

# ERGEBNISSE DER EXAKTEN NATURWISSENSCHAFTEN

HERAUSGEGEBEN VON DER  
SCHRIFTFLEITUNG DER „NATURWISSENSCHAFTEN“

---

*Sonderabdruck aus Band VIII*

---

A. KOPFF

**Probleme der fundamentalen Positionsastonomie**



*Nicht im Handel*

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH  
1929

ISBN 978-3-662-37283-8      ISBN 978-3-662-38015-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-38015-4

# Probleme der fundamentalen Positionsastronomie.

Von **A. KOPFF**, Berlin-Dahlem.

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Probleme der modernen Astronomie. . . . .	1
II. Das fundamentale Koordinatensystem der Astronomie . . . . .	3
III. Die Gewinnung der einzelnen Sternkataloge . . . . .	6
IV. Die Bildung eines Fundamentalkataloges . . . . .	9
V. Die Bedeutung des Fundamentalsystems für die Astronomie . . .	14
VI. Die gegenwärtigen Bestrebungen zur Verbesserung der Fundamentalsysteme . . . . .	20

## I. Probleme der modernen Astronomie.

Die Astronomie hat den Vorteil, daß sie sich nicht nur des Interesses breiterer Bildungsschichten erfreuen kann, sondern daß sie auch in ihrer Entwicklung von den Nachbarwissenschaften stark beachtet wird. Gerade gegenwärtig befinden wir uns in einer Zeit lebhafter und fruchtbringender Wechselwirkung von Physik und Astronomie. Die Atomtheorie erst hat eine sichere Deutung der Spektren der Himmelskörper ermöglicht. Dabei sind die physikalischen Verhältnisse im Kosmos von denen im Laboratorium so verschieden, daß die astronomische Beobachtung für die Physik eine ganz wesentliche Erweiterung der Erfahrungstatsachen bedeutet und dadurch eine unabhängige Prüfung der im Laboratorium gewonnenen Gesetzmäßigkeiten möglich macht.

Freilich stehen wir in dieser Zusammenarbeit erst am Anfang, und es ist, wenigstens für den Astronomen, keineswegs überraschend, wenn neuerdings aus den Kreisen der Physik heraus eine stärkere Kritik der astronomischen Arbeiten auf diesen Gebieten einsetzt. Die Anwendung von Laboratoriumsgesetzen auf kosmische Probleme bedeutet eine ungeheure Extrapolation, von der wir nicht wissen, wie weit sie zulässig ist. Kommen wir hierbei zu Widersprüchen mit der physikalischen Erfahrung, so zeigt dies nur, daß unser Wissen zur Deutung der kosmischen Erscheinungen noch nicht hinreicht. Erinnern wir uns im besonderen an die Frage des Aufbaues der Sterne. Wir gelangen unter naheliegenden Annahmen über die Konstitution des Sternes als eines im Strahlungsgleichgewicht sich befindenden Gasballes zu gewissen Forderungen über die im Sterninnern notwendigen Energiequellen. Stehen diese Forde-

rungen mit unserer gegenwärtigen Kenntnis der Natur der Energiequellen in Widerspruch, so ist damit ein Angriffspunkt aufgedeckt, sowohl zur weiteren Klärung der Voraussetzungen der Theorie als auch zur Nachprüfung der Deutung der physikalischen Tatsachen selbst. Durch eine fortgesetzte Zusammenarbeit zwischen Physik und Astronomie sind auf diese Weise für beide Wissenschaften wesentliche Fortschritte zu erwarten.

Doch erweckt ein solch enges Zusammenarbeiten mit einer Nachbarwissenschaft auch erhebliche Bedenken. Jede Wissenschaft hat ein Eigenleben, das sie nicht einseitig nach einer Richtung hin entwickeln darf, ohne daß sie auf die Dauer im ganzen Schaden leidet. Die Astronomie scheint augenblicklich von dieser Gefahr nicht frei zu sein. Betrachten wir einen Augenblick ihre Entwicklung in den letzten hundert Jahren. Wir bemerken in den Problemen einen Übergang vom Planetensystem zum Sternsystem. Diese Entwicklung ist eine durchaus natürliche, nicht von außen aufgedrängte. Wir kennen das Planetensystem im ganzen, können die Bewegungen mit großer Genauigkeit vorhersagen; keinerlei wesentliche Überraschungen sind zu erwarten. Freilich hat die Relativitätstheorie gezeigt, daß die Frage nach der Gültigkeit des NEWTONSchen Gravitationsgesetzes sogar für das Sonnensystem noch keineswegs als erledigt anzusehen ist. Noch harrt die Theorie der großen, sowie der kleinen Planeten und der Satelliten des weiteren Ausbaues. Eine Fülle dringender und interessanter Probleme liegt vor. Aber in gewissem Sinn ist innerhalb des Planetensystems unsere Neugierde befriedigt. Wir können uns der größeren Aufgabe des Sternsystems zuwenden.

Das Problem ist hier ein zweifaches. Wir fragen nach dem statischen Aufbau und der Dynamik des ganzen kosmischen Systems, und wir fragen nach dem physikalischen Aufbau und der Entwicklung des einzelnen Himmelskörpers. Wenn wir die so oft mißbräuchlich angewandten Bezeichnungen Astronomie und Astrophysik hier benutzen wollen, würde der erste Problemkreis der Astronomie, der zweite der Astrophysik angehören. Beide stehen in enger Verbindung miteinander und unterscheiden sich vielfach nicht einmal durch die Arbeitsmethoden. Die Ausmessung von Sternspektren z. B. dient in gleicher Weise astronomischen wie astrophysikalischen Problemen. Die Zusammenhänge zwischen den beiden Teilgebieten der Astronomie sind aber vielfach noch tiefere. So ist der räumliche Aufbau der Sterne für die einzelnen Spektraltypen verschieden; oder wir müssen, um ein anderes Beispiel zu nennen, die trigonometrischen Parallaxen der planetarischen Nebel bestimmen, um die Vorgänge beim Leuchten dieser Körper ergründen zu können.

Das Problem, das die Physik interessiert, ist also nur ein Teil des großen Problems des Sternsystems. Wir müssen alle Teile vorwärts

treiben, wenn wir nicht Gefahr laufen wollen, daß einmal die Aufgaben an verschiedenen Stellen zugleich zum Stocken kommen. Diese Möglichkeit kann gerade bei der Astronomie leichter als bei anderen Wissenschaften eintreten. Hier besteht ja nicht die Möglichkeit des Experimentierens; die Beobachtungsdaten müssen vielmehr oft in ausgedehnten Beobachtungsreihen gesammelt werden, die an größere Zeitintervalle gebunden sind. Dabei ist es selbstverständlich, daß die Beobachtungen einer bestimmten Fragestellung dienen müssen; aber die Frage nach dem Aufbau des Sternsystems ist ebenso wichtig, wie die nach dem Aufbau des einzelnen Sternes, und die Beobachtungen sind gleich wertvoll, ob sie dem ersten oder zweiten Problemkreis angehören. Auf dem Gebiet der Erforschung des Sternsystems kennen wir nicht moderne und unmoderne Probleme. Es besteht kein Unterschied, ob ein Astronom am Meridiankreis Positionen bestimmt, oder ob er mit Photometer und Spektrograph arbeitet. Vielleicht ist es von Interesse, gerade an einer zentralen Aufgabe der Astronomie, derjenigen der fundamentalen Positionsbestimmung, zu zeigen, wie heute noch die Arbeiten am Meridiankreis (bzw. am Passageninstrument und Vertikalkreis) zu den modernsten gehören, die wir durchführen können, und wie deren Bedeutung sogar weit über die engeren Probleme des Sternsystems hinausreicht.

## II. Das fundamentale Koordinatensystem der Astronomie.

Das fundamentale Koordinatensystem bildet in der Astronomie die Grundlage für die Erforschung aller Vorgänge im Weltall; wir brauchen es zur räumlichen Festlegung aller kosmischen Erscheinungen und Bewegungen. Nun fehlen aber im Weltenraum unveränderliche Punkte, auf die wir die Koordinaten der Gestirne beziehen könnten, ganz. Wir müssen also ein Koordinatensystem durch Definition in bezug auf die bewegten Körper des Kosmos festlegen.

Hierbei bestehen zweierlei Möglichkeiten<sup>1</sup>. Wir können die Gewinnung eines auf die *Sterne* gegründeten, rein empirischen Systems anstreben und es dadurch definieren, daß in ihm die Sterne relativ zueinander im Durchschnitt ruhen sollen. Wegen der geringen Geschwindigkeit der Sterne im Vergleich zu ihrer Entfernung hat ein solches System als Grundlage der heliozentrischen oder geozentrischen Koordinaten durchaus einen bestimmten Sinn. Wir können auch versuchen, das fundamentale System theoretisch auf den Grundlagen der *Newtonschen Mechanik* aufzubauen. In ihm müßten dann die gesamten Bewegungen der Körper des Planetensystems restlos durch die NEWTONSche Mechanik innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler dargestellt werden; wir kämen also

<sup>1</sup> Enzyklop. der Math. Wiss. 6, 2, Nr. 1.

mit fortschreitender Beobachtungsgenauigkeit dem Inertialsystem der klassischen Mechanik immer näher, vorausgesetzt, daß diese zur Darstellung der Erscheinungen hinreicht.

Da wir von der rotierenden Erde aus beobachten, ist der Himmelsäquator für die Beobachtungen die natürliche Fundamentalebene des Systems, und nur für besondere Zwecke gehen wir zu anderen Koordinaten über. Doch selbst innerhalb des Planetensystems behalten wir jetzt vielfach das äquatoriale System für die ersten Bahnbestimmungen und für die Berechnung spezieller Störungen bei, wenn wir auch für die allgemeinen Störungen von dem Vorteil der kleinen Neigungen der Planetenbahnen gegen die Ekliptik Gebrauch machen müssen. Als Nullrichtung in der Äquatorebene wählen wir diejenige nach dem Frühlingspunkt, der durch die Schnittlinie zwischen der Ebene des momentanen Äquators und der von den kurzperiodischen Schwankungen befreiten Ebene der Erdbahn festgelegt wird. Beide Ebenen, und damit auch der Frühlingspunkt selbst, zeigen zeitliche Lageänderungen, welche durch die Störungen verursacht sind, die von den Planeten auf die Bewegung der Erde in ihrer Bahn, sowie von Sonne und Mond auf den Erdkörper ausgeübt werden (Präzession und Nutation).

Das so definierte System des Äquators ist nun zu den der direkten Beobachtung zugänglichen Himmelskörpern in Beziehung zu setzen. Als solche bieten sich die Fixsterne von selbst dar, deren Koordinaten relativ zu Äquator und Frühlingspunkt zu bestimmen sind. Die Deklinationen sowohl wie die *Differenzen* der Rektaszensionen können wir allein aus den Beobachtungen der Sterne herleiten. Die Lage des Frühlingspunktes (d. h. des Nullpunktes der Rektaszensionen) ist durch Sonnenbeobachtungen zu ermitteln. Wir haben also in der Tat die Möglichkeit, auf rein empirischem Weg ein auf den Beobachtungen der Sterne und der Sonne aufgebautes Fundamentalsystem festzulegen.

Andererseits aber gibt uns die NEWTONSche Mechanik auch die Möglichkeit, die Änderungen der Lage von Äquator und Frühlingspunkt theoretisch zu ermitteln. Wir könnten also von einem gegebenen Anfangszustand ausgehend, für den eine gewisse Gruppe von Sternen mit dem Fundamentalsystem verbunden ist, die Lage des Koordinatensystems zu diesen Sternen für die Folgezeit berechnen. Hierbei ist allerdings angenommen, daß wir die Eigenbewegungen der Sterne aus den Beobachtungen kennen.

In Wirklichkeit benutzen wir in der Astronomie keine der beiden angegebenen Methoden zur Aufstellung eines Fundamentalsystems; das letztere ist vielmehr ein gemischtes. Der wesentliche Grund für diese Wahl liegt in folgendem. Wir können die Bewegung des Äquators und Frühlingspunktes theoretisch aus den bekannten Massen des Sonnensystems nur soweit hinreichend darstellen, als es sich um die kleinen Glieder von Präzession und Nutation handelt. Die rechnerische Ermitt-

lung dieser Glieder ist sogar derjenigen auf rein empirischem Weg überlegen. Aber unsere Kenntnis vom Massenaufbau des Erdinnern reicht keineswegs hin, um die gesamte Lageveränderung der Rotationsachse des Erdellipsoids mit der den astronomischen Beobachtungen entsprechenden Genauigkeit herzuleiten. Wir sind gerade für die Bestimmung der Hauptglieder der Präzession und Nutation, die durch die Konstante der Präzession bzw. Nutation festgelegt sind, auf den empirischen Weg angewiesen. So kommen wir für die Festlegung des fundamentalen Koordinatensystems zu einer Kombination der beiden Methoden.

Bei der Bestimmung der *Präzessionskonstante* (von der Nutation können wir hier absehen, da diese ja eine verhältnismäßig kurze Periode hat, und ein Fehler in der Konstante bei der Festlegung des Fundamentalsystems eine untergeordnete Rolle spielt) tritt nun eine sehr erhebliche Komplikation auf. Wären die Sterne unter sich und gegen die Sonne von einer relativen Bewegung frei, so wäre die Änderung der Koordinaten der Sterne eine reine Erscheinung der Präzession und Nutation. Aber die Sterne bewegen sich selbst, und zwar ist diese „Eigenbewegung“ eine zweifache: einmal infolge der Bewegung der Sonne eine scheinbare, parallaktische, und dann eine dem einzelnen Stern zugehörige, pekulare Eigenbewegung. Die Beobachtung liefert jedoch nicht die Eigenbewegung, sondern lediglich die gesamte Änderung der sphärischen Koordinaten. Es bleibt Aufgabe der weiteren Bearbeitung, die Präzessionsbewegung des Koordinatensystems, bzw. deren Hauptglied von der parallaktischen und pekuliaren Bewegung zu trennen. Diese Aufgabe ist streng nicht zu lösen; wir müssen uns vielmehr mit einer Annäherung an die Wirklichkeit begnügen. Der Beobachtung zugänglich ist ja immer nur eine begrenzte Gruppe von Sternen, sodaß die Bestimmung der Präzessionskonstante nicht zu einem absoluten Wert führen kann. Dieser wird von der Auswahl der bei der Bestimmung benutzten Sterne abhängen, ebenso wie wir auch nicht die Bewegung der Sonne im Weltraum, sondern nur deren Bewegung in bezug auf die gerade ausgewählte Gruppe von Sternen festlegen können.

Die Bestimmung der Präzessionskonstante gibt die erste Grundlage des Fundamentalsystems. Hinzu kommen geschlossene Beobachtungsreihen von Sternörter zu verschiedenen Zeiten (Sternkataloge), welche die Änderung dieser Örter festzulegen gestatten, und zwar die Änderungen, wie sie durch die Verlagerung des Koordinatensystems sowohl wie durch die Eigenbewegungen bedingt sind. Als „Eigenbewegung“ betrachten wir dabei denjenigen Teil der allein beobachtbaren Gesamtänderung, der nach Abzug des durch die Präzessionsbewegung bestimmten Teiles übrig bleibt. Die Eigenbewegung ist also ihrem Betrag nach an die Präzessionskonstante gebunden. Eine Trennung in eine parallaktische und eine pekulare Bewegung findet hierbei nicht statt. Kennt man die Örter und Eigenbewegungen einer Anzahl von Sternen, bezogen auf das System

des Äquators, und kennt man die zeitlichen Änderungen des letzteren, so hat man damit ein fundamentales Koordinatensystem der Astronomie gewonnen. Wie schon hervorgehoben, können die kleineren Änderungen des Systems mittels der bekannten Massen der Körper des Sonnensystems rechnerisch hergeleitet werden. Sieht man von der Nutationskonstante ab, so kann man also sagen, daß ein Fundamentalsystem in der Astronomie für einen bestimmten Zeitpunkt (Äquinoktium) durch die Koordinaten und Eigenbewegungen einer ausgewählten Gruppe von Sternen in bezug auf den Äquator und durch die Präzessionskonstante festgelegt ist. Man bezeichnet die Gesamtheit dieser Größen als Fundamentalkatalog, mit dessen Entstehung wir uns im folgenden beschäftigen wollen.

### III. Die Gewinnung der einzelnen Sternkataloge.

Zur Schaffung eines Fundamentalsystems oder Fundamentalkatalogs brauchen wir möglichst fehlerfreie Beobachtungsreihen von Rektaszensionen und Deklinationen einer größeren Anzahl von Sternen für weit auseinander liegende Epochen bezogen auf den wirklichen Äquator und Frühlingspunkt. Die Beobachtungen, welche diesen Anforderungen nur in mehr oder weniger großer Annäherung zu genügen vermögen, werden fast ausschließlich mit dem Meridiankreis erhalten, der für die Beobachtung der Rektaszensionen durch die Uhr ergänzt wird. Wenn neuerdings auch die Konstruktion der Instrumente und Uhren einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht hat, so müssen wir doch gerade für die Herstellung von Fundamentalkatalogen zu älteren Beobachtungsreihen zurückgreifen. Hier ist eine sorgfältige Diskussion der *Fehlerquellen*, auf die im folgenden kurz hingewiesen sei, von besonderer Wichtigkeit.

Bei den Rektaszensionen, die aus der zeitlichen Reihenfolge der Durchgänge der Gestirne durch den Meridian ermittelt werden, liegt die Hauptschwierigkeit in der Überbrückung größerer Zeitintervalle von der Dauer von mehreren Stunden bis zu einem Tag oder sogar darüber. Die großen Intervalle kommen vor allem dann in Frage, wenn es sich um die Bestimmung einer Kette von Hauptsternen längs des Äquators handelt, die im Anschluß an die Sonne das Rektaszensionssystem in seinem ganzen Verlauf festlegen sollen, und an welche dann andere Sterne angeschlossen werden. Hierbei macht sich der Einfluß der Temperaturänderungen auf Instrument und Uhr besonders geltend und führt zu täglichen und jährlichen Perioden in den Beobachtungsreihen, die dann als periodische Fehler nach der Rektaszension in den einzelnen Katalogen zutage treten. Da gerade in früheren Jahren (z. B. bei den Greenwicher Beobachtungsreihen) sich oft ein Katalog auf den Grundlagen des vorhergehenden aufbaute, hat es viele Jahrzehnte gedauert, ehe es gelang, die durch die ältesten Kataloge in die Rektaszensionen



hineingetragenen periodischen Fehler durch neue Beobachtungen abzuschleifen. Zu diesen durch Instrument und Uhr bedingten Fehlern kommen noch die der Person des Beobachters. Die Koinzidenzen zwischen Sternen und Mikrometerfäden werden von verschiedenen Beobachtern und für verschiedene Objekte in oft recht verschiedener Weise bestimmt; auch der Unterschied in der Art der Beleuchtung der Meßvorrichtungen bzw. der Unterschied zwischen den Beobachtungen am Tag- und Nachthimmel macht sich in den Beobachtungsreihen stark bemerkbar.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Beobachtungen der Deklinationen, die aus Messungen der Zenitdistanzen im Meridian erhalten werden. Hier tritt zu der Änderung des Instrumentes durch die Temperatur noch dessen Deformation durch die Schwerkraft als ganz wesentlicher Faktor hinzu. Durchbiegung des Fernrohres und des Kreises sind Instrumentalfehler, von deren Beherrschung wir noch recht weit entfernt sind. Gerade in letzter Zeit hat man diesem die Beobachtungen stark verfälschenden Einfluß der „Biegung“ besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Wie auch sonst vielfach bei der Bestimmung instrumenteller Fehler in der Astronomie wendet man hierbei zwei verschiedene Arten von Verfahren an, die jedoch sehr häufig zu widersprechenden Resultaten führen. Die eine Gruppe von Methoden sucht die Fehler auf rein physikalischem Weg zu bestimmen; meist zeigt sich dabei aber, daß die erreichte Genauigkeit in der Fehlerbestimmung in keiner Weise derjenigen entspricht, die dann bei den astronomischen Messungen selbst erreicht werden soll. Die zweite Gruppe von Methoden ermittelt die Fehler aus astronomischen Beobachtungen, ist aber oft schwerer durchzuführen und nicht frei von Voraussetzungen. Für die Bestimmung der Biegung eines Meridianinstrumentes im besonderen bedient man sich einmal geeigneter Hilfsinstrumente, meist der im Meridian aufgestellten Kollimatoren. Man hat neuere Meridiankreise aber auch so konstruiert, daß man den Objektiv- und Okularteil vertauschen kann; bei Beobachtungen in beiden Lagen hebt sich im Mittel die Biegung heraus, vorausgesetzt, daß sie einen regelmäßigen, durch Fourier-Reihen darstellbaren Verlauf hat. Beim Vergleich größerer Messungsreihen untereinander zeigt sich jedoch, daß beide Methoden nicht hinreichen, um den Einfluß der Biegung auf die Deklinationen unschädlich zu machen.

Erhebliche Schwierigkeiten bei der Bestimmung eines Deklinationssystems liegen auch in der Refraktion. Die Theorien der Refraktion, auf Grund deren die für die praktische Benutzung bestimmten Refraktionstabellen berechnet sind, haben alle mehr oder weniger interpolatorischen Charakter. Unter Benutzung der Gasgesetze bauen wir, von dem am Erdboden beobachteten Zustand ausgehend, eine Atmosphäre auf und berechnen für die jeweiligen Verhältnisse den Weg, den ein Lichtstrahl vom Eintritt in die Atmosphäre bis zum Objektiv des Fernrohres zurücklegt. Dieser berechnete Weg wird mit dem wirklichen nicht völlig

übereinstimmen, weil über den Zustand vor allem der höheren Luftschichten Annahmen von zum Teil stark hypothetischer Natur gemacht werden müssen. Um eine Annäherung an die Wirklichkeit zu schaffen, werden die Konstanten der Theorie teilweise aus den Beobachtungen selbst bestimmt: die Refraktionskonstante aus Beobachtungen der Zenitdistanzen derselben Sterne in oberer und unterer Kulmination, und vielfach auch der Wert der Luftdichte aus Beobachtungen bei stark extremen Bodentemperaturen. Ganz neuerdings erst hat P. HARZER<sup>1</sup> den Versuch gemacht, die Refraktionstheorie der Wirklichkeit stärker anzupassen. Bisher war als Näherung immer angenommen worden, daß demselben Zustand am Boden auch derselbe Zustand der ganzen Atmosphäre entspricht. HARZER benutzt nun zum erstenmal die Ergebnisse der Drachen- und Ballonaufstiege. Es zeigt sich, daß außer den mit den Zuständen am Boden parallel laufenden Änderungen in höheren Schichten dort noch weitere Schwankungen von täglicher und jährlicher Periode vorhanden sind, die bei der gegenwärtigen Beobachtungsgenauigkeit wenigstens für die größeren Zenitdistanzen in Frage kommen. Eine wohl auch merkbare Abhängigkeit des Refraktionsbetrages vom jeweiligen Witterungscharakter hat in den neuen Tafeln von HARZER noch keine Berücksichtigung gefunden. Zu diesen allgemeinen Einflüssen kommen noch solche lokaler Art; das umgebende Gelände bis auf größere Entfernungen hin und die engeren örtlichen Verhältnisse (Saalrefraktion) können einen recht merklichen Einfluß auf den Weg des Lichtstrahles ausüben. So ist die Bestimmung der Refraktion eine außerordentlich verwickelte Aufgabe, von deren Lösung wir noch erheblich entfernt sind. Vor allem zeigen die älteren Deklinationsreihen ausgesprochene Schwankungen periodischen Charakters, die nach der Rektaszension laufen, und die durch die Unsicherheiten in der Bestimmung der täglichen und jährlichen Änderungen der Refraktion bedingt sind. Man wird heute das Fehlen solcher Schwankungen innerhalb eines Katalogs als ein wesentliches Kriterium für die Güte der Deklinationsreihe ansehen dürfen.

Um diese verschiedenartigen Schwierigkeiten zu umgehen, die gerade bei der Bestimmung der Deklinationen sich in starkem Maße geltend machen, hat man zu dem Ausweg gegriffen, Deklinationsbeobachtungen unter anderen Bedingungen und mit andersartigen Instrumenten auszuführen. Durch Beobachtung mittels eines im ersten Vertikal aufgestellten Durchgangsinstrumentes kann man die Messung von Differenzen der Zenitdistanzen auf eine Bestimmung von Zeitdifferenzen zurückführen. Man kann sich also von den Teilungsfehlern des Kreises und von den Fehlern der Biegung frei machen. Eine andere in den letzten Jahren von der Sternwarte in Leiden weiter verfolgte Methode bestimmt mittels eines azimutal aufgestellten Instrumentes die Deklinationen durch gleichzeitige Messung von Azimut und Zenitdistanz von Sternen

<sup>1</sup> Publ. der Sternwarte in Kiel. XIII und XIV. 1922—24.

in der Nähe des Horizontes. Durch geeignete Anlage der Beobachtungen kann man den Einfluß der Fehler der Zenitdistanzen und damit der Refraktion stark herabdrücken. Doch beschränkt sich der Vorteil dieser Methoden für einen Beobachtungsort immer nur auf Deklinationsstreifen von engerer Begrenzung, und man muß, wie es von Leiden aus auch geplant ist, durch geeignete Wahl mehrerer Beobachtungsstationen den ganzen Bereich des Fixsternhimmels zu erfassen suchen. Alle solche Beobachtungsreihen sind als Ergänzung zu den Meridiankreisreihen sehr wertvoll, weil sie die Beobachtungsbedingungen stark zu variieren gestatten, und damit wenigstens teilweise zur Aufklärung der systematischen Fehler der einzelnen Verfahren beizutragen vermögen. Die Hauptmasse der Beobachtungen wird aber auch in Zukunft dem Meridiankreis verbleiben. Er gestattet die Bestimmung beider Koordinaten bei geringstem Zeitaufwand und ermöglicht in einfachster Weise den Anschluß der Sternbeobachtungen an die Sonne und damit den Übergang zu einem absoluten Rektaszensionssystem.

Daß bei der Beobachtung der Sonne zu den bereits genannten Schwierigkeiten noch neue hinzutreten, die von der Beschaffenheit des Sonnenbildes herrühren, bedarf kaum der Erwähnung. Die Beobachtung des punktförmigen Sternes am Nachthimmel einerseits, und die der Sonnenscheibe am Taghimmel andererseits, führt zu stark ausgesprochenen persönlichen Fehlern, die wir erst in den letzten Jahrzehnten zu meistern anfangen.

Trotz aller Vorsichtsmaßregeln bei der Beobachtung und aller Sorgfalt bei der Diskussion des Materials werden wir die Forderung, ein fehlerfreies System von Rektaszensionen und Deklinationen zu erhalten, niemals voll erfüllen können. Der Vergleich von irgend zwei Beobachtungsreihen zeigt immer wieder Abweichungen, die darauf hinweisen, daß jede Beobachtungsreihe ein in sich abgeschlossenes System darstellt, das „System des Instrumentes und Beobachters“, und es bleibt der weiteren Bearbeitung vorbehalten, dann solche Systeme zu einem Fundamentalsystem zusammenzufassen.

#### **IV. Die Bildung eines Fundamentalkataloges.**

Die Herstellung eines Fundamentalkataloges aus einer Reihe von einzelnen Sternkatalogen kann sich in mannigfacher Weise vollziehen; auch hier sollen wieder nur die Prinzipien, die dabei maßgebend sind, dargelegt werden. Der einzelne Sternkatalog gibt die aus einer Anzahl von Beobachtungen hergeleiteten Örter einer Auswahl von Sternen für eine gewisse Epoche, die für jeden Stern verschieden ist und der Mitte der Zeiten der Einzelbeobachtungen entspricht. Die Örter beziehen sich auf eine mittlere Lage von Äquator und Frühlingspunkt (das Äquinoktium) und gelten für das System des Instrumentes und Beobachters.

Teilweise werden auch die Örter mittels bekannter Eigenbewegungen auf eine gemeinsame Epoche gebracht, jedoch wird hierdurch immer ein fremdes Element in den Katalog getragen.

Das System des Katalogs kann mehr oder weniger selbständig sein. Wir besitzen Kataloge, die völlig unabhängig von vorhergehenden Katalogen sind, bei denen also keine fremden Beobachtungen, sei es der Sonne oder irgendwelcher bereits fundamental festgelegter Sterne, benutzt sind. Doch sind solche Kataloge äußerst selten. Meist lehnen sich die Kataloge in irgendeiner Weise an vorhergehende Beobachtungen an. Schon die Übernahme der Refraktionskonstante aus anderweitigen Bestimmungen bedeutet eine solche Anlehnung. Ebenso wird häufig auf eine unabhängige Verbesserung des Frühlingspunktes verzichtet, und statt dessen der Anschluß an ein fundamentales Rektaszensionssystem gesucht. Ein großer Teil unserer Sternkataloge ist rein differentiell an schon bestehende Fundamentalsysteme angeschlossen, womit aber noch keineswegs gesagt ist, daß das System des Instrumentes mit dem gewählten Fundamentalsystem nun wirklich identisch ist. Die Örter der photographischen Kataloge sind ebenfalls auf streng differentiell Weg aus am Meridiankreis beobachteten Sternörtern erhalten.

Ein Vergleich zweier Sternkataloge zeigt nun, auch im Fall differenzieller Anschlüsse derselben, wesentliche Unterschiede in den angegebenen Koordinaten. Sehen wir von der Eigenbewegung der Sterne ganz ab, vergleichen also nur solche Kataloge, die zur gleichen Epoche gewonnen sind, so zeigen sich einmal individuelle Abweichungen, die von den zufälligen Fehlern der einzelnen Beobachtung herrühren. Vor allem aber treten systematische Fehler auf, die meist, bei guten Katalogen wenigstens, einen verhältnismäßig einfachen Verlauf haben. In beiden Koordinaten zeigen sich Abweichungen der Kataloge voneinander, die sowohl mit der Rektaszension als auch mit der Deklination variieren; man kann sie tabellarisch durch je eine Tafel mit doppeltem Eingang (nach Rektaszension und Deklination) darstellen. Doch zeigen die Abweichungen meist noch einen besonderen Charakter. Zuzufolge den früher (S. 6) auseinander gesetzten Gründen ist der Verlauf nach Rektaszension von wenigstens genähert periodischem Charakter. Mittelt man deshalb die Abweichungen über alle Rektaszensionen, so erhält man zunächst einen mittleren Verlauf nach Deklination, über den sich dann aus den Resten hergeleitete, nun nach Rektaszension laufende Zusätze lagern. Man bezeichnet diese Abweichungen gewöhnlich mit  $\Delta\alpha_\delta$ ,  $\Delta\alpha_\alpha$  bzw.  $\Delta\delta_\delta$ ,  $\Delta\delta_\alpha$ . Sie rühren, wie bereits ausgeführt wurde, von systematischen, durch die Beobachtung nicht erfaßbaren Aufstellungsfehlern des Instrumentes und unbekanntem Einflüssen der Refraktion her, teils liegen persönliche Fehler des Beobachters vor (S. 7). Diese letzteren Fehler physiologischer Natur äußern sich besonders darin, daß Sterne von verschieden großer Helligkeit von den einzelnen Beobachtern in

systematisch verschiedener Weise beobachtet werden, und man kommt auf diese Weise zu Unterschieden  $\Delta\alpha_m$  und  $\Delta\delta_m$ , die eine Abhängigkeit der Katalogunterschiede allein von der scheinbaren Größe  $m$  der Sterne angeben (Helligkeitsgleichung). Man legt deshalb neuerdings auf genaue Größenangaben in den Sternkatalogen erhöhtes Gewicht und begnügt sich nicht mit rohen Helligkeitsschätzungen. So hat vor allem F. KÜSTNER in dem großen Katalog von 1900 die Sternhelligkeiten in einem exakten photometrischen System festgelegt. Daß unabhängig von den Positionsbestimmungen in photometrischen Katalogen die Sternhelligkeiten in aller erreichbaren Genauigkeit gegeben werden, sei hier nur erwähnt.

Sind nun die Sternkataloge nicht gleichzeitig beobachtet, so ist ein Vergleich der Systeme der einzelnen Kataloge zunächst gar nicht möglich. Wir müssen vielmehr die Eigenbewegungen der einzelnen Sterne berücksichtigen und stehen mit deren Bestimmung bereits am Beginn der Aufgabe, die zur Bildung eines Fundamentalkataloges führt. Zwei zeitlich auseinander liegende Kataloge liefern uns die Eigenbewegungen nur dann fehlerfrei, wenn wir die systematischen Fehler der Kataloge schon kennen. Andernfalls sind auch die daraus hergeleiteten Eigenbewegungen selbst noch mit unbekanntem systematischen Fehlern behaftet. Man kann dann nur anstreben, durch ein Näherungsverfahren ein solches System von Örtern und Eigenbewegungen zu ermitteln, das sich einer Gesamtheit von vorliegenden Sternkatalogen möglichst gut anschmiegt. Von besonderem Wert für die Bestimmung von Eigenbewegungen sind deshalb auch solche Kataloge, die zu verschiedenen Zeiten mit demselben Instrument unter denselben äußeren Bedingungen entstanden sind. Hier ist anzunehmen, daß die systematischen Fehler der einzelnen Kataloge sich nur wenig voneinander unterscheiden, also von geringem Einfluß auf die Eigenbewegungen sind. Solche Beobachtungsreihen liegen z. B. in Greenwich und Pulkowa vor. Man könnte von diesen Eigenbewegungen ausgehend, dann durch ein Näherungsverfahren die Örter und Eigenbewegungen weiter verbessern. Doch soll dieser heute sehr wohl gangbare Weg nicht weiter verfolgt werden.

Wir wollen vielmehr in großen Zügen betrachten, in welcher Weise A. AUWERS durch die Kombination zahlreicher einzelner Sternkataloge zur Herstellung eines Fundamentalkataloges gekommen ist, den er dann weiter verbessert hat. Das Verfahren von AUWERS ist in vielen Einzelheiten historisch durch die besondere Art des zuerst nur lückenhaft vorhandenen Materials bedingt. Die Anfänge des Fundamentalkataloges von AUWERS gehen auf das Jahr 1869 zurück; Vorarbeiten liegen zum Teil noch etwas früher. Damals fing das Vorbild von BESSEL, dem wir die Einleitung einer neuen Epoche in der Bestimmung fundamentaler Sternpositionen verdanken, gerade an sich auszuwirken. Die ersten großen Reihen fundamental bestimmter Sternörter liegen vor (vor allem

die Kataloge Pulkowa 1845, 1865 und in Arbeit 1871). AUWERS nahm zunächst der Geschlossenheit wegen das System der Pulkowaer Rektaszensionen und Deklinationen für 1865 als System für seinen Fundamentalkatalog an. Um andere Kataloge aus etwa derselben Zeit damit vergleichen zu können, mußte er sich die Werte der Eigenbewegungen wenigstens in guter Annäherung verschaffen. Hierbei kam ihm ein glücklicher Umstand sehr zustatten. Hundert Jahre vorher hatte J. BRADLEY in Greenwich fundamentale Beobachtungen von einer für die damalige Zeit ganz außergewöhnlichen Genauigkeit angestellt, und ähnliche, allerdings weniger genaue Beobachtungen liegen aus etwa derselben Zeit von TOBIAS MAYER in Göttingen vor. AUWERS hat zunächst die Beobachtungen von BRADLEY einer neuen Bearbeitung unterzogen und konnte aus den mehr als hundert Jahren (im Mittel 114 Jahre) auseinander liegenden Beobachtungen von BRADLEY und Pulkowa 1865 Eigenbewegungen herleiten, die trotz der systematischen Fehler wenigstens für einige Jahrzehnte als hinreichend anzusehen waren. Diese Eigenbewegungen dienten dazu, die bereits erwähnten, in den sechziger und siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts entstandenen Kataloge auf das gemeinsame System von Pulkowa 1865 zu reduzieren. Der auf diese Weise entstandene erste Fundamentalkatalog von AUWERS (FC) beruht also in den Örtern auf einer beschränkten Anzahl gut ausgewählter Kataloge aus der Mitte des 19. Jahrhunderts, während die Eigenbewegungen die unter Benutzung der Beobachtungen von BRADLEY hergeleiteten sind.

Hiermit war eine Grundlage geschaffen, die AUWERS in den nächsten Jahrzehnten durch die Hinzunahme der neu entstehenden, sowie der aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts herrührenden Sternkataloge weiter ausbauen konnte. Jeder der Kataloge konnte nun mit dem Fundamentalkatalog für die Zeit der Beobachtungsepoche des Einzelkataloges verglichen und die Beziehung zum FC-System hergeleitet werden. Die Reduktion aller Kataloge auf dasselbe System gab die Möglichkeit, für jeden Stern die individuelle Verbesserung von Ort und Eigenbewegung im System des FC zu berechnen und lieferte schließlich auch die Grundlage für eine Verbesserung des Systems des FC selbst, der inzwischen von AUWERS auf den südlichen Sternhimmel ausgedehnt worden war. Während der FC sich im System noch auf Pulkowa aufgebaut hatte, führte nun AUWERS ein wahrscheinlichstes System ein, das sich der Gesamtheit der einzelnen voneinander unabhängigen Instrumentalsysteme am besten anschmiegte. Allerdings überwiegen auch hier noch die Reihe der bis 1892 reichenden Pulkowaer Kataloge, denen bei der Mittelbildung ein besonders hohes Gewicht gegeben wurde. Der so um die Jahrhundertwende entstandene „Neue Fundamentalkatalog“ von AUWERS (NFK) mit 925 Sternen hat noch heute vollen Wert als fundamentales Koordinatensystem und bildet gegenwärtig noch die Grundlage der Sternephemeriden des Berliner Astronomischen Jahrbuches.

Freilich machen sich teilweise, besonders im systematischen Verhalten des Kataloges, bei der heutigen Beobachtungsgenauigkeit schon merkliche Abweichungen fühlbar. Es schien deshalb, nachdem ein Vierteljahrhundert neuer Beobachtungen vorliegt, an der Zeit, den NFK einer Revision zu unterziehen. Zwei Gründe sind hierfür maßgebend. Einmal bedeuten die Beobachtungen des letzten Vierteljahrhunderts außerordentlich viel für die Sicherung der individuellen Eigenbewegungen und damit für die Sicherheit des Fundamentalsystems. Die Eigenbewegungen des NFK bauten sich zu einem erheblichen Teil noch auf den vor 1860 liegenden Beobachtungen auf, deren systematisches Verhalten wir im allgemeinen doch recht wenig kennen. Jetzt aber liegen gute Beobachtungsreihen vor, die, wenn man etwa von 1860 ab rechnet, über einen Zeitraum von 60 Jahren recht gleichmäßig verteilt sind. Dieses Material ist dem sich noch stark auf BRADLEY stützenden erheblich überlegen; denn dort hatten wir nur einen einzigen Katalog, der zeitlich zwar weit zurückliegt, aber doch ganz isoliert steht. Der zweite Grund für die Revision des NFK ist ein mehr äußerlicher. Nach einer Zwischenzeit von etwa einem halben Jahrhundert hat eine Anzahl deutscher Institute, sowie die russische Hauptsternwarte in Pulkowa sich entschlossen, die Kataloge der Astronomischen Gesellschaft zu wiederholen. Diese Kataloge enthalten die genauen Örter der Sterne bis zur neunten Größe und bilden damit die erste Grundlage für eine Untersuchung der Bewegungen dieser Sterne. Eine Wiederholung in angemessenem Zeitraume war von vornherein in Aussicht genommen, da erst hierdurch auch die ältere Beobachtungsreihe ihren Wert erhält. Für diese Wiederholung, die mit Hilfe photographischer Aufnahmen (unter Zwischenschaltung eines ausgedehnten Netzes von am Meridiankreis zu bestimmenden Anhaltsternen) hergestellt werden soll, ist ein möglichst gesichertes Bezugssystem zu beschaffen, und es schien deshalb auch dadurch der geeignete Zeitpunkt zu der wünschenswerten Verbesserung des AUWERSschen Fundamentalsystems gekommen zu sein. Sie wird zur Zeit am Astronomischen Recheninstitut in Berlin-Dahlem durchgeführt.

Bei dem hohen Wert, der dem NFK immer noch zukommt, war es zweifellos am richtigsten, den von AUWERS eingeschlagenen Weg weiter fortzusetzen. Die in der Zwischenzeit neu hinzugekommenen Kataloge waren also wiederum mit dem Fundamentalkatalog zu vergleichen, um die Systemunterschiede zu ermitteln. Eine neue Verbesserung der individuellen Örter und Eigenbewegungen im System des NFK war vorzunehmen, und schließlich war der Versuch zu machen, auf Grund des neuen Materials das System selbst zu verbessern. Die individuelle Verbesserung der Örter ist nahezu fertiggestellt und hat gezeigt, daß die Örter und Eigenbewegungen der Sterne des Nordhimmels schon von AUWERS mit großer Sicherheit ermittelt worden sind; die Verbesserungen der Sterne des Südhimmels sind naturgemäß in vielen Fällen erheblich

größer. Die systematische Verbesserung des NFK stößt auf bedeutende Schwierigkeiten. Der Zeitraum der letzten 25 Jahre ist zu kurz, um auf dem hier gesammelten Material eine Verbesserung der Eigenbewegungen aufbauen zu können. Es genügt zwar im ganzen zu einer Korrektur des Systems in der Gegenwart; für die Eigenbewegungen muß man jedoch wieder auf das ältere Material zurückgreifen. Freilich gestatten die neuen Beobachtungen, jenes Material mit schärferer Kritik zu behandeln, als dies AUWERS selbst möglich war. Aber immer noch fehlt uns in wichtigen Fällen ein tieferer Einblick in die systematischen Beobachtungsfehler, die jenen älteren Katalogen anhaften und von denen auch unsere besten modernen Reihen noch durchaus nicht frei sind. Auf weitere Einzelheiten zur Verbesserung des NFK wird im Abschnitt VI (S. 20) eingegangen werden.

Neben dem NFK von AUWERS steht als wichtigster Fundamentalkatalog der „Preliminary General Catalogue“ von LEWIS BOSS, der aus ähnlichem Material wie der NFK aufgebaut ist. Er ist erst um 1900 entstanden und ist in seinem Aufbau geschlossener als der NFK. Er enthält eine bedeutend höhere Zahl von Sternen (6188) und damit für viele Zwecke ein umfassenderes Material, besonders für die statistische Untersuchung der Eigenbewegungen der helleren Sterne. Allerdings verliert er damit zugleich an Sicherheit, da für eine so große Sternzahl die Eigenbewegungen gegenwärtig nicht mit der letzten Genauigkeit ermittelt werden können. Hier ist dem NFK der Vorzug zu geben. Dies auch noch aus einem anderen Grund. Die Kontrolle der Orte eines Fundamentalkataloges durch regelmäßig sich wiederholende Beobachtungsreihen (von jeweils etwa acht Einzelbeobachtungen für jeden Stern) ist nur bei einer beschränkteren Anzahl von Sternen praktisch durchführbar.

Zu erwähnen sind schließlich noch zwei weitere Fundamentalkataloge. Der eine wurde kurz vor 1900 von NEWCOMB für die American Ephemeris geschaffen, hat aber nur vorübergehende Bedeutung gehabt. Der andere ist der gerade jetzt von W. S. EICHELBERGER hergestellte Katalog, der gegenwärtig als Grundlage für die Sternephemeriden des Nautical Almanac von Greenwich sowie Washington, der *Connaissance des Temps* und einiger anderer Ephemeriden dient. Er beruht für die Orte auf je zwei modernen Katalogen von Washington und der Kap-Sternwarte und stützt sich für die Eigenbewegungen auf den Fundamentalkatalog von L. BOSS. Der Katalog von EICHELBERGER hat also einen noch durchaus vorläufigen Charakter.

## V. Die Bedeutung des Fundamentalsystems für die Astronomie.

Wir haben ein Fundamentalsystem als die Gesamtheit einer Gruppe von Sternen bezeichnet, für welche die Orte und Eigenbewegungen



einschließlich der Präzessionskonstante gegeben sind. Dieses Fundamentalsystem bildet die Grundlage für die Untersuchung aller Bewegungsvorgänge im Kosmos; es ist der Repräsentant des durch die jeweilige Lage von Äquator und Frühlingspunkt für ein beliebiges Äquinoktium festgelegten Koordinatensystems.

Zunächst können auf differentiellem Weg an den Fundamentalkatalog (FK) durch visuelle oder photographische Beobachtungen weitere Sterne angeschlossen werden. Eine Wiederholung solcher Beobachtungen gibt dann die Möglichkeit, die Eigenbewegungen schwächerer Sterne im System des Fundamentalkataloges herzuleiten, um auf diese Weise zur Kenntnis der absoluten Eigenbewegungen des ganzen Sternsystems zu kommen. Die bereits S. 13 erwähnte Wiederholung der Kataloge der Astronomischen Gesellschaft soll ja gerade die Grundlage für die Ermittlung der Eigenbewegungen der schwächeren Sterne bieten. Dabei ist stets zu beachten, daß die Sicherheit unserer Kenntnisse der Eigenbewegungen der Sterne überhaupt in letzter Linie von der Zuverlässigkeit des Fundamentalsystems abhängt. Daß freilich durch die differentiellen Anschlußbeobachtungen der schwächeren Sterne an die des FK neue systematische Fehler entstehen, läßt sich heute immer noch nicht vermeiden.

Eine Frage drängt sich nun hier zunächst auf. Können wir gegenwärtig die Eigenbewegungen der Sterne überhaupt mit solcher Sicherheit bestimmen, wie es für das Studium der Bewegungsverhältnisse im Universum notwendig ist? Vor allem für die schwachen Sterne ist eine solche Fragestellung durchaus notwendig, da hier wegen der Kleinheit der Eigenbewegungen diese schließlich durch die Beobachtungsfehler völlig verfälscht werden können. KAPTEYN und VAN RHIJN<sup>1</sup> haben diese Frage in den letzten Jahren angeschnitten. Es kommt freilich bei den Untersuchungen über die Bewegungsgesetze der Sterne im ganzen oder ausgewählter Sterngruppen nicht auf die einzelne Eigenbewegung an; wir fragen deshalb auch nach der Genauigkeit, die wir für die einzelne Eigenbewegung erreichen müssen, damit der Mittelwert der Eigenbewegungen einer Sterngruppe für statistische Untersuchungen brauchbar ist. Stellt man die Forderung, daß der wahrscheinliche Fehler der mittleren Eigenbewegung einer Gruppe von 100 Sternen unter einem Zehntel des Wertes selbst liegt, so sind gegenwärtig nur die Eigenbewegungen der Sterne bis zur siebenten Größe (also wenig unterhalb des Helligkeitsbereiches unserer Fundamentalkataloge) genügend genau bekannt. Für die schwächeren Sterne besitzen wir nur in einigen Ausnahmefällen eine hinreichende Kenntnis der Größe der Eigenbewegungen. Die Photographie ermöglicht uns allerdings in allernächster Zukunft (sobald die Zeitdifferenz gegen die älteren Aufnahmen hinreichend groß geworden

<sup>1</sup> 3. Report on the Progress of the Plan of Selected Areas. Groningen 1923.

ist) eine sehr genaue Bestimmung der relativen Eigenbewegungen der Sterne verschiedener Helligkeiten der einzelnen Platten. Um aber zu absoluten Eigenbewegungen zu kommen, bedürfen wir immer wieder des Anschlusses an die gut gesicherten Eigenbewegungen eines Fundamental-kataloges. Gegenwärtig ist unsere Kenntnis der Bewegungen schwacher Sterne jedenfalls noch außerordentlich lückenhaft.

Aber auch die Sicherheit der Eigenbewegungen der Fundamental-kataloge läßt noch sehr zu wünschen übrig. Von großer Genauigkeit sind zweifellos die relativen Eigenbewegungen innerhalb des Systems, aber es zeigt sich immer wieder, wie wichtig das Studium der systematischen Fehler ist, mit denen die Eigenbewegungen auch der besten Fundamentalsysteme noch behaftet sind. Auf diesen Umstand hat H. C. KAPTEYN<sup>1</sup> in einer seiner letzten Arbeiten besonders eindringlich hingewiesen. Er beschäftigte sich im besonderen mit dem BOSS-System; seine Untersuchungen gelten aber fast unverändert auch für das von AUWERS. Seit längerer Zeit war es aufgefallen, daß die Bestimmung des Apex der Sonnenbewegung zu stark verschiedenen Werten führt, wenn man einerseits von den beobachteten scheinbaren Eigenbewegungen an der Sphäre, andererseits von den Radialgeschwindigkeiten ausgeht. Die Deklination des Sonnenapex zeigte zwischen beiden Methoden eine Differenz von etwa  $10^\circ$ . Die beste Bestimmung des Apex aus den Radialgeschwindigkeiten, die von W. W. CAMPBELL aus 1193 Sternen, ergab eine Deklination von  $+25^\circ 3'$ ; ein Mittelwert aus den Bestimmungen von BOSS und EDDINGTON aus den Eigenbewegungen des BOSS-Kataloges dagegen führte auf  $+35^\circ 2'$ . KAPTEYN konnte nun zuerst zeigen, daß dieser Unterschied zum Verschwinden gebracht werden kann, wenn man den Eigenbewegungen des BOSS-Kataloges in Deklination einen systematischen Fehler von der Form  $G \cos \delta$  zuschreibt, wo  $G$  etwa den Betrag  $+0,013$  hat. Auf einen solchen Fehler schienen auch eine Reihe von Beobachtungen von fundamentalen Deklinationen wirklich hinzuweisen.

Die nachfolgenden Untersuchungen haben diese Vermutung von KAPTEYN im ganzen bestätigt. Die Nachprüfung ist auf zwei verschiedenen Wegen erfolgt. Einmal ist am DUDLEY-Observatory in Albany sowohl von H. RAYMOND<sup>2</sup> als auch von B. BOSS und H. JENKINS<sup>3</sup> das Verhalten des Deklinationssystems des BOSS-Kataloges auf Grund von ausgedehnten Beobachtungsreihen am Meridiankreis von neuem untersucht worden. Es ergaben sich recht merkliche Verbesserungen, die für die Sternörter in der Äquatorgegend auf etwa  $\frac{2}{10}$  Bogensekunden (Äquin. 1900) anwachsen und für die hundertjährigen Eigenbewegungen teilweise den Betrag von  $\frac{1}{2}$  Bogensekunde übersteigen; die letzteren

<sup>1</sup> *Bullet. Astron. Institutes of Netherl.* 1, 69. 1922.

<sup>2</sup> *Astronom. Journ.* 36, 129. 1926.

<sup>3</sup> *Astronom. Journ.* 37, 173. 1927.

Beträge haben freilich nicht den einfachen Verlauf  $G \cos \delta$ , entsprechen aber doch dem Sinn nach den von KAPTEYN geforderten Verbesserungen. Vielleicht sind die angegebenen Beträge noch zu klein. W. S. EICHELBERGER<sup>1</sup> erhält z. B. für die Verbesserungen der Deklinationen des BOSS-Systems für 1925 in der Nähe des Äquators Beträge von etwa  $\frac{1}{2}$  Sekunde und ebenso auch größere Werte für die Verbesserungen der Eigenbewegungen. Doch dürften, wie man gelegentlich vermutet, wesentlich größere Fehler des Boss-Systems kaum anzunehmen sein. Für den Neuen Fundamentalkatalog von AUWERS stellen sich die Beträge durchweg kleiner.

Die Verbesserungen der Eigenbewegungen sind dann, wenigstens der Größenordnung nach, von einer ganz anderen Seite her bestätigt worden. Die verwendete Methode geht in ihrem Prinzip wieder auf H. C. KAPTEYN zurück. Die Aufnahmen, die man gegenwärtig mit langbrennweitigen Fernrohren herstellt, um die Parallaxen heller Sterne im Anschluß an eine Gruppe schwacher Sterne zu bestimmen, geben bei einer Zwischenzeit von nur wenigen Jahren bereits gesicherte Werte der relativen Eigenbewegung der schwachen Sterne gegen den hellen Zentralstern. Ist letzterer ein Boss-Stern, so ist dessen absolute Eigenbewegung bis auf den erst noch zu bestimmenden systematischen Fehler bekannt. Man kann nun die wirkliche Eigenbewegung des Zentralsternes (d. h. die Summe aus der Boss-Eigenbewegung und der unbekanntem Korrektion) der Summe aus der beobachteten relativen Eigenbewegung und der ebenfalls unbekanntem parallaktischen Bewegung einer Gruppe schwacher Sterne gleichsetzen. Durch geeignete Kombination der einzelnen Gruppen läßt sich die unbekanntem parallaktische Bewegung eliminieren, und man kommt so zu einem Wert für die Verbesserung des Deklinationssystems. Das Beobachtungsmaterial reicht gegenwärtig allerdings zu einer praktischen Durchführung der Methode noch nicht aus. P. J. VAN RHIJN und P. VAN DE KAMP<sup>2</sup>, sowie neuerdings B. J. БОК<sup>3</sup> haben jedoch die Methode noch etwas modifiziert und erhalten aus gewissen Sterngruppen durch ein Näherungsverfahren Verbesserungen, welche die von RAYMOND und BOSS ermittelten durchaus bestätigen.

Wichtig ist nun, daß die Bestimmung des Sonnenapex mit den systematisch verbesserten Eigenbewegungen zu einer Deklination geführt hat, die mit der aus den Radialgeschwindigkeiten ermittelten in viel besserer Übereinstimmung als früher steht. Dies zeigen vor allem die Untersuchungen von R. E. WILSON<sup>4</sup>, der die Apexbestimmung auf Grund der von RAYMOND durchgeführten Verbesserung der Deklinationen des Boss-Systems durchgeführt hat. Er hat vor allem für die Radialgeschwindigkeiten und die Eigenbewegungen dieselbe Gruppe von Sternen

<sup>1</sup> Astronom. Papers of Am. Ephem. and Nautical Alm. **10**, 1. 1925.

<sup>2</sup> Bull. Astron. Institutes of Netherl. **1**, 209. 1923.

<sup>3</sup> Ebenda **5**, 1. 1928.

<sup>4</sup> Astronom. Journ. **36**, 138. 1926.

ausgewählt, um auf diese Weise durch beide Methoden wirklich vergleichbare Werte zu erhalten, und in der Tat ergibt sich als Apex aus einer Gesamtheit von über 2000 Sternen

$$\begin{array}{l} \text{mittels der Radialgeschwindigkeiten: } A=270^{\circ}9 \quad D=+27^{\circ}2, \\ \text{mittels der Eigenbewegungen: } \quad \quad A=270^{\circ}8 \quad D=+27^{\circ}0. \end{array}$$

Eine wesentliche Ursache für die Unstimmigkeiten in der Bestimmung des Sonnenapex war also in den systematischen Fehlern des Deklinationssystems zu suchen, und wir erkennen an diesem besonders auffallenden Beispiel, wie die Sicherung des Fundamentalsystems die erste Grundforderung für alle stardynamischen Untersuchungen ist. Fehler im Fundamentalkatalog übertragen sich auch immer wieder auf die differentiell angeschlossenen schwachen Sterne und verfälschen hier wegen der Kleinheit der Eigenbewegungen die Ergebnisse noch viel stärker als es bei den hellen Sternen des Fundamentalsystems schon der Fall ist.

Aber auch für den engeren Bereich des Planetensystems bedeutet eine immer weiter gehende Verbesserung des Fundamentalsystems eine dringende Notwendigkeit. In wesentlichen Fragen der Himmelsmechanik ist ein Fortschritt nur durch eine Erhöhung der Genauigkeit der Sternörter zu erlangen. Dies gilt sowohl für die einzelnen Örter als auch für das systematische Verhalten des zugrunde liegenden Fundamentalsystems im ganzen. Der Sternkatalog, an den auf differentiellem Weg die Körper des Sonnensystems angeschlossen werden, bildet ja das fundamentale Koordinatensystem für alle Bewegungsvorgänge innerhalb dieses Systems.

Zunächst tritt uns hier eine ganz prinzipielle Frage entgegen. Im zweiten Abschnitt wurde hervorgehoben, wie das in der Astronomie verwendete Fundamentalsystem sich nur zum Teil auf der NEWTONschen Mechanik aufbaut, wie es aber in seinem wesentlichen Teil als rein empirisches System anzusehen ist, weil vor allem die Präzessionskonstante sich allein auf Beobachtungen gründet. Reicht nun die NEWTONsche Mechanik zur Darstellung der Bewegungsvorgänge im Planetensystem hin, so muß innerhalb des Bereiches der Beobachtungsfehler das empirische System dennoch mit dem Inertialsystem zusammenfallen. Vor längerer Zeit bereits hat jedoch E. ANDING gezeigt, daß beide Systeme nicht identisch sind, sondern daß bei der Darstellung der beobachteten Bewegung der Planeten Reste verbleiben. Diese weisen auf eine Drehung des empirischen durch die NEWCOMBSche Präzessionskonstante festgelegten Koordinatensystems gegen das Inertialsystem hin, die um den Pol der Ekliptik mit einer Geschwindigkeit von etwa 7 Bogen Sekunden im Jahrhundert erfolgt. Eine Verbesserung der Präzessionskonstante in diesem Betrag wäre mit den Beobachtungen nicht vereinbar. Es ist vielmehr von J. BAUSCHINGER<sup>1</sup> dargelegt worden, daß diese Dre-

<sup>1</sup> Enzykl. d. Math. Wissensch. 6, 2, Nr. 17.

hung nicht zutage tritt, sobald man für die Bewegungsvorgänge innerhalb des Planetensystems die NEWTONSche Mechanik durch die der allgemeinen Relativitätstheorie ersetzt. So ist also eine möglichst genaue Festlegung des fundamentalen Koordinatensystems schon für die weitere Diskussion des Gültigkeitsbereiches der NEWTONSchen Mechanik von wesentlicher Bedeutung.

Im einzelnen zeigen dann auch die numerischen Untersuchungen der Störungstheorie, daß eine weitere Klärung der Bewegungsverhältnisse der Planeten nur durch eine Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit, d. h. aber in erster Linie durch eine Verbesserung der Örter der Anschlußsterne zu erreichen ist. Dies ergibt sich unter anderem aus den umfangreichen Rechnungen, die neuerdings H. OSTEN<sup>1</sup> für die Planeten (447) Valentine und (11) Parthenope ausgeführt hat. Mit Recht weist OSTEN darauf hin: ein „Fortschritt in der Erkenntnis kann heute schwerlich mehr aus den Bogenminuten herausgeholt werden, sondern aus den Bogensekunden und deren Bruchteilen“. Letztere sind aber selbst in den Fundamentalkatalogen noch nicht als gesichert anzusehen. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse vor allem auch für die kleinen Planeten noch wesentlich ungünstiger. Denn hier sind die Örter zum weitaus größten Teil an die alten Beobachtungen der Kataloge der Astronomischen Gesellschaft angeschlossen, für welche die Kenntnis der Eigenbewegungen äußerst lückenhaft ist, und deren System keineswegs festliegt. So darf man sich nicht wundern, wenn bei der rechnerischen Darstellung der Beobachtungen ungeklärte Reste bleiben, und wenn einer Verbesserung der Planetenmassen, deren genaue Kenntnis zur Prüfung der Frage nach der Gültigkeit der NEWTONSchen Mechanik notwendig ist, erhebliche Schwierigkeiten im Wege stehen. Hier dürfte wohl durch die S. 13 erwähnte Wiederholung der Kataloge der Astronomischen Gesellschaft ein Fortschritt zu erwarten sein. Wie weit wir durch ausgedehnte Beobachtungsreihen einzelner, besonders geeigneter kleiner Planeten eine Verbesserung des Fundamentalsystems selbst erreichen können, ist eine Frage, der wir erhöhte Aufmerksamkeit zuwenden müssen.

Wie leicht die Unsicherheit der Sternörter zu Fehlschlüssen zu führen vermag, sei schließlich noch an einem besonders krassen Fall hervorgehoben. Der Komet 1886 I bereitete bei der definitiven Bahnrechnung erhebliche Schwierigkeiten, und A. SVEDSTRUP zeigte, daß man die Beobachtungen befriedigend darstellen kann, wenn man statt der gewöhnlichen Sonnenmasse eine verminderte Sonnenattraktion annimmt; dieses Resultat erregte zuerst großes Aufsehen, und die Untersuchung von SVEDSTRUP wurde sogar mit einem hervorragenden Preis ausgezeichnet.

<sup>1</sup> Astron. Nachr. 232, 225, 1928 und Astron. Abhandl. (Ergänzungshefte zu Astron. Nachr.) 5, Nr. 6. 1928.

Schließlich aber stellte es sich heraus<sup>1</sup>, daß schon eine Neubearbeitung der zugrunde liegenden Sternörter vollkommen hinreichte, um die Kometenbewegung unter Annahme der gewöhnlichen Sonnenattraktion restlos zu erklären.

## VI. Die gegenwärtigen Bestrebungen zur Verbesserung der Fundamentalsysteme.

Aus den vorstehenden Ausführungen dürfte wohl zu erkennen sein, daß die Verbesserung und der weitere Ausbau von Fundamentalkatalogen immer noch eine zentrale Aufgabe der Astronomie ist, und daß im Anschluß hieran die Sicherung eines Netzes schwächerer Sterne teils als Grundlage für die Untersuchung der Eigenbewegungen, teils für die der Bewegungsvorgänge im Planetensystem, zu den notwendigsten Forderungen der gegenwärtigen Astronomie gehört.

Der Hauptteil an der Lösung dieser Aufgabe fällt dem Beobachter zu, und zwar vor allem dem Beobachter am Meridiankreis, der durch fundamentale Beobachtungen die Hauptpunkte an der Sphäre in immer größerer Genauigkeit festzulegen suchen muß. Das engere Netz der Zwischensterne kann dann durch Anschlußmessungen erhalten werden, und hierzu wird schon jetzt in immer wachsendem Maße die Himmelsphotographie herangezogen. Betrachten wir lediglich die fundamentalen Messungen, so wird das Augenmerk sich noch mehr als bisher auf die *Ausschaltung systematischer Fehler* bei den Beobachtungen richten müssen; hier wird man in der nächsten Zukunft den eigentlichen Fortschritt zu erreichen suchen.

Die Zeit, in der der Meridiankreisbeobachter Massenarbeit anstrebte und durch eine solche auch Resultate von einem gewissen Wert erzielen konnte, ist vorüber. Heute kommt es in erster Linie darauf an, das äußerste an Genauigkeit zu leisten, was das Instrument zuläßt. Der Meridiankreis muß sich unter Ausschaltung veralteter Instrumente und unbrauchbarer Meridiansäle vor allem der absoluten astronomischen Ortsbestimmung zuwenden, wo er allein die Lösung der vorliegenden Aufgaben in größerem Ausmaße durchführen kann. Hier gilt es im Geist von BESSEL und GAUSS dadurch weiterzuarbeiten, daß die von diesen beiden Begründern der modernen Positionsastonomie aufgestellten Gesichtspunkte nun auf die in der Gegenwart für den Meridiankreisbeobachter bestehenden Probleme übertragen werden.

Schon GAUSS, der sich in der letzten Periode seines astronomischen Schaffens dem Meridiankreis zugewendet hat, betont, daß jedes einzelne Instrument ein besonderes Individuum ist, dessen Verhalten in allen Einzelheiten erst studiert werden muß, ehe die eigentlichen Beobach-

<sup>1</sup> REDLICH, E., *Astron. Nachr.* 187, 193. 1911.

tungen einsetzen können. Daß tatsächlich durch das genaue Studium des Verhaltens des Instrumentes ein Fortschritt in der Genauigkeit der Beobachtungsergebnisse zu erreichen ist, zeigt vor allem ein Umstand. Vergleicht man die Beobachtungsreihen der letzten 25 Jahre in bezug auf ihre Genauigkeit, so zeigt sich, daß ein größerer Fortschritt im ganzen bei den Deklinationen und nicht bei den Rektaszensionen erreicht worden ist. Das scheint auf den ersten Augenblick verwunderlich. Denn das Beobachtungsverfahren an sich ist bei den Deklinationen unverändert geblieben, während bei den Rektaszensionen durch die Einführung des selbstregistrierenden Mikrometers eine Steigerung der inneren Genauigkeit erlangt wurde. Nun ist aber der *Diskussion* gerade der Deklinationsbeobachtungen in den letzten Jahrzehnten die größte Sorgfalt zugewendet worden, und hierauf ist die Steigerung der Genauigkeit im ganzen zurückzuführen. Trotzdem ist das Deklinationssystem noch mit unbekanntem systematischen Fehlern behaftet, und seine weitere Sicherung bleibt immer noch eine der dringendsten, aber auch am schwierigsten zu lösenden Aufgaben.

Neben dem Studium der Eigenart und neben der genauen Kontrolle des Verhaltens des Instrumentes während der Beobachtungen ist die scharfe Berücksichtigung der Refraktion am Beobachtungsort notwendig. Zweifellos ist der Meridiansaal ein ganz wesentlicher Bestandteil des gesamten Instrumentariums, der die Beobachtungen ausschlaggebend beeinflussen kann. Deshalb geht auch das Bestreben mehr und mehr dahin, den Einfluß des Saales durch besondere Konstruktionen möglichst auszuschalten und die meist recht zweifelhaften Diskussionen über Saalrefraktion überflüssig zu machen. Schwierigkeiten bleiben dann hier durch unsere Unkenntnis des Aufbaues der freien Atmosphäre immer noch genug bestehen. Daß die neuen Refraktionstabellen von P. HARZER, die zum erstenmal den wirklichen Zustand wenigstens der unteren Schichten der Atmosphäre in stärkerem Maße als bisher berücksichtigen, einen Fortschritt für die Verbesserung des Deklinationssystems bedeuten, wurde schon früher (S. 8) betont.

Ebenso bedeutungsvoll ist die genaue Kenntnis der besonderen Eigenart des Beobachters. Auch hier bedarf es eines noch eingehenderen Studiums des Verhaltens der systematischen Fehler. Von den Einflüssen der „Helligkeitsgleichung“ (vgl. S. 11) sucht man sich auf verschiedene Weise zu befreien. Durch Vorschalten von Gittern mit bekannter Durchlässigkeit hat man immer die Möglichkeit, die hellen Sterne auf die Größe der schwachen herabzudrücken. Trotz des völlig einwandfreien Vorbildes, das F. KÜSTNER bereits in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gegeben hat, wird allerdings auch heute noch die Methode meist in unzulänglicher Weise angewendet. Es genügt nicht, die hellsten Sterne um einige Größenklassen abzuschwächen, sondern man gelangt zu einer wirklichen Elimination der Helligkeitsgleichung

nur dadurch, daß man die hellen Sterne in bekanntem Maße bis zur Größe der schwächsten Sterne hinab abblendet. Nur durch ein solches Verfahren ist eine interpolatorische Behandlung der Helligkeitsgleichung möglich. Daß man den systematischen Unterschieden zwischen den Tag- und Nachtbeobachtungen und zwischen den Beobachtungen der Sterne einerseits, der Sonne und Planeten andererseits erhöhte Aufmerksamkeit zuwendet, macht sich in den neueren großen Katalogen von fundamentalem Charakter mehr und mehr bemerkbar. Versuche sind auch im Gange, sich von den persönlichen Einflüssen des Beobachters beim Meridiankreis überhaupt möglichst zu befreien. Erinnert sei nur an die Experimente von B. STRÖMGREN, die Durchgänge durch den Meridian lichtelektrisch zu registrieren. Hierher gehören auch die verschiedenen Bestrebungen zur photographischen Registrierung der Beobachtungen im Meridian.

Nicht immer wird man nun am Meridiankreis streng absolute Beobachtungen ausführen können. Sogar in der Mehrzahl der Fälle handelt es sich in irgendwelcher Richtung um Anschlußmessungen an ein bestehendes System, dessen teilweise Verbesserung durch die Beobachtungen anzustreben ist. Stets wird es hierbei darauf ankommen, die Beziehung des zugrunde liegenden Fundamentalsystems zu dem durch Instrument und Beobachter bedingten individuellen System (System des Instrumentes) möglichst sicher zu ermitteln. Dies ist ohne weiteres immer dann erreichbar, wenn nur Sterne des Fundamentalsystems beobachtet werden. Werden jedoch andere Sterne an ein solches System angeschlossen, so ist nach dem Vorbild von KÜSTNER die Beziehung zwischen Fundamentalsystem und System des Instrumentes durch besondere „Reihen“ festzulegen, innerhalb deren ausschließlich Fundamentalsterne über möglichst ausgedehnte Gebiete hinweg beobachtet werden. KÜSTNER hat dieses Verfahren zum erstenmal bei dem großen Bonner Katalog von 1900 in mustergültiger Weise durchgeführt, und er hat dadurch die Positionsastronomie auf eine neue Stufe der Genauigkeit gehoben. Daß selbst nach 30 Jahren das Verfahren nicht in der Regel, sondern nur ausnahmsweise durchgeführt wird, zeigt wieder einmal, wie die Pflege der „Tradition“ dem wirklichen Fortschritt so oft hinderlich im Wege steht.

In zweiter Linie ist es dann die Aufgabe des Bearbeiters, die einzelnen durch die Beobachtung erhaltenen Kataloge zu einem einheitlichen Fundamentalsystem zusammenzufassen. Da wir in den Systemen von AUWERS und BOSS bereits Fundamentalkataloge von hoher Genauigkeit besitzen, dürfte man sich, wie bereits S. 13 betont, in der Zukunft mit dem Ausbau dieser Systeme begnügen können, wenn auch von einzelnen Seiten die Auffassung vertreten wird, daß die Aufstellung eines gänzlich neuen Systems der Verbesserung bestehender Systeme vorzuziehen sei. Die Vorarbeiten jedoch, die in den bestehenden Fundamentalkatalogen



bereits niedergelegt wurden, sind so erheblich, daß man diese zweckmäßigerweise nicht beiseite schieben wird.

Die Hauptschwierigkeit sowohl bei der Verbesserung eines bestehenden Systems, als auch bei der Aufstellung eines neuen, liegt in der Bewertung des einzelnen Beobachtungskataloges in bezug auf sein systematisches Verhalten. Wenn wir einen Fundamentalkatalog als ein System auffassen, daß sich der Gesamtheit der vorhandenen Kataloge am besten anschmiegt, so dürfen wir hierbei die einzelnen Kataloge nicht als systematisch gleich gut ansehen. Diese sind vielmehr mit Fehlern systematischer Natur behaftet, über deren Ursachen wir vielfach gar nichts aussagen können. Infolge dieses Umstandes bleibt für die Bewertung der Kataloge nur ein rohes Abschätzungsverfahren übrig, auf Grund dessen AUWERS z. B. den Katalogen einfache Gewichtszahlen zugeordnete. Auch heute besitzen wir noch kein Mittel, um über dieses Verfahren im wesentlichen hinauszukommen. Wir haben allerdings durch die vorhandenen Fundamentalkataloge bereits Anhaltspunkte für die Brauchbarkeit der neu hinzukommenden Kataloge. Wir bemerken, daß gerade die am sorgfältigsten beobachteten modernen Kataloge häufig in derselben Weise systematisch von den bestehenden Fundamentalkatalogen abweichen und dürfen daraus wohl mit Recht schließen, daß die Ursache hierfür in den Fehlern der Fundamentalkataloge zu suchen sind. Es ist also damit eine Möglichkeit der Verbesserung der letzteren wirklich gegeben. Zum Teil aber streuen diese Abweichungen so stark, daß wir auch gegenwärtig noch auf eine rohe Abschätzung angewiesen bleiben, und daß unter Umständen eine einfache Mittelung zwischen den am sorgfältigsten beobachteten und diskutierten Einzelkatalogen als letzter Ausweg übrig bleibt. Im ganzen kann man jedoch sagen, daß die Beobachtungen der letzten 25 Jahre sehr wohl imstande sind, die *Orter* unserer Fundamentalkataloge für die Gegenwart zu verbessern. Weniger günstig liegen die Verhältnisse für die Verbesserung der *Eigenbewegungen*. Hier reicht der Zeitraum von einem Vierteljahrhundert zu einer Verbesserung keineswegs aus. Wir sind hier ganz wesentlich auf die Beobachtungen mit angewiesen, die auch schon früher bei der Herleitung des Fundamentalsystems herangezogen wurden. Daß wir zum Teil wenigstens die Möglichkeit haben, das systematische Verhalten der älteren Kataloge sicherer zu beurteilen, als dies früher möglich war, wurde schon S. 14 erwähnt, und so können wir hoffen, durch eine bessere Bewertung einzelner Kataloge auch die *Eigenbewegungen* systematisch stärker zu sichern. Von diesen Gesichtspunkten aus hat z. B. neuerdings A. KAHRSTEDT eine Verbesserung der *Eigenbewegungen* des Neuen Fundamentalkataloges von AUWERS in Rektaszension durchzuführen unternommen.

Man wird freilich bei der bloßen Verbesserung eines vorhandenen Fundamentalkataloges nicht stehen bleiben dürfen, sondern wird ver-

suchen müssen, ihn den bestehenden Bedürfnissen in immer weiterem Umfang anzupassen. Dabei zeigt sich vor allem ein Mangel, der den gegenwärtig vorhandenen Fundamentalkatalogen durchweg anhaftet. Es fehlen in ihnen die schwächeren Sterne zwischen der sechsten und neunten Größenklasse, und dieser Nachteil wird in den letzten Jahren immer stärker empfunden. Besonders aus einem Grund. Für die weitere Untersuchung des Aufbaues und der dynamischen Verhältnisse des Universums ist ja die genaue Kenntnis der Eigenbewegungen von ausschlaggebender Bedeutung. Das Studium der Eigenbewegungen der schwächeren Sterne, etwa von der neunten Größe abwärts, nun kann sich auf die Ergebnisse der Photographie gründen. Wir besitzen jetzt bereits für einzelne ausgewählte Felder relative Eigenbewegungen der Sterne zehnter Größe und darunter und werden in kurzer Zeit durch das Material der Selected Areas von KAPTEYN eine wesentlich größere Kenntnis erlangen. Wir kennen ebenso mit ausreichender Genauigkeit die Eigenbewegung der hellsten Sterne bis zur sechsten Größe. Dazwischen klafft eine Lücke, die wesentlich daher rührt, daß uns die Kenntnis der systematischen Fehler der älteren Kataloge gerade für die Sterne der zwischenliegenden Größen fehlt. Diese systematischen Fehler sind erst dann festzustellen, wenn wir in unseren Fundamentalkatalogen wenigstens eine Anzahl schwächerer Sterne aufgenommen haben.

Auch wenn in Zukunft photographische Aufnahmen mit weit größerem Gesichtsfeld als bisher mit hinreichender Genauigkeit sich werden ausmessen lassen, sind die Sterne zwischen der sechsten und neunten Größe in einem Fundamentalkatalog von ausschlaggebendem Wert. Denn man wird für weitere photographische Anschlüsse gerade diese und nicht die schwer meßbaren Sterne der gegenwärtigen Fundamentalkataloge als Anhaltsterne heranziehen. Eine Erweiterung des Fundamentalsystems nach der angegebenen Richtung hin ist also eine dringende Notwendigkeit, und erste Vorarbeiten für ihre Durchführung beim Fundamentalkatalog von AUWERS sind bereits in Angriff genommen worden.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

# Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von der  
Schriftleitung der „Naturwissenschaften“

Erster Band. Mit 35 Abbildungen. IV, 403 Seiten. 1922. Gebunden RM 14.—

Inhalt:

Die Fortschritte der Astronomie im Jahre 1921. Von Dr. R. Prager, Neubabelsberg. — Die Relativitätstheorie. Von Professor Dr. Hans Thirring, Wien. — Statistische Mechanik. Von Professor Dr. Paul Hertz, Göttingen. — Neuere Untersuchungen über kritische Zustände rasch umlaufender Wellen. Von Professor Dr. R. Grammel, Stuttgart. — Der Nernstsche Wärmesatz. Von Professor Dr. A. Eucken, Breslau. — Wärmestrahlung. Von Professor Dr. F. Henning, Berlin-Lichterfelde. — Kontaktpotential. Von Professor Dr. Alfred Coehn, Göttingen. — Chemische Kinetik. Von Professor Dr. Max Bodenstein, Hannover. — Photochemie. Von Professor Dr. Max Bodenstein, Hannover. — Die neuen Wandlungen der Theorie der elektrolytischen Dissoziation. Von Oberregierungsrat Dr. Friedrich Auerbach, Berlin. — Röntgenstrahlenspektroskopie. Von Professor Dr. M. v. Laue, Berlin-Zehlendorf. — Fortschritte im Bereich der Kristallstruktur. Von Prof. Dr. A. Johnsen, Berlin. — Fortschritte der Atem- und Spektraltheorie. Von Dr. Gregor Wentzel, München. — Stand der Theorie der Bandenspektren. Von Professor Dr. A. Kratzer, Münster. — Lichtelektrische Wirkung und Photolumineszenz. Von Professor Dr. Peter Pringsheim, Berlin. — Das periodische System der chemischen Elemente. Von Professor Dr. Fritz Paneth, Berlin.

Zweiter Band. Mit 38 Abbildungen. IV, 252 Seiten. 1923.

RM 8.40; gebunden RM 9.65

Inhalt:

Die Bewegungen der Fixsterne. Von Dr. J. Hopmann, Bonn. — Entwicklung und Stand der Parallaxenforschung. Von Dr. G. Schnauder, Potsdam. — Das Milchstraßensystem. Von Professor Dr. A. Kopff, Heidelberg. — Die Polhöhenchwankungen. Von Professor Dr. B. Wanach, Potsdam. — Erzeugung und Messung tiefer Temperaturen. Von Professor Dr. F. Henning, Berlin-Lichterfelde. — Neuere Erfahrungen über quantenhaften Energieaustausch bei Zusammenstoßen von Atomen und Molekülen. Von Professor Dr. J. Franck, Göttingen. — Magnetismus und Atombau. Von Professor Dr. Walther Gerlach, Frankfurt a. M. — Fortschritte beim Zeemaneffekt. Von Professor Dr. Alfred Landé, Tübingen. — Über das Element 72 (Hafnium). Von Professor Dr. Fritz Paneth, Berlin. — Kaltreckung und Verfestigung. Von Dr. G. Masing und Dr. M. Polanyi, Berlin. — Namenverzeichnis. Sachverzeichnis.

Dritter Band. Mit 100 Abbildungen. IV, 404 Seiten. 1924.

RM 48.—; gebunden RM 19.20

Inhalt:

Die Strahlung der Sterne. Von Professor Dr. A. Brill, Neubabelsberg. — Die Statistik der Leuchtkräfte der Sterne. Von Dr. R. Hess, München. — Die astronomischen Prüfungen der allgemeinen Relativitätstheorie. Von Professor Dr. Hans Kienle, Göttingen. — Über den Durchgang von Elektronen durch Atome. Von Dr. R. Minkowski, Hamburg, und Dr. H. Sponer, Göttingen. — Ultrarotforschung. Von Dr. G. Laski, Berlin. — Elektrizitätsleitung in kristallisierten Stoffen unter Ausschluß der Metalle. Von Privatdozent Dr. Bernhard Gudden, Göttingen. — Der Zusammenhang zwischen  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen. Von Professor Dr. Lise Meitner, Berlin-Dahlem. — Atomstrahlen. Von Professor Dr. Walther Gerlach, Frankfurt a. M. — Zur Theorie der Elektrolyte. Von Privatdozent Dr. E. Hückel, Zürich. — Elektrische Ventile und Gleichrichter. Von Professor Dr.-Ing. Güntherschulze, Charlottenburg. — Quellung. I. Teil. Von Privatdozent Dr. I. R. Katz, Kopenhagen.

Vierter Band. Mit 62 Abbildungen und 1 Tafel. IV, 242 Seiten. 1925.

RM 15.—; gebunden RM 16.50

Inhalt:

Die kleinen Planeten. Von Dr. G. Stracke, Berlin. — Die Theorie der Isostasie, ihre Entwicklung und ihre Ergebnisse. Von Professor Dr. A. Prey, Prag. — Der empirische Zeitbegriff. Von Professor Dr. A. v. Brunn, Danzig. — Die Oxydkathoden und ihre praktischen Anwendungen. Von Professor Dr. A. Wehnelt, Berlin. — Die Gittertheorie der festen Körper. Von Dr. G. Heckmann, Göttingen. — Die Quellung. II. Teil. Von Dr. I. R. Katz, Amsterdam. — Die magnetische Beeinflussung der Resonanzfluoreszenz. Von Dr. W. Hanle, Göttingen. — Unsere Kenntnisse über die Beugungsformen im Dreikörperproblem. Von Professor Dr. Elis Strömgren, Kopenhagen.

*Fortsetzung siehe umstehende Seite.*