. Wie viele neue und wie großartige Entdeckungen mögen auf diesem Gebiete in kommenden Zeiten bevorstehen, welchen es beschieden ist, solche Untersuchungen auch auf weit lichtschwächere Sterne auszudehnen!

Mit diesem Ausblick in die Zukunft eines der herrlichsten Arbeitsgebiete, welche tiefere physikalische Erkenntnis der ausübenden astronomischen Forschung erschlossen hat, wollen wir von den Sternen Abschied

nehmen und als Schluss der Erörterungen über die Bedeutung der Photographie für die Erforschung der Beschaffenheit und der Bewegungen der Gestirne noch zweier Untersuchungen, welche die Planeten Jupiter und Saturn betreffen, gedenken. Diese Untersuchungen gründen sich auf eine systematische Anwendung des skizzierten Verfahrens zur Bestimmung von Rotationsgeschwindigkeiten und stützen sich in physikalischer Hinsicht zum Theil auf eine Weiterführung des Doppler'schen Lehrsatzes, weshalb sie zweckmäßig erst an dieser Stelle zur Besprechung gelangen.

Jupiter dreht sich bekanntlich in ungefähr 9 Stunden 55 Minuten einmal um seine Achse, sodass ein Punkt seines Äquators in einer Zeitsecunde  $12.4 \text{ km}$  zurücklegt. Nehmen wir nun der leichteren Übersicht wegen an, dass sich die Erde zur Zeit der im Folgenden erwähnten Beobachtungen genau in der von der Sonne zu Jupiter gezogenen Linie befinde, was etwa so viel sagen will, als dass Jupiter in Opposition zur Sonne stehe, so wird, weil die Umdrehungsachse dieses Planeten beinahe senkrecht auf der Ebene seiner Bahn steht, einer der am Rande der uns sichtbaren Planetenscheibe befindlichen Punkte des Jupiteräquators sich uns um  $12.4 \text{ km}$  in der Secunde nähern, der andere Endpunkt desselben Durchmessers sich um ebensoviele von uns entfernen. Die übrigen Punkte des Äquators werden in Bezug auf uns zwischen diesen Grenzen liegende Geschwindigkeiten zu besitzen scheinen; die Mitte des Planeten z. B. hat gar keine gegen uns zu oder von uns

weg gerichtete Geschwindigkeit, sondern nur eine seitliche. Der Geschwindigkeitsunterschied beträgt für die Endpunkte  $24.8 \text{ km}$ , ist also spectrographisch recht wohl ermittelbar. Bei diesen spectrographischen Aufnahmen treten aber keine Linienverschiebungen von der Art wie die früher besprochenen ein, sondern die Linien erhalten, wenn der Spalt des Spectroskops parallel zum Äquator des Planeten gerichtet ist, infolge des Umstandes, dass auf dem Äquator des Planeten alle Geschwindigkeiten zwischen  $+ 12.4$  und  $- 12.4 \text{ km}$  der Reihe nach vorkommen, eine schiefe Lage gegen die Vergleichslinie, weil eben eine Partie jeder Linie wegen der wachsenden Entfernung mehr oder weniger gegen das Roth, die andere Partie wegen der steigenden Annäherung der betreffenden Äquatorpunkte gegen die Erde weniger oder mehr gegen das Violett verschoben wird. Diese Thatsache ist gewiss interessant, bildet aber nicht die wichtigste Erscheinung, welche man an solchen Spectralphotographien wahrnehmen kann. Die letztere besteht vielmehr darin, dass die auf Grund von Ausmessungen der gewonnenen Spectrogramme bestimmten Unterschiede der Geschwindigkeiten der Endpunkte eines Planetendurchmessers doppelt so groß sind, als sie die Rechnung ergibt. Die Ursache für diese auf den ersten Blick befremdende Erscheinung ist aber leicht anzugeben. Jupiter leuchtet mit erborgtem Sonnenlicht, und die Größe der Linienverschiebungen bei Himmelskörpern, welche uns reflectiertes Licht zustrahlen, hängt ebenso von der Bewe-

gung dieser Himmelskörper gegen die ursprüngliche Lichtquelle, wie von ihrer Bewegung gegen unsere Erde ab. Daraus folgt sofort, dass die Geschwindigkeitsdifferenz im Spectroskop doppelt so groß erscheinen muss, als sie wirklich ist. Dieser Gedanke ist schon vor einem Vierteljahrhundert ausgesprochen worden. In letzter Zeit hat der Mathematiker Poincaré den Pariser Astrophysiker Deslandres zur experimentellen Prüfung dieser merkwürdigen Weiterführung des Dopplerschen Lehrsatzes aufgefordert, und dieser hat für die fragliche doppelte Geschwindigkeitsdifferenz im Mittel von vier Aufnahmen den Wert von  $48.3 \text{ km}$  gefunden — nur um  $1.3 \text{ km}$  weniger, als die Theorie verlangt. In diesem Erfolg der Spectrographie liegt ein schöner Beweis für die Richtigkeit des Doppler'schen Satzes; auch weist er den Weg zur Klärung mancher Frage, die heute noch in Astronomenkreisen als strittig gilt.

Eine solche lange Zeit hindurch strittige Frage, war in früheren Zeiten die nach der Beschaffenheit der Ringe des Saturn. Ob sie fest oder flüssig seien, ob das Ringsystem stabil sei, diese Fragen waren Gegenstände vieler mathematischer Untersuchungen, weil man sie durch directe Beobachtungen nicht entscheiden konnte. Es ist eine für alle Zeiten denkwürdige Thatsache, dass diese Probleme zuerst auf Grund theoretischer Erwägungen gelöst worden sind, dass die wahre Beschaffenheit der Ringe, welche Saturn umgeben, von dem berühmten Physiker Maxwell „mit der Spitze seiner Feder“ ergründet worden ist.

Maxwell bestätigte durch seine classische Untersuchung „On the stability of the motion of Saturn's rings“ die von dem älteren Cassini herrührende Ansicht, dass die Saturnringe aus einer Unzahl von sehr kleinen, ungemein nahe bei einander befindlichen Monden bestehen. Diese Ansicht hat — dank der überzeugenden Kraft der von Maxwell ins Feld geführten theoretischen Argumente — den Sieg über die früheren diesbezüglichen Meinungen davongetragen. Einen Beweis für ihre Richtigkeit hat die beobachtende Astronomie ihrerseits jedoch bis in die jüngste Zeit nicht geliefert, obwohl mehrfache Anstrengungen in dieser Hinsicht zu verzeichnen sind. Erst der Spectrographie war es beschieden, auch in diesem Falle die Stelle der beobachtenden Astronomie einzunehmen und durch ihre Ergebnisse einen praktischen Beweis für die Richtigkeit der von Maxwell auf Grund der Lehren der Mechanik des Himmels gegebenen Theorie des Saturnringsystems zu erbringen. Man kann nämlich, wenn man den Saturnring als Bestandtheil des Trabantensystems dieses Planeten betrachtet, für den innersten und den äußersten Rand des Ringes je einen Trabanten supponieren. Die Abstände dieser hypothetisierten Saturnmonde vom Centrum des Planeten kennt man und kann daher mit Hilfe des dritten Kepler'schen Gesetzes, nach welchem die Quadrate der Umlaufzeiten von Trabanten zu den Würfeln ihrer Abstände in einem constanten Verhältnis stehen, die Umlaufzeiten der an Stelle der Ränder des Ringes befindlichen Trabanten be-

rechnen. Eine weitere Rechnung gibt dann die Geschwindigkeiten, mit welchen sich dieselben um Saturn bewegen. Nun ist aber der ganze innere und der ganze äußere Rand des Ringes mit solchen Körperchen besetzt, die sich als Gesamtheit in Bezug auf die Erde genau so verhalten, wie dies bezüglich der Punkte des Jupiter-äquators vorhin auseinandergesetzt worden ist. Auch in spectrographischer Hinsicht sind die Verhältnisse analog, wenn auch ein wenig verwickelter. Es dürfte jedoch genügen, hier die Ergebnisse der bezüglichen Aufnahmen und Messungen, die fast um dieselbe Zeit von Belopolsky in Pulkowa, von Deslandres in Paris und von Keeler auf dem Allegheny-Observatorium ausgeführt wurden, mitzuthemen und mit den unter den oben genannten Voraussetzungen berechneten Daten zu vergleichen, wozu die nachstehende Tabelle dienen möge.

Autorität	Geschwindigkeit eines Punktes des		
	Saturn- Äquators	inneren Ringrandes	äußeren Ringrandes
	in einer Secunde		
Belopolsky . . . . .	9·4 <i>km</i>	21·0 <i>km</i>	15·5 <i>km</i>
Deslandres . . . . .	9·4 "	20·1 "	15·4 "
Keeler . . . . .	10·3 "	20·0 "	16·4 "
Rechnung . . . . .	10·3 "	21·0 "	17·1 "

Die Übereinstimmung dieser Zahlen sowohl untereinander als mit den auf theoretischem Wege ermittelten ist eine sehr befriedigende; sie gewährt die Überzeu-



gung, dass es der Spectrographie gelungen ist, einen praktischen Beweis für die Richtigkeit der Maxwell'schen Anschauung, die Ringe des Saturn seien eigentlich Satellitenschwärme, zu erbringen.

Hiemit schließt vorläufig die Zahl der Erfolge, welche die Astronomie der Lichtbildkunst verdankt. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, dass der Eroberungszug des photographischen Verfahrens im Gebiete der messenden Astronomie erst begonnen hat, dass man in dieser Hinsicht erst am Anfange einer neuen Epoche der wissenschaftlichen Erforschung des Himmels steht. Lässt man nämlich im Geiste die in den vorstehenden Erörterungen dargelegten Ergebnisse Revue passieren, so wird man — bei voller Schätzung der Großartigkeit der in verhältnismäßig kurzer Frist erzielten Erfolge — überall die Merkmale des Werdens, des Entstehens noch wahrnehmen. So stehen die Leistungen der Photographie in Bezug auf die Abbildung der Körper des Sonnensystems noch weit hinter den auf Grund des alten Verfahrens gewonnenen Resultaten zurück; man erkennt aber deutlich die Ursachen der Mängel und weiß, welcher Weg zu deren Beseitigung eingeschlagen werden muss. Auch in ihrer Anwendung auf die Ortsbestimmung der Gestirne hat die Lichtbildkunst noch nicht die volle Entwicklung erreicht, deren sie fähig sein dürfte. Die wunderbaren Einzelergebnisse, welche die Photographie in Bezug auf die Erforschung der Nebelwelten des Firmaments geliefert hat, sind allem Anscheine nach ebenfalls nur

Vorboten weiterer Entdeckungen, welche systematischen Arbeiten der Zukunft beschieden sind. Auch die glänzenden und alle Erwartungen übertreffenden Resultate der Spectralphotographie lassen fast in jedem Falle die gewaltige Ausdehnung, welche diesem Forschungsgebiete bevorsteht, und die Triumphe voraussehen, welche die Lichtbildkunst in diesem Bereiche der Sternkunde zu feiern berufen ist.

Man darf jedoch bei der Erwägung der angedeuteten weittragenden Gedanken, deren Verwirklichung übrigens eine theilweise Umgestaltung der astronomischen Arbeitsmittel und Arbeitsweise, sowie eine ganz außerordentliche Vermehrung der Arbeitsleistung seitens der Astronomen zur Voraussetzung hat, nicht auf die Vermuthung verfallen, dass die photographische Platte den beobachtenden Astronomen in jedem Falle wird ersetzen können. Sie wird dort überhaupt nicht benützt werden, wo sie versagt, wie z. B. bei Messungen enger Doppelsterne; dann in solchen Fällen, wo der Beobachter schneller, sicherer oder genauer arbeitet (hieher gehören die für das bürgerliche Leben wichtigsten astronomischen Arbeiten, die Zeit- und Ortsbestimmungen), und insbesondere dort, wo zur Ausführung der betreffenden Arbeiten am Fernrohr eine wohlüberlegte Thätigkeit und nicht das Functionieren einer bloßen Maschine nothwendig ist. Allerdings werden sich die Fälle, in welchen der Beobachter dem Functionieren der Platte vorzuziehen ist, nicht immer streng absondern lassen; es gibt schon jetzt Beobachtungs-

gebiete, auf welchen sowohl das alte wie das neue Verfahren mit Erfolg angewendet werden können, hieher gehören z. B. die Beobachtungen, welche zur Ermittlung der Schwankungen der Polhöhe angestellt werden.

Die vorstehenden einschränkenden Bemerkungen beziehen sich aber — wie man leicht erkennt — nicht auf die Leistungsfähigkeit des photographischen Verfahrens als Mittel der astronomischen und astrophysikalischen Forschung; in dieser Hinsicht darf die Lichtbildkunst wirklich eine königliche Bundesgenossin der Sternkunde genannt werden und theilt mit dieser alle Ehren der geschilderten Erfolge und Entdeckungen, welche man dem Bunde beider verdankt. Die Thatsache, dass es möglich war, solche Erfolge im Verlaufe eines so kurzen Zeitraumes davonzutragen, lässt die Zukunft aller Zweige der Astrophotographie und vor allem der astrophotographischen Forschung besonders verheißungsvoll erscheinen.