

---

**Jürgen Hamel**

**Friedrich Wilhelm Bessel**

Biografien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner Band 67  
1984 BSB B. G. Teubner Leipzig

Abschrift und LaTeX-Satz: 2023

<https://mathematikalpha.de>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die Voraussetzungen</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vom Gymnasiasten zum Astronomieprofessor</b>	<b>8</b>
2.1	Kindheit, Jugend, Schulzeit . . . . .	8
2.2	Der junge Amateurastronom . . . . .	9
2.3	Bei Schroeter in Lilienthal . . . . .	14
2.4	Bessel als Direktor der Königsberger Sternwarte . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Das Streben nach neuen „Grundlagen der Astronomie“</b>	<b>21</b>
3.1	Die „Fundamenta Astronomiae“ . . . . .	21
3.2	Welche Fehler hat ein astronomisches Fernrohr? . . . . .	26
3.3	Ein neues Arbeitsgebiet: Sternkataloge . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Von der Figur der Erde und der Länge des Fußmaßes</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>Die Erforschung kosmischer Dimensionen</b>	<b>41</b>
5.1	Vorgeschichte der Parallaxenforschung . . . . .	41
5.2	Ein neues Prinzip und ein neues Instrument . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Kleinere Arbeiten zur Physik der Himmelskörper und zur „Astronomie des Unsichtbaren“</b>	<b>51</b>
6.1	Bessels Arbeiten über die Natur der Kometen . . . . .	51
6.2	Beobachtungen von Sternschnuppen . . . . .	54
6.3	„Astronomie des Unsichtbaren“ . . . . .	55
<b>7</b>	<b>Bessel privat</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>... die epochemachende Kraft der Astronomie</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>Chronologie</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>70</b>

# 1 Die Voraussetzungen



1 Friedrich Wilhelm Bessel (22. 7. 1784-8. 4. 1846)

Die Astronomie ist die "Wissenschaft von den ewig sich gleichbleibenden Dingen". [25, S. 4] So schrieb vor fast 2000 Jahren der bedeutendste Astronom des klassischen Altertums, Claudius Ptolemäus. Er zog damit nicht nur eine Bilanz der astronomischen Forschung bis zu seiner Zeit, sondern gab der Astronomie eine lang- wirkende Orientierung.

Zur Zeit des Ptolemäus hatte die Astronomie beachtliche Erfolge aufzuweisen. Gestützt auf Beobachtungen der Himmelskörper, teils eigene, teils von den Babyloniern übernommene, gelang seit dem 4. Jahrhundert v. u. Z. die Begründung einer Theorie der Planetenbewegung. Diese Planetentheorie war selbstverständlich geozentrisch.

Die Erde fand ihren Platz in der Mitte der Welt, umgeben von den Planeten, zu denen auch die Sonne und der Mond gezählt wurden, und den Sternen. Im Laufe der Zeit fand dieses System manche Ergänzung und Korrektur, bis es von Ptolemäus vervollkommen und abgeschlossen wurde. Das geozentrische System löste zwar nicht alle Probleme bei der Darstellung der Bewegung der Himmelskörper, doch bewährte es sich während eines Zeitraumes von 1500 Jahren sehr erfolgreich.

Erst durch das Werk von Nicolaus Copernicus wurden die Grundlagen des Geozentrismus angegriffen und überwunden. Es entstand ein astronomisches Weltsystem, das Konsequenzen weit über den fachwissenschaftlichen Rahmen hinaus besaß. Der Mensch soll nicht wohlbehütet in der Weltmitte als "Krone der Schöpfung" leben, sondern verbannt sein auf einen Himmelskörper, der seine Kreise um die Sonne zieht, als ein Planet unter anderen? Goethe schrieb dazu:

"Unter allen Entdeckungen und Überzeugungen möchte nichts eine größere Wirkung auf den menschlichen Geist hervorgebracht haben, als die Lehre des Kopernikus. Kaum war die Welt als rund anerkannt und in sich selbst abgeschlossen, so sollte sie auf das ungeheure Vorrecht Verzicht tun, der Mittelpunkt des Weltalls zu sein. Vielleicht ist noch nie eine größere Forderung an die Menschheit geschehen: denn was ging nicht alles durch diese Anerkennung in Dunst und Rauch auf: ein zweites Paradies, eine Welt

der Unschuld, Dichtkunst und Frömmigkeit, das Zeugnis der Sinne, die Überzeugung eines poetisch-religiösen Glaubens; kein Wunder, dass man dies alles nicht wollte fahren lassen, dass man sich auf alle Weise einer solchen Lehre entgegensetzte, die denjenigen, der sie annahm, zu einer bisher unbekannten, ja ungeahnten Denkfreiheit und Großheit der Gesinnungen berechtigte und aufforderte." [15, S. 133]

Das Tor zu einer neuen Astronomie war aufgetan, doch nur wenige vermochten es zu durchschreiten. Die heliozentrische Planetentheorie stand zu sehr im Widerspruch zum unmittelbaren Augenschein der Bewegung der Himmelskörper, die doch so deutlich um die Erde zu laufen schienen, und dem theologischen Weltbild jener Zeit.

Die Aufnahme der heliozentrischen Planetentheorie in die Welt der Wissenschaft begann, nachdem durch die ersten Entdeckungen mit dem Fernrohr die Gültigkeit der aristotelischen Physik in Frage gestellt wurde und schließlich Johannes Kepler die Gesetze der Planetenbewegung auf copernicanischer Grundlage fand.

Der entscheidende Beweis für das heliozentrische Weltsystem gelang Isaac Newton. Mit Hilfe seiner Gravitationstheorie konnte er physikalisch begründen, dass nur die Sonne, der weitaus massereichste Körper des Planetensystems, durch ihre Zentralstellung die Stabilität dieses Systems gewährleisten kann.

Bei allen Forschungen zur wahren Struktur des Planetensystems bestand das ganze Streben der Astronomen darin, die Methoden der Ortsbestimmung der Himmelskörper an der scheinbaren Himmelskugel sowie die mathematischen Grundlagen der Berechnung ihrer Bewegung zu vervollkommen. Zu diesem Zweck wurden die Himmelskörper als reine Massenpunkte behandelt. Von ihrer Größe, ihrer physikalisch-chemischen Natur und ihrer Oberflächenbeschaffenheit wurde abgesehen. Ebenso fanden Probleme der Entwicklung der Himmelskörper keinen Eingang in die Astronomie.

Hinter den Forschungen der Astronomen standen z. T. ganz praktische Bestrebungen. Mit der Ausweitung des Seehandels nach Amerika, Afrika und Indien im 16. und 17. Jahrhundert machte sich das Fehlen sicherer Methoden der Ortsbestimmung auf See immer stärker bemerkbar.

Zwar wurde das Problem der Breitenbestimmung recht bald zur Zufriedenheit gelöst, doch war die Längenbestimmung noch in der Mitte des 18. Jahrhunderts mit einem großen Fehler behaftet. Die Verbesserung der Längenbestimmung auf See war also eine dringende Forderung, um die Reisezeiten der Handelsschiffe durch die Wahl möglichst kurzer Routen zu verringern und überhaupt die Sicherheit der Besatzung und der kostbaren Ladungen zu gewährleisten.

Eine Möglichkeit, die geographische Länge einer Schiffsposition zu bestimmen, besteht in der Beobachtung astronomischer Ereignisse auf See, deren Eintritt genau vorausberechenbar ist, z. B. die Begegnung des Mondes mit Fixsternen. Aus der Zeitdifferenz des beobachteten Eintritts dieser Erscheinung gegenüber den Vorausberechnungen für einen bekannten Ort ergibt sich die geographische Länge des Beobachtungsortes.

Um dieses Prinzip praktisch handhabbar zu machen, wurden von den Astronomen große Anstrengungen unternommen, vor allem was die Theorie der Mondbewegung betrifft.

Sogar die Staatsgewalt schaltete sich in die wissenschaftlichen Diskussionen ein. Durch

ein königliches Edikt Karls II. von England wurde 1675 das Observatorium Greenwich gegründet, mit der Verpflichtung, genaue Tafeln der Gestirnsbewegung und präzise Fixsternverzeichnisse zu erarbeiten, um so die geographische Ortsbestimmung verlässlicher zu machen.

Zum anderen lag die Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit auch im Interesse des Fortgangs der Astronomie selbst. Zwar hegte am Ende des 17. Jahrhunderts kein ernst zu nehmender Wissenschaftler mehr einen Zweifel an der Wahrheit des heliozentrischen Weltsystems, doch die bei dem Umlauf der Erde um die Sonne notwendig eintretende periodische Verschiebung der Gestirnsörter, die Erscheinung der "Parallaxe", war noch immer nicht entdeckt, so sehr man sich auch mühte. Damit fehlte gleichzeitig die Möglichkeit der exakten Entfernungsmessung im Reich der Fixsterne.

Zahlreiche theoretische und praktische Verbesserungen in der Herstellung und dem Gebrauch der astronomischen Instrumente, besonders seit der Mitte des 18. Jahrhunderts, führten zu einer beträchtlichen Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit sowie zu exakteren mathematischen Verfahren zur Berechnung der Gestirnsörter und der Bewegung der Himmelskörper.

Die astronomischen Beobachtungsinstrumente waren fast ausnahmslos Fernrohre mit Öffnungen zwischen 5 und 10 cm. Ihre Qualität hing in besonderem Maße von der Präzision der Montierung und der verschiedenen Messeinrichtungen ab.

Diese Instrumente entsprachen hervorragend den Anforderungen der Himmelsmechanik. Details der Oberflächen der Himmelskörper oder gar deren chemisch-physikalische Natur waren mit ihnen jedoch nicht erforschbar. Dazu waren Voraussetzungen notwendig, die in ihrer Gesamtheit erst in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts existierten. So blieb gar keine andere Möglichkeit, als das Arbeitsgebiet der Astronomie auf die Himmelsmechanik zu beschränken und damit den gesamten Problemkatalog der Astrophysik, der heute die astronomische Forschung wesentlich bestimmt, aus dem Gegenstand der Astronomie auszuschließen.

Allein, diese Beschränkung war nicht eng und perspektivlos, sondern entsprach den objektiv gegebenen Bedingungen der Entwicklung der materiellen Produktivkräfte. Die Beschränkung auf die Himmelsmechanik ermöglichte es, diesen Zweig der Astronomie durch eine Konzentration der Kräfte zu einer Vollkommenheit zu bringen, die der Astronomie zeitweise eine Vorbildrolle unter den Naturwissenschaften eintrug und auch die philosophischen Anschauungen im 18. und 19. Jahrhundert stark beeinflusste.

An diesen Entwicklungsprozessen der Astronomie hatte Friedrich Wilhelm Bessel seit der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert einen immensen Anteil. Seine Lebenszeit fällt in eine der glanzvollsten Epochen der Astronomie in Deutschland.

Er war Zeitgenosse von Carl Friedrich Gauß, Heinrich Wilhelm Olbers, Heinrich Christian Schumacher, Friedrich Wilhelm Argelander, Alexander von Humboldt, Friedrich Wilhelm Struve und Friedrich Wilhelm Herschel — Wissenschaftler, die das Gesicht der Astronomie und anderer Gebiete der Forschung nachhaltig beeinflussten.

Mit ihnen stand er in einem intensiven Gedankenaustausch, ja war ihnen z. T. freundschaftlich verbunden.

Die Zeit seiner wissenschaftlichen Tätigkeit war von einschneidenden gesellschaftlichen Veränderungen umrahmt. Während Bessel zunächst als junger Amateurastronom am Privatobservatorium von Johann Hieronymus Schroeter tätig war und später den Aufbau der Königsberger Sternwarte leitete, durchzogen die Armeen Napoleon Bonapartes den europäischen Kontinent. Sein Ziel, die Welt zu erobern, scheiterte am Widerstand der Völker, die in ihrem Freiheitskampf zu einheitlichem Handeln zusammenfanden.

Zwei Jahre nach Bessels Tod brach in Deutschland die bürgerliche Revolution aus, die, obwohl in Kompromissen zwischen Adel und Bürgertum erstickend, doch eine Reihe politischer und ökonomischer Entwicklungen einleitete.

Die Jahrzehnte zwischen 1780 und 1850 waren eine politisch sehr bewegte Zeit. Die gesellschaftlichen Veränderungen schufen die Voraussetzungen für zahlreiche Entdeckungen nicht nur in der Astronomie, sondern auch in der Chemie, der Physik, der Biologie und der Geologie ebenso wie im Bereich der Technik.

In Großbritannien war die kapitalistische Umgestaltung der Wirtschaft weit vorangeschritten. Wissenschaft und Technik erfreuten sich einer breiten, teils staatlichen, teils privaten Förderung und hatten am wirtschaftlichen Aufschwung des Landes erheblichen Anteil.

Neben der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in London, der "Royal Society", entstanden überall im Lande "gelehrte Gesellschaften", in denen sich Wissenschaftler und Kapitalisten, Chemiker, Ärzte, Ökonomen, Physiker, Biologen und Vertreter aller Zweige der Industrie trafen. In Frankreich waren mit dem Sturz der feudalabsolutistischen Königsherrschaft 1789 politische Voraussetzungen für eine Förderung der kapitalistischen Wirtschaftsstruktur geschaffen worden.

In Deutschland spiegelten sich diese progressiven gesellschaftlichen Umwälzungen zunächst in theoretischen Reflexionen wider, z. B. in der Philosophie Immanuel Kants, die nach den Worten von Karl Marx die "deutsche Theorie der französischen Revolution" [24, S. 80] war.

Johann Gottfried Herder, Johann Wolfgang Goethe und Friedrich Schiller schufen ein bürgerliches Menschenbild, mit dem ebenfalls nur ideell die Umgestaltung der Gesellschaft angestrebt wird.

Mit beträchtlicher Verzögerung gegenüber Großbritannien und Frankreich begann in den 20er Jahren des 19. Jahrhunderts eine stärkere Industrialisierung in Deutschland, die auch für die astronomische Forschung deutliche Konsequenzen besaß.

Astronomische Messinstrumente waren damals, wie heute, Spitzenerzeugnisse der feinmechanisch-optischen Produktion. Im 18. Jahrhundert wurden in England und Frankreich Werkstätten für astronomische Präzisionsinstrumente gegründet, deren Erzeugnisse in fast allen Sternwarten der Welt zum Einsatz kamen. Nur in England und Frankreich existierten die technischen Voraussetzungen für diesen theorieintensiven Zweig der Industrie.

Auch die Hauptinstrumente deutscher Sternwarten kamen zumeist aus englischen Werkstätten, deren Namen zu festen Begriffen in der Astronomie wurden: Dollond, Troughton, Ramsden, Cary. In Deutschland arbeiteten in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts nur

wenige Produzenten, die astronomische Instrumente herstellten, es waren zumeist nur kleinere Hilfs- und Auswertegeräte.

Die erste deutsche Firma des astronomischen Instrumentenbaus, die um 1810 Weltgeltung erlangte, war die von Josef v. Utzschneider, Georg v. Reichenbach und Joseph v. Fraunhofer in München/Benediktbeuren. Später kamen die von Johann Georg Repsold, Karl August Steinheil u. a. hinzu.

Fast alle diese Namen bedeutender Instrumentenbauer in England und Deutschland sind in der einen oder anderen Weise mit dem Wirken Bessels verbunden, da sie ihm die instrumentellen Voraussetzungen für sein wissenschaftliches Werk schufen.

## 2 Vom Gymnasiasten zum Astronomieprofessor

### 2.1 Kindheit, Jugend, Schulzeit

Friedrich Wilhelm Bessel wurde am 22. Juli 1784<sup>1</sup> in Minden geboren, wo sich die Familie schon seit dem 17. Jahrhundert niedergelassen hatte. Sein Vater, Karl Friedrich Bessel, war "Subalternbeamter eines Justizkollegiums", Regierungssekretär und zuletzt Justizrat. Die Mutter, Ernestine Bessel, entstammte einer angesehenen Familie von Lehrern und Theologen.

Wie Bessel selbst berichtet, hatten seine Eltern

"bei einer aus drei Söhnen und sechs Töchtern bestehenden Familie und dem für diese nur bei der äussersten Sparsamkeit ausreichenden Einkommen, mit schweren Sorgen zu kämpfen, und es erforderte oft das reiflichste Nachdenken des Vaters, so wie seine angestrengteste Thätigkeit, die zu dem Unterhalte und dem Unterrichte so vieler Kinder nöthigen Mittel herbeizuschaffen." [2, Bd. 1, S. XI]

Dennoch ermöglichten sie ihren Kindern eine solide Schulbildung.

Friedrich Wilhelm tat sich in seiner Jugend gegenüber den Altersgenossen durchaus nicht hervor, im Gegenteil. Das Mindener Gymnasium verließ er schon in der 8. Klasse, da ihm besonders das Latein stets "zuwider" war. Um so mehr zeigte er ein großes Interesse an der Mathematik und erklärte seinem Vater, den Kaufmannsstand wählen zu wollen.

Für diesen Plan fand Bessel in seinem Lehrer Thilo einen engagierten Befürworter. Bessel hatte Konrektor Thilo für sich gewonnen, als er ihm einmal ein Stück Glas zeigte, das er in einer Untertasse so lange mit Sand gerieben hatte, bis es einigermaßen einem Brennglas ähnelte.

Doch auch der gestirnte Himmel fand bei dem Gymnasiasten schon einige Aufmerksamkeit. So verglich Bessel die Sternbilder mit einer Himmelskarte, die er in einem geographischen Atlas fand, und prägte sich ihr Aussehen ein. Dabei machte er eine kleine "Entdeckung": Im Sternbild der Leier fiel ihm auf, dass ein im Atlas verzeichneter Stern in Wirklichkeit aus zwei Sternen zusammengesetzt ist ( $\epsilon$  und 5 Lyrae). An diese Episode erinnerte sich Bessel noch oft. Da nur sehr scharfe Augen beide Sterne getrennt sehen können, benutzte er sie später immer wieder zur Prüfung seiner Sehkraft.

An eine Gelehrtenlaufbahn dachte Bessel in seiner Jugendzeit überhaupt nicht, und nach dem vorzeitigen Verlassen des Gymnasiums schien dieser Weg ohnehin versperrt zu sein. Zur Vorbereitung auf die gewünschte Kaufmannslehre ließ der Vater dem Sohn Unterricht in Schreiben, Rechnen, Geographie und Französisch erteilen.

Am 1. Januar 1799 begann der 14jährige Bessel seine Lehrzeit in dem angesehenen Bremer Handelshaus A.G. Kuhlenkamp & Söhne. Mit dem Lehrvertrag ging er gleichzeitig die Verpflichtung ein, für 7 Jahre seine Arbeitskraft dem Handelshaus zu widmen. Bremen war um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert eine Handelsstadt von inter-

---

<sup>1</sup>Dieses Datum wird von Bessel angegeben. Die Eintragung für die Geburt lautet im Kirchenbuch auf den 21. Juni 1784.



nationaler Bedeutung.

Hier lernte Bessel eine ganz neue Welt kennen, die ihn "lebhaft an sich riss". Wie Bessel berichtete, bestand seine Arbeit zunächst vor allem darin, Handlungsbriefe zu kopieren, also abzuschreiben. Doch selbst aus dieser zweifellos wenig schöpferischen Tätigkeit verstand Bessel Nutzen zu ziehen. Auch nach Arbeitsschluss blieb er oft im "Comptoir", um durch das Studium der Handlungsbücher eine "Übersicht über den Gang des Ganzen zu erlangen".

Seine Kenntnis in diesen Dingen war bald so groß, dass er von anderen Angestellten häufig um Details vorhergegangener Geschäfte um Rat gefragt wurde und er so in hohem Ansehen stand. Es hat aber den Anschein, dass Probleme der Warenkunde das Denken Bessels auf die Dauer nicht befriedigen konnten.

Auch ihn erfasste eine Zeitlang der Drang zur Seefahrt, der so oft bei wissbegierigen Jungen zu beobachten ist, und er fasste den Entschluss, sich einmal als Handlungsvertreter bei einer Reise in die fernen französischen oder spanischen Kolonien zu bewerben.

Bald las er Bücher über "die Naturgeschichte oder allgemeine Entstehungsgeschichte der gebräuchlichsten Handelsgegenstände", um von diesen zu Reisebeschreibungen über die Länder, aus denen die Waren stammen, überzuwechseln und sich Kenntnisse der Geographie anzueignen. Gleichzeitig lernte er "mit Anstrengung in zwei oder drei Monaten des mündlichen Unterrichts" die englische und bald darauf auch die Anfangsgründe der spanischen Sprache.

Deutet zu dieser Zeit schon etwas darauf hin, dass der Kaufmannslehrling Bessel einst einer der bedeutendsten Astronomen werden sollte? Eigentlich nicht.

Doch die selbständige schöpferische Betätigung in der Schule mit Dingen, die weit über den Lehrstoff hinausgingen, fiel dem Konrektor Thilo ganz zu Recht auf. Die Begebenheiten mit der geschliffenen Glasscheibe und dem Stern in der Leier erinnern sehr daran, dass auch Einstein über kleine "Entdeckungen" in seiner Schulzeit berichtete.

Sein "Grübeln" darüber, wie wohl der Kompass funktioniere oder was passiert, wenn man einem Lichtstrahl hinterherläuft, ist ganz von der Art der Experimente und Beobachtungen des Gymnasiasten Bessel.

## 2.2 Der junge Amateurastronom

In Bremen lag die Astronomie zunächst außerhalb der Interessen Bessels. Aber der Schritt zu dieser Wissenschaft war durch seinen Wunsch, Handelsschiffe in ferne Länder zu begleiten, jetzt nicht mehr weit. Zwar gehört die Führung eines Schiffes nicht zu den Aufgaben eines Handelsvertreters, so überlegte Bessel, doch könne es nützlich sein, einige Kenntnisse der Schifffahrtskunde zu besitzen. Er dachte,

"dass es wenigstens nicht schaden werde, wenn er sich in den Stand setze, so oft die Stellung der Sonne und des Mondes es erlauben würden, unabhängig von aller Schiffsrechnung, versehen mit einem Sextanten und einer Secundenuhr, den Ort des Schiffes auf dem Meere durch unmittelbare Beobachtung zu bestimmen" [2, Bd. 1, S. XII]

Die Bremer Kapitäne waren damals in dieser "modernen Kunst", in der die englischen Seefahrer sehr genau unterwiesen wurden, weitgehend unwissend. Aus diesem Grunde nahm sich Bessel vor, auf einer künftigen Reise den Kapitän von der Brauchbarkeit dieser Methode zu überzeugen. Um es gleich zu sagen: zu einer Fahrt nach Übersee kam Bessel nicht.

Doch er nahm seinen Plan ernst, und es galt für ihn erst einmal, sich Kenntnisse in nautischer Astronomie zu verschaffen. In kurzer Zeit studierte er eine Einleitung in die praktische Nautik, fand, dass es ihm an astronomischem Wissen mangle, las über Astronomie, deren Verständnis ihm die mangelnde Kenntnis der Mathematik verwehrte.

Das regte Bessel an, erst einmal die Anfangsgründe der Mathematik zu studieren. So vorbereitet, wandte er sich wieder der Nautik zu, die ihm nun keine Schwierigkeiten mehr bereitete. Seit 1801 nahm Bessel außerdem an einem Kurs für die erste Steuermannsprüfung an der erst zwei Jahre zuvor gegründeten Bremer Navigationsschule teil, der unentgeltlich war. Letzteres musste von Bedeutung sein, da Bessels finanzielle Lage nicht sonderlich gut war.

Den theoretischen Studien folgten praktische Versuche. In der "Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung vorzüglich vermittels eines Spiegelsextanten" von J. G. F. v. Bohnenberger fand Bessel die ausführliche Beschreibung eines Sextanten.

Mit Hilfe eines Tischlers fertigte er ein solches Gerät aus Mahagoniholz, mit einem Fernrohr versehen, an. Auch eine Uhr wurde beschafft. Die ganze Apparatur wurde bei einem Freund aufgestellt, und beide begannen mit Beobachtungen, z. B. auch einer Sternbedeckung durch den Mond. Das von ihm dabei gewonnene Resultat verglich er mit den in der Zeitschrift "Monatliche Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde" und dem "Astronomischen Jahrbuch" veröffentlichten Ergebnissen.

Nun war die Wende zur Astronomie vollzogen. Rückblickend berichtet Bessel:

"Glücklicherweise brachte ich den bekannten Mittagsunterschied von Bremen, bis auf eine oder ein paar Secunden genau, wieder heraus und frohlockte nun über das Gelingen meines ersten praktisch-astronomischen Versuchs!

Man muss das Feuer der Jugend besitzen, um die Freude zu begreifen, welche dieses Gelingen mir gewährte! Ich irre gewiß nicht, wenn ich annehme, dass dadurch mein Loos für den übrigen Theil meines Lebens geworfen wurde." [2, Bd. 1, S. XVII]

Neue astronomische Literatur wurde besorgt und studiert, so dass sich aus dem bruchstückhaften Wissen des jungen Bessel langsam eine "ziemlich vollständige Kenntniss" zusammensetzte.

Die Tatsache, dass die so umfangreichen Studien, die für andere vielleicht den Hauptteil der täglichen Beschäftigung bilden konnten, von Bessel in seiner knapp bemessenen Freizeit erledigt wurden, lässt Rückschlüsse auf seinen Eifer und seine Begeisterung zu. Sein Arbeitstag ging von morgens 8 Uhr bis abends 20 Uhr, wenn auch gewöhnlich 2-3 Stunden davon geschäftsfrei blieben.

Die freien Sonntagnachmittage verbrachte er meistens mit Freunden. "Die Nacht musste also zur Hilfe gerufen werden", erinnert sich Bessel, und so machte er es sich zur

Gewohnheit, täglich von etwa 21 Uhr bis 3 Uhr morgens über den Büchern zu sitzen. Fünf Stunden Schlaf reichten zu seinem dauernden Wohlbefinden aus.

Seinen Kollegen im Büro erzählte er von diesen doch schon ernsthaften astronomischen Versuchen nichts, da er, der Lehrling, ihren Spott ob solcher Beschäftigungen fürchtete. Doch noch immer dachte Bessel nicht daran, aus seinem Hobby einen Beruf zu machen. Wie er selbst schrieb, war sein Wissen zunächst noch nicht sehr tiefgehend, und oft wusste er zwar, was zur Erlangung eines Resultats getan werden musste, jedoch nicht weshalb.

"Aber das war die Folge meiner ganzen Ansicht der Wissenschaft. ich wollte sie nicht kennen lernen, sondern nur ihre Resultate erlangen. Ich studierte eifrig, aber nicht auf ein Examen zu, sondern auf die Früchte zu, die mich unwiderstehlich reizten! - Dass dereinst die Astronomie meine Profession werden würde, fiel mir nicht im Traume ein; ich folgte allein meinem Vergnügen und dieses bestand in der Einsammlung von Früchten." [2, Bd. 1, S. XVII]

So tritt uns Bessel nicht als ein frühreifes Genie entgegen, sondern als ein junger Amateurastronom mit aller Begeisterung für sein Hobby und dem Mangel der unsystematischen und deshalb lückenhaften Kenntnis der Astronomie. Doch der von großem Interesse an der Astronomie getragene Fleiß setzte Bessel bald in den Stand, über kleine Versuche hinauszugehen zu wirklicher wissenschaftlicher Betätigung. Der Anlass dazu ergab sich im Jahre 1804.

Der damalige Direktor der Gothaer Sternwarte, Franz Xaver v. Zach, hatte bei einer Studienreise durch England bis dahin unbekannte Beobachtungen des Halleyschen Kometen aus dem Jahre 1607 aufgefunden. Sie stammten von den englischen Astronomen Thomas Harriot und Nathaniel Torpoley. Dieser Komet hatte großes Aufsehen erregt, freilich mehr in astrologischer Beziehung.

In jener Zeit erschienen viele Schriften, die nicht nur eine "Gründliche Beschreibung und Erinnerung des Newen Monstrosischen Sterns" versprachen, sondern auch von den "gefährlichen Veränderungen im geistlichen und weltlichen Regiment", die dieser erschreckliche "Strobelstern" ankündige, handeln. Für eine Bestimmung der Bahn des Himmelskörpers war hier freilich nichts zu holen.

Doch auch ernsthafte Wissenschaftler hatten den Lauf des Kometen verfolgt, unter ihnen Johannes Kepler und Severin Longomontanus, Der Komet von 1607 ging bald darauf in die Geschichte ein. Denn als Edmond Halley um 1685 die Bahnen mehrerer Kometen, darunter deren von 1531, 1607 und 1682 berechnete, fiel ihm die Ähnlichkeit ihres Laufes ins Auge.

Halley stellte die Hypothese auf, dass es sich hierbei um verschiedene Erscheinungen ein und desselben Kometen handle, und sagte sein Wiedererscheinen für 1758/59 voraus. Tatsächlich wurde der "Halleysche Komet", wie man ihn von nun an nannte, am 25. 12. 1758 von dem Amateurastronomen Johann Georg Palitzsch in Prohlis bei Dresden entdeckt.

Wegen der Bedeutung, die dem Kometen von 1607 in diesem Zusammenhang zukommt, ist es verständlich, dass eine sichere Kenntnis seiner Bahnelemente sehr wünschenswert

war und außerdem die erneute Wiederkehr des Kometen für das Jahr 1835 erwartet wurde.

Zach machte die Beobachtungen, die wesentlich genauer als die bis dahin bekannten waren, 1793 in einem Ergänzungsband des Berliner "Astronomischen Jahrbuchs" bekannt, das Bessel bereits zu dieser Zeit aufmerksam verfolgte. Er fasste den Entschluss, mit Hilfe dieser Daten eine Bahnbestimmung des "Halleyschen Kometen" von 1607 zu versuchen.

Die Anleitung für die erforderlichen Rechnungen fand er in den Werken des französischen Astronomen Joseph Jerome le Francois de Lalande und des in Bremen lebenden berühmten "Kometenastronomen" Heinrich Wilhelm Olbers. Da Bessel keine Bekannten hatte, denen er seine Untersuchung vorlegen konnte, beschloss er, sie Olbers zu übergeben.

Das erste Zusammentreffen mit diesem Gelehrten von Weltruf schildert Bessel so:



2 Heinrich Wilhelm Olbers

"Als ich meine Arbeit über den Cometen von 1607 beendet und sauber geschrieben zu Papier gebracht hatte, fasste ich mir ein Herz, schnitt Olbers, den ich eine Strasse langsam hinabgehen sah, durch Betretung einer Nebenstrasse und größere Eile den Weg ab und bat ihn um die Erlaubnis, ihm einen geringen astronomischen Versuch, den ich gewagt hätte, vorlegen zu dürfen." [2, Bd. 1, S. XIX]

Jeder, der einmal in der Situation war, einem anerkannten Wissenschaftler seine erste wissenschaftliche Arbeit zur Begutachtung zu übergeben, kann wohl dem jungen Bessel das Herzklopfen und das Lampenfieber nachfühlen, das er beim ersten, durch diesen "Trick" herbeigeführten Zusammentreffen mit Olbers empfand. Mit großer Warmherzigkeit nahm Olbers die Kometenrechnung von Bessel entgegen, gab ihm Hinweise zur Überarbeitung, Literatur und weiteres Material und reichte schließlich das Manuskript zur Veröffentlichung in der "Monatlichen Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde", der damals anerkanntesten astronomischen Fachzeitschrift, ein.

Der Wortlaut des Begleitschreibens an den Herausgeber Zach macht deutlich, welch große Hochachtung Olbers dem 20jährigen Bessel entgegenbrachte:

"Die Beilage, welche ich Ihnen hier schicke, gewährt mir die grosse Freude, Ihnen einen

jungen Astronomen von ganz ausgezeichneten Anlagen bekannt zumachen; es ist Friedrich Wilhelm Bessel... Schade, dass solche Talente nicht ganz für die Sternkunde benutzt werden sollen! Die Abhandlung wird Ihnen, wie mir, einen sehr großen Begriff von den Fähigkeiten, den Kenntnissen und der Rechnungsfertigkeit des Verfassers geben." [2, Bd. 1, S. 1]

Durch die Unterstützung von Olbers war ein Arbeitsgebiet für Bessel gefunden: die Kometenastronomie. Doch mehr noch: In Olbers erwuchs Bessel ein väterlicher Freund, der auch weiterhin in seinem Leben eine große Rolle spielen sollte.

Wie auch Bessel war Olbers Astronom aus Liebhaberei, nachdem er am Tage seiner weithin geachteten Tätigkeit als Arzt nachgegangen war. Sicherlich war er dadurch in der Lage, Bessels Fähigkeiten und seinen Enthusiasmus, mit dem er sich neben seiner Arbeit im Handelshaus der Wissenschaft widmete, besonders zu schätzen. [29, S. 19]

Mit großer Energie erweiterte Bessel seine astronomischen Kenntnisse. Mit Hilfe der Olbersschen Instrumente machte er sich mit den Problemen der praktischen Astronomie vertraut. Als Frucht seiner Bemühungen konnte Bessel in recht kurzer Zeit weitere kleinere Arbeiten über Kometenberechnungen veröffentlichen und war außerdem durch Zuarbeiten an mehreren Publikationen von Olbers beteiligt.

Schon seine ersten Zeitschriftenbeiträge und die sie begleitenden achtungsvollen Worte von Olbers und Zach verschafften Bessel rasch Bekanntheit in der Fachwelt. Bald nahm auch der nur um 7 Jahre ältere Mathematiker und Astronom Carl Friedrich Gauß die Hilfe Bessels in Anspruch.

Um die Besselschen Arbeiten bei der Berechnung von Kometen und Planetoiden richtig beurteilen zu können, müssen die Schwierigkeiten erwähnt werden, die sich den Astronomen dieser Zeit entgegenstellten. Zwar hatte Olbers 1797 eine neue Methode der Berechnung von Kometenbahnen publiziert, doch blieb eine solche Arbeit nach wie vor sehr aufwendig. Von der Fertigkeit Bessels, diese Rechnungen zu bewältigen, spricht ein Brief von Olbers an Zach, in dem es heißt:

"Lalande rühmt es als etwas Außergewöhnliches, dass der Leipziger Burkhardt die Bahn des Kometen [vom Okt. 1805] in 24 Stunden berechnet habe; unser Bessel hat viel mehr getan. Am 1. November abends um 8 Uhr schickte ich ihm meine beiden Beobachtungen und die beiden früheren Pariser; zugleich bat ich ihn um gelegentliche Berechnung der Bahn, da mir die Zeit dazu fehle. Mein Billet traf ihn nicht zu Hause, weil er in Gesellschaft war, und doch überraschte er mich am folgenden Morgen 8 Uhr mit den Elementen des Kometenlaufs, wozu er bloß die Zeit von 10 Uhr bis 2 Uhr nachts verwendet hatte."

In dieser Zeit regte sich in Bessel der Wunsch, sein Leben ganz der Astronomie zu widmen. Etwas wehmütig schrieb er an seinen alten Lehrer Thilo, der sich eine kleine Sternwarte eingerichtet hatte:

"Wer soll denn dort den Himmel beobachten? ... hätte ich mich vor einigen Jahren ganz auf die Sternkunde gelegt, so wäre heute vielleicht Hoffnung für mich - aber nun muss ich solche angenehme Gedanken vergehen lassen. Sehr glücklich würde ich sein,

wenn ich jetzt noch meinen Beruf ändern könnte." [26, Sp. 178]

Ganz überraschend bot sich dafür eine Gelegenheit.

## 2.3 Bei Schroeter in Lilienthal

Seit dem Jahre 1781 wirkte in dem Bremen benachbarten Moordorf Lilienthal der Oberamtmann Johann Hieronymus Schroeter.

Wie auch Olbers widmete er sich neben seiner beruflichen Tätigkeit in der Verwaltung der Astronomie. Angeregt durch Friedrich Wilhelm Herschel begann er, große Spiegelteleskope zu schleifen.

Schroeter besaß bald eine Sternwarte mit leistungsfähigen Instrumenten. Außer ihm selbst war dort seit 1796 Carl Ludwig Harding als "Inspektor" sowie als Hauslehrer des Sohnes des Oberamtmanns tätig. Im Sommer 1805 hatte Bessel durch Fürsprache von Olbers Gelegenheit, das Lilienthaler Observatorium zu besuchen. Hardings Tätigkeit ging in jenen Tagen mit einer Berufung nach Göttingen zu Ende.

Es war der Plan von Olbers und Schroeter, Bessel für die frei werdende Inspektorstelle zu gewinnen, und Olbers war es auch, der im Oktober 1805 die konkreten Absprachen mit beiden führte. Erst im März des darauffolgenden Jahres konnte sich Bessel im Hause Kuhlenkamp freimachen und siedelte nach Lilienthal über. Kurz zuvor berichtete Olbers an Gauß: "Jetzt ist unser Bessel ganz für die Astronomie gewonnen."

Gleichermaßen mit großer Bescheidenheit und Hochachtung für Bessel bezeichnete es Olbers im Alter als sein größtes Verdienst, Bessel für die Astronomie gewonnen zu haben. Bessel seinerseits hing mit größter Hochachtung und Verehrung an Olbers.

Das Verhältnis zwischen beiden, dem Lehrer und väterlichen Freund einerseits und dem hochbegabten, den Lehrer später übertreffenden Schüler andererseits, ist von steter Selbstlosigkeit und Aufrichtigkeit gewesen. Mit großer Freude hat Olbers den Weg seines Schülers verfolgt, an dem er doch einen so großen Anteil genommen hat.

Die mehr als 360 Briefe, die beide wechselten, geben nicht nur einen beeindruckenden Einblick in die wissenschaftlichen Arbeiten der beiden großen Astronomen, sondern auch in ihr enges persönliches Verhältnis, das bis zu Olbers Tod im Jahre 1840 währte.

Mit der Übersiedlung nach Lilienthal beginnt für Bessel ein völlig neuer Abschnitt seines Lebens. In Bremen verließ er eine Stellung, die ihm gute Aussicht auf gesellschaftlichen Aufstieg verhieß, zugunsten der unsicheren Lage des Assistenten in einem privaten Observatorium. Die Begeisterung für seine Wissenschaft ließ ihn diesen Schritt gehen, und er hat ihn nie bereut.

In seiner neuen Wirkungsstätte konnte sich Bessel ganz der Beobachtung und Berechnung der Himmelserscheinungen widmen.

Da Schroeter durch seine dienstlichen Verpflichtungen nur selten anwesend war, genoss er weitgehende Freizügigkeit.



### 3 Bessels Brief an Olbers vom 4. Februar 1808, in dem er neue Ergebnisse seiner Arbeit an den Bradleyschen Beobachtungen mitteilt.

Von den Lilienthaler Instrumenten wird Bessel vielleicht etwas enttäuscht gewesen sein. Schroeters astronomische Interessen lagen weniger darin, genaue Positionen der Himmelskörper zu messen, als mit Hilfe großer Spiegelteleskope die Oberflächen des Mondes und der Planeten sowie die ausgedehnten Nebelflecke zu studieren. Seine Spiegelteleskope zählten nach denen von Herschel in England zu den lichtstärksten Instrumenten. Besonders zu nennen ist das 1793 vollendete Teleskop, dessen Spiegel einen Durchmesser von 48,40 cm und eine Brennweite von 8,50 m besaß. Es blieb für über 100 Jahre das größte Fernrohr des europäischen Festlands.

Diese Zeit war von eifriger Arbeit erfüllt, so dass Olbers ihn besorgt tadelte: "Schonen Sie Ihre Gesundheit, mein lieber gar zu eifriger Astronom!" [7, Bd. 1, S. 119] Das Tempo seines Fortschreitens auf den Gebieten der Astronomie und Mathematik war in der Tat erstaunlich. Der Wunsch, sich die Astronomie auch in den entfernteren Bereichen anzueignen, führte ihn zum Studium der schwierigsten Lektüre. Auf ihn trifft in seltener Vollständigkeit zu, was Georg Christoph Lichtenberg einmal in seinem Tagebuch notierte: "Das Wort Schwierigkeit muss gar nicht für einen Menschen von Geist als existent gedacht werden. Weg damit!" [23, S. 152]

Die Freude am Studium der Astronomie ließ Bessel, der ja nicht einmal eine höhere Schulbildung besaß, alle Schwierigkeiten, die sich ihm jetzt und später in nicht geringer Zahl in den Weg stellten, überwinden.

Die Instrumente Schroeters gaben Bessel die Möglichkeit, sich ausgiebig im Umgang mit Fernrohren zu üben. Die Übersiedlung aus dem betriebsamen Bremen, wo er im Handelshaus ständig mit vielen Menschen Kontakt hatte, in das einsame Lilienthal war nicht ohne Probleme für Bessel. Sein persönlicher Umgang war auf Schroeter und dessen bejahrte Schwester beschränkt, Besuche waren selten.

Dafür begann sich sein Briefwechsel mit Astronomen-Kollegen auszudehnen; so er-

schloss sich Bessel eine unschätzbare Informationsquelle, da wissenschaftliche Zeitschriften nur in geringer Zahl existierten. Erholung suchte er oft in der Jagd, bei der ihm sein scharfes Auge sehr zustatten kam, Schroeter nahm auf Bessel nur einen geringen Einfluss. Die wissenschaftlichen Bestrebungen Bessels in Lilienthal waren ganz dem Einfluss von Olbers verpflichtet.

Seine etwa 35 dort entstandenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen behandeln fast ausnahmslos Probleme der Bahnberechnung von Kometen und Kleinplaneten. In Lilienthal entstand auch Bessels erste größere Arbeit, die den Kometen von 1807 zum Gegenstand hatte. Dieser Komet, eine der prächtigsten Erscheinungen des 19. Jahrhunderts, wurde zusammen mit Schroeter in Arbeitsteilung beobachtet.



4 Bessel, Anfang 1810 (Gipsplakette)

Entsprechend seinen Interessen beobachtete der Oberamtmann die Struktur des Kometen und seines Schweifes, während Bessel "im 7-füssigen Herschelschen Teleskop von vorzüglicher Schönheit" [5, S. 4] die Ortsbestimmungen dieses Himmelskörpers vornahm und schließlich aus einer großen Zahl eigener und fremder Beobachtungen dessen Bahn berechnete. Das drei Jahre später dazu in Königsberg erscheinende Büchlein führt dem Leser nicht nur die mathematischen Ableitungen vor Augen, sondern gibt durch umfangreiche Auszüge aus den Tagebüchern einen lebendigen Eindruck von der Arbeit Bessels.

Da dieser Komet während des außergewöhnlich langen Zeitraumes vom 22. September 1807 bis zum 29. Februar 1808 gesehen werden konnte, war eine sehr genaue Bestimmung seiner Bahn möglich. Die Rechnungen Bessels, teilweise mit neu entwickelten mathematischen Vorschriften, ergaben, dass dieser Himmelskörper eine stark elliptische Bahn um die Sonne beschreibt.

Damit war dieser Komet einer der ersten, dessen Zugehörigkeit zu unserem Sonnensystem mit Sicherheit ermittelt werden konnte. Es war ja erst 50 Jahre her, dass der "Bauernastronom" Johann Georg Palitzsch den Kometen von 1682, entsprechend den Berechnungen, am 1. Weihnachtstag 1758 wieder entdeckte, womit erstmalig gezeigt werden konnte, dass sich die Kometen in geschlossenen Bahnen um die Sonne bewegen und, wie Bessel schrieb, das Newtonsche Gravitationsgesetz auch in Räumen weit jenseits der Planetenbahnen gültig ist.



Die in Lilienthal durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen verschafften dem jungen Bessel einen guten Ruf in der Fachwelt. Von verschiedener Seite erhielt er z. T. sehr ehrenvolle Berufungen, so an eine neu zu gründende Hochschule in Düsseldorf und als Professor nach Leipzig und Greifswald. Von besonderem Reiz musste für ihn eine durch Bernhard August v. Lindenau, dem Nachfolger Zachs an der Gothaer Sternwarte, in Aussicht genommene Anstellung an diesem berühmten Observatorium sein.

Doch noch während diese Berufung in der Schwebe ist, trifft ein neuer Antrag ein: Auf Vorschlag des Leiters der Sektion für den öffentlichen Unterricht im Preußischen Ministerium des Innern Wilhelm v. Humboldt, erreichte Bessel im November 1809 die Anfrage, ob er nach Königsberg (heute Kaliningrad) gehen wolle, um die Leitung einer neu zu errichtenden Sternwarte zu übernehmen.

Da die Begleitumstände günstig sind, sagt Bessel zu und nimmt im März 1810 Abschied von Schroeter. [16] Noch später erinnert sich Bessel gerne an die vier Jahre in Lilienthal, wo er "so viele glückliche und ruhige Stunden verlebt habe". [7, Bd. 1, S. 352]

## 2.4 Bessel als Direktor der Königsberger Sternwarte

Das neue Amt in Königsberg stellte hohe Anforderungen an den erst 26jährigen Bessel. Es ging ja nicht darum, die Leitung einer fertigen Sternwarte zu übernehmen und nur Veränderungen im Detail vorzunehmen, sondern es galt, ein Observatorium zu erbauen, das den Ansprüchen der Zeit und der zu erwartenden zukünftigen Entwicklung der Astronomie gerecht wurde. Bereits vor seiner Reise nach Königsberg hatte Bessel auf die Baupläne der Sternwarte Einfluss genommen.

Seine erste Tätigkeit in Königsberg bestand in der Wahl eines günstigen Standortes. Nach vielen aufreibenden Verhandlungen konnte er den sog. Windmühlenberg, eine der höchsten Erhebungen der Stadt am äußersten Rand einer alten Befestigungsanlage, als Standort sichern. Hier waren sehr gute Beobachtungsbedingungen garantiert, wie Bessel an Lindenau berichtete:

"Wenige Sternwarten an ebener Erde besitzen einen so freien Horizont, und dabei eine so schöne Aussicht in die sie umgebende Gegend, als die hiesige." [2, Bd. 3, S. 296]



5 Die Königsberger Sternwarte um 1830

Der Bau bekam die Anordnung eines Kreuzes. Im östlichen Gebäudeteil befanden sich die Wohnung, Arbeitsräume und ein Unterrichtszimmer. Der mittlere Teil bot den be-

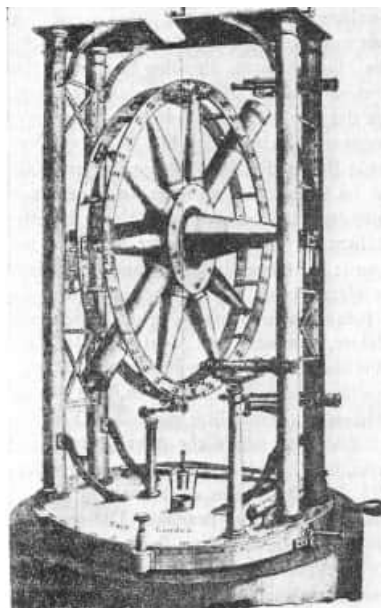
weglichen Instrumenten Platz, während am westlichen Ende der "Meridiansaal" lag, wichtigster Bestandteil einer jeden Sternwarte dieser Zeit.

Mit der Einrichtung des Meridiansaales, in dem Instrumente aufgestellt fanden, die durch ihre Genauigkeit Meisterwerke der Feinmechanik waren, wurde am sichtbarsten der Zielstellung der astronomischen Forschung, der Bestimmung der Positionen der Himmelskörper, Rechnung getragen. Das Hauptinstrument eines Observatoriums, das hier Platz fand, war, im Unterschied zu den gegenwärtigen Sternwarten, in der Regel ein Fernrohr, aufs genaueste in der Nord-Süd-Linie ausgerichtet.

Man beobachtete die Durchgangszeit des Objektes durch den Meridian sowie den Zeitabstand, den es in diesem Moment hat. Deshalb wurde der Blick auf den Himmel nur durch schmale Schlitze nach Süden ermöglicht, während die heute üblichen Drehkuppeln nur selten Verwendung fanden. Aus der beobachteten Zenitdistanz ist unter Berücksichtigung der Polhöhe der Sternwarte die Koordinate der Deklination eines Himmelskörpers berechenbar, während aus der Durchgangszeit durch den Meridian die Rektaszension abgeleitet werden kann.

Die ersten Instrumente der neuen Sternwarte stammen aus dem Nachlass des Grafen Friedrich von Hahn, einem der Aufklärung nahestehenden mecklenburgischen Adligen, der in Remplin (im heutigen Bez. Neubrandenburg) eine instrumentell hervorragend ausgerüstete Sternwarte betrieb. Die Auswahl und der Kauf der Instrumente wurde vom Direktor der Berliner Sternwarte Johann Elert Bode vorgenommen.

Es waren ein Kometensucher (7,85 cm Öffnung, 62 cm Brennweite), zwei Spiegelsextanten von Dollond, eine Pendeluhr und ein Universal-Äquatorial-Instrument von Dollond (5,23 cm Öffnung, 41,85 cm Brennweite). Die beiden Hauptinstrumente waren das Mittagsfernrohr von Dollond (6,56 cm Öffnung, 125,50 cm Brennweite) und der "Vollkreis" von Cary.



6 Vollkreis aus der Londoner Werkstatt von Cary 1792

Bessel fand die Instrumente über alle Erwartung "prachtvoll", nur bei der Uhr zeigten sich Gangungenauigkeiten, weshalb er sie kaum einsetzte. Besonders mit dem Cary-

Kreis hat Bessel intensiv gearbeitet. Der Durchmesser der Kreise, an denen sich die Skale zum Ablesen der Zenitdistanz befindet, betrug 65 cm. Die Ablesung erfolgte durch Messmikroskope. Das zwischen den beiden Kreisen drehbar gelagerte Fernrohr hatte eine Brennweite von 86 cm.

Mit diesen Instrumenten konnte die Königsberger Sternwarte als eines der bestausgerüsteten Observatorien angesehen werden, und Bessel schrieb an Lindenau:

"Sie sehen nun, dass es hinfert nur die Schuld des Wetters sein wird, wenn nicht aus der neuen Sternwarte eine herrliche Reihe von Beobachtungen hervorgeht." [2, Bd. 3, S. 297]

Freilich taugt auch das vollkommenste Fernrohr nichts, wenn nicht der geeignete Beobachter mit ihm arbeitet. Doch die Geschichte lehrt uns, dass Bessel die Möglichkeiten, die seine Sternwarte ihm bot, aufs beste zu nutzen verstand. Indessen zog sich die Fertigstellung des Baus wegen der Ereignisse im Befreiungskrieg gegen die Napoleonischen Truppen noch einige Zeit hin.

Doch, von Verzögerungen abgesehen, hat Bessel die Auswirkungen dieses Krieges nicht spüren müssen, im Unterschied zu manchen seiner Fachkollegen, die ihm nahestanden. So zerstörten französische Soldaten 1813 die Sternwarte Lilienthal, woran Schroeter psychisch zerbrach, und Lindenau wurde als Generaladjutant und Oberstleutnant zum Begleiter des Herzogs von Weimar bestimmt, der das sächsische Armeekorps befehligte, und musste so der Astronomie entsagen.

Während Gelehrte, Studenten und Menschen aller Klassen und Schichten des Volkes zu den Waffen griffen, um Deutschland von der napoleonischen Besetzung zu befreien, stand Bessel diesen tiefgreifenden Ereignissen unbeteiligt gegenüber. Der Bau "seiner" Sternwarte und die wissenschaftliche Arbeit, der er sich mit Begeisterung widmete, ließ ihn alles andere vergessen.

Erst im November 1813, nach 3jährigem Aufenthalt in Königsberg, konnte Bessel das Observatorium beziehen. Die erste Beobachtung datiert vom 12. November dieses Jahres. Der Turm mit der Drehkuppel für das Fraunhofersche Heliometer, von dem noch ausführlich zu sprechen sein wird, ist erst 1829 hinzugefügt worden.

Wenn sich in Königsberg anfangs auch keine Gelegenheit zum Beobachten fand, gab es doch neben den Belastungen, die der Bau der Sternwarte mit sich brachte, viel Arbeit. Auch sein persönliches Leben erfuhr manche Veränderung, wozu sicherlich in erster Linie die 1812 geschlossene Ehe mit Johanna, "Hannchen" Hagen, der Tochter eines Königsberger Medizinalrates, beitrug. Der Freund Olbers gratulierte mit den Worten:

"Ihre lebenswürdige Gebieterin wird Sie schon lehren, dass alles seine Zeit hat und dass man nicht immer rechnen müsse... Mögen Sie nun ganz so glücklich werden, wie Sie es verdienen." [7, Bd. 1, S. 330]

Zwei Jahre darauf kam ein Sohn zur Welt, der aus Verehrung für Olbers den Namen Wilhelm bekam. Bereits unmittelbar nach seiner Übersiedlung nach Königsberg begann Bessel als Professor seine astronomischen Vorlesungen. Mit seiner Aufnahme als ordentliches Mitglied des Lehrkörpers der Universität hatte es jedoch seine Schwierigkeit.

Offensichtlich gab es einige Neider, die dem erst 29jährigen Autodidakten, der nicht einmal die formelle Universitätsreife besaß, den raschen Erfolg, der doch durch Bessels Leistungen vollständig gerechtfertigt war, missgönnten. Gauß bemühte sich mit Erfolg, dass Bessel die Doktorwürde der Universität Göttingen bekam, so dass auch diese Hürde genommen werden konnte.

Das Abhalten der Vorlesungen bereitete Bessel keine Schwierigkeiten. Durch seine jahrelangen intensiven astronomischen Studien beherrschte er den Stoff so sicher, dass er in der Lage war, seinen Studenten eine gründliche Ausbildung zu geben. Bessel schreibt darüber an Olbers:

"Mein Collegium, welches ich publice vor vielen Zuhörern lese, macht mir wenig oder gar keine Mühe, denn ich lese ganz frei und notire mir nur kurz die Punkte, über die ich in der Stunde etwas zu sagen denke; das ist für das halbe Jahr die Arbeit zweier Tage gewesen. Umständlichere Ausarbeitungen, die ich früher unternahm, habe ich gleich verworfen." [7, Bd. 1, S. 231]

## 3 Das Streben nach neuen „Grundlagen der Astronomie“

### 3.1 Die „Fundamenta Astronomiae“

Die Verzögerungen im Bau der Sternwarte gaben Bessel die Muße, sich einer Aufgabe zu widmen, aus der eines der klassischen Werke der Astronomiegeschichte hervorging. Wieder stand eine gelegentlich ausgesprochene Anregung von Olbers am Anfang: Am 10. Mai 1807 machte er Bessel den Vorschlag, aus den Beobachtungen des englischen "Astronomer Royal" James Bradley ein Fixsternverzeichnis, reduziert auf das Jahr 1750, zu berechnen. Wegen der zu erwartenden großen Genauigkeit der Bradleyschen Beobachtungen versprach sich Olbers davon interessante Ergebnisse. Bessel machte sich offenbar sofort an die Arbeit, denn schon zwei Monate später berichtete er über erste Ergebnisse.



7 James Bradley

Hatte Olbers bei seinem Vorschlag vor allem daran gedacht, für Kometen-Beobachtungen möglichst viele exakt bestimmte Vergleichssterne zu erhalten, ging Bessel über diese begrenzte Zielstellung weit hinaus. Unter seinen Händen wuchs die Arbeit in ungeahnter Weise und führte zu Ergebnissen, die gleichermaßen Theorie und Praxis der astronomischen Beobachtungen von Grund auf veränderten.

Nach Bradleys Tod entstand um das Recht, seine reichhaltigen wissenschaftlichen Tagebücher herauszugeben, zwischen den Erben des Astronomen, der englischen Krone und der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften ein Streit, der das eigentliche Ziel, das Material der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, für Jahre verhinderte.

Erst 1798 erschien das voluminöse Werk im Druck, sieben Jahre später folgte ein Ergänzungsband. Die von Bessel bearbeiteten Beobachtungen erstreckten sich über die Jahre 1750 bis 1762. Bessel erkannte bald, dass ihre Genauigkeit weit über das Erwartete hinausging und es deshalb wünschenswert sei, "dass eine sichere Theorie ihnen zum Grunde gelegt werden könnte". [7, Bd. 1, S. 170]

Was sich hier so einfach ausspricht, stellte eine Arbeit dar, die den geübten Rechner

und begeisterten jungen Wissenschaftler sechs Jahre beschäftigte und während dieser Zeit den größten Teil seiner Arbeitszeit beanspruchte.

Woraus resultiert der gewaltige Arbeitsaufwand, der Bessel bei der Bearbeitung der Bradleyschen Beobachtungen erwuchs? Die Beantwortung dieser Frage gibt einen interessanten Einblick in die Tätigkeit eines Astronomen.

Die am Beobachtungsinstrument gewonnenen Daten der Fixsternörter sind mit einer Mehrzahl von Fehlern behaftet und geben deshalb nicht deren tatsächliche Position wieder. Zu diesen Einflüssen gehören die Präzession, die Refraktion, die Nutation und die Aberration. Nach der Beobachtung besteht für den Astronomen deshalb die nicht minder wichtige Aufgabe, diese Fehler aus den Daten zu eliminieren.

Bradley hatte seine Beobachtungen vor allem mit einem Mauerquadranten von etwa 245 cm Radius angestellt. Gemessen wird mit einem solchen Gerät (das genau in der Nord-Süd-Richtung aufgestellt ist) die Zenitdistanz eines Gestirns zum Zeitpunkt der Kulmination, d. h., wenn es am höchsten über dem Horizont steht.

Die Koordinaten des Beobachtungsobjektes werden dann, wie bereits beschrieben, berechnet. Bradley hatte seine Beobachtungen im wesentlichen nicht bearbeitet. Lediglich für 389 Sterne berechnete er die Positionen für 1760 und leitete auch eine Tafel der Refraktion, der astronomischen Strahlenbrechung ab. Was hat es mit der Refraktion und den anderen genannten Fehlerquellen auf sich?

Tritt ein Lichtstrahl von einem Medium in ein anderes mit abweichender Dichte, so erleidet er eine Richtungsänderung. Darauf beruht die Wirkung einer jeden Linse; die beiden Medien sind Luft und Glas. Dasselbe geschieht, wenn das Licht eines Sterns in die Erdatmosphäre eintritt. Auch dabei wird der Strahl von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.

Ausgenommen ist das Licht der Sterne, das genau senkrecht in die Atmosphäre eintritt, also von Sternen, die im Zenit des Beobachters stehen. Die Refraktion ist um so stärker, je schräger der Lichtstrahl die Grenze zwischen den Medien passiert. Am Horizont erreicht die Refraktion einen Wert von mehr als  $1/2$  Grad. Durch die Refraktion erhält der Stern scheinbar einen größeren Abstand vom Horizont, er wird angehoben.

Beobachten wir z. B. den Untergang der Sonne, so bewirkt die Refraktion, dass in dem Moment, wo wir die Berührung des unteren Sonnenrandes mit dem Horizont wahrnehmen, unser Tagesgestirn eigentlich gar nicht mehr am Himmel steht. Durch die Refraktion wird sie jedoch etwa um den Betrag ihres Durchmessers angehoben, und so ist sie noch sichtbar.

Der genaue Betrag der Refraktion ist von der Lufttemperatur und dem Luftdruck abhängig. Andere Fehler, die bei der Bearbeitung astronomischer Beobachtungen berücksichtigt werden müssen, entstehen aus den Veränderungen der Lage der Erdrotationsachse im Raum (der Präzession und Nutation) sowie durch die Aberration, d.h. durch die Veränderung der Gestirnsposition infolge der endlichen Lichtgeschwindigkeit und der Bewegung der Erde um die Sonne.

Im Prinzip lassen sich alle diese Faktoren auf einfache Weise in die Rechnungen einbeziehen. Die Schwierigkeit für Bessel bestand darin, dass z. B. über die Größe der

Refraktion bei verschiedenen Höhen der Gestirne über dem Horizont und den Einfluss der Dichte und der Temperatur der Luft auf die Refraktion keine genügende Klarheit herrschte.

In der Folge wurden sehr unterschiedliche Refraktionswerte verwendet, was notwendig eine Unsicherheit in die Positionsbestimmungen der Himmelskörper brachte.

Da Bessel in den Bradleyschen Beobachtungen von 3222 Sternen eine Datensammlung zur Verfügung hatte, die sich "durch ihren inneren Zusammenhang, durch die Einheit des ihr zum Grunde liegenden Plans" [4, S. 321] auszeichnete, sah er die erfolgsversprechende Möglichkeit, alle Reduktionselemente aus den Beobachtungen selbst abzuleiten, z. T. ergänzt durch eigene Beobachtungen.

Schon diese Untersuchungen, die gewissermaßen Vorarbeiten zum eigentlichen Unternehmen waren, fanden in der Fachwelt größte Aufmerksamkeit. Für eine Refraktionstafel erhielt Bessel 1811 den Lalande-Preis der Französischen Akademie der Wissenschaften. Ein Jahr später wurde er zum auswärtigen Mitglied der Berliner und 1814 der Petersburger Akademie der Wissenschaften gewählt. Im Jahre 1812 sandte er der Berliner Akademie seine Arbeit "Untersuchung der Größe und des Einflusses des Vorrückens der Nachtgleichen" ein, die, mit höchstem Lob bedacht, ausgezeichnet wurde. In dieser Schrift leitete er aus den Beobachtungen von Bradley und Giuseppe Piazzi einen neuen, genaueren Wert der Präzessionskonstante ab.

Auch Bradleys Mauerquadrant ist Gegenstand einer eingehenden Untersuchung, indem Bessel aus den damit gemachten Beobachtungen dessen Fehler zu ermitteln sucht und ihren Einfluss auf die Beobachtungsdaten in Rechnung stellt. Er hält dieses Gerät "für eins der schönsten astronomischen Instrumente ... welche je existiert haben". [2, Bd. 2, S. 7]

Nomen- clatur	Sollatus Cha- racteres	Magni- tudo	A. R. pro anno 1755	Nam. Ob- serv.	Procedens annus		Declinatio pro anno 1755	Nam. Ob- serv.	Differencia Catalogi Piazzi.		Observationes.
					1755	1800			Alt.	Decl.	
12. Arcturus ...	6	74° 31' 30" 8	5	88. 089	66. 222	45° 7'	—	—	1. 219	1. 047	1. Tota horum celis observationes non conueniunt.
13. Arcturus ...	1	74 39 38. 0	5	61. 825	61. 912	41 43 46. 8	30	—	1. 204	1. 037	1754 Jan. 45. 74° 31' 5. 4
14. Arcturus ...	5	74 34 18. 5	1	10. 369	10. 312	31 32 56. 4	3	—	1. 211	1. 031	1754 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
15. Arcturus ...	7	74 29 23. 0	1	87. 809	87. 867	31 30 56. 4	1	—	1. 192	1. 011	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
16. Arcturus ...	1	75 7 11. 4	1	86. 867	86. 868	31 32 13. 6	8	—	1. 147	1. 040	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
17. Arcturus ...	7	75 11 21. 0	1	12. 811	12. 824	31 30 46. 9	3	—	1. 121	1. 020	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
18. Arcturus ...	4	75 11 18. 0	4	41. 806	41. 839	31 30 59. 1	5	—	1. 114	1. 039	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
19. Arcturus ...	7	75 14 18. 4	1	82. 181	82. 480	31 32 13. 6	8	—	1. 013	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
20. Arcturus ...	4	75 16 46. 5	5	43. 113	43. 148	31 32 13. 6	8	—	1. 010	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
21. Arcturus ...	1	75 18 13. 2	5	41. 427	41. 454	31 32 13. 6	8	—	1. 016	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
22. Arcturus ...	1	75 19 7. 9	4	82. 109	82. 108	31 31 7. 9	3	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
23. Arcturus ...	1	75 19 8. 4	4	80. 142	80. 140	31 30 18. 7	4	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
24. Arcturus ...	7	75 31 56. 4	5	18. 448	18. 719	31 32 13. 6	8	—	1. 007	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
25. Arcturus ...	6	75 37	—	49. 787	49. 811	31 32 13. 6	8	—	1. 010	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
26. Arcturus ...	6	75 38	—	70. 218	70. 439	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
27. Arcturus ...	1	75 41 18. 0	5	43. 094	43. 121	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
28. Arcturus ...	6	75 41	—	18. 819	18. 811	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
29. Arcturus ...	8	75 48	—	18. 964	18. 941	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
30. Arcturus ...	8	75 18 18. 0	1	18. 918	18. 919	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
31. Arcturus ...	6	75 7 27. 6	5	63. 173	63. 180	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
32. Arcturus ...	1	75 16 8 16. 7	1	12. 780	12. 847	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
33. Arcturus ...	1	75 16 8 16. 7	1	12. 780	12. 847	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
34. Arcturus ...	6	75 16	—	41. 307	41. 322	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
35. Arcturus ...	6	75 16 17. 4	5	46. 108	46. 110	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
36. Arcturus ...	6	75 16 48. 4	5	84. 044	84. 100	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
37. Arcturus ...	7	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
38. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
39. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
40. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
41. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
42. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
43. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
44. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
45. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
46. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
47. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
48. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
49. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
50. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
51. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
52. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
53. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
54. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
55. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
56. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
57. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
58. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
59. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
60. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
61. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
62. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
63. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
64. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
65. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
66. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
67. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
68. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
69. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
70. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
71. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
72. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
73. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
74. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
75. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
76. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
77. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
78. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
79. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
80. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
81. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
82. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
83. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
84. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
85. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
86. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
87. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8
88. Arcturus ...	1	75 38 18. 0	5	58. 612	58. 748	31 32 13. 6	8	—	1. 011	1. 034	1755 Feb. 3. 74° 31' 20. 8

1816 gezwungen, unterstützt vor allem von Gauß, Olbers, Lindenau und Bode, zu einer Subskription aufzurufen. Die aus der Feder Lindenaus stammende Nachschrift zu diesem Aufruf ist ein bemerkenswertes Dokument diplomatischen Geschicks und der Anklage der Zustände im damaligen Deutschland.

Es sei hier zwar leicht, schreibt er, Romane, Handbücher und Lexika zu veröffentlichen, die "den Unwissenden mit leichter Mühe zum scheinbar Vielwissenden umzustempeln versprechen", jedoch für größere, den exakten Wissenschaften gewidmete Werke seien kaum Buchhändler zu finden.

So appelliert Lindenau nicht nur an die astronomischen Fachkollegen, sondern an alle "Begüterten", die, "dächte ich, gern den unbedeutenden Beitrag liefern, um zur Erscheinung eines Werkes mitzuwirken, was das Gebiet einer ganzen Wissenschaft bereichert und erweitert", geneigt sein müssten. [2, Bd.2, S. 237 f.]

Mit Hilfe der finanziellen Sicherheit von fast 200 Subskribenten wird das große Werk 1818 mit dem Titel "Fundamenta astronomiae pro anno MDCCLV deducta ex observationibus viri incomparabilis James Bradley in specula astronomica Grenovicensi per annos 1750-1762 institutis" ("Grundlagen der Astronomie für das Jahr 1755, aus den von 1750-1762 von dem unvergleichlichen Mann James Bradley auf der Sternwarte Greenwich ausgeführten Beobachtungen abgeleitet") gedruckt.

In einer kurzen Vorrede widmet Bessel sein Werk Wilhelm Olbers. Mit warmen, feierlichen Worten ehrt er ihn als seinen Lehrer und hebt dessen Verdienste um die Astronomie hervor.

Der Titel "Grundlagen der Astronomie" mag fast wie eine Anmaßung klingen, würde er nicht durch den Inhalt des Buchs vollständig gerechtfertigt sein.

Die "Fundamenta Astronomiae", in lateinischer Sprache verfasst, sind in 13 Sektionen geteilt. Den größten Umfang nimmt natürlich das Verzeichnis der mittleren Örter, d. h. der von allen verfälschenden Einflüssen bereinigten Positionen von fast 3300 Sternen ein.

Diese Katalogtafeln enthalten 11 Spalten. Die ersten dienen der Identifizierung der Objekte und enthalten auch Helligkeitsangaben. Darauf folgen die Daten der Rektaszension für 1755, deren Veränderung durch die Präzession für 1755 und 1800, sowie die Zahl der Beobachtungen Bradleys, die für diese Ableitungen herangezogen wurden.

Die weiteren Spalten enthalten Angaben für die zweite Koordinate, die Deklination. Die beiden letzten führen Differenzen zwischen den Ortsbestimmungen Bradleys und Piazzis auf sowie Anmerkungen zu einzelnen Sternen.

Durch den Vergleich der Daten Bradleys mit denen von Piazzini findet Bessel 48 Sterne, die von Bradley nur einmal beobachtet wurden und die sich weder bei anderen Astronomen noch am Himmel selbst auffinden ließen. Im "verschundenen Stern" Nr. 42, den Bradley am 3. Dezember 1753 beobachtete, erkannte Bessel den Planeten Uranus, der erst 1781 von Friedrich Wilhelm Herschel entdeckt wurde.

Diese Beobachtung - Bradley hatte den planetaren Charakter dieses "Sterns" nicht erkannt - trug dazu bei, die Bahn des Uranus mit größerer Genauigkeit als zuvor zu berechnen, da nun ein größerer Abschnitt der Bahn dieses Planeten in die Rechnungen



einbezogen werden konnte.

Das Sternverzeichnis der "Fundamenta Astronomiae" ist ein sog. "Fundamentalkatalog". Die Sternpositionen werden mit der höchsten möglichen Genauigkeit, ohne Bezugnahme auf andere Sterne bestimmt. Da die Beobachtungen für solche Kataloge einen großen Aufwand erfordern, enthalten sie meistens nur eine relativ kleine Zahl von Sternen. Fundamentalkataloge dienen zur Herstellung umfangreicher Kataloge, die mehrere Hunderttausend Sterne enthalten können, deren Positionen relativ zu den Fundamentalsternen gemessen werden und deren Genauigkeit lediglich zur sicheren Identifizierung ausreichen muss.

*Die Bedeutung der "Fundamenta Astronomiae" geht über den Charakter eines Sternkatalogs, der Bessel schon allein eine bleibende Sterne enthalten können, deren Positionen relativ zu den Funda-*<sup>2</sup>

außer den Sternörterten umfasst das Werk auch alle zur Reduktion der Beobachtungen notwendigen Daten und Formeln, die Bessel z. T. schon früher publiziert hatte, für die Refraktion, Präzession, Nutation und Aberration. Dadurch enthalten die "Fundamenta Astronomiae" implizit ein vollständiges Lehrbuch der sphärischen Astronomie.

Alle Tafeln sind mit größter Sorgfalt berechnet und geben den Astronomen zum erstenmal die Möglichkeit, einheitliche, sichere Reduktionselemente zu verwenden und somit die Genauigkeit der Positionsbestimmung der Gestirne zu steigern. Bessel war sich völlig darüber im klaren, dass er den Fachkollegen in aller Welt diese grundlegende Arbeit nur durch die von Bradley mit höchster Akribie ausgeführten und registrierten Beobachtungen vorlegen konnte.

Stets hatte Bradley Temperatur, Luftdruck und Beobachtungszeit sorgfältig verzeichnet, wodurch Bessel den Einfluss der Fehler exakt in Rechnung stellen konnte. Wichtig für die Genauigkeit, die Bessel erreichte, war auch die Eliminierung der Instrumentenfehler des Mauerquadranten und der Bradleyschen Uhr.

Außer zur Ableitung der Reduktionselemente benutzte Bessel das Material des Sternkatalogs für weitere selbständige Untersuchungen. So berechnete er die Polhöhe der Sternwarte Greenwich und stellte einen Katalog von 71 Sternen mit bemerkenswerter Eigenbewegung zusammen. Gerade der Eigenbewegungskatalog wurde als eine willkommene Ergänzung begrüßt.

Dass auch die Fixsterne, entgegen ihrem Namen, keine festen Positionen einnehmen, hatte zwar schon Edmond Halley 1718 festgestellt, doch war die Realität von Sternbewegungen auch 100 Jahre später noch nicht allgemein anerkannt. Jedoch das von Bessel zusammengestellte Material ließ keinen Zweifel mehr gelten.

Mit dem größten Betrag einer Bewegung ist in den "Fundamenta" der Stern 61 Cygni verzeichnet, der Bessel noch Jahre später beschäftigte und zu einer großen Entdeckung führen wird. Bessel hatte durch die Herstellung des Fundamentalkatalogs und der Ableitung wichtiger astronomischer Daten aus den Beobachtungen Bradleys deren überragende Bedeutung bewiesen.

---

<sup>2</sup>Im Originalbuch fehlen hier Teile mehrerer Sätze!

Aus diesem Grunde bearbeitete der Berliner Astronom Arthur Auwers (er wurde 1912 geädelt) ab 1865 erneut die Beobachtungen des englischen Astronomen und ließ dabei zahlreiche neue Erkenntnisse, die Bessel nicht zur Verfügung standen, einfließen. Das Werk erschien im Auftrag der Russischen Akademie der Wissenschaften . ab 1882 unter dem Titel "Neue Reduction der Bradleyschen Beobachtungen aus den Jahren 1750 bis 1762" in St. Petersburg.

Aus den so ungemein fruchtbaren Arbeiten von Bradley und Auwers wurde in unserem Jahrhundert der Gedanke entwickelt, die Örter von Fundamentalsternen regelmäßig zu bearbeiten und die aktuellen Daten den Astronomen zur Verfügung zu stellen. Unter der Schirmherrschaft der Internationalen Astronomischen Union erscheint gegenwärtig jedes Jahr ein Katalog, der die scheinbaren Örter von 1535 Fundamentalsternen enthält. Die mathematischen Grundlagen der Herstellung und Handhabung des Katalogs gehen teilweise auf Bessel zurück.

Bessel verfolgte den Plan der Vereinheitlichung der Reduktionselemente für astronomische Beobachtungen auch nach dem Erscheinen der "Fundamenta Astronomiae" weiter. Häufig nutzte er, sich mit dem schon so glänzend Erreichten nicht zufriedengebend, die Gelegenheit, die aus den Bradleyschen Beobachtungen abgeleiteten Konstanten der Refraktion zu testen und zu verbessern.

Zusammen mit Friedrich Wilhelm Argelander, der von 1820 bis 1823 Bessels Assistent war, untersuchte er vor allem die Refraktion in der Nähe des Horizonts und den Einfluss der Temperatur und des Luftdrucks auf die Strahlenbrechung. Aus den Ergebnissen der "Fundamenta Astronomiae" und den Korrekturen aus späteren Arbeiten stellte Bessel die 1830 erschienenen "Tabulae Regiomontanae", die "Königsberger Tafeln", zusammen.

Es war seine Absicht, hiermit sämtliche Reduktionselemente, die zur Ableitung der mittleren Gestirnspositionen aus den beobachteten Daten notwendig sind, in bequemer tabellarischer Form zu erfassen. Die den Tafeln zugrunde liegenden mathematischen Vorschriften stammen teils von Gauß, teils von Bessel selbst.

Alle Daten sind so weit wie möglich aufbereitet, z.T. zu komplexen Faktoren zusammengefasst und mit ihren Logarithmen aufgeführt, um die Rechenarbeit auf ein Minimum zu reduzieren.

Außerdem enthält dieses Werk auch die Örter von 36 Fundamentalsternen sowie des Polarsterns von 1750 bis 1850. Wegen der Sicherheit der in den "Tabulae Regiomontanae" enthaltenen Daten und der Bequemlichkeit ihrer Handhabung fanden sie bis zum Ende des 19. Jahrhunderts fast in unveränderter Gestalt bei den Astronomen aller Länder eine weite Verbreitung.

## 3.2 Welche Fehler hat ein astronomisches Fernrohr?

Während der Bearbeitung der Bradleyschen Beobachtungen lernte Bessel, wie durch eine kritische Analyse der Daten und der ihnen anhaftenden Fehler die praktische Astronomie zu einer hohen Vollkommenheit gelangen kann. Bessel überzeugte sich davon, dass ein jedes Beobachtungsinstrument, sei es auch noch so ausgezeichnet und mit

größter Sorgfalt hergestellt, Abweichungen vom Ideal aufweist.

Der verfälschende Einfluss der Refraktion und der anderen Faktoren auf die Beobachtungen war z. T. seit längerer Zeit bekannt gewesen, doch Bessel betrat Neuland, als er begann, eine Theorie der Instrumentenfehler auszuarbeiten.

Auch die gründlichsten und scharfsinnigsten Astronomen vor ihm nahmen die Instrumente, wie sie aus der Hand der Hersteller kamen, als genau an. Die Instrumente wurden lediglich als ein Mittel zum Zweck der Beobachtung angesehen. Ihre Untersuchung erübrigte sich somit. Wenn dennoch in wenigen Fällen der Gedanke aufkam, dass die Fernrohre versteckte Fehler aufweisen, wurden diese für unregelmäßig und deshalb nicht eliminierbar gehalten.

In Bessels Tätigkeit erhielten die Instrumente eine völlig andere Stellung. Vom bloßen Mittel zum Zweck wurden sie zu Individuen, denen eine gleiche Bedeutung zukommt wie den Objekten, zu deren Beobachtung sie dienen. Deshalb muss, wie Bessel meinte, der Astronom nicht nur wissen, was er beobachtet, sondern auch, womit er beobachtet, muss wissen, welche Eigentümlichkeiten, Vorzüge und Mängel sein Instrument hat. Erst dann werden die Beobachtungen wirklich zuverlässig.

So beginnt Bessel die Arbeit an jedem Instrument mit einer gründlichen Untersuchung seiner Teile: 1814 der Cary-Kreis und das Dollondsche Mittagsfernrohr, 1819 der neue Meridiankreis von Reichenbach und Ertel, 1831 und 1841 das Fraunhofersche Heliometer, bzw. der Repsoldsche Meridiankreis.

Bessel fand bei allen Instrumenten mehrere Fehler, die zwar durch die große Sorgfalt ihrer weltberühmten Hersteller äußerst gering waren, aber doch bei der Feinheit der Beobachtungen einen merklichen Einfluss auf das Resultat hatten. Dazu gehörten z. B. beim Cary-Kreis Fehler bei der Anbringung der Skale, sogenannte Kreisteilungsfehler. Ist der Abstand zwischen den Skalenteilen auch nur um einen geringen Betrag unregelmäßig, kommt es zu Verfälschungen des Resultats.

Einen Einfluss auf die Genauigkeit hat auch eine Durchbiegung der Achsen oder eine leichte Exzentrizität der Lager, auf denen sie ruhen. Weitere Fehler können durch eine leichte Ungenauigkeit der Aufstellung, durch Fehler im Gang der Mikrometerschrauben und durch den Einfluss wechselnder Temperaturen entstehen. Auch mit dem allergrößten Aufwand wäre es nicht möglich, all diese und weitere Fehlerquellen beim Bau der Instrumente zu vermeiden.

Ist aber ein Fehler bekannt und weiß man, wie er sich auf die Resultate auswirkt, kann er berücksichtigt werden. Bessel gelang es, Methoden zur Untersuchung der Instrumentenfehler sowie einfache und sichere Vorschriften für ihre Eliminierung zu finden. Mit dem Blick auf diese Untersuchungen ist es durchaus berechtigt, wenn Bessel schrieb:

"Jedes Instrument wird auf diese Art zweimal gemacht, einmal in der Werkstatt des Künstlers von Messing und Stahl; zum zweitenmale aber von dem Astronomen auf seinem Papiere, durch die Register der nöthigen Verbesserungen, welche er durch seine Untersuchung erlangt." [3, S. 432]

Es bliebe in diesem Zusammenhang noch zu ergänzen, dass Bessel natürlich auch den

Gang seiner Uhren auf das genaueste überprüfte. Da die Ortsbestimmung eines Gestirns auf der Feststellung des Zeitpunktes seines Meridiandurchganges beruht, bergen Ungenauigkeiten im Gang der Uhren eine beträchtliche Fehlerquelle in sich - sofern sie nicht bekannt sind. Sobald aber die tägliche Abweichung der Uhr festgestellt ist, lässt sich dies als Zeitkorrektur bei den Beobachtungen berücksichtigen.

So begann mit diesen Untersuchungen Bessels "eine neue Epoche in der beobachtenden und rechnenden Astronomie", wie es der Astronom Rudolf Wolf ausdrückte. [32] Die von Bessel eingeführten Methoden der Instrumentenprüfung und der Reduktionsverfahren astronomischer Beobachtungen sind heute, in weiterentwickelter Form, grundsätzlicher Bestandteil der Beobachtungspraxis.

Die von Bessel so intensiv betriebene Positionsastonomie, d.h. die Beobachtung der Gestirnsörter, nimmt heute zwar nur noch einen geringen Raum im weiten Forschungsfeld der Astronomie ein, doch die grundsätzlichen Arbeitsschritte und die Haltung zu den einzelnen Problemen der Beobachtung, wie wir sie bei Bessel kennengelernt haben, ist auch heute im gleichen Maße erforderlich.

Die Korrekturlemente sind dieselben geblieben, wenn auch neuentwickelte Instrumententypen andere Fehlerquellen aufweisen und mit der Kompliziertheit der Instrumente in der Regel auch deren Zahl ansteigt.

In diesem Komplex der Bemühungen Bessels um höchste Beobachtungsgenauigkeit ist noch eine weitere Entdeckung zu erwähnen, die Bessel 1821 gelang.

Bei gemeinschaftlichen Beobachtungen mit Henric Johann Walbeck stellte Bessel fest, dass jener die Durchgänge eines Sterns durch das Blickfeld des Fernrohrs um ca. 1 Sekunde später als er selbst wahrnahm, [7, Bd. 2, S. 188]

Schon zwei Jahre zuvor hatten Bessel, Lindenau und Johann Franz Encke ähnliche Verzögerungen auf der Seeberg-Sternwarte bei Gotha festgestellt, doch kam es wegen ungünstigen Wetters zu keiner genaueren Analyse. Jahrzehnte zuvor hatte der englische Astronom Nevil Maskelyne einen Beobachter seiner Sternwarte entlassen, weil dieser stets eine etwas andere Beobachtungszeit ermittelte, was Maskelyne als Unaufmerksamkeit auslegte.

Bessel glaubte jedoch nicht an das willkürliche Walten unerkennbarer Faktoren, sondern ging der Sache auf den Grund. Die nähere Untersuchung dieses "so wichtigen, äusserst räthselhaften Gegenstandes", wie Olbers diese Erscheinung nannte, [7, Bd. 2, S. 188] führte zur Entdeckung der "persönlichen Gleichung".

Ihre Erklärung findet sie dadurch, dass jeder Mensch eine bestimmte, unterschiedliche Zeit benötigt, um auf Umweltreize zu reagieren, was auch oft als "Schrecksekunde" bezeichnet wird. Das hat nichts mit Unaufmerksamkeit zu tun, sondern ist psychologisch und physiologisch zu erklären. So wird z.B. während der Ausbildung und des Einsatzes von Kosmonauten die Messung der Reaktionsschnelligkeit, der "Schrecksekunde", zur Beurteilung der seelischen Verfassung der Testperson herangezogen.

Im Straßenverkehr kann eine kurze "Schrecksekunde", also eine große Reaktionsschnelligkeit, Unfälle verhüten. Da durch die "persönliche Gleichung" der Zeitpunkt eines Ereignisses um einige Zehntelsekunden zu spät registriert wird, ist es notwendig, die-

se Verzögerung bei der Bearbeitung von Beobachtungsdaten zu berücksichtigen, bei denen es auf höchste Präzision der Zeitbestimmung ankommt.

### 3.3 Ein neues Arbeitsgebiet: Sternkataloge

Im Jahre 1819 bekam Bessel ein neues Fernrohr, einen Meridiankreis aus der berühmten Münchener Werkstatt von Reichenbach, die eines der ersten und damals in Deutschland führenden Zentren für feinmechanisch-astronomische Geräte war und die großen Traditionen Deutschlands auf diesem Gebiet begründete.

Wie gewohnt, unterzog Bessel dieses Gerät zunächst den verschiedenen Untersuchungen zur Feststellung seiner Fehler. Im Frühjahr des folgenden Jahres stand es zur Beobachtung bereit.

Mit den nun gegebenen instrumentellen Voraussetzungen fasste Bessel den Entschluss, an eine systematische Erfassung aller mit einem mittleren Fernrohr sichtbaren Sterne zu gehen. Damit griff er einen schon seit langem gehegten Plan auf, der jedoch bis dahin nur teilweise verwirklicht werden konnte. Seit dem klassischen Sternverzeichnis des griechischen Astronomen Hipparch, das Eingang in den Almagest des Ptolemäus fand, gab es eine Reihe von Sternverzeichnissen und Atlanten.

Besonders zu nennen sind die Arbeiten von Flamsteed, Bradley, Piazzzi, Lalande und Tobias Mayer. 1801 veröffentlichte Johann Elert Bode eine Sternkartensammlung "Uranographia", die einen Katalog der Positionen von 17240 Sternen enthält. Doch schon 1800 machte Zach den Vorschlag, eine umfassende Himmelsdurchmusterung auf kollektiver Basis zu unternehmen.

Sogar zu ersten organisatorischen Schritten ist es auf sein Betreiben hin gekommen. Der praktischen Durchführung standen zunächst unüberwindliche Hindernisse im Weg. Harding begann dann ein wenig später auf Anregung Zachs mit den Beobachtungen für einen Himmelsatlas, der Sterne bis zur 8. und 9. Größenklasse enthalten sollte.

Schon während der Ausarbeitung der Sternkarten erwies sich mehrfach ihr großer Nutzen. Nachdem 1801 und 1802 die Planetoiden Ceres und Pallas entdeckt wurden, leisteten Hardings Karten zur Fixierung ihrer Bahn gute Dienste. Mehr noch: Während der intensiven Tätigkeit für dieses gewaltige Unternehmen wurde Harding für seine Mühe mit der Entdeckung des Kleinplaneten Juno belohnt.

Da außerdem 30 Jahre zuvor von Herschel der Planet Uranus und 1807 von Olbers der Kleinplanet Vesta entdeckt wurde, fand die Schlussfolgerung, es müsse noch weit mehr Mitglieder unseres Planetensystems geben, immer größeren Widerhall. Doch auch über die Schwierigkeiten, unter dem Gewimmel der Sterne geringerer Größe einen Lichtpunkt aufzufinden, der sich durch seine Bewegung als Körper unseres Sonnensystems zu erkennen gibt, täuschte man sich nicht.

Abhilfe konnte nur durch die genaue Kenntnis des Fixsternhimmels geschaffen werden, also durch Fixsternverzeichnisse und Karten.

Dieses Vorhaben nahm Bessel im Sommer 1821 in Angriff. Für die Zonen von  $+15^\circ$  bis  $-15^\circ$  Deklination begann er, alle Sterne bis etwa zur 9. Größenklasse herab zu beobachten. Als Instrument diente ihm der Meridiankreis.

Methodisch ging er so vor, dass er das streng in Nord-Süd-Richtung justierte Gerät auf eine bestimmte Deklination ausrichtete und alle Sterne, die wegen der scheinbaren täglichen Drehung des Fixsternhimmels um die Erde durch das Blickfeld zogen, registrierte. Unterstützung fand er durch seinen damaligen Gehilfen Argelander.

Die Ergebnisse der Durchmusterung wurden in den "Astronomischen Beobachtungen" der Sternwarte Königsberg publiziert. Sie betrafen etwa 32000 Sterne. Die Grenzhelligkeit von  $9^m$  legte Bessel fest, um an jeder Stelle des Himmels genügend Sterne zu haben.

Aus diesen Zonenbeobachtungen verfertigte Bessel unter Hinzuziehung von Sternkatalogen der Observatorien Paris und Palermo für einen kleinen Himmelsausschnitt eine Sternkarte und sandte sie an die Berliner Akademie der Wissenschaften. Bessel wollte damit, getreu dem Zachschen Plan von 1800, ein umfassendes Projekt zur Herstellung von Sternkarten ins Leben rufen.

Er hatte Erfolg. Die Akademie unterstützte seinen Plan sowie die von ihm in einer Denkschrift dargelegten Arbeitsprinzipien und berief eine verantwortliche Kommission, der u. a. Encke und Bessel selbst angehörten. Im November 1825 erschien in den "Astronomischen Nachrichten" der Aufruf zur Teilnahme an der Herstellung der "Akademischen Sternkarten" zusammen mit einer Probekarte von Bessel. Im Aufruf heißt es, den Besselschen Vorstellungen folgend:

"Dergleichen Karten werden also, ausserdem dass eine so genaue Kenntniss des Himmels ein eigenthümliches Interesse gewährt und viele astronomische Beobachtungen erleichtert, auch das wahre Mittel darbieten, die Kenntniss unseres Sonnensystems durch Entdeckung neuer Planeten zu erweitern; sie werden diese sogar sicher herbeiführen können, während ohne specielle Himmelskarten nur ein günstiger Zufall die Auffindung veranlassen kann." [2, Bd. 2, S. 275]

Weiterhin führt Bessel die Argumente ins Feld, dass man mit Hilfe der Karten stets über genügende Vergleichssterne zur Ortsbestimmung von Kometen verfügt (das war bereits das ursprüngliche Motiv zur Bearbeitung der Bradleyschen Beobachtungen) und auch in der Lage sein wird, Eigenbewegungen von Sternen festzustellen. Wegen des immensen Aufwandes, den die Arbeiten an den Sternkarten erforderten, verzögerte sich die Fertigstellung stark.

Erst im Jahre 1859 konnten sie komplett im Druck unter dem Titel "Akademische Sternkarten für den Gürtel des Himmels von  $15^\circ$  südlicher bis  $15^\circ$  nördlicher Abweichung nach Bessels Vorschlag entworfen von verschiedenen Astronomen" erscheinen.

Sie wurden nicht nur ein kollektives, sondern ein internationales Unternehmen, an dem neben Astronomen aus Berlin, Leipzig, Göttingen und München auch Fachkollegen in Russland, Italien, Österreich, Ungarn und England beteiligt waren. Schon während der Ausarbeitung erwies sich in geradezu spektakulärer Weise, wie berechtigt die Vermutung Bessels war, die Karten würden bei der Auffindung neuer Planeten eine große Hilfe sein, als 1846 ein gerade fertig gewordenes Blatt derselben eine rasche Entdeckung des Planeten Neptun unter dem Gewimmel der Fixsterne, nahe des vorausberechneten Ortes, ermöglichte, wovon noch ausführlicher zu sprechen sein wird.

Diesen Triumph seiner Sternkarten erlebte Bessel jedoch nicht mehr, da er schon ein halbes Jahr zuvor verstorben war.

Bessel dehnte seine Zonenbeobachtungen bis zur Deklination  $+ 45^\circ$  aus. Diese Arbeit, die etwa 75000 Sterne verzeichnet, konnte 1835 beendet werden.

Die Besselschen Sternverzeichnisse fanden ihre unmittelbare Fortsetzung in der "Bonner Durchmusterung", einem Sternkatalog, der alle Sterne bis zur Größe  $9^m,5$  und einen Teil bis  $10^m$  für den Deklinationsbereich von  $-1^\circ$  bis zum Himmelsnordpol enthält, 324189 Sterne.

Die "Bonner Durchmusterung" stand unter der Leitung des Bessel-Schülers Argelander, der bei dieser gewaltigen Aufgabe seine bei Bessel erworbenen Fähigkeiten eindrucksvoll zeigen konnte. Später wurden auch die Sterne des südlichen Sternhimmels in ähnlicher Weise erfasst. Erst im Jahre 1970 konnte die bisher umfangreichste Sterninventarisierung abgeschlossen werden, die als fotografische Himmelskarte vorliegt und einige Millionen Sterne bis zur Grenzhelligkeit von  $20^m$  abbildet.

## 4 Von der Figur der Erde und der Länge des Fußmaßes

Bedenkt man den gewaltigen Aufwand, den besonders die Zonenbeobachtungen mit sich brachten, so ist es erstaunlich, dass Bessel gleichsam nebenbei Zeit fand, sich mit den vielfältigsten Problemen der Astronomie und verwandter Gebiete zu beschäftigen. Dazu gehören in den 20er und 30er Jahren in erster Linie die Geophysik und die Geodäsie.

Im Jahre 1823 begann Bessel mit Untersuchungen über die Länge des "einfachen Sekundenpendels", d.h. eines Pendels, dessen Länge so bemessen ist, dass es in einer Sekunde genau eine Schwingung ausführt. Diese Untersuchungen reihen sich in die besonders seit den 30er Jahren des 18. Jahrhunderts intensiven Bestrebungen ein, die Form des Erdkörpers näher zu bestimmen.

Seit dieser Zeit war definitiv bekannt, dass die Erde die Figur eines Rotationsellipsoids besitzt, wenn auch die numerischen Werte für die polare Abplattung unseres Heimatplaneten noch recht unsicher waren. Die ersten großen Gradmessungen brachten damit einen weiteren Beweis für die Newtonsche Gravitationstheorie, aus der die Notwendigkeit einer solchen Abplattung folgt.

Maßgeblich daran beteiligt war der französische Gelehrte Pierre Louis Moreau de Maupertuis, der 10 Jahre Präsident der Berliner Akademie der Wissenschaften war, mit seinem 1738 veröffentlichten Werk über die Figur der Erde.

Mit Hilfe des einfachen Sekundenpendels, das als eines der genauesten Instrumente, welche die Astronomen anwenden, bezeichnet wurde, lässt sich die Abplattung der Erde sehr präzise bestimmen. Unter den Voraussetzungen, dass die Erde exakt kugelförmig und im Innern gleichmäßig geschichtet ist und keine Rotation um die eigene Achse ausführt, muss die Schwerkraft auf jedem Punkt der Erdoberfläche gleich sein und als Folge davon auch die Länge des einfachen Sekundenpendels.

Tatsächlich beobachtet man jedoch eine Abnahme der Schwerkraft beim Fortschreiten von den Polen gegen den Äquator. Das bedingt eine Verkürzung des Sekundenpendels in derselben Richtung. Diese Beobachtung gelang erstmals im Jahre 1671 dem französischen Astronomen Jean Richer, der bei einer Reise nach Cayenne feststellte, dass seine in Paris genau justierte Pendeluhr am Äquator täglich 2 Minuten nachging, so dass das Pendel verkürzt werden musste. Die Ursache blieb anfangs unbekannt und konnte erst aus der Newtonschen Gravitationstheorie abgeleitet werden.

Jeder Körper am Erdäquator legt infolge der Drehung der Erde um ihre Achse in der Sekunde einen Weg von 464 m zurück. Der daraus resultierenden Fliehkraft wirkt die Schwerkraft entgegen, ohne die alle Körper von der Erde weggeschleudert würden. Nähern wir uns den Polen, so werden die Wege, die die Körper bei einer vollständigen Erdumdrehung zurücklegen, geringer, mithin auch ihre Geschwindigkeit. Deshalb sinkt die den dort existierenden Körpern mitgeteilte Fliehkraft, die schließlich an den Polen gleich Null wird.

Auf eine Pendeluhr übertragen bedeutet dies, dass eine solche Uhr am Äquator in ei-

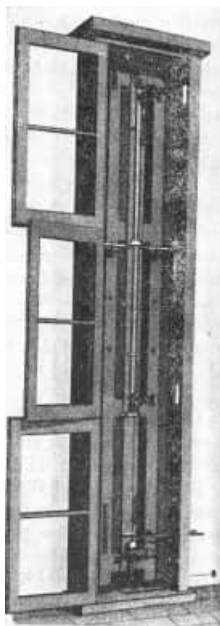


ner Zeiteinheit weniger Pendelschwingungen vollführt als nördlich oder südlich davon. Weiterhin ist die Schwerkraft von der Entfernung des Ortes vom Schwerezentrum abhängig.

Mit Pendelmessungen lassen sich schon äußerst geringe Differenzen der Schwerkraft sehr exakt bestimmen. Nachdem genaue Werte vorlagen, zeigte sich, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen verschiedener Gradmessungen, dass diese Werte nicht mit der Annahme einer kugelförmigen Erde in Einklang gebracht werden können, sondern eine Abplattung an den Polen bewies.

Da durch die Abplattung Orte der nördlichen und südlichen Halbkugel dem Erdmittelpunkt um ein wenig näher sind als am Äquator, wirkt hier eine etwas größere Schwerkraft. Diese Differenz ist mit dem hochempfindlichen Pendel nachweisbar.

Die Besselschen Pendelversuche werden zu den genauesten gezählt, die je gemacht wurden. Zum einen hatte Bessel mit dem von der Firma Repsold in Hamburg angefertigten Pendelapparat hervorragende instrumentelle Voraussetzungen, zum anderen ist die Genauigkeit der großen Umsicht Bessels zu verdanken, die er sich im Laufe der Jahre in der Handhabung von Präzisionsgeräten erwarb.



9 Bessels Apparat zur Bestimmung der Länge des einfachen Sekundenpendels

Der Repsoldsche Pendelapparat gestattete die Aufhängung der Pendellinse (eine an einem Stahlfaden aufgehängte Metallkugel) an zwei verschiedenen Punkten, die den Abstand von drei französischen Toisen ( $1 \text{ Toise} = 1,949 \text{ m}$ ) hatten. Zu diesem Zweck wurde für Bessel in Paris eine genaue Kopie des Toise-Maßstabs angefertigt. Durch Zählung der Schwingungen des Pendels in den verschiedenen Lagen ist die Länge des einfachen Sekundenpendels berechenbar.

Doch so einfach, wie das hier klingt, ist die praktische Ausführung nicht. Wie Bessel schon bei seinen astronomischen Instrumenten zunächst bestrebt war, alle Instrumentenfehler kennen und berechnen zu lernen, führte er auch am Pendelapparat zahlreiche Untersuchungen zu diesem Zweck aus.

Fehlerquellen liegen z. B. im Luftwiderstand, in der Längenänderung von Geräteteilen bei unterschiedlicher Temperatur, in der Form der Pendellinse und der Lagerung des Fadens.

Die Versuche wurden 1826/27 durchgeführt und ergaben eine Länge des einfachen Sekundenpendels für die Sternwarte Königsberg von 440,8147 französischen Linien (1 Linie = 2,256 mm). [2, Bd. 3, S. 139-223]

Die Pendeluntersuchungen sind wieder ein Beispiel, wie Bessel durch große Umsicht und durch intensives Durchdenken der Funktion seines Geräts dessen Fehlermöglichkeiten aufspürte und dadurch zu höchster Präzision gelangte. Es zeichnet Bessel aus, dass er selbst solchen Routinearbeiten, wie es Pendelversuche sind, interessante Seiten abgewann und durch die Resultate reich belohnt wurde.

So nutzte er seinen Pendelapparat zu Untersuchungen über den Einfluss der Erdschwere auf verschiedene Substanzen. Schon Newton hatte aus Pendelversuchen geschlossen, dass die Anziehung, die die Körper auf der Erde erleiden, nur von ihrer Masse abhängt, nicht jedoch von der Art der Substanz.

Zu diesem Zweck hatte er die Schwingungen von Pendellinsen aus Gold, Silber, Blei, Glas, Wasser u. a. untereinander verglichen, ohne Unterschiede zu finden. Die Genauigkeit dieser Untersuchungen war jedoch, verglichen mit dem, was 150 Jahre später möglich war, nicht sehr hoch.

Um die Newtonschen Messungen wiederholen zu können, beschaffte sich Bessel einen Hohlzylinder aus Messing, in den Materialproben von 12 verschiedenen Substanzen (Gold, Silber, Blei, Eisen, Zink, Messing, Marmor, Ton, Quarz, Wasser sowie Meteoriten und -stein) eingeschlossen werden konnten. Bessels Überlegungen gingen in die Richtung, dass, wenn die Gravitationskraft von der Natur der gravitierenden Stoffe abhängig ist, sich voneinander abweichende Längen des einfachen Sekundenpendels ergeben müssen. Von besonderem Interesse schienen ihm die Tests mit meteoritischem Material zu sein, da dies, wie Bessel schrieb, möglicherweise nicht irdischen Ursprungs sei - der kosmische Ursprung der Meteorite war zu jener Zeit noch nicht allgemein anerkannt.

Die Untersuchungen ergaben für alle Substanzen eine große Übereinstimmung der Länge des Sekundenpendels, das im Mittel "nur um die fast unmerkliche Kleinigkeit" von 0,0007 Linien länger als bei den vorhergehenden Messungen gefunden wurde. [2, Bd. 3, S. 222]

Dadurch konnte mit einem maximalen Fehler von  $6 \cdot 10^{-4}$  nachgewiesen werden, dass die Wirkung der Gravitationskraft "von der anziehenden Kraft der Erde allein abhängig ist". Lediglich beim Wasser ergaben sich größere Abweichungen, die auf Strömungen der Flüssigkeit zurückgeführt werden konnten.

Bessels Pendeluntersuchungen mit Meteoriten (die von ihm verwendeten Proben befinden sich heute im Museum für Naturkunde in Berlin) verdienen auch deshalb eine große Beachtung, da sie, ausgenommen einige rein chemische und kristallographische Analysen, die wohl frühesten Experimente mit außerirdischem Material waren und somit ein Glied in der Beweiskette für die chemisch-physikalische Einheit des Kosmos darstellen.

Einige Jahre später war Bessel noch einmal mit Pendelbeobachtungen beschäftigt, die diesmal jedoch einer ganz andersartigen Aufgabenstellung dienen sollten, nämlich dem praktischen Bedürfnis eines klar geordneten preußischen Maßsystems.

Im Jahre 1816 wurde mit Gesetzeskraft als Urmaß des preußischen Fußes (1 Fuß = 0,31385 m) ein Stab aus Eisen von etwas mehr als 3 preußische Fuß Länge festgeschrieben, der sowohl Einteilungen in Zoll als auch in Linien besitzt. Nach gesetzlicher Bestimmung wurde der Fuß mit 139,13 französischen Linien bemessen.

Bessel wurde 1835 beauftragt, einen neuen Urmaßstab zu entwerfen, von dem in relativ einfacher Weise Kopien herstellbar sind, um eine Vergleichs- und Prüfbarkeit der Maße zu gewährleisten. Im Gegensatz zum Urmaßstab von 1816 entschied sich Bessel nicht für eine Kennzeichnung des Maßes mit eingravierten Strichen, sondern für ein Endflächenmaß, das er folgendermaßen beschreibt:

"Dieses ist ein Stab von Gussstahl, dessen quadratische Durchschnitte Seiten von 9 Linien haben; seine Endflächen sind durch abgekürzte Kegel von Saphir armirt, deren grössere Grundflächen sich im Inneren des Stabes befinden, und deren kleinere sehr wenig über seine ebenen Endflächen hervorragen; diese Kegel sind in Gold gebettet, und die Construction ihrer Befestigungsart beabsichtigt, die Unveränderlichkeit ihrer Entfernungen von einander, trotz der Zufälligkeiten, welche das Urmaass bei seinen Anwendungen erfahren mag, zu verbürgen; ihre Härte schützt sie vor Abnutzung und Beschädigung.

Die Entfernung der äusseren Oberflächen der Saphire, in der Axe des Stabes und in der Wärme von 16°,25 des hunderttheiligen Thermometers gemessen, dient zur Erkennung von drei preussischen Fussen." [2, Bd. 3, S. 271]

Der unter Bessels Anleitung hergestellte Stab erwies sich nach einer "strengen Prüfung" als lediglich 0,00063 Linien kürzer als drei Fuß (also nur 0,00142 mm).

Damit war nun der preußische Fuß sowohl nach seiner absoluten Länge als auch nach seinem Verhältnis zur französischen Linie bestimmt. Als Vergleichsmaß diente wiederum der Toisestab, der schon im Pendelapparat Verwendung gefunden hatte.

Um dem preußischen Fuß eine ausreichende Fundierung zu geben, stellte Bessel 1835 die Länge des Sekundenpendels für Berlin mit 440,739 Linien fest, was im preußischen Maß gleich 3 Fuß, 2 Zoll, 0,1626 Linien entsprach.

Gleichzeitig war von Johann Jakob Baeyer die Meereshöhe der Berliner Sternwarte, wo die Pendelversuche stattfanden, durch eine Vermessung zwischen der Odermündung und Berlin ermittelt. So war es möglich, die Pendellänge auf die Höhe des Meeresspiegels zu reduzieren.

Da einmal das Verhältnis zwischen Fuß und Linie eindeutig fixiert war (1 Fuß = 139,13 Linien) und zum anderen die Länge des Sekundenpendels für Berlin in Einheiten des preußischen Fußes aus den Besselschen Messungen hervorging, war damit der preußische Fuß an die Länge des Sekundenpendels für Berlin angeschlossen. Dieser Anschluss war deshalb von großer Wichtigkeit, weil nur dadurch, wie Bessel schrieb, der Fuß "auf einem Urmaasse beruhe, welches zu allen Zeiten, bei entstehenden Zweifeln wiedererlangt werden könne". [6, S. 1]

Bessel trug auch Sorge für geeignete Methoden und Instrumente zur Kopierung des Urmaßes und erfüllte somit seinen Auftrag zur Neuordnung des preußischen Maßsystems zur vollen Zufriedenheit. Der unter seiner Aufsicht hergestellte und geprüfte Maßstab sowie Bessels Kopierverfahren erlangten am 10. März 1839 gesetzliche Verbindlichkeit. Allerdings war ihm nur eine Gültigkeit von knapp 3 Jahrzehnten beschieden, da 1868 im Norddeutschen Bund das Meter als gesetzliche Maßeinheit eingeführt wurde.

Die Untersuchungen zur Länge des einfachen Sekundenpendels und der Herstellung eines neuen preußischen Längenmaßstabes gaben Bessel Gelegenheit, sich mit allgemeineren Problemen des Maßsystems zu befassen. Hierzu gehört die in seiner Zeit sehr aktuelle Frage des Nutzens der Einführung eines Naturmaßes.

Dieser Gedanke war durchaus nicht neu. Der holländische Gelehrte Christiaan Huygens schlug schon um die Mitte des 17. Jahrhunderts vor, die Länge des einfachen Sekundenpendels als Bezugswert für alle Längenmessungen zu verwenden. Die praktische Verwirklichung dieses Gedankens kam jedoch nicht zustande. Die politische und wirtschaftliche Zersplitterung Europas und die gerade in jener Zeit entdeckte Unterschiedlichkeit der Pendellänge am Äquator im Vergleich mit Europa standen dem entgegen.

Bessel ist gegenüber der Einführung eines Naturmaßes überhaupt recht skeptisch - zu seiner Zeit nicht ohne Recht, da jedes Maß dieser Art aus dem Messverfahren resultierende Fehler aufweisen muss. So steht er auch der Einführung des Meters, das ein solches Naturmaß ist, ablehnend gegenüber. Natürlich erkennt er nicht den Vorteil eines Naturmaßes, der vor allem in der Unvergänglichkeit der Bezugsgröße besteht. Jedoch scheint ihm die Einführung des Meters nicht geeignet, diese Vorteile überzeugend zu verkörpern. Der Grund liegt in der Geschichte der Metereinführung.

Die französische Nationalversammlung beschloss 1795, den 10-millionsten Teil der Entfernung vom Äquator zu den Polen auf dem Pariser Meridian als Meter zur künftigen Maßeinheit zu erheben. Doch wie lang ist der Erdumfang im Meridian von Paris?

Ältere französische Gradmessungen schienen fehlerhaft zu sein, so dass man sich nicht entschließen konnte, sie der neuen Meterdefinition zugrunde zu legen. So wurde beschlossen, das Meter erst nach Beendigung einer seit 1792 laufenden Gradmessung zu definieren. Um jedoch deren Resultat nicht abwarten zu müssen, erklärte man eine Länge von 443,44 französischen Linien auf der "Toise de Perou" zum provisorischen Meter. Die "Toise de Perou" war der Längenmaßstab, der für die berühmte Gradmessung von Peru (1736-43) Verwendung fand und an dem auch die Toise des Besselschen Pendelapparates geeicht worden war.

Als die etwa  $12,5^\circ$  des Pariser Meridians umfassende Messung abgeschlossen war, ergab sich, dass die Wahl von 1795 sehr gut mit den neuen Werten übereinstimmte. Die Länge des Meters wurde mit 443,295936 Linien (bei  $16,25^\circ\text{C}$ ) gefunden.

Nunmehr setzte man 443,296 Linien als "Konventionsmeter" fest. Wohl wissend, dass auch dieser Wert nicht korrekt ist, sondern um ein wenig zu kurz, behielt man ihn doch lange Zeit der Einfachheit halber bei.

So ist es nicht verwunderlich, dass Bessel dieser Meterdefinition skeptisch gegenüber-

stand und für eine Beibehaltung des preußischen Fußmaßes plädierte. In dieser Haltung sah er sich besonders deswegen bestärkt, weil er das Verhältnis zwischen Toise und Fuß genauestens geregelt hatte und er mit den Berliner Pendelmessungen außerdem den Fuß an ein Naturmaß, die Länge des einfachen Sekundenpendels, angeschlossen hatte. Dennoch war die Haltung Bessels zur Einführung des Meters als verbindlichem Längenmaß verfehlt. Im März 1833 schrieb er über das metrische System:

"Der schwache Grund hatte keine dauernde Tragkraft; was jetzt noch davon steht, sehe ich als eine Ruine an, welche erhalten wird, weil man die Mühe scheuet sie wegzuräumen." [3, S. 52]

Doch die Vorteile des metrischen Systems, darunter sein konsequent dezimaler Aufbau, den auch Bessel anerkennend hervorhob, führten im Resultat zum genauen Gegenteil der Prognose Bessels: Das Meter wurde international gesetzlich anerkanntes Längenmaß.

Freilich gab man bald die ursprüngliche Definition des Meters auf und bezog sich im Rahmen der Internationalen Meterkonvention auf ein im Internationalen Büro für Maß und Gewicht in Sevres bei Paris aufbewahrtes Urmeter, von dem die einzelnen Staaten, die der Konvention beitraten, genaueste Kopien erhielten. Die DDR besitzt die Kopie Nr. 18, aufbewahrt im Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung in Berlin.

Um die Sicherheit der Meterdefinition endgültig zu gewähren, nahm die 11. Generalversammlung für Maße und Gewichte 1960 den Beschluss an, dass das Meter der Länge von 1 650 763,73 Wellenlängen der Strahlung, die dem Übergang zwischen dem Niveau  $2\text{ p}_{10}$  und  $5\text{ d}_5$  des Atoms Krypton 86 entspricht. Unter eindeutiger Festlegung der Versuchsbedingungen ist mit diesem Verfahren eine hohe Genauigkeit gewährleistet und außerdem das Meter wieder zum Naturmaß geworden.

In der DDR wurde am 31. Dezember 1980 der endgültige Übergang zum Internationalen Einheitensystem (Système International d'Unités - SI) vollzogen, in dem das Meter eine der sieben Basiseinheiten ist. Damit erlangte ein Einheitensystem Gesetzeskraft, das auf möglichst wenigen, eindeutig definierten und international verbindlichen Einheiten beruht.

Die Frage nach der Figur der Erde, die Bessel im Zusammenhang mit der Diskussion um das Meter und die Länge des Sekundenpendels behandelte, beschäftigte ihn bald nach diesen Untersuchungen unter einem neuen Gesichtspunkt, nämlich dem der praktischen Landesvermessung. [12]

In engere Beziehungen zur Geodäsie war Bessel durch seine Vorlesungen, die diese Probleme einschlossen, bald nach seiner Ankunft in Königsberg gekommen. Auch hatte er 1824 in der Gegend von Königsberg eine kleinere Vermessung durchgeführt, von der er, wohl etwas scherzhaft, sagte, er habe sie unternommen, um "zuweilen einen Tag in freier Luft zuzubringen". [8, S. 436]

Im Ergebnis dieser Vermessung erschienen auch einige theoretische Arbeiten zur Geodäsie. So untersuchte er die Frage, bis zu welcher Größe der vermessenen Fläche die

Formeln für ebene Dreiecke eine ausreichende Genauigkeit gewährleisten und wann die Rechnung mit sphärischen Dreiecken notwendig ist. Die von Bessel gegebenen Lösungen gehören zu den Fundamentalgleichungen der höheren Geodäsie.

Intensiver wurde die Beschäftigung mit der Geodäsie zwischen 1830 und 1837. Man könnte fast sagen, die Landesvermessung war zu jener Zeit Bessels Hauptarbeitsgebiet, wenn er nicht daneben so zahlreiche andere wissenschaftliche Untersuchungen angestellt hätte, deren Intensität gleichermaßen wie ihre Bedeutung den Namen eines Hauptarbeitsgebietes verdienten. Nur die enorme Arbeitsfähigkeit Bessels vermochte sie ohne Schaden miteinander zu verbinden.

Der Höhepunkt der geodätischen Arbeiten Bessels war die Durchführung der sogenannten "Ostpreußischen Gradmessung". Sie hatte zunächst das Ziel, die Landesvermessungen im Russischen Reich mit denen in Preußen und anderen deutschen Staaten, sowie Frankreich, England, Österreich und Dänemark zu verbinden. Durch diese Gradmessung konnte ein weißer Fleck von der trigonometrischen Karte Europas getilgt und ein großer Teil dieses Kontinents mit einem geschlossenen Dreiecksnetz überzogen werden. Die Arbeiten an der Gradmessung - sie begannen 1831 - wurden zusammen mit Johann Jakob Baeyer ausgeführt. Das Zusammenwirken des geistreichen Astronomen Bessel mit dem gleichaltrigen, praktisch bereits erfahrenen Geodäten Baeyer erwies sich als sehr günstig. Der ursprüngliche Plan einer bloßen Verbindungstriangulation zwischen den bereits vorhandenen Dreiecksketten wurde bald zugunsten einer selbständigen Gradmessung aufgegeben.

Die Technik einer solchen Gradmessung beruht darauf, dass zunächst eine sogenannte Basis vermessen wird. Dieser Teil gehört zu den schwierigsten Aufgaben einer Gradmessung, da Fehler in dieser Messstrecke systematisch die Genauigkeit des späteren Gesamtergebnisses beeinflussen.

Die Basismessung erfolgt durch das Aneinanderlegen von Messstangen. Das ist ein recht aufwendiges Verfahren, das nur die Messung einer relativ kleinen Strecke, verglichen mit dem gesamten Vermessungsgebiet, erlaubt. Die Basis der "Ostpreußischen Gradmessung" hatte eine Länge von etwa 1822 Meter. Ihre Vermessung erfolgte mit Hilfe von 4 Eisenstangen mit einer Länge von je 3,90 m.

Die Eisenstangen waren in Holzkästen eingebaut, die nicht nur ihren Schutz gewährleisten sollten, sondern auch verschiedene Messeinrichtungen, wie Wasserwaage, Nonius und Thermometer, trugen. Die Enden der Stäbe waren als Schneiden gestaltet. Um ein genaues Zusammenlegen der Stangen zu ermöglichen, wurden zwischen ihren Enden kleine Zwischenräume gelassen, die mit Glasprismen ausgemessen werden können.

Die Temperatur der Stäbe gab ein Metallthermometer an. Es bestand aus einer Zinkstange, die an einem Ende fest mit der Messstange verbunden, am anderen Ende jedoch frei beweglich ist. Mittels Kennmarken wurde die relative Länge der Eisen- und Zinkstange zueinander bestimmbar, woraus sich unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten beider Metalle auf deren Temperatur schließen lässt. Die praktischen Arbeiten erfolgten so, dass über das zu vermessende Gebiet ein Netz von Dreiecken gelegt wurde, deren Winkel genau registriert wurden. Da durch die Basislinie die Seite eines Dreiecks bekannt war, ist es möglich gewesen, aus den beobachteten

Winkeln auf der Grundlage von Winkelfunktionen die Größe der Dreiecke zu berechnen.

Die Feldarbeiten zogen sich über 6 Jahre hin, dann erfolgte die Auswertung, die noch einmal 2 Jahre in Anspruch nahm. Das fertige Werk erschien 1838 unter dem Titel "Gradmessung in Ostpreussen und ihre Verbindung mit Preussischen und Russischen Dreiecksketten. Ausgeführt von F. W. Bessel und J. J. Baeyer".

Es ist wohl selbstverständlich, dass Bessel auch bei diesem Gegenstand alle Vorsorge für höchste Präzision traf. Das bedeutete also wieder: umfangreiche Tests der Instrumente und Hilfseinrichtungen, Wiederholung einzelner Messungen (die Basislinie wurde zweimal, z. T. sogar dreimal gemessen) und sorgfältige Ausarbeitung der mathematischen Grundlagen. Die von Bessel und Baeyer durchgeführte "Ostpreußische Gradmessung" wurde zum Musterbeispiel aller darauf folgenden Vermessungsarbeiten.

Baeyer, der schon 1819 selbständig geodätische Arbeiten durchgeführt hatte, betrachtete Bessel als einen seiner Lehrer. Durch die Anregungen, die Bessel an Baeyer gab, wirkten seine Theorien zur Geodäsie direkt weiter. Baeyer wurde einer der international führenden Geodäten.

Im Jahre 1862 gelang es ihm, den Plan einer "Europäischen Gradmessung" zu verwirklichen, in deren Verlauf große Teile des europäischen Kontinents unter Benutzung neuerer Erkenntnisse der Geodäsie vermessen wurden.

Bessel sah den Nutzen eines so weiträumigen geschlossenen Triangulationsnetzes, wie es durch die "Ostpreußische Gradmessung" in Europa geschaffen wurde, darin, eine Grundlage für die Bestimmung der Figur der Erde, wenigstens in dem

"Umfange dieses Welttheils [zu] erhalten, welche den darauf zu gründenden Schlüssen viel grösseres Gewicht verhiess, als die abgesonderten Gradmessungen bisher haben gewähren können." [2, Bd. 3, S. 63]

Aus zehn verschiedenen Gradmessungen, "welchen sämtlich gleiches Recht, zu der Erfindung der Grösse und Figur der Erde zu stimmen, eingeräumt werden muss", [3, S. 295] darunter die "Ostpreußische Gradmessung", berechnete Bessel 1840 die Länge eines Erdmeridianquadranten zu 10000565 Meter.

Das ist etwa  $\frac{1}{2}$  Kilometer mehr, als es der ursprünglichen, dem Konventionsmeter zugrunde liegenden Meterdefinition entsprach. Die Abplattung der Erde fand er mit  $\frac{1}{299}$  und den Äquatorradius zu 6377,4 km.

Während der Wert für die Abplattung heute mit  $\frac{1}{298}$  angenommen wird, konnte der Äquatorradius erst 1907 von Friedrich Robert Helmert auf 6378 km verbessert werden. Dieser Wert erfuhr in der Folgezeit nur noch geringe Korrekturen.

Diese wurden vor allem durch eine genaue Analyse der Bahn künstlicher Raumflugkörper möglich. Kleine Schwankungen ihres Umlaufs um die Erde lassen sich auf Unregelmäßigkeiten der Figur des Erdkörpers zurückführen. Mit solchen neuen Methoden gelang auch der Nachweis, dass die Erde in der Südpolargegend leicht gestaucht ist, dergestalt, dass der Südpol der Äquatorebene um den geringfügigen Betrag von 30 Metern näher liegt als der Nordpol.

Landesvermessungen werden heute kaum noch mit der von Bessel gewohnten erdge-

bundenen Technik durchgeführt. Methoden der Fernerkundung aus dem Kosmos oder mit Flugzeugen lassen nicht nur eine größere Genauigkeit zu, sondern ermöglichen auch eine erhebliche Verkürzung der notwendigen Arbeitszeit. Mehrfach konnten mit diesen modernen Vermessungsverfahren nicht unerhebliche Korrekturen im Verlauf von Flüssen oder Küstenlinien vorgenommen werden.

Im Zusammenhang mit Bessels geodätischen Arbeiten ist noch eine Untersuchung zu erwähnen, die 1844 zur Vermutung der Veränderlichkeit der Polhöhe führte. Bessel teilte dies am 1. Juli 1844 Alexander v. Humboldt in einem Brief mit:

"Ich habe Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Polhöhe. Meine sehr schön untereinander stimmenden Beobachtungen mit dem neuen Kreise verkleinern die Polhöhe fortwährend, vom Frühjahr 1842 bis jetzt zwar nur um 0",3, aber selbst diese Kleinigkeit scheint mir nicht ein Beobachtungsfehler sein zu können ..." [20, S. 144]

Veröffentlicht hat Bessel dazu nichts, denn er betrachtete die Sache als "unreif", eine systematische Bearbeitung erfolgte nicht.

So wurde die Polhöhwenschwankung erst 1888 von Friedrich Küstner definitiv entdeckt. Sie resultiert aus einer Wanderung des Durchstoßungspunktes der Erdrotationsachse durch die Erdoberfläche. Diese Abweichung von der mittleren Lage der Rotationsachse ist sehr gering und beträgt nur etwa 15 Meter. Die Ursachen sah Bessel in "inneren Veränderungen des Erdkörpers, welche Einflüsse auf die Richtung der Schwere erlangen", d. h. eine Verlagerung der Rotationsachse innerhalb des Erdkörpers hervorrufen.

Diese Vermutung trifft nach unseren heutigen Kenntnissen durchaus zu. Die Polhöhwenschwankung entsteht aus Massenverlagerungen in oder auf der Erde, z.B. durch die Verlagerung von Erdschollen, von Gebieten mit niedrigem oder höherem Luftdruck oder durch die wechselnden Eis- und Schneeverhältnisse in den Polargegenden der Erde. Da diesem Effekt keine strenge Periode zugeordnet werden kann, erfolgt ständig eine Ableitung des derzeitigen Wertes aus speziellen internationalen Beobachtungsprogrammen.



## 5 Die Erforschung kosmischer Dimensionen

### 5.1 Vorgeschichte der Parallaxenforschung

Der Begriff "Parallaxe" wurde in der antiken Astronomie geprägt.

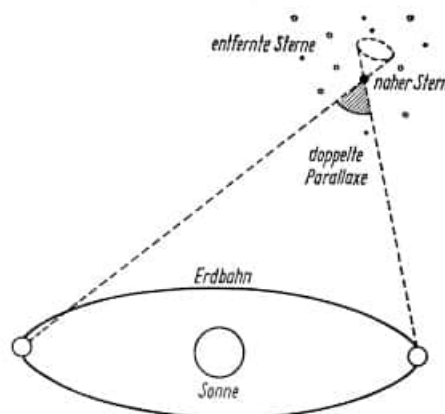
Hipparch, einer der bedeutendsten Astronomen des alten Griechenlands, bezeichnete damit den Winkel, unter dem, vom Mond betrachtet, der Erdradius erscheint. Es war ihm jedoch nicht möglich, diesen Winkel aus Positionsmessungen des Mondes zu berechnen. Konnten schon für den nahen Mond von verschiedenen Orten der Erde keine Unterschiede in der Position bestimmt werden, so erst recht nicht bei den Planeten.

Damit gab es keine Möglichkeit, die Abstände der Himmelskörper zu messen, obwohl die Entfernung unseres Trabanten aus indirekten Methoden angenähert richtig hervorging. Die Abstandsfolge der Planeten von der im Zentrum gedachten Erde wurde aus ihren Umlaufzeiten abgeleitet. Je länger ein Planet, eingeschlossen die Sonne, für einen geozentrischen Umlauf benötigt, um so weiter sei er von der Erde entfernt.

In bezug auf die Fixsterne wurde die Parallaxe anders definiert. Hier ist sie der Winkel, unter dem der Radius der Erdbahn um die Sonne, von einem Fixstern aus gesehen, erscheint. Von dieser Parallaxe zu reden, hat natürlich nur im Rahmen der copernicanischen Planetentheorie einen Sinn.

Wird die Erde als das ruhende Zentrum der Welt angesehen, kann es diese Parallaxe gar nicht geben. Für den irdischen Beobachter sollte sich die Parallaxe der Fixsterne als eine im Verlaufe eines Jahres auftretende Schwankung der Sternörter darstellen. Niemand hatte jedoch bis zur Zeit des Copernicus eine solche Erscheinung wahrgenommen, und so herrschte Übereinstimmung zwischen der geozentrischen Planetentheorie und den astronomischen Beobachtungen. Aus dem copernicanischen System erwuchs notwendig die Forderung, diesen Effekt nachzuweisen. Doch niemandem wollte dies gelingen!

Der Winkel, unter dem der Erdbahnradius erscheint, ist um so kleiner, je weiter der Stern, von dem "beobachtet" wird, von uns entfernt ist. Da Copernicus von der Wahrheit seines Systems überzeugt war, musste er annehmen, dass die Sterne zu weit entfernt sind, als dass an ihnen die Parallaxe sichtbar werden könne.



10 Entstehung der Parallaxe

Er schrieb in seinem Hauptwerk "Von den Umschwüngen der himmlischen Kreise", der

Abstand der Erde vom Mittelpunkt der Welt sei in Ansehung der Entfernung der Sterne zu groß, als dass der Umlauf der Erde um die Sonne "an der Fixsternsphäre gemessen werden" könne. [11, S. 39]

Zwar befindet sich die Sonne nicht im Weltzentrum, wie Copernicus annahm, doch trifft seine Argumentation mit dem großen Abstand der Sterne, der die Parallaxe unter die Nachweisgrenze setzt, vollkommen zu. Da aber ohnehin das System des Copernicus nicht nur gegen zahlreiche empirische Befunde der Astronomen verstieß, sie mit den Grundlagen der aristotelischen Physik nicht in Einklang zu bringen war und außerdem nicht den ideologischen Ansprüchen des mittelalterlichen Feudalstaates entsprach, wurde dem Ausbleiben der Parallaxe als Argument gegen Copernicus und sein die Wissenschaft und die Weltanschauung gleichermaßen revolutionierendes System große Bedeutung beigemessen.

Wie Copernicus selbst, rechnete auch Johannes Kepler, der erste bedeutende Astronom, der sich vorbehaltlos zu dieser neuen Astronomie bekannte, fest damit, dass die parallaktische Verschiebung der Fixsternörter gefunden wird. Er schrieb 1598:

"Geschähe dies nicht und müsste ich glauben, dass die Entfernung der Fixsterne im Verhältnis zur Entfernung der Sonne schlechterdings nicht zu berechnen ist, so würde mir dieses eine Argument bei der Verteidigung des Kopernikus mehr zu schaffen machen, als die übereinstimmende Anschauung von tausend Generationen." [21, S. 89]

Welch innere Kämpfe, wieviel Zweifel und doch wieviel Mut des Bekennens sprechen aus diesen Worten! Denn weder Kepler noch einer seiner Zeitgenossen fanden die Parallaxe. Sie war auch nicht aus den für diese Zeit erstaunlich genauen Beobachtungen von Tycho Brahe, dem Vorgänger Keplers im Amte des "Kaiserlichen Mathematikers" in Prag, ableitbar. Um so intensiver wurden die Bemühungen, durch Verbesserung der Beobachtungsgenauigkeit diesen geringen Verschiebungen der Gestirnsörter auf die Spur zu kommen.

An der Suche beteiligten sich die bedeutendsten Astronomen seit dieser Zeit. Manch einer glaubte, einen sicheren Wert gefunden zu haben - irrtümlich, wie sich stets zeigte.

Doch trotz eines Misserfolges nach dem anderen stimulierte die Suche nach der Parallaxe die Entwicklung der Astronomie erheblich und führte, gleichsam als "Nebenprodukt", zu wichtigen Entdeckungen.

In erster Linie ist die Entdeckung der Aberration zu nennen, die sich am Beobachtungsinstrument in einer periodischen Veränderung der Gestirnsörter bemerkbar macht. Die Aberration, die Copernicus nicht kannte, ist eine Folge der Bewegung der Erde um die Sonne. Infolge der zwar großen, doch nicht unendlich großen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts benötigt der von einem Stern kommende Lichtstrahl eine sehr kurze, aber doch nachweisbare Zeit zum Überwinden des Abstandes zwischen Fernrohrobjektiv und Okular.

Mit anderen Worten: Während das Licht in das Objektiv eintritt, bewegt sich das Okular sowohl wegen der Drehung der Erde um ihre eigene Achse als auch ihrer Bewegung um die Sonne ein Stückchen weiter. Da das Licht aus diesem Grunde schräg in das

Fernrohr einfällt, erscheint der Gestirnsort ein wenig verschoben.

Der Anteil an diesem Effekt, der aus dem jährlichen Umlauf der Erde um ihr Zentralgestirn resultiert, macht maximal 20",47 aus.

Effekte dieser geringen Wirkung waren erst einem so exzellenten Beobachter wie Bradley zugänglich, der periodische Ortsverschiebungen des Sterns  $\gamma$  Draconis fand, die er 1728 als Aberrationswirkung deutete. Bessel würdigte diese Entdeckung mit folgenden Worten:

"Zuerst ist dadurch ein unmittelbarer Beweis der copernicanischen Lehre gewonnen, ein viel augenfälligerer Beweis, als der hätte sein können, den man durch die, jedenfalls viel kleineren, parallactischen Bewegungen der Fixsterne zu führen hoffen konnte;... Dieser Beweis ist so unzweideutig, dass er den eigensinnigsten Anticopernicaner hätte zum Schweigen bringen müssen, wenn noch einer hätte vorhanden sein können, nachdem hinreichende Zeit zum Verständnisse der Newtonschen Lehren verstrichen war." [3, S. 234]

Noch einer weiteren Entdeckung, die als "Nebenprodukt" der Parallaxensuche gelang, muss hier gedacht werden. Noch Bradley versuchte, die Parallaxe dadurch aufzufinden, dass er die Positionen der Sterne zu verschiedenen Zeiten des Jahres maß, ein Verfahren, das als "absolute Parallaxenmessung" bezeichnet wird.

Eine andere Möglichkeit ist die Messung relativer Parallaxen. Galilei schlug sie 1632 in seinem berühmten "Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme", der schon bald nach seinem Erscheinen auf den päpstlichen Index verbotener Bücher gesetzt wurde, vor:

"... es ist vielleicht doch nicht ganz ausgeschlossen, dass im Verlauf der Zeit sich an den Fixsternen eine Erscheinung beobachten lässt, welche einen Rückschluss auf den Sitz der jährlichen Umdrehung erlaubt... Denn meiner Ansicht nach sind die Sterne nicht über eine einzige Kugelfläche hin zerstreut und gleich weit entfernt von einem Mittelpunkt, sondern ihre Abstände von uns sind sehr verschieden, so dass etliche wohl zwei oder dreimal weiter entfernt sein mögen als gewisse andere." [14, S. 400]

Da die Parallaxe für näher stehende Sterne größer als für weiter entfernte ist, müsste sich, so der Gedankengang Galileis, die Parallaxe durch eine periodisch veränderliche Distanz zwischen den Sternen bemerkbar machen.

Besonders geeignet schienen für solche Messungen eng benachbarte Doppelsterne zu sein. Noch um 1800 hielt man sie generell für nur zufällig, d.h. perspektivisch nebeneinanderstehend. Von dieser Auffassung ging auch Wilhelm Herschel aus, als er den Vorschlag Galileis zur Feststellung der Sternparallaxen zu verwirklichen suchte. Als ersten Arbeitsschritt stellte er ein Verzeichnis von geeigneten Sternen zusammen.

Während dieser Vorbereitungen bemerkte er, dass Sternpaare so häufig sind, dass ihre Nachbarschaft unmöglich Zufall sein kann. Im Jahre 1782 publizierte der ehemalige Musiker und Amateurastronom sein erstes Doppelsternverzeichnis, weitere folgten 1785 und 1822. Mit diesen statistischen Daten und bald folgenden Untersuchungen über Bewegungen in Doppelsternsystemen konnte Herschel zeigen, dass es sich bei diesen

Objekten (zum großen Teil) um physisch zusammengehörige Sterne handelt, die sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen.

Herschel profilierte die Doppelsternforschung zu einem klassischen Arbeitsgebiet der Astronomie. Eine Parallaxe fand er nicht! Andere Astronomen hofften erfolgreicher zu sein, so Calandrelli, der 1806 die Parallaxe des Sterns Wega in der Leier mit  $4'',7$  bestimmt zu haben glaubte - ein Wert, der viel zu groß war und nicht bestätigt werden konnte. Ebenso erging es der von Piazzini vermuteten Wega-Parallaxe.

Die vielfachen gescheiterten Versuche legten mit Überzeugungskraft dar, dass der gesuchte Effekt für die zur Verfügung stehenden Instrumente zu gering ist. Bessel schrieb darüber, sich erinnernd:

"Wenn ein Versuch, die Parallaxe eines Fixsterns durch Beobachtungen zu erreichen, erfolglos blieb, so forderte er selbst zu der Schaffung neuer Hilfsmittel auf, welche die Kraft der Beobachtungen vermehren konnten; denn die Ueberzeugung des sicheren Vorhandenseins des Gesuchten nährte die Hoffnung..." [3, S. 242]

Mit der Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit, die durch die Parallaxensuche eine beachtliche Triebkraft erhielt, wurde die untere Grenze der Sternentfernung immer weiter hinausgeschoben, denn je kleiner der Effekt ist, in um so größerer Entfernung mussten die Sterne stehen. Noch Bradley hoffte, die Parallaxe nahestehender Sterne bei einigen Bogensekunden finden zu können. Piazzini ging schon auf rund  $2''$  zurück, und Schroeter meinte 1802, dass die größten Parallaxen unter  $0'',75$  liegen werden - damit kam er der Wahrheit sehr nahe.

## 5.2 Ein neues Prinzip und ein neues Instrument

Bessel erkannte die Ursache all dieser jahrhundertelangen Misserfolge. Sie lagen zum einen in der nicht ausreichenden Genauigkeit der Instrumente, zum anderen in der unglücklichen Wahl der Objekte. Denn die damals allgemein anerkannte Voraussetzung, dass die helleren Sterne auch die nächstgelegenen seien, ist ja nicht zutreffend. Somit haben die helleren Sterne auch nicht die größten Parallaxen und die Beobachtung dieser Sterne nicht die besten Erfolgsaussichten.

Ein neues Kriterium fand Bessel in den Eigenbewegungen der Sterne, weil Sterne mit großer Eigenbewegung uns näher stehen müssen als solche mit geringerer Eigenbewegung, gleich welche Helligkeit sie auch haben. Die Auswahl naher Objekte war aber in Anbetracht der Kleinheit des zu erwartenden Betrages von grundsätzlicher Bedeutung.

Schon 1812 wurde Bessel auf den Stern 61 Cygni (Sternbild Schwan) aufmerksam, den er aus den Beobachtungen Bradleys als Stern mit der größten Eigenbewegung ermittelte, und schloss sofort, dass uns dieser Stern näher als die anderen sein müsse. In jedem Jahr verändert 61 Cygni seine Position um  $5''$ , was schon in 360 Jahren einen Vollmonddurchmesser ausmacht. Sehr bald nahm Bessel auch eigene Beobachtungen dieses Sterns auf mit dem Ziel, dessen Parallaxe zu finden, doch vergeblich, wie er mehrfach an Olbers schrieb. Ähnlich verhielt es sich auch mit  $\mu$  Cassiopeiae, der gleichfalls

eine große Eigenbewegung besitzt.



11 Bessel im Jahre 1834 (Kupferstich)

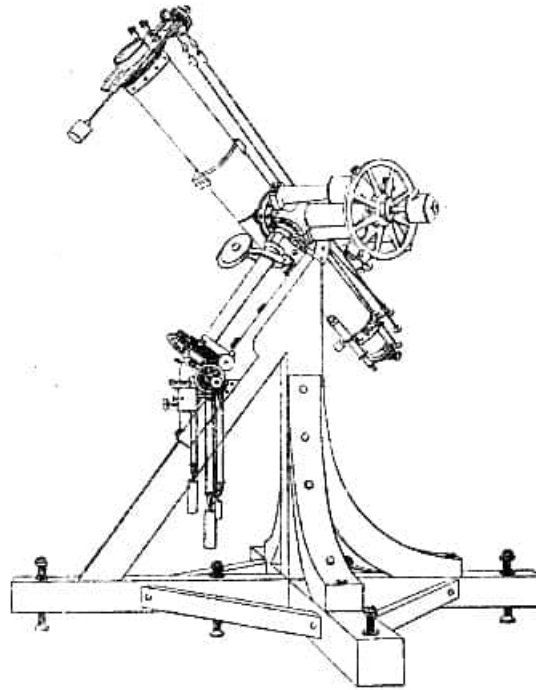
Kurzum, Bessel kam nicht weiter als andere Beobachter und Rechner vor ihm. Die Möglichkeit der Vermessung des Weltalls hing nicht nur von den Bemühungen der Astronomen selbst ab, sondern auch von der Entwicklung der Produktivkräfte. Neue, präzisere Instrumente waren notwendig, um die äußerst kleinen Quantitäten der Parallaxen zu messen. Dies war schließlich in einem Spitzenerzeugnis der Feinmechanik aus der Werkstatt Joseph von Fraunhofers möglich, dem Heliometer.

Das Heliometer ist ein spezielles Fernrohr zur genauen Distanzmessung am Himmel, das von Fraunhofer zur Vollkommenheit gebracht wurde. Das Königsberger Heliometer traf 1829 am Bestimmungsort ein und wurde im Oktober jenes Jahres aufgestellt. Zu diesem Zweck war ein Beobachtungsturm errichtet worden, dessen Drehkuppel freien Ausblick auf jeden Teil des Himmels gewährte. Der Durchmesser des Objektivs betrug 15,8 cm, die Brennweite 2,60 m. Das Fernrohr war parallaktisch montiert und mit Uhrwerksantrieb versehen.

Die Besonderheit dieses Instrumententyps besteht darin, dass das um die optische Achse drehbare Objektiv längs des Durchmessers in genau zwei Hälften geschnitten ist. Beide Objektivhälften können entlang des Schnittes gegeneinander verschoben werden. Jede der Objektivhälften erzeugt in der Brennebene ein Bild des Gegenstandes. Sind beide Hälften zu einem einzigen Objektiv vereint, erhält man von zwei benachbarten Sternen das gleiche Bild, wie in einem unzerschnittenen Objektiv. In der verschobenen Stellung der Objektivhälften entstehen in der Brennebene zwei Bilder, deren Abstand der Verschiebung der Objektivhälften gemäß ist.

Das Königsberger Heliometer gestattete noch die Messung von Abständen bis zu  $1^{\circ}52'$ , das entspricht zwei Vollmonddurchmessern und ist wesentlich mehr, als mit einem Mikrometer erreichbar ist. Die spezielle Einrichtung des Gerätes sowie die äußerst präzise Ausführung gestattete es, noch Winkel von  $0'',05$  sicher festzustellen.

Soll nun z. B. die Distanz zweier Sterne A und B mit dem Heliometer gemessen werden, so wird zunächst das Objektiv so um die Fernrohrachse gedreht, dass die Schnittlinie mit der Verbindungslinie zwischen den Sternen zusammenfällt. Durch Verschieben der einen Hälfte wird dann das Bild des Sterns A, das von der einen Objektivhälfte erzeugt wird, mit dem Bild des Sterns B der anderen Objektivhälfte zur Deckung gebracht.



12 Das Königsberger Heliometer von Fraunhofer

Das Maß der Verschiebung gibt unter Berücksichtigung der Brennweite des Objektivs die Sterndistanz im Winkelmaß. Der Vorteil dieses Messverfahrens besteht vor allem darin, dass im Unterschied zur Mikrometermessung das gewünschte Resultat durch nur eine Einstellung erlangt wird, während im Fadenmikrometer der Messfaden zunächst auf das eine, dann auf das andere Objekt eingestellt werden muss. In ähnlicher Weise kann das Heliometer auch zur Messung des Sonnendurchmessers (daher auch sein Name) und der Durchmesser der Planeten angewendet werden.

Wie bei allen Instrumenten vorher begann Bessel die Arbeit mit dem Heliometer mit dessen Untersuchung. Sein Urteil über das Instrument lautet:

"Überhaupt muss ich zur Ehre des optischen Instituts in München anführen, dass auch an den minder wichtigen Theilen des Instruments keine Mühe gespart ist, so dass dasselbe im Äussern eben so schön, als im Innern vollendet ausgefallen ist, [es ist] ein Meisterstück von mechanischer Arbeit." [2, Bd. 2, S. 99]

Die ersten Arbeiten mit dem Heliometer waren dem Saturnsystem gewidmet. Im Dezember 1829 begannen Beobachtungen des Saturnmondes Titan, der 1655 als erster Begleiter des Riesenplaneten von Christiaan Huygens entdeckt worden war. Da es sich bei diesem Satelliten um ein schwierig zu beobachtendes Sternchen handelt, war noch zu Bessels Zeit die Kenntnis des Umlaufs von Titan um seinen Planeten nur recht ungenau bekannt. Bessels Messungen, die sich bis 1833 erstreckten, trugen wesentlich

zur Verbesserung unserer Kenntnisse des "Hugenischen Saturns-Satelliten", wie er nach seinem Entdecker genannt wurde, bei.

Im Zusammenhang damit studierte Bessel auch die Lage und Größe des Saturnrings sowie die Figur des Saturns. Eine ausführliche, zusammenfassende Arbeit über das Saturnsystem blieb fragmentarisch und konnte erst 1848, nach dem Tode Bessels, gedruckt werden.

Beim Durchgang des Merkurs vor der Sonnenscheibe im Jahre 1832 bemühte sich Bessel um eine Durchmesserbestimmung dieses sonnennächsten Planeten mit dem Heliometer. Die von ihm abgeleiteten 4855 km stimmen mit dem modernen Wert von 4840 km sehr gut überein.

Auch Doppelsternbeobachtungen führte Bessel mit dem Heliometer aus. 1833 publizierte er einen Katalog von 38 Objekten: mit Angaben der Distanzen und der Stellung der Komponenten zueinander (Positionswinkel).

Die vielen Arbeiten zu Randgebieten der Astronomie hatten Bessel jahrelang der astronomischen Forschung in starkem Maße entzogen. Im Oktober 1837 beklagte er sich darüber bei Olbers:

"Sie können ... sicher sein, dass ich in meinem Leben keine Gradmessung, keine Pendelversuche und kein Maasswesen wieder übernehme. Es ist Sünde und Schande, dem eigentlichen Betreiben der Astronomie so viele Zeit zu entziehen." [7, Bd. 2, S. 424] Entstanden aus diesen "Sünden" Bessels auch eine Reihe von mustergültigen Arbeiten, so ist es doch ebenso eine Tatsache, dass manche astronomische Untersuchung wegen Zeitmangels unerledigt blieb, und das betrifft auch die Arbeit mit dem Heliometer. Im Verlaufe erster Anwendungen des neuen Gerätes konnte sich Bessel auch praktisch von dessen Vortrefflichkeit überzeugen, und so fasste er den Entschluss, die Suche nach den Fixsternparallaxen wieder aufzunehmen.

Während sich seine ebenfalls mit den Parallaxen beschäftigten Kollegen vom Glanz der hellsten Sterne beeindruckt ließen, blieb Bessel beim Eigenbewegungskriterium. Aus unserer heutigen Sicht mag das durchaus selbstverständlich sein, doch war es dies zu Bessels Zeit durchaus nicht. Dass Sterne eine unterschiedliche Leuchtkraft besitzen und deshalb schwächere Sterne näher sein können als hellere, blieb genauso unbekannt, wie man über die Sternentfernungen insgesamt völlig im unklaren war.



13 Beobachtungen von 61 Cygni mit dem Heliometer [18]:

a) Anschluss an Vergleichssterne a, b) Anschluss an Vergleichssterne b.

Durch Verschiebung einer Objektivhälfte wird einer der Vergleichssterne zwischen die Komponenten von 61 Cygni in Stellung gebracht (nach [18]).

Die systematischen Beobachtungen des Sterns 61 Cygni begannen am 16. August 1837 und erstreckten sich bis zum 2. Oktober des folgenden Jahres. Der berühmt gewordene Stern bildet ein physisches Doppelsternpaar. Zur Feststellung der Parallaxe maß Bessel den Abstand des optischen Mittelpunktes zwischen den beiden Komponenten relativ zu zwei lichtschwachen Sternchen in der Umgebung von 61 Cygni, von denen wegen ihrer Lichtschwäche angenommen werden konnte, dass sie zu weit entfernt stehen, um eine merkliche Parallaxe zu zeigen.

Zur direkten Messung verschob Bessel jeweils eine der Objektivhälften so, dass einer der Vergleichssterne genau in der Mitte zwischen den Komponenten von 61 Cygni zu stehen kam. Vorausgesetzt, dass die Parallaxe messtechnisch zugänglich sei, musste sie sich in einer charakteristischen Schwankung der Abstände von 61 Cygni zu den Vergleichssterne äußern.

Um Instrumentenfehler auszuschließen, maß Bessel wechselnd durch Verschiebung der einen und der anderen Objektivhälfte.

Der Anschluss an den Vergleichssterne a wurde 85mal, der an den Stern b 98mal durchgeführt. Jede dieser Messungen ist wiederum das Resultat von gewöhnlich 16 Bestimmungen, so dass den aus diesen Beobachtungen abgeleiteten Resultaten etwa 2900 Messwerte zugrunde liegen. Nach einer ausführlichen Fehlerdiskussion veröffentlichte Bessel 1838 im Dezemberheft der "Astronomischen Nachrichten" sein Ergebnis für die Parallaxe von 61 Cygni:

0",3136 mit dem wahrscheinlichen Fehler von  $\pm 0",0202$ . Diesem Parallaxenwert entspricht eine Entfernung von 10,28 Lichtjahren. [2, Bd. 2, S. 217-236]

Doch Bessel war mit diesem vorläufigen Resultat noch nicht zufrieden und setzte die Beobachtungen mit Unterstützung seines Assistenten Schlüter bis zum März 1840 fort, so dass der Beobachtungszeitraum 2 Jahre und 7 Monate betrug. Dieser verbesserte Parallaxenwert fiel gegenüber dem ersten mit 0",3483 etwas größer aus. Nach diesem Wert stünde der Stern in einer Entfernung von 9,25 Lichtjahren.

Die Parallaxe von 61 Cygni ist später noch oft untersucht worden. Mit modernen fotografischen Methoden wurde der heute gültige Wert von 0",292 gemessen, der einer Entfernung von rund 11 Lichtjahren entspricht.

Nachdem sich fast 300 Jahre viele Astronomengenerationen um die Auffindung der Parallaxe bemühten, fand sie Bessel im "ersten Anlauf" mit einer sich zunächst nur über 14 Monate erstreckenden Messreihe! Diese verhältnismäßige Schnelligkeit, mit der Bessel zum Erfolg kam, erweckte manchen Argwohn. Doch das Bessel zur Verfügung stehende hervorragende Instrument ermöglichte es, Qualität über Quantität zu stellen, eine äußerst hohe Messgenauigkeit ersetzte langjährige Beobachtungen, hinzu kommt die gewissenhafte Anwendung der Daten.

Interessant ist, dass nach den vielen Fehlschlägen nicht nur Bessel zum Erfolg kam, sondern etwa zeitlich parallel auch die Messung der Parallaxe zweier anderer Sterne gelang.

Im November 1835 hatte der Direktor der Sternwarte Dorpat (heute Tartu, UdSSR) Friedrich Georg Wilhelm Struve eine Messreihe begonnen, die das Ziel verfolgte, eine



Parallaxe des Sterns Wega ( $\alpha$  Lyrae), des hellsten Sterns am nördlichen Fixsternhimmel, festzustellen.

Zu diesem Zweck maß er mikrometrisch den Abstand der Wega von einem 43'' entfernten Stern 11. Größe, von dem feststand, dass er mit Wega kein physisches Doppelsystem bildet, und dessen Parallaxe als verschwindend klein angenommen werden konnte. Einen ersten Parallaxenwert publizierte Struve schon 1837.

Die bis zum August fortgesetzten Beobachtungen ergaben den Wert von 0'',2613, entsprechend 12,1 Lichtjahre. Im Unterschied zur Besselschen Bestimmung bei 61 Cygni, die später nur noch unerheblich korrigiert werden musste, war die Entfernungsmessung der Wega doch recht ungenau, denn von diesem Stern trennen uns in Wirklichkeit 27 Lichtjahre (Parallaxe 0'',123).

Als dritte Angabe einer Sternentfernung wurde 1839 der Parallaxenwert von  $\alpha$  Centauri durch den schottischen Astronomen Thomas Henderson publiziert. Henderson hatte diesen hellen Stern während seiner Tätigkeit am Observatorium am Kap der Guten Hoffnung in Südafrika intensiv beobachtet. Die Parallaxe ergab sich zu 0'',98 (heutiger Wert 0'',756). Später erwies sich  $\alpha$  Centauri als der zweitnächste Nachbar der Sonne im Weltall. Seine Entfernung beträgt 4,3 Lichtjahre.

In der Frühgeschichte der Entfernungsmessung im Weltall ist bemerkenswert, dass sowohl Bessel als auch Struve ihre bahnbrechenden Untersuchungen mit Instrumenten aus der Werkstatt des meisterhaften Fraunhofer durchführten. Dies demonstriert den großen Anteil der Feinmechanik und Optik am Fortschritt der Wissenschaften.

Nach den drei Erstmessungen von Sternentfernungen ging es auf diesem Gebiet nur langsam voran. Zehn Jahre nach Bessels erster Veröffentlichung waren Parallaxen von 11 Sternen bekannt, 1882 waren es 34 und 1895 etwa 90 Objekte. Die Ursache liegt vor allem darin, dass die beschriebene trigonometrische Methode nur bei relativ nahen Objekten durchführbar ist. Die Parallaxen von weiter entfernten Sternen sinken unter die Nachweisgrenze.

Heute werden zur Entfernungsmessung im Weltall sehr verschiedene Verfahren angewendet, die ein Vordringen in Bereiche von Millionen und Milliarden Lichtjahre ermöglichen. [18]

Bessel war zwar nicht der erste Astronom, der eine Parallaxe maß, aber doch der erste, der genügend sichere Werte veröffentlichte. So ist es verständlich, dass Bessels Parallaxenmessung in Fachkreisen ein großes Interesse fand. Olbers gratulierte seinem Schüler voll Freude:

"Empfangen Sie meinen wiederholten herzlichen innigsten Glückwunsch zu dieser grossen Entdeckung, die nun zuerst unsern Vorstellungen über das Universum eine feste gesicherte Grundlage gibt. Unter Anderm wissen wir nun auch ganz gewiss, dass es unter den Fixsternen Sonnen gibt, die weit kleiner sind als unsere Sonne; dass es auch grössere geben wird, scheint mir gewiss..." [7, Bd. 2, S. 433]

War die Suche nach der Parallaxe anfangs dadurch angeregt worden, das copernicanische Weltbild empirisch zu untermauern, so trat dieser Aspekt mit der Zeit mehr in den

Hintergrund. Um 1680 hatte Newton in seinem Werk "Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie" aus physikalischen Gründen gezeigt, warum nur die Sonne mit ihrer überragend großen Gravitationskraft die Rolle eines Zentralkörpers im Planetensystem spielen kann.

Seit etwa 1700 gab es kaum noch ernsthafte Gegner des heliozentrischen Weltsystems, obwohl einer der wichtigsten Beweise, eben die Entdeckung der Parallaxe, noch ausstand. Als Beweis für die copernicanische Lehre war also die Parallaxe nicht mehr erforderlich. Dennoch: "Dies ist der grösste und ruhmvollste Triumph, den je praktische Astronomie davon getragen hat", schrieb John Herschel und rief begeistert aus:

"So gross ist das Universum, in dem wir leben, zu dessen Ermessung wir endlich die Mittel erfunden haben zum wenigsten bei einem seiner Körper, der uns wahrscheinlich näher ist, als alle übrige." [19, S. 14]

Tatsächlich boten die um 1840 gelungenen Parallaxenmessungen zum ersten Mal die Gelegenheit, über das Planetensystem hinaus die Dimensionen des Weltalls zu erforschen. Ein Anfang war gemacht, die Möglichkeit der Erforschung der Sternentfernungen war augenfällig demonstriert.

Dennoch dauerte es noch einmal über 80 Jahre, bevor es die Astronomen lernten, gestützt auf völlig neuartige Methoden der Entfernungsbestimmung, die Struktur des Kosmos bis in Dimensionen zu erforschen, die den Raum unseres Milchstraßensystems übersteigen. Erst 1923 konnte mit einem neuen, mächtigen Spiegelteleskop nachgewiesen werden, dass der Andromedanebel nicht Bestandteil unserer Galaxis ist, sondern ein selbständiges Sternsystem.

Damit war die extragalaktische Astronomie geboren, die heute das Weltall bis in Bereiche mehrerer Milliarden Lichtjahre einschließt.

Die Entfernung eines Sterns ist unerlässliche Grundlage für eine physikalische Erforschung der Himmelskörper, wie sie seit den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts begonnen wurde. Nur unter Einbeziehung der Sternentfernung kann beispielsweise die absolute Helligkeit eines Sterns berechnet werden, da wegen der unterschiedlichen Entfernung der Sterne von uns lediglich die scheinbare Helligkeit der direkten Beobachtung zugänglich ist.

Weil die Sterne im Laufe ihres Lebens die absolute Helligkeit in ganz charakteristischer Weise verändern, was im Hertzsprung-Russell-Diagramm seine Darstellung findet, hängt auch eine exakte Theorie der Sternentwicklung von der Kenntnis der Sternentfernung ab.

So eröffneten die ersten Parallaxenmessungen von Bessel, Struve und Henderson der Astronomie z.T. völlig neue Wege der Forschung.

## 6 Kleinere Arbeiten zur Physik der Himmelskörper und zur „Astronomie des Unsichtbaren“

Die großen wissenschaftlichen Erfolge Bessels dürfen nicht den Eindruck erwecken, als würden sich unter seinem überragenden Genie die Probleme fast wie von selbst lösen. Nicht nur der wissenschaftliche Spürsinn Bessels verlangt Bewunderung, sondern auch, vielleicht sogar in erster Linie, seine nie versiegende Begeisterung für seine Wissenschaft, die nicht auf persönlichen Ruhm, sondern auf Erkenntnisgewinn zielte - sein aus der Begeisterung, aus der Freude am Erkennen gespeister unendlicher Fleiß.

Dennoch blieb auch manche begonnene Untersuchung ohne den ersehnten Erfolg, zumal dann, wenn eine größere Zeitdauer für ihren Abschluss notwendig war, als sie Bessel zur Verfügung stand, oder die instrumentellen Voraussetzungen nicht gegeben waren. Doch auch in solchen Fällen gelang es Bessel, auf Probleme aufmerksam zu machen und künftigen Wissenschaftlergenerationen neue Wege der Forschung zu weisen.

### 6.1 Bessels Arbeiten über die Natur der Kometen

Das Jahr 1835 brachte die Wiederkehr des Halleyschen Kometen. Dieser wohl bekannteste aller Schweifsterne ist schon vor der Zeitenwende mehrfach beobachtet worden, freilich weniger aus astronomischem, sondern mehr aus astrologischem Interesse.

Bis zum 17. Jahrhundert galten Kometen nicht als kosmische Körper, sondern Erscheinungen der Erdatmosphäre. Für gewöhnlich hielt man sie für "Zornruten Gottes", der sich solcher Zeichen bediene, um die Menschen zu christlichem Lebenswandel zu ermahnen, was allemal nicht nur Gehorsamkeit gegen Gott, sondern auch gegenüber den vielen kleinen und großen feudalen Herrschern, kirchlichen wie weltlichen, bedeutete.

Da Kometen Erdbeben, Ungewitter, Krieg und Tod verursachen oder ankündigen sollten, wurden sie jedesmal mit viel Furcht und Schrecken wahrgenommen. So schrieb man dem Kometen des Jahres 66 die Belagerung und schließliche Zerstörung Jerusalems durch die Truppen des römischen Kaisers Titus zu; der Komet des Jahres 451 sollte mit der Bedrohung Roms durch den Hunnenkönig Attila im Zusammenhang stehen, der von 1066 mit der Eroberung Englands durch die Normannen sowie dem Tod Kaiser Konstantins; der Komet von 1456 fiel in die Zeit der Kämpfe gegen die Türken im südlichen Europa.

Selbstverständlich fanden sich im bewegten politischen Leben der Feudalzeit für jeden Schweifstern ein oder mehrere "passende" Ereignisse, die auf einen "cometischen Unglücksboten" zurückgeführt werden konnten.

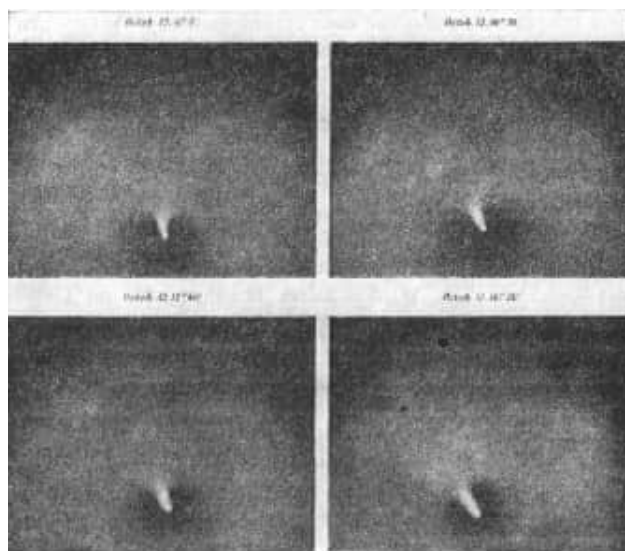
Doch der im Jahre 1456 erschienene, prächtig anzuschauende Komet leitete einen Wandel in der Betrachtungsweise dieser Himmelskörper ein: Der Wiener Gelehrte Georg Peurbach versuchte, Kometen als wirkliche Forschungsobjekte der Wissenschaften anzusehen und ihren Durchmesser mit astronomischen Methoden zu bestimmen. Genauere Beobachtungen wurden dann auch von den Kometen der Jahre 1531, 1607 und 1682

aufgezeichnet.

Die nahe Übereinstimmung der Bahnelemente dieser drei Kometen veranlasste Edmond Halley zu der Vermutung, es handele sich hierbei um verschiedene Erscheinungen ein und desselben Kometen, was sich mit seiner Wiederkehr 1758/59 bestätigte.

Hatte der Halleysche Komet in seinen verschiedenen Erscheinungen schon mehrfach wichtige Etappen der Kometenforschung markiert, so musste seine für 1835 berechnete Sichtbarkeitsperiode von besonderem Interesse sein, fiel sie doch in eine Zeit, die hochentwickelte astronomische Präzisionsinstrumente und ein recht dichtes Netz von Sternwarten hervorgebracht hatte. Die Entdeckung des lang erwarteten Kometen gelang am 5. August 1835.

Wegen der größtenteils weit südlich am Himmel verlaufenden Bahn und wegen ungünstiger Witterung war Bessel bei der Beobachtung nicht gerade begünstigt. Während an manchen Sternwarten noch im Mai 1836 sein Lauf verfolgt werden konnte, sah er den Kometen lediglich im August und Oktober des Entdeckungsjahres. Doch seine Beobachtungen reichten aus, um Material in die Hand zu bekommen, das wichtige Schlussfolgerungen, besonders für die physikalische Theorie der Kometen, ermöglichte.



14 Bessels Beobachtungen des Halleyschen Kometen 1835

Der Komet hat vor unsern Augen Erscheinungen entwickelt, welche die Ursache, woraus sie hervorgegangen sind, so deutlich offenbaren, dass sie nicht verkannt werden kann, schrieb Bessel [3, S. 125] und meinte damit vor allem die verschiedenen Formen des Schweifs des Kometen. Zwar hatte sich Newton schon mit einer morphologischen Theorie der Kometenschweife befasst, doch darf man Olbers und vor allem Bessel als die eigentlichen Begründer einer physikalischen Kometentheorie bezeichnen.

Frühere Beobachter beschränkten sich meistens auf die Beschreibung des Aussehens der Kometen, ohne sich über dessen Ursachen Gedanken zu machen. |

Bessel nahm an, dass die Kometen aus einer Ansammlung feinsten Teilchen bestehen, denen nur eine geringe Wärmemenge fehlt, um sich verflüchtigen zu können. Unter dem Einfluss der Sonne treten zunächst Teilchen mit einer gegen diese gerichteten

Anfangsgeschwindigkeit aus. Bald darauf, so vermutete Bessel, werden sie abgebogen und in die Form des von der Sonne abgewendeten Schweifes gedrängt.

Nach Bessels Theorie ist die Schweifentstehung nicht allein aus der Gravitationskraft erklärbar, sondern erfordert die Annahme einer entgegengesetzt wirkenden "Polarkraft", die er in Analogie zum Magnetismus und zur Elektrizität setzt. Die Abbeugung erfolgt durch das Eintreten der aus dem Kometenkopf abgelösten Teilchen in einen Raum, der mit der Sonne "feindlich polarisierter Materie" erfüllt ist, wodurch auch die Kometenpartikel eine solche Polarisierung erhalten.

Diese Theorie war durchaus imstande, die wichtigsten Erscheinungen des Kometenschweifes zu erklären. Später wurde sie besonders von Karl Friedrich Zöllner weiterentwickelt. [33]

Die Grundzüge der Besselschen Kometentheorie haben sich in der Geschichte der Wissenschaften bewährt, während Details selbstverständlich längst korrigiert wurden. Nach heutigen Vorstellungen besteht der Kopf eines Kometen aus gefrorenen Gasen mit eingelagerten festen Staubpartikeln. Nähern sich die Kometen der Sonne, wird das Eis oberflächlich geschmolzen und verdampft im Vakuum des interplanetaren Raumes.

Zusammen mit den Staubteilchen bildet das Gas einen mehr oder weniger gut ausgebildeten Schweif. Die Form des Schweifes entsteht unter dem Einfluss solarer Wellen- und Teilchenstrahlung. Das Sonnenlicht übt auf die sehr kleinen, z. T. elektrisch geladenen kometaren Partikel einen Druck aus, der sie von der Sonne wegführt.

Andererseits sind am Zustandekommen der Schweife auch die elektrischen und magnetischen Teilchen der solaren Partikelströme sowie interplanetare Magnetfelder beteiligt. Im Zusammenwirken dieser Kräfte entstehen die komplizierten Schweifformen und die Turbulenzen innerhalb des Schweifes, wie sie bei vielen Kometen beobachtet werden können.

So findet der alte Gedanke Bessels von den "Polarkräften" in modifizierter Weise durch die astronomische Forschung eine Bestätigung. Die Wirkung der Repulsivkräfte, die sich Bessel als doppelt so stark wie die Gravitation dachte, wurde von ihm sehr unterschätzt, denn wir wissen heute, dass sie im Mittel den 200fachen Wert der auf die Schweifteilchen wirkenden solaren Gravitation, im Extrem den 1000fachen Wert, annimmt.

Freilich waren Untersuchungen der physikalischen Beschaffenheit der Kometen, die, wie Bessel schreibt, "mehr für die Physiker als für die Astronomen" [2, Bd. 1, S. 55] typisch sind, für den Meister der Himmelsmechanik nur ein gelegentlicher Exkurs in Randgebiete der astronomischen Forschung. Dennoch wird das Streben Bessels nach möglicher Ausnutzung des empirischen Materials, ohne es zu überschätzen, auch bei dieser Gelegenheit deutlich.

Bessel begnügte sich nicht mit einer qualitativen Feststellung der Phänomene, sondern versuchte, auf der Grundlage mathematischer Ableitungen, eine Theorie derselben zu geben, die bis zu den Ursachen der Erscheinung vorstößt,

## 6.2 Beobachtungen von Sternschnuppen

Vieles von dem, was im Zusammenhang mit Bessels Kometentheorie gesagt wurde, trifft auch auf seine Untersuchungen über die Bahnen und die Natur der Sternschnuppen oder wissenschaftlich bezeichnet, der Meteore, zu. Auch hierbei handelte es sich um ein Thema, das von den meisten Fachastronomen gar nicht oder nur am Rande wahrgenommen wurde.

Mit den so schwachen, nur kurzzeitig bei ihrem Eintritt in die Erdatmosphäre aufleuchtenden kosmischen Teilchen wusste man nichts Rechtes anzufangen.

Tatsächlich ist ja ihre Beobachtung auch recht schwierig, die bewährten Methoden der Ortsbestimmung der Fixsterne oder Planeten sind hier gänzlich unangebracht. Wegen solcher Schwierigkeiten und der zu erwartenden Unsicherheit der Ergebnisse verwarf Bessel jedoch diesen Gegenstand nicht, sondern versuchte auch hier, durch möglichst genaue Beobachtungen und Kenntnis der unvermeidlichen Beobachtungsfehler eine möglichst zuverlässige Theorie zu entwickeln.

Bessel schlägt 1839 im Anschluss an die Arbeiten von Heinrich Wilhelm Brandes und Johann Friedrich Benzenberg vor, Bahnen und Höhenbestimmungen der Sternschnuppen durch korrespondierende Beobachtungen vorzunehmen. Drei Beobachter sollten sich an etwa 75 bis 110 km voneinander entfernte Orte begeben, die miteinander ein gleichseitiges Dreieck bilden. Würde in 10 bis 15 Nächten jeweils etwa 2 Stunden beobachtet, ergäbe das nach Bessels Meinung ein aussagefähiges Datenmaterial. Ein speziell von Bessel zusammengestellter Formelapparat ermöglichte die Berechnung der Bahn aus den korrespondierenden Beobachtungen.

Bessel hoffte, dass somit auch Klarheit in die Frage nach der physikalischen Natur der Sternschnuppen gebracht werden kann, "ob es wohl annehmbar ist, dass sie schon in den höheren Luftschichten gänzlich verbrennen?" [2, Bd. 3, S. 341] oder vielleicht Reste an der Erdoberfläche auffindbar seien.

Für solche Untersuchungen bestand damals durchaus ein Bedürfnis, denn erst um 1800 konnte mit einiger Sicherheit die kosmische Natur der Sternschnuppen belegt werden. Erst etwa 35 Jahre nach Bessels Forschungen zu diesem Gegenstand gelangen die ersten Bestimmungen von Meteorstromradianten (d.h. des scheinbaren Ausstrahlungspunktes der Sternschnuppen am Himmel).

Auf Bessels Anregung wurden 1843 Himmelskarten in stereographischer Projektion angefertigt, die den speziellen Bedürfnissen der Meteorbeobachtung angepasst waren. Sie bestanden aus fünf Einzelkarten. Davon hatten 4 Blatt ihren Mittelpunkt bei  $+10^\circ$  Deklination und jeweils  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  bzw.  $315^\circ$  Rektaszension.

Blatt 5 bildete die Nordpolarregion ab. Ihre Größe und graphische Gestaltung war so gewählt, dass der Beobachter sich nach dem ja stets unverhofften und sehr kurzzeitigen Aufleuchten eines Meteors rasch zu orientieren vermochte, um die Bahn des Kleinkörpers im Vergleich zu den Sternen einzuzeichnen.

Bessels Aufforderung zu korrespondierenden Meteorbeobachtungen wurde nur zögernd aufgegriffen. Jedoch nahm die Erforschung dieser Himmelskörper später den von Bessel

vorgezeichneten Weg. Heute ist die Meteorbeobachtung ein erfolgversprechendes Arbeitsgebiet für Amateurastronomen. Korrespondierende Beobachtungen, häufig unter Einsatz der Fotografie und spezieller Himmelskarten, gehören dabei zu den grundlegenden Voraussetzungen.

### 6.3 „Astronomie des Unsichtbaren“

Die sehr genauen und sorgfältig reduzierten Sternbeobachtungen setzten Bessel in den Stand, noch verbleibenden Unregelmäßigkeiten der Sternörter auf den Grund zu gehen. Bei der Bestimmung der Orte von Fundamentalsternen und deren Vergleich mit älteren Messungen, bemerkte Bessel bei den hellen Sternen Sirius und Procyon eine eigenartige Veränderlichkeit der Eigenbewegung. Im Juli 1844 schrieb Bessel davon in einem Brief an A. v. Humboldt:

"Auch finde ich besondere Bewegungen der Fixsterne, bei Procyon um 4". Was dies sein mag, es ist nicht reif, aber sicher ist noch nicht alles in Ordnung." [20, S. 144]

Bessel betrachtete die Lösung dieses Rätsels offensichtlich als eine vordringliche Aufgabe, was auch ganz verständlich ist, denn die Veränderlichkeit der Bewegung der Fixsterne, zunächst bei Procyon im Sternbild Kleiner Hund wahrgenommen, musste ihn stark beunruhigen.

Bisher schien es möglich zu sein, aus zwei Präzisionsbeobachtungen eines Sterns dessen Eigenbewegung abzuleiten und daraus seinen Ort am Himmel für beliebige Zeiten voraus- oder zurückzuberechnen, Diese Verfahrensweise drohte sich durch die Procyon-Beobachtung als falsch zu erweisen und mit ihr grundsätzliche Verfahrensweisen der astronomischen Praxis.

Schon kurze Zeit nach der vorsichtigen Äußerung Humboldt gegenüber erschien ein umfangreicher Aufsatz in den "Astronomischen Nachrichten", [2, Bd. 2, S. 306-325] der die Existenz bisher unbekannter Himmelskörper aus mathematischen Ableitungen voraussagte - das war etwas völlig Neues!

Nach Prüfung der verschiedensten Erklärungsmöglichkeiten für den beobachteten Effekt kommt Bessel zu dem Ergebnis, dass die Veränderlichkeit der Positionen beider Sterne auf eine unbekannte Masse, die eine "sehr kleine Entfernung von dem Sterne" hat, zurückgeführt werden müsse. Nach seiner Hypothese sollten also Sirius und Procyon Doppelsternsysteme bilden, dessen jeweils eine Komponente unsichtbar sei.

Da Bessel die Existenz von Zwergen- und Riesensternen unbekannt war, die Unterschiede in den Leuchtkräften der Sterne wurden erst über ein halbes Jahrhundert später entdeckt, postulierte er das Vorhandensein nichtleuchtender Körper in der Fixsternwelt. "Dass zahllose Sterne sichtbar sind, beweist offenbar nichts gegen das Dasein zahlloser unsichtbarer", schreibt er und fügt als ein weiteres Beispiel die Supernova von 1572 an, dessen Existenz als unsichtbarer Stern nach dem Ausbruch nicht zweifelhaft sein könne. [2, Bd. 2, S. 309]

Die Annahme dunkler, nichtplanetarer Massen im Weltall wurde in der Fachwelt heftig diskutiert und kritisiert. Fünf Jahre nach Bessels Tod gelang eine erneute Berechnung

der Sirius-Bewegung und die Ableitung von Bahnelementen des hypothetischen Doppelsterns. Noch einmal 11 Jahre vergingen, bis der Optiker Alvan Clark 1862 beim Test eines neuen Fernrohrobjektivs den von Bessel vorausgesagten Himmelskörper als ein Sternchen von  $8^m,5$  entdeckte.

Der Sirius-Begleiter erwies sich durchaus nicht als ein dunkler Körper, wie Bessel vermutet hatte. Seine Entdeckung erfolgte nur deshalb so spät, weil er infolge geringer Distanz vom hellen Sirius in der Regel völlig überstrahlt wird. Die Entdeckung des Procyon-Begleiters gelang 1896.

Nach eingehender physikalischer Erforschung von Sirius B und Procyon B, so lautet die wissenschaftliche Nomenklatur beider Sterne, entpuppten sie sich als außergewöhnliche Himmelskörper.

Zwar sind ihre Massen etwa mit der Sonne vergleichbar, doch haben sie einen Durchmesser, wie er eher für Planeten typisch ist. Die Materie der "Weißen Zwerge", wie solche Sterne heute bezeichnet werden, hat eine Dichte von einigen 100 kg je Kubikzentimeter!

Die Methode Bessels, Unregelmäßigkeiten in den Bewegungen der Himmelskörper zur mathematischen "Entdeckung", besser natürlich ihrer Vorhersage, zu nutzen, hat in der Geschichte der Astronomie bis heute zu vielen wichtigen Entdeckungen geführt und ist eine alltägliche Arbeitsmethode geworden. Über die Fachwelt hinaus wurde sie besonders im Zusammenhang mit der Suche nach Planetensystemen sonnennaher Fixsterne bekannt.

Da Planeten selbst kein Licht aussenden, sondern nur die Strahlung ihres Zentralsterns reflektieren, sind sie im Fernrohr nicht direkt zu beobachten. Durch seine Gravitationskraft beeinflusst jedoch ein Planet die Bewegungen seines Sterns in einem sehr geringen, doch unter bestimmten Bedingungen nachweisbarem Maße.

Die so entstehenden Taumelbewegungen müssen ähnlich den Bewegungsunregelmäßigkeiten verlaufen, die Bessel bei Sirius und Procyon feststellen konnte. Diese Gedanken aufgreifend, untersuchte der Astronom Peter van de Kamp über Jahrzehnte hinweg die Eigenbewegung zahlreicher Sterne in der Sonnennachbarschaft mit dem Ergebnis: Ein kleines Sternchen, der sogenannte Barnardsche Pfeilstern, vollführt eine Taumelbewegung, die nach umfangreichen Analysen auf die Existenz zweier planetenähnlicher Begleiter zurückgeführt werden konnte.

Zwar blieb dies nicht unwidersprochen und die Diskussionen gehen weiter, doch scheint nun das erste Planetensystem, außer unserem, in dem wir leben, nachgewiesen zu sein. Verständlicherweise erhielt im Gefolge dieser Forschungen auch der Streit um die Existenz außerirdischen Lebens neuen Auftrieb, kann doch Leben, wie wir es uns vorstellen, nur auf planetaren Körpern existieren.

Eine der glanzvollsten und spektakulärsten Anwendungen dieses "mathematischen Entdeckungsverfahrens" von Himmelskörpern gelang mit der Entdeckung des Planeten Neptun. Sie ist mit dem Namen Bessels auf folgende Weise verbunden:

Als im Jahre 1781 ein bis dahin kaum bekannter Amateurastronom mit Namen Fried-



rich Wilhelm Herschel den ersten, nicht schon im Altertum bekannten Planeten Uranus entdeckte, war das eine Sensation. Doch der Neuling verhielt sich, wie die Astronomen bald bemerkten, recht eigenartig: Wie auch seine Bahn berechnet wurde, stets blieb gegenüber den Beobachtungen eine Differenz übrig.

Ihr Betrag wuchs besonders, wenn Beobachtungen in die Rechnung kamen, die schon Jahrzehnte vor der Planetenentdeckung von Astronomen herrührten, die ihn irrtümlich als Stern in ihre Journale eintrugen. Einige Astronomen versuchten, das Problem der Nichtübereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung dadurch aus der Welt zu schaffen, indem sie den älteren Beobachtungen, sie gehen bis auf das Jahr 1690 zurück, eine ausreichende Genauigkeit absprachen.

Bessel hielt dieses Vorgehen für eine ungerechtfertigte Unterschätzung dieser Daten und führte ab 1823 eigene Untersuchungen durch.

Eine erste Hypothese führte Bessel völlig in die Irre. Er überlegte, ob nicht die Unregelmäßigkeiten der Uranus-Bewegung durch eine vom Gewöhnlichen abweichende Anziehungskraft zwischen Saturn und Uranus herrühren könnte.

"Ich denke mir die Weltkörper aus Elementen a, b, c zusammengesetzt, so dass a nur a, b nur b und so weiter anzieht", schrieb er im April 1823 an Olbers. [7, Bd.2, S. 242] Wenn Uranus nun eine andere Mischung der Elemente a,b, c als beispielsweise Jupiter besitzt, würde daraus eine Anziehungskraft zwischen Saturn und Jupiter resultieren, die von der zwischen Saturn und Uranus abweicht. Bessel hat versucht, diese zwar scharfsinnige, aber doch falsche Hypothese allseitig auszubauen und mathematisch durchzuarbeiten. Dabei ergaben sich jedoch, nach anfänglichen Erfolgen, Differenzen zu den Beobachtungen, die er nicht auszugleichen vermochte.

Ein begonnenes Manuskript "Untersuchung einer merckwürdigen Erscheinung, welche die Bewegung des Uranus gezeigt hat" [6a] blieb unvollendet: Auf seine "Wahlverwandtschafts-Hypothese" kam Bessel später nicht mehr zurück.

Hingegen hat ihn das Problem der Uranus-Bewegung noch lange beschäftigt. [2, Bd. 1, S. 84 ff]

Bald überzeugte sich Bessel davon, dass die Unregelmäßigkeiten der Uranus-Bahn nur durch "unbekannte, störende Planeten" erklärt werden können. Zunächst mussten jedoch diese Untersuchungen, die sich immer aufwendiger gestalteten, wegen anderer Verpflichtungen ruhen.

Erst um 1837 kam er auf dieses Thema zurück. Bessel übertrug dem jungen, hoffnungsvollen Assistenten Wilhelm Flemming eine erneute Bearbeitung der Uranus-Beobachtungen, die dieser zur vollen Zufriedenheit erledigte. Nun hoffte Bessel auf einen baldigen Abschluss, der jedoch wiederum verhindert wurde, da Flemming, erst 28jährig, einer kurzen schweren Krankheit erlag.

Bessel hat diese Untersuchungen, die einen großen Reiz auf ihn ausübten, wohl nicht mehr wesentlich weiter geführt. Resümierend schrieb er 1843 darüber an Gauß:

"Ich halte den Uranus allerdings für einen sehr geeigneten Gegenstand einer Untersuchung; aber ich fürchte, dass dies viel Aufopferung fordern, d. h. sehr weitläufig werden wird, indem die Hypothesen, die man etwa verfolgen kann, wohl nur durch grossen

Zeitaufwand bestätigt oder verworfen werden können." [8, S. 567]

Die Rechnungen Flemmings wurden erst 1850 von Heinrich Christian Schumacher veröffentlicht. Zu dieser Zeit besaßen sie nur noch historischen Wert. Denn inzwischen war von ganz anderer Seite das Problem der Uranus-Bewegung gelöst worden - jedoch genau in dem Sinne, wie es Bessel vorausgesehen hatte.

Nicht nur Bessel und Flemming in Deutschland, sondern auch Urbain Jean Joseph Leverrier in Frankreich und John Couch Adams in England hatten den Uranus nahezu gleichzeitig zu ihrem Untersuchungsgegenstand gewählt. Leverrier und Adams gelang die Ableitung von hypothetischen Ephemeriden, die ersterer an den Assistenten der Berliner Sternwarte Johann Gottfried Galle sandte. Galle entdeckte schließlich am 23. Sept. 1846 den langgesuchten Planeten, der den Namen Neptun erhielt.

Wenn auch Bessels Untersuchungen nicht zum Abschluss kamen, so hat er doch an der Entdeckung des Neptun Anteil, wenn auch indirekt. Galle benutzte beim Vergleich der Leverrierschen Angaben mit dem Himmel ein Blatt der von Bessel ins Leben gerufenen "Akademischen Sternkarten", die wegen ihrer zweckmäßigen Einrichtung eine rasche Identifizierung des Neulings ermöglichte.

So bestätigte sich am Ende doch noch, dass die Untersuchung der Uranus-Bahn zu einer der "schönsten Bereicherungen der Wissenschaft leiten muss", wie Bessel 1823 hoffte. [7, Bd. 2, S. 250]

Diesen großen Erfolg der Himmelsmechanik hat er jedoch nicht mehr erlebt. Sechs Monate vor der Entdeckung des Neptun starb Bessel.

## 7 Bessel privat

In der Nr. 556 der "Astronomischen Nachrichten" vom 8. April 1846 erschien die Mitteilung vom Ableben Bessels, verfasst von Heinrich Christian Schumacher. Es waren schlichte persönliche Worte, nichts über die Bedeutung Bessels für die Astronomie. Den Lesern dieser Zeitschrift brauchte man nichts von dem Verlust sagen, den die Astronomie erlitten hatte!

"Am 17ten März Abends zwischen 6 und 7 Uhr starb Friedrich Wilhelm Bessel. Seine langen und schweren Leiden schloss ein ruhiger schmerzloser Tod. Er schlief von Liebe bewacht sanft ein, um hier nicht wieder zu erwachen.



15 Bessel im Jahre 1843 (Daguerreotypie)

Beigegeben ist der Wortlaut eines Schreibens von Johanna Bessel, mit dem sie Schumacher den Tod ihres Vaters angezeigt hatte. Er gibt Auskunft über die letzten Lebensminuten des großen Wissenschaftlers.

"Schon seit mehreren Tagen... hatte mein Vater sich sehr verändert, Der Pulsschlag war kaum noch bemerkbar, und er lag fast fortwährend in einem Schlummer in dem er endlich entschlief. Mutter und ich sassen allein an seinem Bette und freuten uns seines ruhigen und freien Athmens während des Schlafes.

Dies Athmen wurde allmählich immer leiser, bis ich es zuletzt nur angestrengt lauschend noch vernehmen konnte. Einmal hob er dann noch den Kopf - und der letzte Hauch war entflohen. Es war ein schöner sanfter Tod wie er ihn sich immer gewünscht hatte. Wir sassen noch lange vor seinem Bette, ohne es zu wagen die heilige Stille durch Laut oder Bewegung zu unterbrechen." [27, Sp. 49 f.]

Aus dem Nachruf Schumachers ist ersichtlich, dass Bessel jahrelang leidend war, wie sich später herausstellte, an Darmkrebs.

Seit dem Sommer 1844 war er nicht mehr imstande, am Fernrohr zu arbeiten. Diese erzwungene Untätigkeit belastete ihn psychisch sehr. Seine Ruhestätte fand Bessel auf

dem an die Sternwarte angrenzenden Friedhof. Sie war so gewählt, dass sie dem von ihm zu Weltruhm geführten Institut genau gegenüberlag. An seiner Seite wurde 1885 seine Ehefrau Johanna, die ihn um fast 40 Jahre überlebte, bestattet.

Das Leben in der Familie Bessel wird von nahestehenden Freunden und Bekannten stets als ein sehr harmonisches bezeichnet. Karl Theodor Anger, selbst Schüler Bessels, erinnerte sich:

"Wem jemals Gelegenheit zu Theil wurde, den grossen Mann in seiner gemüthlichen Häuslichkeit zu sehen, dem musste die Herzlichkeit seines wahrhaft glücklichen Familienlebens, ein erfreuliches Bild gewähren ... So war besonders die Weihnachtszeit ein Fest. Schon längere Zeit vorher, sah man ihn emsig beschäftigt, für seine Kinder und andere liebe Verwandte, allerhand Geschenke zum Theil einkaufen, zum Theil auch mit eigener Hand verfertigen, alles mit einer Liebe zur Sache und einem Eifer, als gelte es eine wissenschaftliche Arbeit.

Wer aber beschreibt die unendliche Freude, welche aus seinen Augen glänzte, wenn er nun andere Menschen mit seinen Gaben überraschen konnte! ... Der zärtliche Vater freute sich über den Fortschritt seiner Kinder, und obgleich auf unerklärliche Weise ihm in früherer Zeit die Musik nicht angenehm war, so söhnte er sich doch mit derselben aus, als auch sie Gegenstand des Unterrichts werden musste. Von seinem ältesten Sohne Wilhelm hegte er die Hoffnung, dass dieser einst den Weg betreten werde, auf welchem er selbst soweit gekommen war, und in der That hatte er die Freude, schon beim Knaben eine grosse Neigung zur Mechanik zu bemerken, welche er als ein günstiges Zeichen für die Zukunft desselben betrachten, da eine gewisse Anstelligkeit zu praktischen Dingen, ihm als eine sehr erwünschte Eigenschaft eines künftigen Astronomen erscheinen musste." [1, S. 13 f.]

Der allzu frühe Tod seines Sohnes Wilhelm machte diese Hoffnungen zunichte. Wilhelm Bessel, der als Architekt in Berlin lebte und dem Vater schon beim Umbau der Sternwarte zur Aufstellung des Repsoldschen Meridiankreises geholfen hatte, verstarb 1840 - erst 26jährig - infolge eines epidemisch auftretenden Nervenfiebers. Dieser schwere Schlag traf Bessel inmitten rastlosen Schaffens, bei seinen Untersuchungen zur Erdgestalt und der Ausarbeitung kleinerer Beiträge, die vor allem in den "Astronomischen Nachrichten" seines Freundes Schumacher veröffentlicht wurden.

Bessels Freunde machten sich um seinen Zustand große Sorgen, zumal sie um die eigenartige Weichheit Bessels solchen Ereignissen gegenüber wussten. Als Olbers einmal schwer erkrankte, hatte Bessel ihm lange nicht geschrieben und erklärte gegenüber Schumacher:

"Um dieses zu verstehen, müssen Sie eine sonderbare Eigenheit von mir kennen lernen. Ich kann durchaus nicht an einen Mann schreiben, den ich liebe und ehre, sobald ich ihn in Todesgefahr weiß. - Meinem Vater konnte ich, aus diesem Grunde, in den letzten Monaten vor seinem Tode nicht mehr schreiben, und wenn ich an Olbers schreiben wollte, so konnte ich mich immer nicht entschließen. Dies kann nichts anderes sein, als eine alberne Weichlichkeit, aber ich habe nicht Herr darüber werden können." [26, Sp. 187]

Den Tod des Sohnes verwand Bessel in der Arbeit, besonders an seinem großartigen Heliometer, mit dem er so glänzende Erfolge erzielte. Damit nun sein Name nicht erlösche, verfügte Bessel, dass in den Familien der Töchter der jeweils älteste Sohn auch den Familiennamen "Bessel" führen solle. Seine älteste Tochter Marie heiratete 1834 den Geophysiker und Forschungsreisenden Georg Adolph Erman. Durch ihre Söhne blieb der Name Bessel erhalten.

Über Bessels äußere Erscheinung sind wir durch mehrere Porträts als Jüngling, reifer Mann und von Krankheit gezeichneter Gelehrter unterrichtet. [9] Nach einem 1810 ausgestellten Pass war er 1,68 m groß. Wie schon aus den Worten Angers hervorgeht, hat ihn der jahrelange Umgang mit Zahlen und Präzisionsbeobachtungen keinesfalls zu einem pedantischen Rechenmeister werden lassen. Noch im Alter scheint zutreffend zu sein, was Encke über den etwa 25jährigen sagte:

"Bessel's Besuch hat uns höchlichst erfreut ... er ist etwas größer als ich, brünett und ganz das Gegentheil von dem, wofür ich ihn seinen Briefen nach hielt: nämlich höchst jovial und lebensfroh, dabei voll Eifer für seine Wissenschaft, die er nie aus den Augen verliert. In seinen Briefen kommt er mir so zurückhaltend und förmlich vor, im Gespräch geht er frisch heraus, dass es eine wahre Freude ist, ebenso frei und offen dagegen seine Meinung äußern zu dürfen..." [26, Sp. 186]

Obwohl sich Bessel sicherlich über seine eigene Bedeutung im klaren war (soweit sie nicht erst die Nachwelt aus dem Abstand der Jahre einzuschätzen vermochte), erkannte er doch fremde Leistungen bereitwillig an. In Gesellschaft disputierte er gern auch über Dinge, die außerhalb seiner Wissenschaft lagen.

Dennoch blieb es nicht aus, dass sich das ursprünglich freundliche Verhältnis zu Encke später stark abkühlte, woran beide nicht unschuldig waren. Bessel, der Enckes Talent auf dem Gebiet der theoretischen Astronomie deutlich erkannte, versuchte seinen Einfluss geltend zu machen, um zu verhindern, dass dieser seine Kräfte allzusehr durch ausgedehnte Beobachtungen und die Leitung einer großen Sternwarte zersplitterte, was Encke als Eifersucht und Bevormundung empfand.

Vollends zum Ausbruch kam der Konflikt, als Bessel aus wissenschaftlichen Gründen Enckes Theorie des "widerstehenden Mediums" kritisierte. Zur Erklärung von Erscheinungen der Kometenbewegung hatte Encke angenommen, dass ihrem Umlauf ein sehr dünnes Medium (eine Art "Weltäther") entgegenstehe. Diese Hypothese, hinter die Encke seine ganze wissenschaftliche Persönlichkeit stellte, wies Bessel als nicht genügend begründet zurück, wodurch sich ihr Urheber aufs schwerste getroffen fühlte. Encke nahm Bessel seine Offenheit übel.

"Bessel ist immer lebhaft und schnell - Encke lässt sich Zeit ... Bessel möchte den jüngeren Freund leiten - der aber will nicht folgen, obgleich er Bessel's Überlegenheit anerkennt," meinte Repsold. [26, Sp.197]

Obgleich religiös gebunden, war Bessel dem kirchlichen Leben nicht zugetan. Politische Dinge spielten in seinem Denken nur eine geringe Rolle, selten hat er sich in dieser Hinsicht geäußert.

Um so bemerkenswerter ist deshalb sein anonym gedruckter Beitrag in der "Königsberger Allgemeinen Zeitung" vom Februar 1845, betitelt "Überbevölkerung". Ohne die Bevölkerungstheorie von Thomas Robert Malthus, derzufolge die ständig auftretende "Überbevölkerung" durch Kriege, durch Hunger und Elend naturnotwendig periodisch dezimiert werden müsse, zu nennen, setzt sich Bessel mit dieser inhumanen Lehre auseinander.

Seiner Meinung nach kann stets nur von einer relativen Überbevölkerung gesprochen werden, relativ zu den ökonomischen Möglichkeiten der "Vermehrung der Arbeit" durch Ausweitung des Handwerks und Handels sowie der Erhöhung der Erträge der Landwirtschaft. Den Kern des Problems fasst Bessel so zusammen:

"Dieselbe Quadratmeile, die nur wenige Jäger ernähren konnte, bietet die Mittel des Unterhalts eben so vielen Tausenden, welche die Intelligenz besitzen, sie aus dem Boden hervorzurufen. Jede Vermehrung der Kunst des Ackerbaus vergrößert das mit der Wohlfahrt der Bevölkerung vereinbarte Maximum; und wenn, verschiedene Gewerbe sich vermischen und der mächtige Handel Städte gründet, so wird ein noch grösseres erreichbar." [2, Bd. 3, S. 484]

Bessel erkannte zwar,

"dass die beiden äussersten Grade der Wohlfahrt der Bewohner ... sich jetzt häufiger finden als früher; dass Reichthum sich öfter anhäuft, dass abschreckende Armuth fortschreitend um sich greift," [ebenda]

doch bleibt ihm die Erkenntnis des Weges, diese Verhältnisse radikal durch grundlegende gesellschaftliche Umwälzungen abzuschaffen, verschlossen.

Andererseits kommt Bessel zu der klaren Erkenntnis, dass die Abhilfe vom Übel der Armut nur durch ökonomische Veränderungen zu schaffen ist und nicht durch Appelle an die Menschlichkeit, was zu seiner Zeit in den Kreisen bürgerlicher Intellektueller keineswegs eine selbstverständliche Einsicht war.

Politisch war Bessel ein unbedingter Anhänger des preußischen Königs. Er sah nicht, dass das Elend vor allem der ländlichen Bevölkerung eine Folge der preußischen Agrarpolitik war, die der Unterentwicklung der Dörfer keine konstruktiven Maßnahmen entgegenzusetzen hatte.

Im Gegenteil, auch nach der Ablösung der Leibeigenschaft, die 1807 erfolgte, wurden Spätformen feudalen Gebarens der Großgrundbesitzer toleriert. Bessels "superroyalistische" Einstellung wurde schon von Zeitgenossen, unter ihnen der mit dem preußischen Staatswesen gut vertraute Humboldt, verwundert zur Kenntnis genommen.

Bessels Meinung nach hat die Wissenschaft die humanistische Aufgabe, die Wohlfahrt der Bevölkerung, der Bauern, Handwerker und aller anderen Bevölkerungsschichten (die Industrie, als der fortgeschrittenste Bereich der materiellen Produktion tritt nicht in seinen Gesichtskreis) zu heben, um so allen Menschen ein würdiges Dasein zu ermöglichen. Durch die Wissenschaft sollen die Menschen zu vermehrter Produktion befähigt werden.

Bessels Überlegungen führten ihn zur Forderung nach einer populärwissenschaftlichen

Zeitschrift für alle Stände, einem "Pfennigmagazin" zur Volksaufklärung, das die "Intelligenz" aller "Gewerbe" zu heben vermag.

Dieser Aufgabenstellung versucht Bessel auch selbst nachzukommen. Aus dem Briefwechsel mit Alexander von Humboldt ist bekannt, dass sich Bessel ab 1840 mit dem Gedanken trug, eine populäre Astronomie zu verfassen. Leider hat er diesen Plan nicht verwirklicht.

Nach anfänglichen Vorarbeiten verhinderte seine schwere Erkrankung ein Fortkommen, so dass er die Arbeit einstellte. Humboldt versuchte vergeblich, ihn umzustimmen, was um so mehr zu bedauern ist, als Bessel in einer Reihe von Vorträgen in der Königsberger "Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft" sein Geschick für die Popularisierung der Wissenschaft bewiesen hatte. [10]

Wie schon in Lilienthal war Bessel auch später noch ein begeisterter Jäger und Mitglied der "Königsberger Jagdgesellschaft". Er liebte es, gelegentlich bei körperlicher Tätigkeit Entspannung zu suchen, und so geschah es, dass er in seinem Garten hinter der Sternwarte, den Spaten in der Hand, mit seinen Schülern über die Resultate ihrer Arbeit sprach und ihnen Vorschläge für die fernere Behandlung ihres Gegenstandes erteilte. Bessels Schüler, unter ihnen spätere Astronomen von Weltgeltung, sicherten die kontinuierliche Weiterführung seines Lebenswerkes.

## 8 ... die epochemachende Kraft der Astronomie

Wilhelm Foerster, der wegen seiner wissenschaftsorganisatorischen und sozialreformerischen Bestrebungen weit über die Astronomie hinaus bekannte Direktor der Berliner Sternwarte, bezeichnete Bessel als

"die epochemachende Kraft, als den eigentlichen Begründer der hohen, strengen Messungskunst in fast allen Gebieten der Forschung und exakten Praxis und zugleich als produktiver Denker von höchster ordnender Klarheit auf dem Felde astronomischer Theorie bis hinein in die reine Mathematik." [13, S. 214]

Bessel verhehlte nie, dass er die Astronomie als seine eigentliche Wissenschaft betrachtete. Auch dort, wo er sich in das Gebiet der Theorie, auch der Mathematik begab, waren astronomische Probleme das leitende Motiv.

Dennoch kündet z. B. die Bezeichnung "Besselsche Funktionen" heute noch in der Mathematik von den Spuren, die der bedeutende Astronom auch hier hinterließ. Diese Funktionen, deren Eigenschaften Bessel 1824 im Anschluss an Daniel Bernoulli und Leonhard Euler untersuchte, finden in der Physik und in der Technik überall dort, wo Schwingungsaufgaben gelöst werden sollen, eine häufige Verwendung. [28]

Bessel schuf "völlig neue, fast unbegreiflich sichere und zutreffende Grundlagen für die Messung und die Erkenntnis der himmlischen Bewegungserscheinungen", [13, S. 215] und das hatte weitreichende Konsequenzen, die über die Astronomie hinausgingen.

Die Steigerung der Messgenauigkeit in der Astronomie zu Beginn des 19. Jahrhunderts, an der natürlich auch andere Astronomen einen großen Anteil hatten, führte zu der Überzeugung, dass das Wesen astronomischer Forschung überhaupt in der Bestimmung der Örter von Himmelskörpern sowie den daraus abzuleitenden Gesetzen ihrer mechanischen Bewegung liege. In diesem Sinne bestimmte Bessel die Aufgabe der Astronomie:

"Was die Astronomie leisten muss, ist zu allen Zeiten gleich klar gewesen: sie muss Vorschriften ertheilen, nach welchen die Bewegungen der Himmelskörper, so wie sie uns, von der Erde aus, erscheinen, berechnet werden können. Alles was man sonst noch von den Himmelskörpern erfahren kann, z. B. ihr Aussehen und die Beschaffenheit ihrer Oberflächen, ist zwar der Aufmerksamkeit nicht unwerth, allein das eigentlich astronomische Interesse berührt es nicht.

Ob die Gebirge des Mondes so oder anders gestaltet sind, ist für den Astronomen nicht interessanter, als die Kenntniss der Gebirge der Erde für den Nicht-Astronom ist; ob der Jupiter dunkle Streifen auf seiner Oberfläche zeigt oder gleichmässig erleuchtet erscheint, reizt eben so wenig die Wissbegierde des Astronomen, und selbst die vier Monde desselben interessiren ihn nur durch die Bewegungen, welche sie haben. -

Die Bewegungen aller Himmelskörper so vollständig kennen zu lernen, dass für jede Zeit genügende Rechenschaft davon gegeben werden kann, dieses war und ist die Aufgabe, welche die Astronomie aufzulösen hat." [3, S. 5 f.]

Das Vertrauen in die Sicherheit der Ortsbestimmungen astronomischer Objekte und die mathematischen Grundlagen der Berechnung ihrer Bewegung gleichermaßen für



vergangene wie zukünftige Zeiten war so groß, dass es sogar das philosophische Denken zu prägen vermochte. Es wurde augenfälliger als zuvor, dass der Mensch mit seinem forschenden Geist befähigt ist, die Kausalität der Naturprozesse zu begreifen und trotz seiner begrenzten Existenz das kosmische Szenarium von Jahrtausenden mit den Mitteln der Mechanik und Mathematik vor seinem geistigen Auge ablaufen zu lassen.

Der Mensch griff wirklich nach den Sternen. Der französische Astronom und Philosoph Pierre Simon de Laplace schrieb in diesem Sinne:

"Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung seines früheren und als die Ursache des folgenden Zustandes betrachten. Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kannte, und überdies umfassend genug wäre, uns diese gegebenen Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegung der größten Weltkörper wie des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiss sein, und Zukunft wie Vergangenheit würden ihr offen vor Augen liegen.

Der menschliche Geist bietet in der Vollendung, die er der Astronomie zu geben verstand, ein schwaches Abbild dieser Intelligenz dar." [22, S. 2]

Die Entwicklung der Astronomie in der Mitte des 19. Jahrhunderts konnte dieser Vorstellung zunächst nur noch mehr Überzeugungskraft verleihen.

Schon ein flüchtiger Blick auf die Astronomie der Gegenwart macht deutlich, dass Bessel zentrale Probleme der heutigen Forschung aus dem Bereich dieser Wissenschaft ausgeschlossen hat.

Darunter befindet sich die Planetenforschung, deren Ergebnisse aus den Flügen automatischer Sonden in unserer Zeit sogar für Schlagzeilen in der Tagespresse sorgen. Das betrifft auch das weite Gebiet der Entstehung und Entwicklung kosmischer Körper und ihrer Systeme und schließlich auch die Erforschung des Weltalls bis in die Tiefen der Metagalaxis.

Wenn Bessel solche Problemstellungen aus der Astronomie ausschloss, lenkte er damit nicht die Astronomie willkürlich in enge Bahnen? Dies anzunehmen wäre grundfalsch!

Zum einen ermöglichte die Beschränkung auf die Himmelsmechanik eine ungeteilte Konzentration der Kräfte auf diesen Gegenstand, der somit zu großer Blüte gebracht werden konnte, auf der anderen Seite widerspiegelt Bessels Auffassung von den Zielen der Astronomie genau das, was diese Wissenschaft zu seiner Zeit objektiv überhaupt leisten konnte.

Die astronomischen Instrumente, die Bessel und seinen Fachkollegen zur Verfügung standen, waren hervorragend geeignet, Positionen der Himmelskörper festzustellen, wenn ein umsichtiger Astronom mit ihnen arbeitete, Von den Oberflächen der Planeten, von der chemischen Zusammensetzung ihrer Atmosphären, von der Entstehung und Entwicklung der Planeten und Sterne war durch sie nur wenig zu erfahren.

Erst nachdem um 1860 Gustav R. Kirchhoff und Robert W. Bunsen die Spektralanalyse zunächst als Nachweisverfahren in die Chemie einführten, war der Weg für eine Erfor-

schung der chemisch-physikalischen Natur der Himmelskörper bereitet. Es entstand eine neue astronomische Forschungsrichtung, die Astrophysik. Im Gefolge dieser Arbeiten erhielt auch der Streit um die Frage, ob sich die Himmelskörper in Entwicklung befinden oder durch einen einmaligen Schöpfungsakt entstanden, neue Nahrung. Anknüpfend an frühe Versuche Immanuel Kants, Pierre Simon de Laplaces und Friedrich Wilhelm Herschels begründete Karl Friedrich Zöllner 1865 eine Entwicklungstheorie der Sterne und Planeten.

Die bald darauf einsetzenden intensiven Diskussionen mündeten vierzig Jahre später. im Verein mit praktischen Resultaten der Forschung in das Hertzsprung-Russell-Diagramm ein, das den Entwicklungsweg von Sternen exakt zu beschreiben gestattet.

Nur etwa 14 Jahre vergingen nach dem Tod Bessels, bis durch die Entstehung der Astrophysik seine Gegenstandsbestimmung der Astronomie ihre Berechtigung verlor. Von dem ungeahnten Erkenntniszuwachs, der nun einsetzte und eine völlige Umbewertung traditioneller Forschungsstrategien mit sich brachte, konnte Bessel nichts ahnen. Und so arbeitete er unbeirrt bis zu seinem Tode an der Vervollkommnung der Grundlagen der Himmelsmechanik, die ihre wohl spektakulärsten Erfolge mit der Auffindung der ersten Sternparallaxen und der "Schreibtischentdeckung" des Neptun errang.

Bessels Tod riss eine Lücke auf, die von allen Fachkollegen, mochten sie ihm persönlich nahestehen oder nicht, deutlich gefühlt wurde. In der Fruchtbarkeit seiner wissenschaftlichen Untersuchungen und seiner überragenden Persönlichkeit konnte ihm niemand an die Seite gestellt werden. Vielleicht drückt sich dies am deutlichsten in den Vorgängen um die Wahl seines Nachfolgers aus.

Während seiner dreieinhalb Jahrzehnte währenden Tätigkeit hatte er die von ihm als junger Mann begründete Sternwarte Königsberg zu einem Ansehen geführt, das einmalig in der Welt war.

Während seiner langen schweren Krankheit, sein nahes Ende fühlend, sorgte er sich um das Wohl seiner Sternwarte. Sein Wunsch war es, die definitive Neubesetzung der Direktorstelle hinauszuschieben, bis sein Schüler Ludwig Georg Wichmann seine Fähigkeiten so weit ausgebildet hatte, dass seiner Ernennung nichts im Wege stünde.

Da verschiedene andere Vorschläge ins Spiel gebracht wurden, entstand ein unerfreulicher Streit, der erst über drei Jahre nach Bessels Tod geschlichtet werden konnte. [30]

Das Ergebnis war höchst unbefriedigend: Es sah eine personelle Teilung der Universitätsprofessur und des Direktorats der Sternwarte vor. Die Ämter teilten sich Christian August Friedrich Peters und August Ludwig Busch. Beide waren Schüler Bessels, wobei Busch viele Jahre eng mit Bessel zusammengearbeitet hatte und mit der Arbeit seines großen Vorgängers aufs beste vertraut war. So bot er eine Gewähr für die kontinuierliche Weiterführung des Besselschen Werkes, ohne jedoch dessen Weitblick und persönliche Ausstrahlungskraft zu besitzen.

Nach dem Tode Buschs wurde dann Ludwig Georg Wichmann zusammen mit Eduard Luther Kodirektor der Sternwarte. Luther, der auch wieder mit der Übernahme der Universitätsprofessur beauftragt wurde, blieb als einer der letzten Schüler Bessels bis zu seinem Tod im Amt.

Wenn später auch eine Reihe produktiver Wissenschaftler an der Königsberger Sternwarte tätig waren, ein Weltzentrum astronomischer Forschung wurde diese Einrichtung nicht wieder. Das Instrumentarium, zu Bessels Zeit höchstes Niveau repräsentierend, veraltete langsam, es gab nur wenige Neuanschaffungen.

Durch die Ausdehnung der Stadt wurden die Beobachtungsbedingungen bald immer ungünstiger, ohne dass eine Verlegung des Instituts erfolgte. Auch die Entstehung der Astrophysik, die ganz neuartige Fragestellungen in den Mittelpunkt der Forschung rückte, denen man sich in Königsberg verschloss, konnte nicht ohne negative Auswirkung auf die Bedeutung der Besselschen Sternwarte bleiben.

Doch die entstehende Astrophysik machte Präzisionsbeobachtungen der Gestirnsörter, mit ihr die Astronomie im Sinne Bessels, keinesfalls überflüssig, sondern relativierte lediglich deren Bedeutung in dem Sinne, dass sie nicht mehr als das alleinige Ziel der Forschung anerkannt wurden. Die Wirkung Bessels auf die Entwicklung der Astronomie spiegelt sich nicht unbedeutend darin wider, dass dieser Zweig der Astronomie in Friedrich Wilhelm Argelander einen hervorragenden Vertreter fand.

Nachdem Argelander seine Ausbildung bei Bessel abgeschlossen hatte, folgte er einem Ruf an die Sternwarte Abo, heute Turku (Finnland), und wurde wenige Jahre später Direktor der Sternwarte Bonn.

Hier leitete er das gewaltige, die Helligkeiten von 314189 Sternen umfassende Unternehmen der "Bonner Durchmusterung", ein wissenschaftliches Unternehmen, das nicht nur ganz der Besselschen Tradition verpflichtet war, sondern gewissermaßen eine Weiterführung der Königsberger Zonenbeobachtungen darstellte.

Zusammen mit Carl Gustav Jacob Jacobi und Franz Neumann hatte Bessel die Universität Königsberg zu einem bedeutenden Zentrum der mathematisch-naturwissenschaftlichen Studien entwickelt, das zahlreiche Studenten anzog. Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses war Bessel stets ein wichtiges Anliegen. Er hatte die Freude, einige seiner Schüler als anerkannte Gelehrte zu sehen, allen voran sicherlich Argelander.

Außer ihm und den anderen schon genannten Königsberger Studenten, wie Busch, Luther, Wichmann und Peters, seien noch Carl August Steinheil, der in München eine optische Anstalt von Weltruf begründete, Otto August Rosenberger, Professor für angewandte Mathematik in Halle/S., Emile Plantamour, Direktor der Sternwarte Genf, und Karl Theodor Anger, Lehrer an der Navigationsschule Danzig, erwähnt. Sie alle führten das wissenschaftliche Erbe Bessels fort und gaben ihr Wissen und Können an eine neue Astronomengeneration weiter.

Bessels wissenschaftliche Methodik, aus sorgfältiger, umsichtiger Handhabung genauester Beobachtungsdaten sichere Schlussfolgerungen zu ziehen (doch auch die Wissenschaft durch kühne Hypothesen anzuregen), ist ein allgemeines Prinzip wissenschaftlicher Arbeit und weist deshalb weit über den Rahmen der Astronomie hinaus. Bessels Persönlichkeit war geprägt von unbedingter Liebe und Ehrlichkeit seiner Wissenschaft gegenüber. Nie ließ er sich vom Streben nach persönlichem Ruhm leiten, sondern stets von der Suche nach Wahrheit.

Seiner Fähigkeiten war sich Bessel bewusst, genau wie auch seiner Grenzen. Wo er

die Grenzen seines Könnens spürte, ruhte er nicht eher, bevor diese durch andauernden Fleiß genügend erweitert waren. Nicht Begünstigung durch ein wohlhabendes Elternhaus oder "angeborenes Genie" bereitete ihm den Weg zur Wissenschaft, sondern Begeisterungsfähigkeit und Freude am Ergründen des Unbekannten.

## 9 Chronologie

- 1784 22. Juli: Geburt in Minden.
- 1799 Aufnahme der Kaufmannslehre in Bremen.
- 1801 Besuch eines Lehrgangs an der Bremer Navigationsschule.
- 1804 Bekanntschaft mit Wilhelm Olbers; erste Veröffentlichung über den Kometen von 1607.
- 1806 Übersiedlung nach Lilienthal und Eintritt in die Inspektorstelle an der Sternwarte von Schroeter.
- 1807 Beginn der Bearbeitung der Beobachtungen von Bradley.
- 1810 Übersiedlung nach Königsberg, Übernahme der Professur für Astronomie und Leitung des Aufbaus der Universitätssternwarte.
- 1812 Heirat mit Johanna Hagen.  
Wahl zum Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften.
- 1813 Fertigstellung der Universitätssternwarte.  
Abschluss der Bearbeitung der Bradleyschen Beobachtungen.
- 1814 Geburt des Sohnes Wilhelm.
- 1815 Begründung der Publikationsreihe "Astronomische Beobachtungen auf der Königlichen Universitätssternwarte in Königsberg".
- 1816 Geburt der Tochter Marie.
- 1818 Erscheinen der „Fundamenta Astronomiae“,
- 1821 Entdeckung der „persönlichen Gleichung“.  
Beginn der Königsberger Zonenbeobachtungen (Abschluss 1835).
- 1825 Begründung des Plans der „Akademischen Sternkarten“ (Fertigstellung 1859),
- 1828 Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels.
- 1829 Beschaffung des Fraunhoferschen Heliometers für die Königsberger Sternwarte.
- 1830 Erscheinen der „Tabulae Regiomontanae“.
- 1836 Begründung der physikalischen Kometentheorie.
- 1837 Bearbeitung der Uranus-Störungen, Hypothese der Existenz eines weiteren Hauptplaneten der Sonne.
- 1837-38 Beobachtung des Sterns 61 Cygni, Ableitung seiner Parallaxe.
- 1838 Veröffentlichung der Ergebnisse der Ostpreußischen Gradmessung, gemeinsam mit Baeyer.
- 1839 Bessels Vorschläge zur Neuordnung des Preußischen Maßwesens erlangen Gesetzeskraft.
- 1840 Erneute Berechnung der Parallaxe von 61 Cygni. Ableitung der Dimensionen der Erde, Tod des Sohnes Wilhelm.
- 1844 Vermutung der Veränderlichkeit der Orientierung der Erdrotationsachse im Raum.  
Vorhersage der Begleiter von Sirius und Procyon.
- 1846 8. April: Tod in Königsberg.

## 10 Literatur

- [1] K. T. Anger: Erinnerungen an Bessel's Leben und Wirken. Danzig o. J.
- [2] F. W. Bessel: Abhandlungen, Band 1-3, Leipzig 1875-76. (Mit autobiografischem Abriss und Bibliographie seiner Veröffentlichungen).
- [3] F. W. Bessel: Populäre Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände. Hrsg. von H. C. Schumacher. Hamburg 1848.
- [4] F. W. Bessel: Recensionen. Hrsg. von R. Engelmann. Leipzig 1878.
- [5] F. W. Bessel: Untersuchungen über die scheinbare und wahre Bahn des im Jahre 1807 erschienenen grossen Kometen. Königsberg 1810.
- [6] F. W. Bessel: Darstellung der Untersuchungen und Maassregeln, welche, in den Jahren 1835 bis 1838, durch die Einheit des Preussischen Längenmaasses veranlasst worden sind. Berlin 1839.
- [6a] F. W. Bessel: Untersuchung einer merckwürdigen Erscheinung, welche die Bewegung des Uranus gezeigt hat. Eigenhändiges Manuskript, Ende 1832. Handschriftenabteilung der Deutschen Staatsbibliothek Berlin.
- [7] Briefwechsel zwischen W. Olbers und F. W. Bessel. Hrsg. von A. Erman. 2 Bde. Leipzig 1852.
- [8] Briefwechsel zwischen Gauss und Bessel. Leipzig 1880.
- [9] L. v. Bessel: Bessels Bildnisse. In: Die Himmelswelt 49 (1939) 7-13.
- [10] K.-R. Biermann: F. W. Bessels Projekt einer populären Astronomie in seinem Briefwechsel mit Alexander von Humboldt. In: Veröff. d. Archenhold-Sternwarte Nr. 6, Berlin-Treptow 1974, S. 35-43.
- [11] N. Copernicus: Über die Kreisbewegungen der Weltkörper. Berlin 1959.
- [12] O. Eggert: Bessel als Geodät, In: Ztschr. f. Vermessungswesen 40 (1911) 301-310.
- [13] Wilhelm Foerster: Wissenschaftliche Erkenntnis und sittliche Freiheit. Berlin 1896.
- [14] G. Galilei: Dialog über die beiden hauptsächlichen Weltsysteme, Leipzig 1891.
- [15] J. W. Goethe: Die Schriften zur Naturwissenschaft, 1. Abt., 6. Band. Weimar 1957.
- [16] D. B. Herrmann: Bessels Weggang aus Lilienthal und sein Verhältnis zu Schroeter in späterer Zeit. In: Nachr. d. Olbers-Gesellschaft Nr. 67. Bremen 1966. S. 9-12.
- [17] D. B. Herrmann: Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzsprung. Berlin 1975.
- [18] D. B. Herrmann: Kosmische Weiten, Geschichte der Entfernungsmessung im Weltall. Leipzig 1981.
- [19] J. Herschel: Rede ... gehalten in der Jahresversammlung der Astronomischen Gesellschaft in London. St. Petersburg 1842.
- [20] Briefwechsel zwischen Alexander von Humboldt und Heinrich Christian Schuma-

cher. Hrsg. von K.-R. Biermann. Berlin 1979.

[21] J. Kepler: Johannes Kepler in seinen Briefen, Bd. I. München/Berlin 1930.

[22] P. S. de Laplace: Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit. Leipzig 1932.

[23] Lichtenbergs Werke in einem Band. Berlin/Weimar 1973.

[24] K. Marx/F. Engels: Werke Band 1. Berlin 1956.

[25] C. Ptolemäus: Handbuch der Astronomie, Band 1. Leipzig 1963.

[26] J. A. Repsold: Friedrich Wilhelm Bessel. In: Astronomische Nachrichten 210 (1919) Sp. 161-214.

[27] H. C. Schumacher: Bessel's Tod. In: Ebd. 24 (1846) 49-52.

[28] J. Sommer: Bessel als Mathematiker. In: Ztschr. f. Vermessungswesen 40 (1911) 333-341.

[29] D. Wattenberg: Vom Kaufmannslehrling zum Astronomen. Friedrich Wilhelm Bessel, Vorträge u. Schriften der Archenhold-Sternwarte Nr. 2, Berlin-Treptow 1959,

[30] D. Wattenberg: Nach Bessels Tod. Eine Sammlung von Dokumenten. Veröff. d. Archenhold-Sternwarte Nr. 7, Berlin-Treptow 1976.

[31] M. Wichmann: Beiträge zur Biographie von F. W. Bessel. In: Ztschr. f. populäre Mitteilungen aus dem Gebiete der Astronomie 1 (1860) 133-193.

[32] R. Wolf: Geschichte der Astronomie. München 1877.

[33] J. C. F. Zöllner: Über die Natur der Cometen. Leipzig 1872.

Der umfangreiche Nachlass Bessels befindet sich im Archiv der Akademie der Wissenschaften der DDR in Berlin.

### **Danksagung**

Die Herren Prof, Dr. sc. H. Wußing (Leipzig) und Prof. Dr. habil. K.-R. Biermann (Berlin) haben das Manuskript kritisch gelesen. Für ihre wertvollen Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes sage ich ihnen herzlichen Dank. Weiterhin danke ich Frau Hannelore Hamel für ihre verständnisvolle Unterstützung bei der Fertigstellung des Manuskriptes.

### **Bildnachweis**

Abb. 2; 7: Internationaler Porträtkatalog der Archenhold-Sternwarte

Abb. 10: Cambridge-Enzyklopädie der Astronomie

Abb. 3: Archiv der Akademie der Wissenschaften der DDR

Abb. 1; 4; 5; 6; 8; 9; 11; 12; 14; 15: Archiv des Verfassers