

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 291**

**Grundzüge einer
allgemeinen Photometrie
des Himmels**

**von
Karl Friedrich Zöllner**

Verlag Harri Deutsch

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

Band 291



Karl Friedrich Zöllner
1834 - 1882

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 291**

**Grundzüge einer
allgemeinen Photometrie
des Himmels**

von
Karl Friedrich Zöllner

Einleitung von
Dieter B. Herrmann



Verlag Harri Deutsch

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei
Der Deutschen Bibliothek erhältlich.

ISBN 3-8171-3291-3

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und das Speichern und die Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH,
Frankfurt am Main, 2002
1. Auflage 2002
Druck: Rosch - Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz
Printed in Germany

Inhalt.

Karl Friedrich Zöllner - Leben und Werk VII

Literatur.....XXXI

Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels

Vorwort..... 1

I. Principien.

Definition der Intensität eines Lichtstrahls 11

Ueber die Abhängigkeit des physiologischen Reizes von der
Intensität des empfangenen Lichtstrahls 11

Definition des Masses für die physiologische Reizbarkeit der
Netzhaut durch Licht..... 12

Grundprincip aller physiologisch-photometrischen Messungen ... 15

Definition der photometrischen Empfindlichkeit eines Auges..... 16

Ueber die verschiedenen Mittel die Intensität eines Lichtstrahls
messbar zu verändern..... 17

Definition des mechanischen und physiologischen Intensitätsver-
hältnisses zweier Lichtstrahlen 18

Ueber die allgemeine Vergleichbarkeit der von verschiedenen
Beobachtern erhaltenen photometrischen Resultate 20

II. Methode.

Das HERSCHEL'sche Astrometer..... 22

Das STEINHEIL'sche Prismenphotometer..... 23

Beschreibung eines Polarisations-Astrometers in Verbindung
mit einem Colorimeter 31

Beschreibung des Apparates zur Herstellung einer
constanten Lichtquelle 37

Prüfung des Photometers an künstlichen Sternen..... 42

Resultate der Beobachtungen an künstlichen Sternen..... 48

Methode zur Ermittlung constanter Fehlerquellen des Apparates und zur Elimination physiologischer Verschiedenheiten der Augen	58
Die Elimination des Grundes	61
Ueber Helligkeitsmessung verschiedenfarbiger Sterne.....	62
Ueber Farbenbestimmung der Gestirne	65
Ueber Helligkeitsmessung von Nebelflecken und planetarischen Scheiben	78
Ueber eine Methode zur Vergleichung der von Flächen und Punkten ausgestrahlten Lichtmengen	83
Anwendung der beweglichen Glasplatte als Mikrometer	86
III. Beobachtungen.	
Allgemeine Aufgaben der Astrophotometrie	88
Ueber die zu wählende Einheit	89
Elimination der atmosphärischen Absorption.....	91
Einrichtung des Observatoriums	94

Karl Friedrich Zöllner - Leben und Werk

Von Dieter B. Herrmann

Der deutsche Astrophysiker Karl Friedrich ZÖLLNER [1] zählt zu den interessantesten, einflussreichsten und widerspruchsvollsten Persönlichkeiten der Wissenschaftsgeschichte des 19. Jahrhunderts. Vor allem hat er als Mitbegründer der Astrophysik zu gelten, einer neuen Disziplin, die sich im Schoße von Astronomie, Physik und Chemie um die Mitte des 19. Jahrhunderts herauszubilden begann. Sie veränderte die inhaltliche Zielstellung der astronomischen Forschung grundlegend und steht damit am Beginn der Moderne. Die Astrophysik fragt nach dem eigentlichen Wesen der kosmischen Objekte, während sich die bis dahin gepflegte Himmelsmechanik und Positionsastronomie nur mit der Bewegung der Himmelskörper befasst und die Objekte lediglich als abstrakte „Massenpunkte“ betrachtet hatte. Die Zahl der Forscher, die diesen höheren Anspruch formulierten und durch den Einsatz neuartiger Methoden und gedanklicher Ansätze weltweit voran brachten, lässt sich an den Fingern zweier Hände abzählen. ZÖLLNER zählt zweifellos zu den Schlüsselfiguren der neuen Disziplin. Von ihm stammt auch der heute weltweit eingeführte Terminus „Astrophysik“. In seinen späteren Lebensjahren versuchte ZÖLLNER noch einmal wissenschaftliches Neuland zu betreten, indem er den Spiritismus zum Gegenstand seines Denkens und Forschens machte. Dieser Irrweg führte zu heftigen Auseinandersetzungen mit seinen Kollegen und endete für ZÖLLNER schließlich in einer fast vollständigen Isolation.

ZÖLLNER wurde am 8. November 1834 in Berlin geboren. Seine Eltern waren der Kattunfabrikant Carl Friedrich ZÖLLNER und dessen Ehefrau Maria Magdalena, geb. MUQUARDT, deren Vorfahren aus dem Böhmischem Weberrevier verarmt nach Berlin gekommen waren, um hier ihr Glück zu machen. Der Stadt Berlin ging der Ruf voraus, im Rahmen des allgemeinen Aufschwungs der Industrie günstige Bedingungen für Produktion und Handel zu bieten. Besonders die Textilindustrie spielte dabei eine bemerkenswerte Rolle. So war es ZÖLLNERS Vater durch Fleiß und Sparsamkeit gelungen, sich ein eigenes Geschäft aufzubauen, das so gut florierte, dass schließlich 1846 eine größere Fabrik in Schönweide bei Berlin (heute: Ortsteil Schöne-weide im Bezirk Treptow-Köpenick) daraus hervorging. ZÖLLNER war das älteste von insgesamt 11 Geschwistern.

Den ersten Unterricht erhielt er durch seine Mutter, da in der Nähe des Wohnortes keine geeignete Schule vorhanden war. Dann besuchte er die Stralauer Stadtschule um schließlich im Alter von 13 Jahren auf das Köllnische Gymnasium zu wechseln. Schon damals entwickelte er eine Vorliebe für physikalische Versuche und mechanische Konstruktionen, eine Neigung, die durch seine Lehrer AUGUST und BARENTIN nachdrücklich gefördert wurde. Auch im Hause der Eltern herrschte eine anregende Atmosphäre, denn die Familie pflegte einen interessanten Freundeskreis, dem u.a. der spätere Physiker Otto HAGEN, der Chemiker R. SELTMANN und Pauline ULLRICH angehörten, die zu einer der gefeiertsten deutschen Schauspielerinnen aufstieg. In diesen und anderen Freunden des Hauses fand ZÖLLNER ein aufmerksames Publikum für seine physikalischen Experimente, die er zumeist bei den sonntäglichen Begegnungen des Kreises gemeinsam mit seinem Mitschüler H. COCHIUS vorführte. In der umfangreichen Bibliothek des Vaters fand der junge ZÖLLNER zahlreiche historische, philosophische und astronomische Bücher, die seine geistige Entwicklung prägten, darunter auch J. H. MÄDLERS „Populäre Astronomie“.

Der frühe Tod des Vaters schien eine dramatische Wende in ZÖLLNERS Leben einzuleiten, war es doch nun geboten, alle Anstrengungen auf die väterliche Fabrik zu richten. Doch ZÖLLNER spürte bald, dass er in dieser Tätigkeit niemals Befriedigung fände und ging daher nach kurzer Unterbrechung auf das Gymnasium zurück. In Alexander MITSCHERLICH, dem Sohn des berühmten Chemikers Eilhard MITSCHERLICH, fand er einen gleich gesinnten Freund. Bald wurde er auch mit Johann Christian POGGENDORFF bekannt, dem damaligen Herausgeber der „Annalen der Physik und Chemie“.

Nach dem Abitur ließ sich ZÖLLNER 1854 an der Berliner Universität immatrikulieren, die – obwohl sie zu den jüngsten deutschen Hochschulen zählte – bereits eine Spitzenstellung auf naturwissenschaftlichem Gebiet einnahm. Zu den akademischen Lehrern ZÖLLNERS gehörten so namhafte Fachgelehrte wie Heinrich Wilhelm DOVE (Physik und Meteorologie), Emil du BOIS – REYMOND (Nervenphysik), Heinrich Gustav MAGNUS (Physik) und Ernst Eduard KUMMER (Mathematik). Außerdem hörte ZÖLLNER noch Vorlesungen über Logik, Ästhetik, Psychologie und sogar Geschichte der Dichtkunst.

Schon auf dem Gymnasium war ZÖLLNERS Interesse an Problemen der Fotometrie erwacht. Jetzt knüpfte er an sein Vorhaben wieder an, ein möglichst einfaches und dennoch genau arbeitendes Fotometer zu konstruieren. Dazu beschäftigte sich ZÖLLNER sowohl mit theoretischen wie auch mit praktischen Fragen. Um verschiedene Lichtquellen miteinander vergleichen zu können, war es erforderlich eine Bezugslichtquelle messbar abzuschwächen, wozu ZÖLLNER die Polarisation des Lichtes nutzen wollte. Außerdem beschäftigte ihn die Lichtemission von Platindrähten mit dem Ziel, eine spezielle Lichteinheit zu entwickeln, die auf der Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Stromstärke und Lichtemission beruhen sollte. Auf dem Dach der väterlichen Fabrik führte er bereits damals Helligkeitsbeobachtun-

gen von Sternen durch, verfolgte aber auch die Absicht, sein Fotometer für die Zwecke der technischen Fotometrie einzusetzen. Die wichtigsten Ergebnisse seiner Untersuchungen publizierte Zöllner im 100. Band von „POGGENDORFFS Annalen“.

Im Jahre 1857 ging ZÖLLNER auf Einladung des Physikers G. WIEDEMANN nach Basel, wo dieser eine Professur bekleidete. Dort fand er ausgezeichnete Arbeitsbedingungen vor, da die Zahl der Studenten in Basel sehr gering war. Bald verband ihn eine enge Freundschaft mit WIEDEMANN, so dass er in den Genuss einer geradezu familiären Studienatmosphäre kam, die bald zu einem vorläufigen Abschluss seiner fotometrischen Untersuchungen führte. 1859 reichte ZÖLLNER seine Dissertation ein, die wesentlich auf den in Berlin begonnenen Forschungen beruhte und unter dem Titel „Photometrische Untersuchungen, insbesondere über die Lichtentwicklung galvanisch glühender Platindrähte“ erschien.

Eine Zufallsbeobachtung führte schließlich zur Konstruktion der endgültigen Form seines Fotometers, das einfache Handhabung mit hoher Messgenauigkeit verband und schon nach wenigen Jahren einen wahren Siegeszug um die Welt antrat und in zahlreichen Sternwarten verwendet wurde.

Schon 1854 hatte die Wiener Akademie der Wissenschaften eine Preisaufgabe gestellt, die wegen fehlender Einsendungen 1857 wiederholt wurde:

„Es sind möglichst zahlreiche und genaue fotometrische Bestimmungen von Fixsternen in solcher Anordnung und Ausdehnung zu liefern, dass der heutigen Sternkunde dadurch ein bedeutender Fortschritt erwächst“.

ZÖLLNER beschloss sich dieser Preisfrage zuzuwenden und reiste zu diesem Zweck nach Berlin zurück, wo er binnen eines Jahres die erforderlichen Messungen durchführte.

Das Ergebnis dieser Forschungen war jene Arbeit, die in dem vorliegenden Band von „Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften“ wiedergegeben ist und die in der Tat

eine Wende in der astronomischen Helligkeitsmessung herbeiführte.

Die Arbeit beinhaltet 2212 Einzelbeobachtungen aus insgesamt 43 Nächten und bezieht sich auf 226 Objekte. Der wesentliche Fortschritt bestand in der Genauigkeit der Helligkeitsangaben, die auf rd. 1% angegeben wird. Da es ein Fotometer für derartig genaue Messungen bei gleichzeitig so einfacher Handhabung nicht gab, war sich ZÖLLNER sicher den Preis der Akademie zu erhalten, ungeachtet der vergleichsweise geringen Zahl der Messungen. Er hoffte auf diese Weise „gleichsam das Eintrittsbillet in die heiligen Hallen der offiziellen Wissenschaft“ zu erhalten. Doch es kam anders: Keine der drei eingereichten Arbeiten erhielt den Preis, weil die Anzahl der Helligkeitsbestimmungen zu gering gewesen sei. Immerhin stellte es die Akademie den Autoren anheim, ihre Arbeiten auf Kosten der Akademie zu veröffentlichen. ZÖLLNER verzichtete auf die „Ehre dieses akademischen Prägestempels“ und brachte sein Manuskript unverändert Ende 1861 bei Mitscher & Röstel in Berlin unter dem Titel „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels“ heraus [2].

Im Vorwort kommt ZÖLLNER zunächst auf die Geschichte seiner Arbeit zu sprechen und entkräftet die wichtigsten Einwände der Wiener Gutachter. Die Arbeit selbst besteht aus drei Teilen: den Prinzipien der Fotometrie, der verwendeten Methode und den Beobachtungen. Während im ersten Teil im Wesentlichen die Begriffe streng definiert werden, mit denen ZÖLLNER bei seinen Untersuchungen arbeitet, beinhaltet der zweite Teil auch eine Darstellung bisheriger Verfahren mit anschließender detaillierter Beschreibung der von ZÖLLNER entwickelten fotometrischen Methode.

ZÖLLNERS Buch wurde in den Kreisen der Astronomen und Astrophysiker durch eine bereits 1862 erschienene ungewöhnlich ausführliche Rezension in der renommierten Fachzeitschrift „Astronomische Nachrichten“ rasch bekannt, die ein bedeutend günstigeres Urteil über seine Arbeit fällte

als die Wiener Preisrichter. Als besonders verdienstvoll wird die ZÖLLNERSche Vorrichtung zur Herstellung von Farbgleichheit zwischen dem Vergleichssterne und dem zu messenden Objekte hervorgehoben, wodurch Fehler infolge des PURKINJE-Phänomens vermieden werden können. Bald baten mehrere namhafte Astronomen um Demonstrationen des Fotometers. In Berlin nahm als Gast des Sternwartendirektors J. F. ENCKE auch dessen Wiener Kollege C. v. LITTROW teil. In Leipzig führte die Demonstration bei C. BRUHNS zu der Einladung an ZÖLLNER, seine fotometrischen Studien künftig an der dortigen Universitäts-Sternwarte fortzusetzen.

So siedelte ZÖLLNER im Mai 1862 nach Leipzig um, wo er (von einigen wissenschaftlichen Reisen abgesehen) den gesamten Rest seines Lebens verbrachte. Hier rückte die Astrofotometrie zunächst ganz in den Mittelpunkt seiner wissenschaftlichen Bestrebungen. Das führte schon bald zu seiner Habilitationsschrift unter dem Titel „Photometrische Untersuchungen, insbesondere über die relative Lichtstärke der Mondphasen nebst einer vergleichenden Kritik von BOUGUER's und LAMBERT's Principien der photometrischen Calculs“.

Der seinem Habilitationsgesuch beigefügte Lebenslauf [3] lässt erkennen, dass ZÖLLNER zu diesem Zeitpunkt bereits über ein breitgefächertes Programm verfügte, dem er sich in den folgenden Jahren zuwenden wollte und das ihn zu einem Bahnbrecher der neuen Disziplin Astrophysik werden ließ. Das wird auch an der erweiterten Fassung seiner Habilitationsschrift deutlich, die im Jahre 1865 unter dem Titel „Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper“ [4] erschien. Mit diesem Werk legte der 31-Jährige eine reife wissenschaftliche Leistung vor, die ihn als „begeisterten Pfadfinder eines neuen Wissenszweiges“ (F. KÖRBER) erscheinen lässt. In der Tat hatte ZÖLLNER als erster erkannt, dass sich seit der Entdeckung der Spektralanalyse binnen

kurzer Zeit alle Elemente zur Begründung eines neuen Zweiges der Astronomie herausgebildet hatten, für den er die Bezeichnung „Astrophysik“ vorschlug. Den Aufgabenbereich dieser neuen Disziplin umreißt er mit einer Weitsicht, die ihr Gültigkeit bis heute verschafft hat. ZÖLLNER schreibt: „War es die Aufgabe [der früheren Astronomie, D. B. H.], unter Voraussetzung der Allgemeinheit einer Eigenschaft der Materie (der Gravitation) alle Ortsveränderungen der Gestirne zu erklären, so wird es die Aufgabe der Astrophysik sein, unter Voraussetzung der Allgemeinheit mehrerer Eigenschaften der Materie, alle übrigen Unterschiede und Veränderungen der Himmelskörper zu erklären“ [5].

In der Entstehung der Astrophysik sah ZÖLLNER zu Recht das „Resultat einer allgemeineren Entwicklung, welche beim stetigen Fortschritt der Wissenschaften bereits auch auf andern Gebieten ähnliche Verschmelzungen ursprünglich getrennter Disciplinen zu einer höheren und allgemeineren Einheit herbeigeführt hat“ [6].

Aus philosophischer Sicht beruht die gesamte Astrophysik nach ZÖLLNERS Überzeugung auf der Tatsache, „dass die allgemeinen und wesentlichen Eigenschaften der Materie im unendlichen Raume überall dieselben seien“. Daraus leitet er die Forderung ab, bei den Untersuchungen „über die physische Beschaffenheit der Himmelskörper“ nur solche Kräfte und Erscheinungen vorauszusetzen, „deren Analogien man auch auf der Erde zu beobachten und zu erforschen Gelegenheit hat“ [7].

Die „Photometrischen Untersuchungen“ enthalten auch zahlreiche konkrete Ergebnisse, die eindrucksvoll verdeutlichen, in welchem hohem Maße die Fotometrie neben der Spektroskopie nunmehr auch zur Klärung der Natur kosmischer Objekte herangezogen werden konnte. Zwei Beispiele mögen dies belegen: ZÖLLNER vergleicht die Helligkeit der Sonne mit der des Fixsterns Kapella (Aurigae) - ein messtechnisch recht anspruchsvolles Problem - und kommt dabei zu dem Ergebnis, dass Kapella „... eine beträchtlich größere

Lichtmenge als unsere Sonne aussendet, also letztere entweder an Größe oder an Leuchtkraft bedeutend übertrifft“ [8]. Dieses Ergebnis stellt den historisch ersten konkreten Hinweis auf die Existenz von Riesensternen dar, der erst rd. 15 Jahre später durch HERTZSPRUNGS Untersuchungen über den Zusammenhang von Spektraltypen und absoluten Helligkeiten der Sterne bewiesen werden konnte [9]. Bei seinen fotometrischen Untersuchungen des Planeten Merkur kommt ZÖLLNER zu dem Schluss, dass es sich bei diesem Planeten um einen Körper handelt, „dessen Oberflächenbeschaffenheit mit derjenigen des Mondes sehr nahe übereinstimmt, der also auch ... wahrscheinlich keine merkliche Atmosphäre besitzt“ [9]. Erst die amerikanische Raumsonde Mariner 10 hat dieses Resultat im Jahre 1973 zweifelsfrei bestätigt. Als höheres Ziel all dieser Untersuchungen schwebt ZÖLLNER vor, die Planeten entwicklungsgeschichtlich verstehen zu lernen. Er ist davon überzeugt, „dass gegründete Aussicht vorhanden ist, mit Hülfe der ... Hypothese von dem ursprünglich glühend-gasförmigen Zustande unseres Planetensystems und der infolge hiervon gleichförmigen Vertheilung der Materie, alle ... angeführten Eigenschaften der einzelnen Planeten als nothwendige Folgen jenes Zustandes und lediglich als verschiedene Stadien ein und desselben Entwicklungsprozesses darzustellen“ [11]. Auch diese Voraussage ZÖLLNERS ist durch die weitere Entwicklung der Planetenforschung glänzend bestätigt worden.

Während sich bald verschiedene Universitäten um ZÖLLNER bemühten, wurde er im Jahre 1866 zum außerordentlichen und 1872 zum ordentlichen Professor der Leipziger Universität ernannt. Bereits im Jahre 1869 hatten ihn die Kgl. Sächsische Akademie der Wissenschaften zu ihrem Mitglied gewählt.

Als akademischer Lehrer entfaltete ZÖLLNER vom Wintersemester 1867/68 an ununterbrochen bis zu seinem Tode im Jahre 1882 eine rege Tätigkeit, deren Inhalt ein weites thematisches Spektrum umspannte [12]. Neben Mathematik für

Mediziner, Agrikultur-Physik, Meteorologie und analytischer Geometrie las er auch zu philosophischen Fragen der Naturwissenschaften, Erkenntnistheorie, über KANTS naturwissenschaftliche Schriften u. a. Themen. Mit einem Drittel des Gesamtumfangs seiner Voresungen stellte die Astrophysik einen thematischen Schwerpunkt dar. Erstmals im Wintersemester 1874/75 setzte ZÖLLNER eine vierstündige wöchentliche Vorlesung direkt unter dem Thema „Astrophysik“ an. Hierbei hat es sich wahrscheinlich um die erste akademische Lehrveranstaltung für Astrophysik in der Welt überhaupt gehandelt.

ZÖLLNER soll ein anregender und fesselnder Lehrer gewesen sein, der in hohem Maße über die Fähigkeit verfügte, „über schwierige Dinge besonders eindrucksvoll und verständlich zu reden“ [13]. Dennoch gelang es ihm nicht, eine astrophysikalische Schule aufzubauen. Sein Einfluss auf die weitere Entwicklung und Institutionalisierung der Astrophysik war dennoch außerordentlich, vollzog sich aber über andere „Kanäle“ seines Wirkens.

ZÖLLNER war sich natürlich auch der herausragenden Bedeutung der Spektroskopie für die Entwicklung der Astrophysik bewusst. Schon als Student der Berliner Universität hatte er seinem Physikprofessor H. W. DOVE gegenüber die Hoffnung geäußert, dass man eines Tages mit Hilfe der Zerlegung des Sternenlichts Aussagen über die physikalische Beschaffenheit dieser kosmischen Objekte machen könne. Doch der konservative Professor erwiderte - wie ZÖLLNER erzählt - mit dem Anflug eines preußischen Korporalstons: „Was die Sterne sind, wissen wir nicht und werden es nie wissen!“ [14]. Schon kurze Zeit später entdeckten KIRCHHOFF und BUNSEN die Spektralanalyse und der junge ZÖLLNER konnte sich in seiner Hoffnung mehr als bestätigt sehen, während die betagte Kapazität widerlegt war.

ZÖLLNERS eigene Beiträge zur Spektroskopie erstreckten sich vor allem auf die Konstruktion spektroskopischer Appa-

rate, die Erforschung der Sonne sowie eine Reihe von weit tragenden Ideen zur Spektralfotometrie.

Erwähnenswert ist ZÖLLNERS 1869 entworfenes Reversionsspektroskop, mit dessen Hilfe von einem strahlenden Objekt zwei Spektren in entgegengesetzter Farbfolge entworfen werden können. Die Strahlenbündel kommen aus einem zerschnittenen sog. Heliometerobjektiv und werden dann über zwei Prismen mit entgegengesetzter Dispersion gelenkt. Jede Linie eines Spektrums kann mit jeder Linie des anderen durch mikrometrische Bewegung der beiden Objektivhälften zur Deckung gebracht werden. Bewegt sich eine Lichtquelle radial zum Beobachter, so treten bekanntlich DOPPLER-verschiebungen der Linien auf, wegen der entgegengesetzt verlaufenden Einzelspektren jedoch mit doppeltem Betrag. ZÖLLNER beabsichtigte mit Hilfe seines Reversionsspektroskopes Radialgeschwindigkeiten kosmischer Körper zu messen, um auf diese Weise zuverlässige Vorstellungen von den Raumbewegungen der Sterne zu erhalten. Allerdings zeigte sich bald, dass es einfacher war, die Steigerung der Genauigkeit durch größere Dispersion der Spektren und präzisere Mikrometerschrauben zu erzielen, so dass dem Reversionsspektroskop nicht derselbe Erfolg beschieden war wie dem ZÖLLNERSchen Fotometer.

Im Jahre 1868 hatten JANSSEN und LOCKYER in Frankreich und England unabhängig voneinander das Protuberanzspektroskop entwickelt, ein Instrument, mit dem es möglich ist, Sonnenprotuberanzen auch außerhalb totaler Sonnenfinsternisse zu beobachten. ZÖLLNER erfuhr von dieser Erfindung und legte eine verbesserte Variante vor, die später von einer Leipziger Firma gebaut und auf vielen Sternwarten eingesetzt wurde.

Ein Grundproblem der Spektroskopie bestand in der Frage nach der Aussagefähigkeit von Spektren. Bereits 1866 hatte der italienische Astrophysiker A. SECCHI die Spektren der Fixsterne in drei Klassen nach morphologischen Merkmalen eingeteilt. Doch über die Bedeutung der unterschiedlichen

Erscheinungsformen von Sternspektren gab es nur Mutmaßungen. ZÖLLNER führte die Unterschiede in den Spektren hauptsächlich auf die Temperaturen und Massen der Sterne zurück und kam in seiner Studie „Über den Einfluss der Dichtigkeit und Temperatur auf die Spectra glühender Gase“ (1870) [15] zu dem Schluss, dass niedrigere Temperaturen der Gase zu größerem Linienreichtum führen. Dieses Erkenntnis stützte die These, dass die Spektren der Sterne geordnet nach ihrem Linienreichtum zugleich eine Temperaturfolge darstellten. Bereits Anfang der 70er Jahre kam ZÖLLNER zu dem weiter reichenden Schluss, dass man bei Kenntnis der KIRCHOFFSchen Funktion, d. h. der Verteilung der Energie eines Strahlers auf die einzelnen Wellenlängen als Funktion seiner Temperatur, Sterntemperaturen durch spektralfotometrische Untersuchungen ableiten könne. Tatsächlich hat die astrophysikalische Forschung nach der Entdeckung des PLANCKSchen Strahlungsgesetzes (1900) diesen Weg erfolgreich beschritten.

Eine weitere wegweisende Idee ZÖLLNERS betraf die Vereinfachung der Klassifikationskriterien von Sternspektren. Wollte man nämlich massenweise Untersuchungen an Sternspektren durchführen, war die individuelle Klassifikation sehr zeitaufwändig und mühevoll. ZÖLLNER versuchte deshalb, den Zusammenhang zwischen einfach auszuführenden kolorimetrischen Bestimmungen an Sternen und ihren Spektraltypen aufzuklären, um die aufwändigen Klassifikationen dadurch zu ersetzen. Auch dieser Weg wurde später erfolgreich beschritten, nachdem K. SCHWARZSCHILD im Jahre 1900 die sog. Farbenindizes (Differenz der scheinbaren Helligkeiten in zwei definierten Spektralbereichen) als Ersatz für Präzisionsklassifizierungen von Sternspektren eingeführt hatte. Es wären noch viele andere Ideen ZÖLLNERS zur Klärung der Aussagekraft von Sternspektren zu nennen, die sich später als wegweisend erwiesen. Doch von besonderer Bedeutung waren seine Überlegungen zur Entwicklung von Sternen, mit denen er unmittelbar an die Vorstellungen von

Immanuel KANT anknüpfte, die dieser in seinen naturwissenschaftlichen Frühschriften dargelegt hatte, die jedoch von der Naturwissenschaft seit mehr als 100 Jahren unbeachtet geblieben waren. Lediglich Hermann von HELMHOLTZ hatte die Genialität der KANTSchen Evolutionshypothese gewürdigt. Insbesondere hob ZÖLLNER die visionäre Bedeutung der „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) von KANT hervor. ZÖLLNER zeigte sich zutiefst beeindruckt davon, wie hier ein „scharfer Verstand“ auch mit einem „geringen empirischen Material“ hundert Jahre früher als die exakte Wissenschaft zu den richtigen Denkansätzen gelangt war. Hierin sah ZÖLLNER übrigens einen unabwiesbaren Beleg für die positive Bedeutung, die eine rationelle Philosophie auch für die Naturwissenschaften haben kann und was ihn zu der Auffassung führte, dass der kommenden Generation von Naturwissenschaftlern das „ihnen eingepflichtete Vorurtheil gegen alles, was Philosophie heißt“ genommen werden sollte [16]. ZÖLLNERS tiefgreifendes Interesse für philosophische Probleme hing also unmittelbar mit seinen physikalischen Forschungen zusammen: Besonders die fotometrischen Studien implizierten solche Fragen wie die nach dem Zusammenhang zwischen visuellen Eindrücken und den objektiven Reizen, die diese Eindrücke verursachten. So ergaben sich für ZÖLLNER zahlreiche Forschungsfelder im Grenzbereich zwischen Physik, Psychologie der Wahrnehmung und Erkenntnistheorie, denen er auch in seinen Vorlesungen große Aufmerksamkeit widmete.

Was nun KANT anlangt, so war ihm die Aufnahme und Fortführung von dessen Ideen durch die zeitgenössische Forschung weitaus wichtiger als allgemeine Hinweise auf KANTS Verdienste. Dazu leistete er selbst einen wichtigen Beitrag, indem er den Sternen fünf Entwicklungsphasen zuschrieb, die mit einem glühend-gasförmigen Zustand beginnen und mit der völligen Erkalting enden. Offensichtlich unter ZÖLLNERS Einfluss entwickelte dessen bedeutendster Schüler, Hermann Carl VOGEL, sogar eine Spektralklas-

sifikation, die in den Spektren eine Widerspiegelung des jeweiligen Entwicklungszustandes sah. Hier wird die Farbenfolge der Sterne von weiß nach rot, die sog. Abkühlungssequenz, als Entwicklungsfolge interpretiert, wobei zugleich der Versuch unternommen wird, die charakteristischen Details der Spektren aus den Temperaturunterschieden zu erklären. So richtig dieser Ansatz im Grunde war, so lückenhaft mussten dennoch die Ergebnisse bleiben, da die physikalischen Hintergründe der Emission des Sternlichts damals noch weitgehend unbekannt gewesen sind. Erst mit den Fortschritten der Theorie des atomaren Aufbaus der Materie und der atomphysikalischen Deutung der Strahlungsemission waren die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Lösung des Problems gegeben. Auch war die Auffassung von der Sternentwicklung als einem einfachen Abkühlungsprozess der Sterne keineswegs zutreffend, wie man seit der Klärung der Mechanismen der Energiefreisetzung im Sterninneren weiß. Doch davon konnten weder ZÖLLNER noch VOGEL damals etwas wissen, denn diese Erkenntnisse standen erst Jahrzehnte später zur Verfügung. Wir können sie aber durchaus als Resultat jener Forschungen betrachten, die ZÖLLNER und seine Zeitgenossen weit blickend begonnen haben.

Für die rasche Entwicklung der Disziplin Astrophysik war ihre Institutionalisierung eine entscheidende Voraussetzung. Ein Meilenstein auf diesem Gebiet in Deutschland war die Gründung des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam im Jahre 1874. ZÖLLNERS Anteil an der raschen Reaktion der Politik auf die Entstehung der Astrophysik ist beträchtlich, wenn auch sein Name in den offiziellen Dokumenten zur Gründung des Instituts fehlt. Er hat gleichsam „hinter den Kulissen“ gewirkt. Zunächst gelang es ZÖLLNER, seinen Schüler H. C. VOGEL für astrophysikalische Forschungen zu begeistern. Ein förmliches Laboratorium zur Erprobung astrophysikalischer Apparate und Methoden stellte das Privatobservatorium des Kammerherrn von BÜLOW in Bothkamp bei Kiel dar. Es war ZÖLLNER, der den ihm befreundete-