

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die Kultur der Gegenwart

ihre Entwicklung und ihre Ziele

Astronomie

Hartmann, J.

1921

Astronomische Ortsbestimmung. Von Leopold Ambronn

ASTRONOMISCHE ORTSBESTIMMUNG.

VON

LEOPOLD AMBRONN.

Beziehungen
zwischen dem
Leben auf der
Erde und dem
Beginn astro-
nomischer
Anschauung.

I. Die Anfänge der Orientierung am Himmel und auf der Erde. Tag und Nacht, Kälte und Wärme oder andere Naturereignisse, die in gewissen regelmäßigen Zeiträumen miteinander abwechseln, hatten die erste Veranlassung gegeben, die Tätigkeit der Menschen zu regeln. Mag das nun geschehen sein mit Rücksicht auf die Arbeit in Familie und Wohnung, oder mag dadurch der Wechsel des Wohnsitzes und der der Weide- und Jagdgründe oder mag später die Bestellung des Feldes danach eingerichtet worden sein. Die Aneinanderreihung solcher regelmäßig wiederkehrender Abschnitte hat dann, wenn auch in den primitivsten Formen, eine Zeitrechnung geschaffen und in Verbindung damit die regelmäßige Feier gewisser Tage, die später den Anstoß gegeben haben zu bestimmten Festsetzungen für solche Gedenktage.

Einmal die Verwaltung der so nach und nach zustande gekommenen Kultusaufgaben, dann aber auch beim Wechsel der Wohnsitze die Notwendigkeit der Bestimmung von Wegerichtungen zu Lande und zu Wasser haben wohl sehr bald erkennen lassen, daß die Beobachtung der Gestirne durch ihr regelmäßiges Erscheinen am Himmel und durch ihre bald erkannte gleichmäßig verbleibende Anordnung die Mittel dazu abgeben konnte.

So mag sich allmählich durch wechselseitiges Bedürfnis die Astronomie in ihren einfachsten Formen entwickelt haben. Der Auf- und Untergang des Tagesgestirnes, des Mondes und der helleren Sterne, die das bloße Auge leicht erkannte, haben in ihren, einen vielfachen Wechsel zeigenden Stellungen zueinander das Gemüt und den Verstand der Menschen sicherlich schon sehr frühzeitig beschäftigt. Es bietet ein großes Interesse, der Entwicklung einer an sich so schwierigen und sich mit so wenig der direkten Verfolgung zugänglichen Dingen beschäftigenden Wissenschaft, die aber trotzdem seit den ältesten Zeiten jedem Menschen mehr oder weniger nahe getreten ist, nachzugehen.

Der Versuch, die wahrgenommenen Veränderungen in der Stellung der Gestirne ganz im allgemeinen miteinander in Beziehung zu bringen und diese wieder den Wahrnehmungen anzupassen, die der Mensch sich auf seinem Wohnplatz, der Erde, verschaffen konnte, hat die Grundlage aller astrono-

mischen Forschungen geliefert. Die Vergleiche, welche man zwischen den Vorgängen am Himmel mit Rücksicht auf die zunächst allein wahrnehmbare Trennungslinie zwischen Himmel und Erde, den Horizont, anstellte, also die Beobachtungen des Auf- und Unterganges der Sonne und der Gestirne, die Erlangung der größten oder geringsten Höhe über den Horizont waren die Anfänge der astronomischen Beobachtungskunst.

Man hat aus den Auf- und Untergängen der Gestirne auf die Drehung des Himmels um die Erde geschlossen, hat aus dem Verlauf dieser Bewegung ersehen, daß diese Drehung um eine Achse vor sich gehen müsse, deren Lage man aus der Bewegung der Gestirne erkannte, und hat den Punkt des Himmels aufgesucht und seinen Ort mit Bezug auf die umgebenden Gestirne bestimmt, welcher bei dieser täglichen, scheinbaren Bewegung ruhend am Himmel zu bleiben scheint. Weiterhin ist wohl bemerkt worden, daß an verschiedenen Stellen der Erde dieser Punkt nicht gleich hoch über dem Horizont stand, daß die Dauer des Verweilens eines und desselben Sternes über dem Horizont, das heißt die Zeit von seinem Aufgang bis zu seinem Untergang, auch für verschiedene Orte nicht die gleiche war, und daß auch in Übereinstimmung mit der Änderung der Höhe des Poles des Himmels die größten und kleinsten Höhen heller Sterne mit dem Ort auf der Erde wechselten. Es mag wohl diese Tatsache zuerst ohne Zuhilfenahme von Instrumenten dadurch wahrgenommen worden sein, daß an gar nicht weit voneinander entfernten Orten ein Stern für den einen Ort noch über dem Horizont erschien, der an dem anderen Ort nicht mehr wahrnehmbar wurde, oder daß an solchen verschiedenen Orten verschiedene Gestirne den Zenitpunkt, das heißt denjenigen Punkt, in welchem die verlängerte Lotlinie das Himmelsgewölbe trifft, erreichten. Es wird erzählt, daß zu Zeiten des Posidonius, also schon Jahrtausende nach dem Beginn der menschlichen Wahrnehmungen am Himmel, eine solche Beobachtung den Anlaß zur Bestimmung der Größe der Erde gegeben habe, die erste Angabe, welche wir darüber besitzen.

Wo wir den Ausgangspunkt der menschlichen Kultur auf der Erde zu suchen haben, wird ein Problem der anthropologischen Wissenschaft bleiben müssen, sicher aber ist wohl, daß in den subtropischen Gebieten des asiatischen Festlandes diejenigen Gegenden vermutet werden dürfen, in denen die Beobachtungen des gestirnten Himmels ihre Wiege haben. Die ältesten wirklichen Aufzeichnungen, die auf uns gekommen sind, stammen aus dem Gebiete zwischen Euphrat und Tigris, aus dem Niltale und aus den alten Kulturländern des fernen Ostens. Man kann wohl annehmen, daß die Anfänge der Himmelsbetrachtung in ihrer einfachsten oben zitierten Form nicht an einem Ort, von einer menschlichen Gemeingruppe ausgegangen sind, sondern daß sich die ersten Feststellungen über die Bewegungen der Gestirne an verschiedenen Stellen der Erde unabhängig voneinander entwickelt haben. Bald nach diesen ersten Anfängen werden die Resultate solcher Betrachtungen, die Verknüpfung derselben mit irdischen Vorgängen, ihre Aneinanderreihung und ihr zeitlicher Verlauf durch die Wanderungen der Völ-

kerschaften und später durch einzelne Personen, die zur Erweiterung ihrer Anschauungen oder aus anderen Gründen ihren Wohnsitz wechselten und ferne Gegenden aufsuchten, von Volk zu Volk übertragen worden sein. Dadurch hat sich dem Interesse an der zeitlichen Folge zwischen den Erscheinungen am Himmel auch bald ein örtliches, von der Beobachtungsstelle auf der Erde abhängiges, angegliedert.

Notwendigkeit
der Orts-
bestimmung.

Die Grundlage aller Geschichte ist die Zeitrechnung, und diejenige der räumlichen Erkenntnis ist der Begriff der Ortsveränderung; als beide verbindend mag man die Eigenschaft der Materie ansehen, zu verschiedenen Momenten verschiedene Orte des Raumes einzunehmen. Die Bewegungsänderung muß zustande kommen durch eine äußere Einwirkung, durch eine Kraft. Die Beziehungen zwischen Zeit, Ort und Kraftwirkungen hat man zu ergründen versucht. Dieses Bestreben hat den Begriff der Wissenschaft gestaltet, denn Wissenschaft ist eben die Aufsuchung von Gesetzmäßigkeiten im Verlaufe oder in der Anordnung der Ereignisse und der Materie.

Um Veränderungen und Bewegungen festzustellen nach Größe und Dauer, ist es aber vor allem nötig, den Zustand dessen, was verglichen werden soll, für jeden bestimmten Zeitpunkt festzustellen.

II. Die Ortsbestimmung der Gestirne. Die astronomische Wissenschaft hat diese Betrachtungen auf den Anblick des Himmels, auf die Gestalt des Firmaments und auf die Vorgänge an demselben angewendet. Dazu war es also erforderlich, daß man den Ort der Gestirne mit Bezug auf das sichtbare Himmelsgewölbe, welches den Alten in Verbindung mit der sichtbaren Erdoberfläche die Welt schlechthin bedeutete, und mit Bezug auf die verschiedenen Orte der Erde, die der Mensch anfangs zu erreichen vermochte, zu bestimmen suchte. An der Sphäre geschah dies zunächst dadurch, daß man die Gestirne nach ihrer gegenseitigen Stellung zueinander in Gruppen zusammenfaßte, deren Gestaltung und ursprüngliche Bedeutung uns heute kaum noch vollständig zu enträtseln gelingt. Das sind die zum Teil seit den ältesten Zeiten, wenn auch nicht in ganz einheitlicher Form, bekannten und zur Orientierung am Himmel benutzten „Sternbilder“.

Auf der Erde hat man Richtungen der Bewegung zunächst nach der Gestaltung der Erdoberfläche angegeben; man ging talauf, talab, nach einem Berggipfel zu und dann nach Sonnenaufgang, nach Sonnenuntergang, nach Mittag zu, d. h. nach derjenigen Richtung, die die Sonne durch ihre Stellung um die Mitte der Zeit zwischen ihrem Auf- und Untergang einnahm, oder nach der gerade entgegengesetzten Richtung, nach Mitternacht. So verband man ohne weiteres die Vorgänge im Laufe der Sonne, d. h. ihre Stellung am Himmel mit den Ortsbezeichnungen auf der Erde.

Durch alle Stufen der geistigen Entwicklung der Völker sind diese Beziehungen bestehen geblieben; immer weiter, immer den Einzelheiten mehr und mehr Rechnung tragend haben sie sich ausgebildet. Dazu war es aber nötig, sichere Bestimmungen der Gestirnorthe und ein von Zufälligkeiten der

Beobachtung unabhängiges, allgemein und für jeden Ort auf der Erde gültiges System fundamentaler Punkte, Linien oder Ebenen, also ein Koordinatensystem, zu besitzen.

Die Richtung des herabhängenden Lotes, die Mittagslinie und der Winkel, den die Richtungslinie nach der Sonne zur Zeit ihres höchsten Standes, also bei ihrer Kulmination mit der Lotrichtung einschließt, gaben zunächst die Grundlagen für Koordinatensysteme ab. Bei Nacht wurde die Meridianrichtung durch denjenigen Punkt des Himmels gekennzeichnet, der bei der täglichen Bewegung der Gestirne in Ruhe zu bleiben scheint und in dessen Nähe ein heller Stern, der Polarstern (α Ursae minoris, Cynosura) stand. Die Richtung nach diesem Punkt des Himmels bestimmt zugleich auch die Richtung der Umdrehungsachse der Erde. Die Umdrehungsachse der Erde hat eine im Raume, abgesehen von sehr kleinen Bewegungen, konstante Richtung. Die zu ihr senkrecht stehende Ebene, welche man sich durch den Mittelpunkt der Erde, also auch durch den scheinbaren Mittelpunkt der Himmelsphäre gelegt denkt, ist die Äquatorialebene. Diese Ebene schneidet am Himmel einen größten Kreis ab, welcher den Horizont genau im Osten und im Westen trifft, und in dem die Sonne steht zu einer Zeit, die zwischen den Momenten, in denen sie ihre größte und ihre kleinste Höhe im Meridian erreicht, in der Mitte liegt. Diese Ebene des Äquators bildet ebenso wie die Horizontalebene die Grundlage eines Koordinatensystems. Ein drittes System fundamentaler Richtungen lieferte die Bewegung der Sonne selbst. Es ist nicht schwer gefallen, den Verlauf dieser Bewegung zwischen den Gestirnen festzustellen. Die Verschiebung der Sonnenorte in der Richtung senkrecht zum Äquator wurde zunächst bemerkbar durch den Wechsel der Punkte ihres Auf- und Unterganges und durch die Veränderungen in der Schattenlänge eines senkrechten Stabes um die Zeit des Mittags während der Zeit ihres scheinbaren Umlaufes um die Erde. Ihre Ortsveränderung in der Richtung der täglichen Bewegung, also ihr Fortschreiten zwischen den Gestirnen von West nach Ost, nahm man wahr an dem aufeinanderfolgenden Erscheinen und Verschwinden der hellen Sterne (vgl. S. 65). Der griechische Astronom Eudoxos nahm an, daß die hellsten Sterne wieder sichtbar würden, wenn die Sonne sich um 15 Grad von ihnen entfernt habe. Durch die Beobachtung der nach und nach aus den Sonnenstrahlen wieder auftauchenden Gestirne konnte man dann den Verlauf der Sonnenbewegung in westöstlicher Richtung zwischen den Gestirnen feststellen, ihre Orte mit Bezug auf die Gestirne in die Sternkarten eintragen. Die Vergleichung des längsten und kürzesten Schattens eines senkrechten Stabes (Gnomon) lieferte den Winkel, unter dem diese Sonnenbahn, die Ekliptik, gegen die Äquatorialebene geneigt ist.

Die ersten wirklichen Beobachtungsergebnisse.

Diese Neigung, die sogenannte Schiefe der Ekliptik, die sich als halber Unterschied zwischen der durch den längsten und den kürzesten Schatten bestimmten Höhe ergab, ist zu allen Zeiten mit großem Interesse gemessen worden, sie bildet eines der wichtigsten Bestimmungsstücke für die Bewe-

Lage und Bewegung der Ekliptik.

gung der Himmelskörper im Raume mit Bezug auf die verschiedenen Koordinatensysteme. Einige der bekanntesten historischen Bestimmungen der Schiefe der Ekliptik (ϵ) mögen hier einen Platz finden:

Tschou-Kung in Loyang (um 1100 v. Chr.)	$\epsilon = 23^{\circ} 54'$
Eratosthenes in Alexandrien (um 220 v. Chr.)	23 45 7''
Albategnius in Damaskus (um 879 n. Chr.)	23 35 41
Ulug-Begh in Samarkant (1437 n. Chr.)	23 31 48
Bradley in Greenwich (1750 n. Chr.)	23 28 18
Bakhuijzen in Leiden für 1870 n. Chr.	23 27 22

Der jüngst verstorbene amerikanische Astronom Newcomb hat auf Grund dieser und vieler neuen Messungen den allgemeinen Ausdruck:

$$\epsilon = 23^{\circ} 27' 31'',68 - 46'',837 \left(\frac{t-1850}{100} \right) - 0'',0085 \left(\frac{t-1850}{100} \right)^2 + 0'',0017 \left(\frac{t-1850}{100} \right)^3$$

abgeleitet. Lagrange fand:

für 29 400 v. Chr.	27 ^o 31'
„ 14 000 „	21 20
„ 2 000 „	23 53
„ 6 600 n. Chr.	22 54
„ 19 300 „	25 51 usf.

In sehr langen Perioden schwankt demnach die Schiefe der Ekliptik zwischen den Grenzen $27\frac{1}{2}^{\circ}$ und $21\frac{1}{2}^{\circ}$.

Von besonderer Bedeutung sind die beiden Punkte, in denen die Sonne auf ihrem Laufe zwischen den Sternen die Äquatorlinie erreicht, da zu diesen Zeiten Tag und Nacht für alle Orte auf der Erde gleich lang werden (abgesehen von der Wirkung der Refraktion). Diese Punkte, die Äquinoktialpunkte, gehören dem System der Ekliptik und dem des Äquators an, sie spielen daher ebenso wie der Winkel, den Ekliptik und Äquatorialebene miteinander einschließen, eine besondere Rolle bei der Umwandlung der Ortsangaben für die Gestirne in beiden Systemen, wie man diese nach den Regeln der sphärischen Trigonometrie auszuführen pflegt.

Auch die Lage dieser Punkte ist im Laufe der Zeit Veränderungen unterworfen, die ebenso wie die Variation der Schiefe der Ekliptik herrühren von dem nach den Gravitationsgesetzen notwendigen Bestreben der Körper des Sonnensystems, die Lage der Umdrehungsachse unserer Erde stetig zu verändern, wie dies im vorigen Abschnitte bereits auseinandergesetzt wurde. Diese Veränderungen der Koordinatenebenen zueinander nennt man die Präzession. Sie bewirkt, daß die Durchschnittspunkte zwischen Äquatorial- und Ekliptikebene sich im Jahre um $50'',2524 + 0'',000227 (t - 1850)$ auf der Ekliptik verschieben. Gleichzeitig geht aber auch noch eine kleine Verschiebung dieser Durchschnittspunkte in der Ebene des Äquators vor sich. Beide zusammen bewirken, daß die auf die Lage des Äquators, wie sie für einen bestimmten Moment, z. B. 1850,0 galt, bezogenen Orte der Gestirne sowohl in Rektaszension als auch in Deklination Veränderungen erleiden,

die nach Peters und Struve die Beträge von $46'',0765 + 0'',00028 (t - 1850)$ und $20'',0564 - 0,000066 (t - 1850)$ besitzen, wo t immer den Zeitpunkt bedeutet, für den man die Orte der Gestirne kennen lernen will. Diese Verschiebungen werden die einzelnen Sternpositionen gemäß deren Lage zur Äquatorialebene und zum Äquinoktialpunkt beeinflussen. Die Vergleichung der für weit auseinanderliegende Epochen geltenden Gestirnsorte miteinander liefert mit der zunehmenden Genauigkeit dieser Bestimmungen immer sichrere numerische Werte für die in den angeführten Präzessionsausdrücken enthaltenen Konstanten.

Eine Veränderung der Fundamentebenen gegeneinander wird auch noch durch die Bewegung des Mondes um die Erde und durch die Änderung in der Lage seiner Bahnebene, die in einer Periode von nahezu 19 Jahren vor sich geht, bewirkt. Die dadurch erzeugte scheinbare Ortsveränderung der Gestirne ist die ebenfalls schon im vorhergehenden Abschnitt besprochene Nutation. Sie beträgt nach Peters $9'',2236$ und beeinflusst die Orte der Gestirne wiederum verschieden, je nach deren Stellungen zu den Fundamentebenen.

Als weiterer, bekannter Einfluß auf die für eine bestimmte Zeit gültigen Sternpositionen ist die Aberration wirksam, die bedingt wird durch den Umstand, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des von den Gestirnen zu uns kommenden Lichtes nicht als unendlich groß (sie beträgt 300 000 km in der Sekunde) gegenüber der Bewegungsgeschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn angesehen werden kann. Das Verhältnis beider Bewegungsgrößen zueinander liefert sofort den Maximalbetrag der Aberration. Ihre Einwirkung auf die Orte der Gestirne ist direkt abhängig von dem Winkel, den die jeweilige Bewegungsrichtung der Erde mit der Sehrichtung nach dem betreffenden Stern hin einschließt. Ihr Betrag wird also die Periode eines Jahres haben; ebenso wie die Veränderung, welche durch die Parallaxe in den scheinbaren Gestirnsorten hervorgebracht wird. Diese wird bedingt durch die im Laufe eines Jahres erfolgende Ortsveränderung der Erde gegenüber dem betreffenden Sterne, sie ist also im Maximum gleich dem Winkel, unter dem von dem Gestirne aus die halbe große Achse der Erdbahn erscheint.

Die Bewegung des scheinbaren Himmelsgewölbes um die Erde hat auch zugleich die Mittel an die Hand gegeben, die Richtungs- und Ortsbestimmungen auf der Erde selbst aus den ersten oben geschilderten Anfängen heraus auf allgemeinen Prinzipien aufzubauen. Es wird diese Bezugnahme in ihren ersten Anfängen Hipparch zugeschrieben, indem er den mit der Polhöhe gleichbedeutenden Abstand eines Ortes von der Äquatorialebene als geographische Breite einführte. Durch den Zeitunterschied, welcher zwischen den Kulminationsmomenten der Sonne oder eines hellen Gestirnes an verschiedenen Orten wahrgenommen wird, war ein Maß für die ostwestliche Entfernung zweier Orte unmittelbar gegeben, und diese Verschiedenheit hat auch schon Ptolemäus und vor ihm vielleicht schon andere zur Lagenbestimmung der Erdorte gegeneinander benutzt. Ptolemäus hatte

Geographische
breite und
ographische
Länge.

ganz zweckmäßig als Ausgangspunkt für diese Zählung den Ort, an dem er beobachtete, nämlich Alexandrien, gewählt. Später hat er diesen Anfangspunkt der Längenzählung aber wieder aufgegeben und den viel weniger sicher definierbaren Meridian der Fortunateninseln (die Kanarischen Inseln) als den des westlichsten damals bekannten Landes angenommen.

Diese einfachen Betrachtungen enthalten an sich noch keinerlei spekulatives Moment über den Zusammenhang der dem direkten Anblick sich darbietenden Bewegungsverhältnisse, die den Himmelskörpern zukommen mit Bezug auf die als feststehend angenommene Erde. Allerdings ist schon die Annahme der Kugelgestalt unseres Planeten in die Einteilungsgrundlagen und Ortsangaben mit hineingezogen und sind tatsächlich schon alle Begriffe festgelegt, welche noch heute als Grundlage aller astronomischen Ortsbestimmungen und Forschungen dienen. Drei Koordinatensysteme sind es demnach, in welche wir die Resultate unserer Messungen am Himmel und auf der Erde, soweit sie sich auf Ortsangaben beziehen, einzuordnen pflegen. Das sind:

Die gebräuchlichen Koordinatensysteme.

I. Das System des Horizontes, auf welches heute fast alle fundamentalen astronomischen Ortsbestimmungen bezogen werden,

II. das System des Äquators, dessen Grundebene derjenige größte Kreis ist, welcher auf der scheinbaren Umdrehungsachse des Himmels, also auch auf der Erdachse senkrecht steht,

III. das System der Ekliptik, welches die Ebene der scheinbaren Sonnenbewegung, also die Ebene, in der sich die Erde um die Sonne bewegt, zur Grundlage hat.

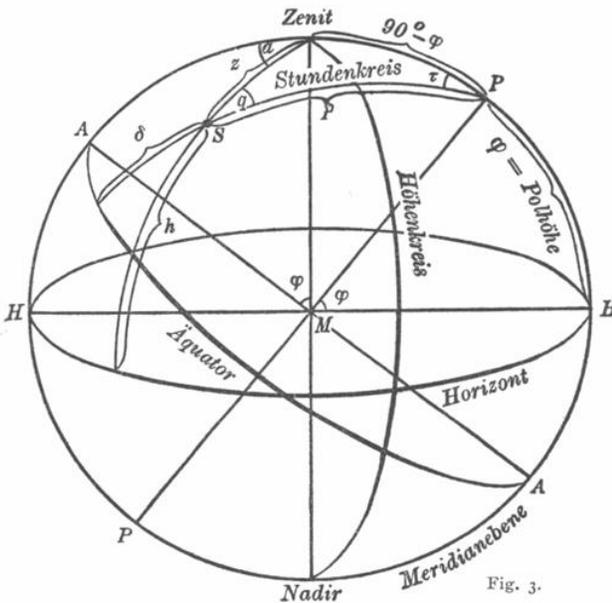


Fig. 3.

Horizontalebene senkrecht stehen, schließen mit dem Meridian die als Azimute (a) bezeichneten Winkel ein. Auf ihnen werden die Abstände der Gestirne vom Zenit ($z = \text{Zenitdistanz}$) oder vom Horizont ($h = \text{Höhe}$) gemessen.

System II. Um den Betrag 90° weniger der geographischen Breite (φ) gegen die Horizontalebene geneigt, schneidet diese die Ebene des Äquators

in einer durch den Ost- und Westpunkt gehenden Geraden. Auf der Ebene des Äquators senkrecht stehen die Stundenkreise, die sich im Nord- und Südpol des Himmels schneiden. Von diesen Stundenkreisen ist derjenige der „nullte“, welcher durch den Frühlingspunkt geht, d. h. durch denjenigen Punkt, welchen die Durchschnittslinie der Äquatorial- und Ekliptikalebene trifft. Die auf dem Äquator gemessenen Abstände der Stundenkreise von dem nullten Stundenkreis, gezählt in der Richtung der Umdrehung der Erde um ihre Achse, nennt man Rektaszensionen (α). Auf den Stundenkreisen werden die Deklinationen (δ) der Gestirne gemessen als Abstände von der Äquatorialebene. Das Komplement dazu ist die Poldistanz (ρ). Den Winkel, welchen ein bestimmter Stundenkreis mit dem Meridian einschließt, nennt man seinen Stundenwinkel (τ), entweder gezählt von Süd über West durch Nord und Ost bis 360° oder von Süd nach West und Ost als positive und negative Stundenwinkel bis 180° . Der Winkel zwischen Polarachse und Horizont, die Polhöhe, ist identisch mit der geographischen Breite (φ).

System III. Die Ebene der Ekliptik schneidet die Äquatorialebene in einer Linie, welche diejenigen Stellen beider größten Kreise miteinander verbindet, in denen sich die Sonne befindet, wenn ihre Deklination Null ist. Die Neigung beider Ebenen gegeneinander ist die Schiefe der Ekliptik. Die auf der Ebene der Ekliptik senkrecht stehenden größten Kreise gehen je durch alle Punkte gleicher Länge (λ), welche von dem durch den Frühlingsanfangspunkt hindurchgehenden größten Kreis dieser Art aus gezählt werden. Auf diesen Kreisen mißt man die „Breiten“ der Gestirne (β) als Abstände von der Ekliptikalebene.

Das sphärische Dreieck, welches gebildet wird von dem Bogen des Meridians $90 - \varphi$, dem Bogen des Höhenkreises z und dem Bogen des Stundenkreises $90^\circ - \delta$ oder ρ , und dessen Ecken das Zenit, der Himmelspol und ein Gestirn, für welches δ und z gegeben bzw. gemessen sind, enthält außerdem als Winkel $180 - a$ die Ergänzung des Azimuts zu 180° , den Stundenwinkel τ und am Gestirn den sogenannten parallaktischen Winkel q . Dieses Dreieck ist, wie weiter unten gezeigt wird, von größter Bedeutung für alle Aufgaben der astronomischen Ortsbestimmung.

Das
„astronomische“
Dreieck.

Das zweite Koordinatensystem, auf die Erde übertragen, liefert die Grundlage für die irdischen Ortsangaben. Das erste System kann mit den beiden anderen nur durch die Hinzufügung einer Zeitangabe in Verbindung gebracht werden, denn während des Verlaufes einer vollen Umdrehung der Erde um ihre Achse nimmt der Horizont eines Ortes alle Lagen gegenüber den Gestirnen ein, die er überhaupt nach Lage des betreffenden Ortes einnehmen kann. Für den Erdpol selbst wird der Horizont stets mit dem Äquator zusammenfallen (abgesehen von der Wirkung der Refraktion), er wird seine Lage gegenüber den Gestirnen stets beibehalten. Für einen Ort am Äquator der Erde wird der Horizont stets mit einem größten Kreis zusammenfallen, der durch beide Pole geht und senkrecht zur Äquatorialebene steht, er wird im Laufe einer Umdrehung der Erde nach

und nach durch alle Punkte des Himmels hindurchgehen, d. h. am Pol werden die überhaupt sichtbaren Sterne stets sichtbar bleiben, also alle weder auf- noch untergehen, am Äquator dagegen werden alle Sterne auf- und untergehen, und sie werden alle gleich lange über und unter dem Horizont verweilen.

Schon die einfachste Beobachtung des gestirnten Himmels ließ im Laufe kurzer Zeit erkennen, daß es unter allen Sternen, die das bloße Auge wahrnimmt, außer Sonne und Mond noch einige Gestirne gibt, die ihren Ort zwischen den scheinbar feststehenden, den Fixsternen, stetig verändern. Von diesen „Wandelsternen oder Planeten“ waren schon den alten Babyloniern fünf bekannt, deren Bezeichnungen vielfach gewechselt haben, die aber immer mit den Göttergestalten in Beziehung gebracht wurden; ihre Bewegungen haben zum Teil Veranlassung gegeben, die Gestirne näher zu bezeichnen und später in die oben definierten Koordinatensysteme einzuordnen. Denn nur so war es möglich, den Lauf dieser Wandelsterne gegenüber den festen Gestirnen zu verfolgen.

Die scheinbar festen Gestirne gaben schon von allem Anfang an gewissermaßen das Gerippe für die Ortsangaben, und bevor man noch die Koordinatensysteme einführte, beschrieb man die Stellungen der Wandelsterne oder auch wohl die der wahrgenommenen Kometen nach den Sternen, denen sie nahe kamen. Wann die Gruppierung der Sterne zu den heute gebräuchlichen Sternbildern stattgefunden hat, ist schwer zu sagen, auf alle Fälle war ein Teil derselben schon den Chaldäern und Babyloniern bekannt, wenn auch unter anderen Namen. Nach mehrfachem Wandel, nach Einführung der Zwölferteilung, die wahrscheinlich mit dem Wechsel der Lichtgestalten des Mondes zusammenhängt, bildeten sich die sogenannten Tierkreisconstellationen heraus. Mythologische Gestalten versetzte man, um ihnen eine Ehre zu erweisen, an den Himmel und verband den Begriff ihrer Gestalt mit bestimmten Gestirnen und mit der gegenseitigen Anordnung derselben. So entstanden nach und nach all die Sternbilder, in die wir heute die Gestirne bei Gelegenheit allgemeiner Beschreibungen des Anblickes des gestirnten Himmels und zum Zwecke ihrer einfachen Benennung noch einzuordnen pflegen. Diese einzelnen Sternbilder sind zu sehr verschiedenen Zeiten eingeführt worden. Einzelne davon sind sehr neuen Datums, und sie sind meist entstanden, um, geradeso wie es früher geschehen war, hervorragende Personen zu ehren oder gewissen bedeutenden Ereignissen oder Erfindungen zum Gedächtnis. Es mag hier nur an die „Karlseiche“, die Halley zum Gedächtnis an König Karl II. von England einführte, an das „Brandenburgische Zepter“ Gottfried Kirchs, an die „Georgsharfe“ (König Georg III.), an das „Spiegelteleskop“ des Pater Hell oder an die „Friedrichsehre“ des Berliner Astronomen Bode und an dessen „Buchdruckerpresse“ erinnert werden. Ein Teil dieser Sternbilder fand Platz an Stellen des Himmels, die die alten historischen Sternbilder nicht ganz ausfüllten, oder sie wurden, was eigentlich viel schlimmer war, aus Teilen alter Sternbilder zusammengesetzt. Es

ist dadurch mancherlei Verwirrung in der Abgrenzung der Sternbilder und in der Zuordnung der einzelnen Sterne zu ihnen entstanden. Zum größten Teil sind diese neuen Bezeichnungen wieder außer Gebrauch gekommen, da sie den gegenwärtig gebräuchlichen mehr einheitlichen und wissenschaftlichen Methoden der Ortsangabe nicht mehr entsprechen. Die charakteristischen Figuren, die man in diese Sternbilder einzeichnete, finden sich heute auf älteren Globen und Sternkarten in überreicher Deutlichkeit, so daß ihre Formen die Bezeichnung der Sterne fast völlig verdecken. Um solchen Auswüchsen der zeichnerischen Phantasie vorzubeugen, hat man versucht, und zwar besonders in neuerer Zeit, von der alten Einteilung des gestirnten Himmels in Sternbilder ganz abzusehen oder diesen eine Gestalt zu geben, die mit ihrer alten Bedeutung nur in ganz losem Zusammenhang steht, die früheren Grenzen fast völlig verwischt und sie durch Teile von Stunden- und Parallelkreisen ersetzt. Eine solche Anordnung der kaum noch den Namen Sternbilder verdienenden Flächengebilde ist z. B. in der neuesten Ausgabe des Stiellerschen Handatlas von Prof. Rohrbach eingeführt worden, sie dürfte sich aber kaum allgemeiner Billigung bei den Astronomen erfreuen.

In dem ältesten auf uns gekommenen Sternverzeichnis, dem des Hipparch, welches Claudius Ptolemäus uns in seinem Almagest übermittelt hat, sind im ganzen 21 Sternbilder nördlich des Tierkreises und 15 südlich desselben und die 12 Sternbilder des Tierkreises selbst aufgeführt. In der Beschreibung dieser Sternbilder sind die Gestirne nach den charakteristischen Teilen der Figur, unter der man sich das Sternbild dachte, beschrieben. Ihre Orte werden nach Länge und Breite angegeben. So heißt es z. B. im I. Sternbild, dem kleinen Bären, welches der mit dem fünften Kapitel des siebenten Buches des Almagest beginnende Katalog aufführt, „der am Ende des Schwanzes“, der 2. Stern ist angeführt als „der nach diesem im Schwanze“ usw. Ähnlich ist die Bezeichnung bei allen Sternbildern getroffen. Auch in den alten Sternbeschreibungen der Chinesen finden sich ähnliche Bezeichnungen.

Bezeichnung
der Gestirne
und Stern-
verzeichnisse.

Daß diese Art der Gestirnsbenennung häufig zu Irrtümern Veranlassung gab, ist leicht verständlich, aber trotzdem wurde dieselbe noch über ein Jahrtausend beibehalten, und erst im 16. Jahrhundert machte Piccolomini den Vorschlag, den Sternen der einzelnen Sternbilder Buchstaben beizulegen und sodann Name des Sternbildes und Buchstaben gleichzeitig zur Bezeichnung des Sternes zu verwenden.

Aber erst zu Anfang des 17. Jahrhunderts führte der Augsburger Rechtsanwalt Johannes Bayer in seiner Uranometria diesen Vorschlag praktisch durch, indem er die Sterne derart mit den griechischen Buchstaben bezeichnete, daß im allgemeinen der hellste Stern eines jeden Sternbildes den Buchstaben α erhielt, der zweithellste mit β bezeichnet wurde usw. Die von Bayer eingeführte Bezeichnung erstreckte sich nur auf die helleren Sterne des Himmels etwa bis zur 3. und 4. Größe herab. Wo die Buchstaben des

griechischen Alphabetes bei einer größeren Anzahl von Sternen in einem Sternbilde nicht ausreichten, wurden lateinische Buchstaben schon von Bayer oder von späteren Astronomen hinzugenommen. Der englische Astronom Flamsteed verwendete in seinem Atlas und Sternverzeichnis, welche 1729 in London erschienen, nicht nur die griechischen und lateinischen Buchstaben, sondern setzte, wie es im Almagest schon geschehen war, den Sternen noch Zahlen bei. So sind in den heutigen Sternverzeichnissen eine Anzahl von Bezeichnungen nebeneinander gebräuchlich, die zur näheren Identifizierung der Gestirne etwa bis zur 6. Größe verwendet werden.

Mit der Erfindung des Fernrohres, dessen Gebrauch sofort die Möglichkeit gab, weit schwächere Gestirne zu erblicken, hörte natürlich die Fortsetzung einer Bezeichnung in dem oben angeführten Sinne von selbst auf. Die Zahl der beobachtbaren Sterne wurde so groß, daß andere Mittel zu ihrer Bezeichnung verwendet werden mußten. Das einzig Mögliche gab dann die Einordnung in ein zölestisches Koordinatensystem ab, und zwar ohne Rücksicht auf die Begrenzung der Sternbilder. Schon in dem Sternverzeichnis des Ptolemäus finden wir neben der oben gegebenen Beschreibung des Gestirnes diejenige nach Länge und Breite. In einer besonderen Rubrik ist die Länge des Gestirnes durch das Zeichen des Tierkreises und durch den Grad in diesem Zeichen angegeben, in einer weiteren Rubrik gibt er den Abstand des Gestirnes von der Ebene der Ekliptik, die Breite in Graden und Minuten. Es ist oben angedeutet worden, in welcher Weise die Alten zu diesen Sternpositionen gelangten, und es muß zu den Angaben des Ptolemäus bemerkt werden, daß sie wohl nur zum kleinen Teil auf eigenen Beobachtungen beruhen, zum größten Teil den Aufzeichnungen des Hipparch, die aber im Original nicht auf uns gelangt sind, entnommen wurden unter Hinzufügung einer Verbesserung von 2 Grad und 40 Minuten, um welchen Betrag sich der Anfangspunkt der Zählung der Längen, der Frühlingsanfangspunkt, gegenüber den Gestirnen in der Zwischenzeit längs der Ekliptik verschoben hatte. Auch in den späteren Sternverzeichnissen, wie sie uns von dem persischen Astronomen Al-Sûfi, der im 10. Jahrhundert zu Bagdad beobachtete, und von dem arabischen Astronomen Ulug-Begh aus dem 15. Jahrhundert und einigen anderen überliefert worden sind, finden wir die Anordnung der Gestirne nach ihren Längen und Breiten, allerdings noch mit der Abgrenzung nach Sternbildern aufgeführt. Der letztgenannte Astronom war wohl der erste, welcher nach Hipparch und Ptolemäus wieder die Positionen der Gestirne selbständig beobachtete und in sein Verzeichnis eintrug. Er selbst sagt in dem Vorwort zu seinen Tafeln: „Wir haben alle Positionen der Sterne, welche schon bekannt waren, neu beobachtet mit Ausnahme von 27 Sternen, die in der Breite von Samarkand nicht sichtbar sind. Das sind 7 im Sternbild des Altars, 8 in dem des Schiffes, 11 im Centaur und 1 im Wolf“. Die Positionen dieser 27 Sterne entnahm er aus dem Verzeichnis des Al-Sûfi, indem er die Differenz der Längen für die beiden Epochen anbrachte.

Als der erste Astronom des Mittelalters, welcher tatsächlich selbständige Beobachtungen ausführte, und zwar mit einer bis dahin ungewöhnlichen Genauigkeit, wird gewöhnlich Tycho de Brahe angesehen, der zu Ende des 16. Jahrhunderts auf seiner Sternwarte Uranienburg auf der Insel Hven und später in Prag mit den von ihm selbst konstruierten und gebauten Instrumenten seine Beobachtungen durchführte. In verschiedenen Schriften hat er die Resultate seiner Messungen niedergelegt, und schließlich ist in den von Kepler verfaßten *Tabulae Rudolphinae* ein Katalog von 1005 Sternen gegeben (geordnet nach Längen und Breiten) für die Epoche von 1601. Eine kleine Liste von 64 Sternen hatte bereits im 15. Jahrhundert der gelehrte Kardinal Nikolaus Cusanus neu beobachtet. Fast gleichzeitig mit Tycho de Brahe erbaute in Kassel der Landgraf Wilhelm von Hessen ein Observatorium, in welchem er selbst in Gemeinschaft mit seinen Gehilfen Christoph Rothmann und Justus Bürgi eifrig beobachtete und als Resultat dieser Beobachtungen einen Sternkatalog zusammenstellte, der 1034 Sterne nach Längen und Breiten geordnet enthält. Tycho de Brahe gibt denselben mit Positionen für 1594 in seiner „*Historia Coelestis*“. Aus den Originalmanuskripten hat später Lacaille nach der Besitzergreifung Kassels durch die Franzosen aus den dortigen Archiven die Beobachtungen des Landgrafen und Rothmanns Abschriften mit nach Paris gebracht. Sein daraus zusammengestellter Katalog enthält 900 Sterne. Eine größere Anzahl von Sternverzeichnissen ist in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts erschienen, welche zum größten Teil Neureduktionen aus Keplers *Tabulae Rudolphinae* oder aus den älteren Katalogen enthalten. Davon macht nur der italienische Astronom Riccioli eine Ausnahme, welcher ein Verzeichnis von nahezu 1500 Sternen für die Epoche 1701 gab, welches auf eigenen Beobachtungen, die er und Grimaldi zusammen in Bologna anstellten, beruht. In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts beobachtete dann mit ausgezeichnetem Erfolge der Danziger Astronom Hevelius und gab einen Katalog von 1888 Sternen heraus, von denen 950 mit den Verzeichnissen der Araber übereinstimmten, 603 von ihm selbst neu beobachtet waren und in dem er weiterhin 335 aus dem kurz vorher bekannt gewordenen Verzeichnisse des englischen Astronomen Halley, welcher um jene Zeit auf der südlichen Halbkugel beobachtet hatte, entnahm. Um jene Zeit begann man auch neben den Längen und Breiten die Rektaszension und Deklination in den Verzeichnissen anzugeben, weil die Resultate der Beobachtungen, die als Höhen und als Azimute erhalten wurden, leichter in Rektaszension und Deklination mit Hilfe der geographischen Breite verwandelt werden können, ohne Zwischenschaltung der Schiefe der Ekliptik, die ja eigentlich mit den Orten der Gestirne direkt auch nichts zu tun hat. Alle bisher genannten Beobachter mit Ausnahme Halleys hatten ausschließlich auf der nördlichen Halbkugel beobachtet. Die Folge war, daß die Sterne der südlichsten Konstellationen nur mangelhaft ihrem Orte nach bekannt sein konnten, ja zum Teil nur auf sehr wenig genauen Beschreibungen ein-

Landgraf
Wilhelm
von Hessen.

Halley,
Flamsteed,
Bradley,
Tob. Meyer.

zelter Reisender in die Verzeichnisse eingetragen waren. Den ersten auf besseren Beobachtungen auf der südlichen Halbkugel beruhenden Katalog gab ein gewisser Jakob Bartsch heraus, dessen 136 Positionen auf den Reduktionen Peter Theodors, eines Seemanns, beruhten. Es war daher von großer Wichtigkeit, daß Edmund Halley im Jahre 1676, er war kaum 20 Jahre alt, sich nach der Insel St. Helena begab, um dort durch eigene Beobachtungen die bisherigen Sternverzeichnisse für die südliche Halbkugel zu ergänzen. Sein Katalog, den er 1679 kurz nach seiner Rückkehr herausgab, enthält die Orte von 341 südlichen Sternen. Eine Neureduktion dieses Katalogs hat später der englische Astronom Baily vorgenommen und in den Mem. Roy. Ast. Soc. vol. XIII veröffentlicht. Die zuletzt genannten Sternverzeichnisse bilden die Grundlagen der gegenwärtigen Forschungen über den Bau des Weltsystems. Erst sie sind mit der nötigen wissenschaftlichen Genauigkeit und Kritik der Beobachtungsdaten sowie mit Instrumenten ange stellt, die heutigen Anforderungen einigermaßen entsprechen. Auch waren erst um jene Zeit, allerdings im wesentlichen auf den Vergleichen mit den älteren Verzeichnissen beruhend, die nötigen Reduktionsdaten mit einigermaßen genügender Sicherheit bekannt geworden, um zu verschiedenen Zeiten angestellte Beobachtungen miteinander zu vergleichen und ihre Resultate auf ein und denselben Zeitpunkt (Epoche) mit Hilfe der Präzession zu reduzieren. Von wesentlich größerem Umfang als die bisherigen Sternverzeichnisse, selbst die des Hevelius und des Landgrafen von Hessen an Reichhaltigkeit und Genauigkeit übertreffend, ist der Katalog, welchen der Vorgänger Halleys in der Direktion der Kgl. Sternwarte zu Greenwich, Flamsteed, im Jahre 1725 mit 2934 Sternen bis zur 7. Größe herab im zweiten Bande seiner Hist. Cölst. Britan. veröffentlichte. Die großen Instrumente, die zum Teil nach eigenen Angaben Flamsteeds gebaut waren, gewährten eine große Genauigkeit der Beobachtungen. Seine Angaben in Verbindung mit denen des Hevelius sind nachmals mehrfach neu reduziert und mit dem Himmel verglichen worden, dahin gehören die Kataloge der Karoline Herschel, einer Schwester des berühmten Wilhelm Herschel, welche 1798 eine neue Zusammenstellung von 561 der Flamsteedschen Sterne herausgab, und die Baily'sche Bearbeitung, die 564 Sterne aufzählt. Von ganz besonderer Bedeutung wurden zwei weitere Kataloge, deren Epochen allerdings schon um etwa 50 Jahre später liegen, das sind diejenigen, welche der Abbé de Lacaille bei seinem Aufenthalte am Kap der guten Hoffnung zusammenstellte, und in noch hervorragenderem Maße der auf den Beobachtungen des englischen Astronomen Bradley beruhende, eines Nachfolgers von Flamsteed und Halley in der Direktion der Greenwicher Sternwarte. Hat der erstere für die Beschreibungen und Ortsbestimmungen der Gestirne der südlichen Halbkugel die Grundlage geschaffen, sein Katalog enthält 9766 Sterne, reduziert auf die Epoche 1750, so gibt der letztere in seinen mehrfachen Neubearbeitungen die fundamentalen Sternorte für die gesamten neueren Forschungen im Gebiete der Stellarastronomie. Einen sehr vollständigen Kata-

log hat am Schlusse des 18. Jahrhunderts der französische Astronom Lalande gegeben, der 47 390 Sternorte (Sterne bis zur 10. Größe) enthält. Die Positionen beruhen auf Beobachtungen zu Paris, die Berechnungen sind auf Kosten der „British Association“ ausgeführt und 1847 publiziert worden. In den letzten Dezennien wurden diese Lalandeschen Sterne in Paris neu beobachtet. — Die Neubearbeitung dieses Kataloges, die Bessel in seinen „Fundamenta Astronomiae“ gibt, enthält 3268 Sterne. Sie ist begründet auf einer vollständig neuen Diskussion der Beobachtungs- und Instrumentalfehler, welche den Greenwicher Beobachtungen Bradleys und seiner Gehilfen anhaften. In weitaus gründlicherer Weise und mit den Hilfsmitteln der neuesten Zeit, im besonderen durch Vergleich mit den fast gleichzeitigen Beobachtungen des Göttinger Astronomen Tobias Mayer hat Arthur Auwers, der Astronom der Kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin, eine Reduktion der Bradleyschen Beobachtungen vorgenommen. Abgesehen davon, daß die so gewonnenen Orte der Bradleyschen Sterne mit allen neuen Beobachtungen dieser Sterne verglichen wurden, ist auch in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts eine vollständige Neubestimmung aller Bradleyschen Sterne an dem großen Meridiankreis der Berliner Sternwarte von Prof. Küstner vorgenommen worden.

Herstellung
fundamentaler
Sternverzeich-
nisse durch
Auwers und
Newcomb.

Bevor hier weiter auf die Resultate dieser fundamentalen Arbeiten, die in Verbindung mit den an sehr vielen Observatorien im Laufe der letzten 200 Jahre gewonnenen Resultaten zu einer vollständigen „Geschichte des Fixsternhimmels“ unter der Leitung von A. Auwers durch die Kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin zusammengefaßt werden, eingegangen wird, möchte ich noch auf eine Anzahl von Sternverzeichnissen hinweisen, die entweder entstanden sind, um eine vollständige Zusammenstellung der mit einem nicht sehr großen Fernrohre überhaupt sichtbaren Gestirne zu geben, oder die die spezielle Erforschung einzelner Gegenden des Himmels oder bestimmter Zonen (Zonenbeobachtungen) sich zur Aufgabe stellen. Dahin gehören vor allem die ausgedehnten Beobachtungsreihen, deren Resultate z. B. Bessel in Königsberg in den Grenzen zwischen den beiden Wendekreisen oder in der sich daran anschließenden Zone bis 45 Grad nördlicher Breite ausführte, und die später M. Weiße sorgfältig auf das Jahr 1825 reduzierte. Der erstere Katalog umfaßt 31 085 Sterne und der zweite 31 445 bis zur 9. Größe herab. Kartierungen der Gestirne umfangreichster Art sind ausgeführt worden von Harding im „Neuen Himmelsatlas von 27 Tafeln, enthaltend die bis jetzt zwischen dem Nordpol und dem 30. Grade südlicher Abweichung beobachteten Sterne, Halle 1856“, etwa 60 000 Sterne. Weiterhin im Auftrage der Berliner Akademie die sogenannten akademischen Sternkarten, denen außer der Darstellung auf 24 Kartenblättern, je eine Stunde umfassend, auch Verzeichnisse beigegeben sind, die im ganzen 40059 Sterne enthalten. Die einzelnen Stundenblätter sind von verschiedenen Astronomen bearbeitet.

Ganz besonders gehört aber zu dieser Klasse der Sternverzeichnisse

das von Argelander und später von seinen Gehilfen Schönfeld und Krüger aus eigenen Beobachtungen zusammengestellte Bonner Sternverzeichnis, die sogenannte „Bonner Durchmusterung“, welches zunächst in drei Bänden erschien, von denen der erste die Sterne von -2 Grad bis $+20$ Grad, der zweite die von $+20$ bis $+41$ und der dritte diejenigen von 41 Grad bis zum Pol enthält. Die in den Verzeichnissen enthaltenen Sterne bis zur 9,5. Größe sind auch in einem großen Atlas eingetragen. Verzeichnisse und Atlas enthalten $110984 + 105075 + 108129$, also im ganzen 324188 Objekte, darunter eine Anzahl von Sternhaufen und Nebelflecken, die in dem für die Beobachtungen benutzten Kometensucher von 6 Zoll Öffnung noch gut sichtbar waren. Die Orte der Gestirne sind in diesem Verzeichnis nicht mit der äußersten erreichbaren Genauigkeit angegeben, was auch dem Zweck des Verzeichnisses, nämlich eine allgemeine Übersicht der mit mäßigen optischen Mitteln sichtbaren Sterne zu geben, vollkommen entsprach. Dieses Verzeichnis wurde später von Schönfeld allein fortgesetzt, und der von ihm herausgegebene Band umfaßt die Zonen zwischen 2 Grad und 23 Grad südlicher Deklination. Er enthält ebenfalls alle Sterne, welche mit dem gleichen Instrument in Bonn sichtbar sind, und die untere Grenze der Helligkeit ist sogar noch etwas weiter herabgesetzt, so daß das Verzeichnis die sogenannte „Südliche Durchmusterung“, im ganzen die genäherten Orte von 133659 Sternen enthält. Ähnlich wie für die auf der nördlichen Halbkugel sichtbaren Gestirne die Bonner Durchmusterung und Südliche Durchmusterung das vollständige Verzeichnis aller Gestirne bis zur 9,5. Größe enthalten, so besitzen wir auch für die südliche Halbkugel ein ähnliches Werk von Gould, die sogenannte Cordoba-Durchmusterung, welche die Gestirne zwischen 22 Grad und 41 Grad südlicher Deklination bis zur 10. Größe herab im ganzen 340215 enthält. Diese Durchmusterung ist später nach Süden fortgesetzt worden, und ein erheblicher Teil der Beobachtungen, allerdings mit genaueren Orten, ist in dem Cordoba-Generalkatalog enthalten. Alle diese Durchmusterungen, also Verzeichnisse, welche uns genäherte Orte der Gestirne geben, enthalten zusammen etwa 700000 Sterne. Durch das Zusammenwirken der genannten Astronomen sind wir also zu einem deutlichen Bilde des gestirnten Himmels gelangt, soweit es sich um Gestirne bis zur 9. oder 10. Größenklasse handelt.

Besonders waren es die Entdeckungen der kleinen Planeten, welche mit Anfang des vorigen Jahrhunderts begannen und sich nach und nach auf immer lichtschwächere Objekte ausdehnten. Hatte man im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts durch visuelle Beobachtungen etwa noch kleine Planeten entdeckt, welche zur Zeit ihrer Erdnähe eine Helligkeit zeigten, die etwa der 11. oder 12. Größenklasse entsprach, so war es auch für deren gesichertes Auffinden schon notwendig geworden, für bestimmte Gegenden des Himmels Sternverzeichnisse und namentlich Sternkarten anzufertigen, welche wesentlich schwächere Sterne verzeichneten als die vorgenannten Durchmusterungen und die auf ihnen beruhenden Kartenwerke. Besonders

sind solche Karten angefertigt worden durch Peters in Clinton und Palisa in Wien. Mit Anwendung der Photographie auf die cölestischen Beobachtungen ist es aber bald gelungen, auch Planetoiden von noch geringerer Helligkeit zu entdecken, und zwar in viel schnellerer Folge, als es früher der Fall war. Da ergab sich nun ganz von selbst die Notwendigkeit, die Photographie auch dazu zu verwenden, diejenigen Gegenden des Himmels zu kartieren, in denen diese kleinen Himmelskörper vorzugsweise sich bewegen. Aus diesem Bedürfnisse heraus gelangte man bald dazu, die photographischen Aufnahmen des Sternenhimmels in systematischer Weise auf den ganzen Himmel auszudehnen. So entstand eine große Vereinigung von Sternwarten, verteilt über die ganze Erde, welche, ausgerüstet mit gleichen Instrumenten, sich verpflichteten, bestimmte Zonen des Himmels photographisch aufzunehmen und so ein Bild des Himmels zu schaffen, welches direkt ohne Zwischenschaltung menschlicher Beobachtungstätigkeit eine genaue Darstellung der Gestirne nach Ort und Helligkeit liefert, wie sie die ersten Dezennien unseres Jahrhunderts sich gestaltet. Diese photographische Himmelskarte umfaßt nach den Festsetzungen der Pariser Konferenz vom Jahre 1896 alle Gestirne bis zur 13. Größenklasse. Die gewonnenen photographischen Aufnahmen werden aber auch dazu benutzt, durch genaue Messungen die Positionen der Gestirne im Verzeichnisse zusammenzufassen. Diese Arbeit ist gegenwärtig noch in vollem Gange, und es ist daher unmöglich, eine Schätzung über die Anzahl der auf den gewonnenen Platten und in dem herzustellenden Verzeichnis befindlichen Sterne zu geben; voraussichtlich werden es ihrer 8—10 Millionen sein.

Anwendung der
Photographie
auf die Kartie-
rung des
Himmels.

Neben diesen Arbeiten, die der allgemeinen Übersicht über den Bau des Universums dereinst zur Grundlage dienen werden, laufen einher noch eine große Anzahl spezieller Unternehmungen, die ebenfalls der Bestimmung der Orte der Gestirne in besonderer Weise dienen. Einmal sind das Arbeiten, welche sich zum Ziel setzten, Ortsbestimmungen der Gestirne zu liefern mit der größten Genauigkeit, welche die gegenwärtig im Gebrauch befindlichen Meridianinstrumente zu liefern in der Lage sind, andererseits aber gehören dahin Unternehmungen, welche die Erforschung bestimmter Sternklassen verfolgen. Z. B. sind das Verzeichnisse der Gestirne, welche eine dichte Sterngruppe, einen Sternhaufen, umfassen, um deren Innenbau genauer kennen zu lernen oder möglicherweise Veränderungen in der örtlichen Konfiguration der Gestirne mit der Zeit nachzuweisen. Solche Verzeichnisse besitzen wir von dem Plejaden, von dem Sternhaufen im Perseus, von dem Sternhaufen im Krebs (die sogenannte Krippe) und vielen anderen. Ein ausgedehntes Gebiet der Forschung bilden ferner die Doppelsterne und mehrfachen Sterne. Schon Herschel stellte einen Katalog solcher Gestirne zusammen. Bei weitem die umfangreichsten Beobachtungsreihen solcher sich tatsächlich nahestehenden oder nur nahe beieinander erscheinenden Sterne haben W. Struve in Dorpat und Pulkowa und Otto Struve am letzteren Orte ausgeführt. Eine große Anzahl Astronomen hat sich später mit der Doppel-

Ortsbestimmung
in einzelnen
Sterngruppen.

sternforschung befaßt, und es ist gelungen, nachzuweisen, daß unter den vielen Objekten dieser Art sich tatsächlich eine große Anzahl von Gestirnsgruppen befindet, die im physischen Zusammenhang miteinander stehen und für welche man die Bahnen, in denen sie umeinander kreisen, mit Sicherheit bestimmen konnte mit Zugrundelegung der in unserem Sonnensystem gültigen Gravitationsgesetze. Es ist das ein Nachweis von großer kosmischer Bedeutung. Allerdings stehen in solchem Zusammenhang fast nur die auch dem Auge dicht beieinander erscheinenden Gestirne, und gerade dieser Umstand hat veranlaßt, daß man die mächtigsten optischen Instrumente, welche wir besitzen, der Aufsuchung und Messung der Doppelsterne gewidmet hat. So ist es u. a. dem amerikanischen Astronomen Burnham gelungen, in den letzten Dezennien eine große Anzahl äußerst enger Doppelsterne aufzufinden, für welche die Distanz der beiden Komponenten geringer als eine Bogensekunde ist, ein Teil derselben ist bereits mehrfach beobachtet, und es scheinen viele dieser Sternpaare in physischer Beziehung zueinander zu stehen. Es ist interessant, hier zu erwähnen, daß schon Herschel durch eine Betrachtung der allgemeinen Verteilung der Gestirne am Himmel zu der Auffassung gelangt war, daß unter den so nahe beieinander stehenden Gestirnen unbedingt solche sein müßten, die nicht bloß durch die zufällige allgemeine Verteilung der Gestirne im Raume nahe beieinander erscheinen könnten, sondern daß eine so große Anzahl von Doppelsternen nur ihre Erklärung darin finden könne, daß eine größere Anzahl derselben für sich gemeinsame Systeme bildeten. Außer den Verzeichnissen der Doppelsterne hat man solche zusammengestellt für die Nebelflecke, für Gestirne, welche eine bestimmt ausgesprochene, besonders rote Farbe zeigen, für Sterne von veränderlicher Helligkeit und andere interessante Objekte. Für die Nebel sind ebenfalls die Kataloge von W. Herschel und John Herschel und der zusammenfassende Katalog von Dreyer, welcher alle bis in die 80er Jahre bekannt gewordenen Nebelflecke umfaßt, von Bedeutung. Für die roten Sterne hat Friedr. J. Krüger einen Katalog zusammengestellt. Diese Gestirne sind von besonderer Bedeutung geworden, da sie fast alle dem Typus der veränderlichen Gestirne zugehören. Auch über letztere Klasse der Gestirne hat man eifrig Beobachtungen gesammelt, und ein zusammenfassender Katalog derselben wird gegenwärtig im Auftrage der Astronomischen Gesellschaft von den Astronomen G. Müller und E. Hartwig herausgegeben. Neben allen diesen mehr oder weniger zusammenfassenden Arbeiten sind aber eine große Anzahl von Verzeichnissen bearbeitet worden, welche einen monographischen Charakter tragen. Sie erstrecken sich entweder nur auf ein bestimmtes Gebiet des Himmels, z. B. die Polargegenden, oder auf eine Gruppe von Gestirnen, wie es schon diejenigen tun, welche die Sternhaufen behandeln. Wenn oben die allgemeinen Sternverzeichnisse und das auf Grund der photographischen Aufnahmen resultierende Verzeichnis der Gestirne erwähnt wurden für solche Zusammenstellungen, welche im wesentlichen allgemeinen Untersuchungen kosmischer Natur dienen sollen, so muß nunmehr noch auf

Doppelsterne,
farbige Sterne.

diejenigen Arbeiten eingegangen werden, welche sich mit der genauen Ortsbestimmung der Gestirne befassen. Das sind, abgesehen von solchen, welche kleinere Gebiete des Himmels behandeln, vor allem das große Unternehmen der Astronomischen Gesellschaft, welches bezweckt, die genauen Orte aller Gestirne der Bonner Durchmusterung und der Südlichen Durchmusterung herab bis zur 9,5. Größe zu bestimmen und in Kataloge einzutragen. Diese Arbeit, an welcher sich wiederum eine große Anzahl von Sternwarten beteiligte und die in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts auf Anregung Argelanders begonnen wurde, ist gegenwärtig für die nördliche Halbkugel beendet, von dem Gebiete bis zum Wendekreise des Steinbocks fehlen nur noch einige Zonen.

Die Vergleichung des so gewonnenen Bildes des Himmels mit den älteren Verzeichnissen und besonders mit den Beobachtungsergebnissen von Bradley hat schließlich den Wunsch gezeitigt, alle genaueren Beobachtungen von Sternpositionen zusammenzutragen und aus den Veränderungen, die im Laufe der Jahrhunderte die Konstellationen des Sternhimmels erfahren haben, Schlüsse zu ziehen auf die im Weltenraume wirksamen Kräfte. Aus diesem Wunsche heraus ist gegenwärtig ein Unternehmen im Gange, welches sein Begründer A. Auwers unter dem Namen „Geschichte des Fixsternhimmels“ zusammenzufassen gedenkt. Dieses weitumfassende Werk wird über eine Million einzelner Beobachtungsergebnisse in sich zur gemeinsamen Diskussion vereinigen. Mit seiner Hilfe wird es dereinst möglich sein, die Ortsveränderungen der einzelnen Gestirne im Laufe der Zeit zu ermitteln, soweit sie einmal abhängig sind von der Bewegung unseres Sonnensystems im Raume und andererseits bedingt sind durch die eigenen Bewegungen, welchen die Fixsterne für sich unterworfen sind. Dadurch wird es gelingen, die Gestalt der Bahn unseres Sonnensystems nach Jahrtausenden festzustellen und die Kräfte kennen zu lernen, welche die Bewegungen im gesamten Weltensystem bedingen. Diese Geschichte des Fixsternhimmels wird einstmals eine Grundlage der gesamten Himmelsforschung abgeben, aber in unendlich viel weiterem Umfange, als sie vor 2000 Jahren Ptolomäus durch seinen Almagest geliefert hat.

„Geschichte
des Fixstern-
himmels“.

III. Die Ortsbestimmung auf der Erde. Die ersten Anfänge der astronomischen Ortsbestimmung haben sicherlich ihren Ausgang genommen von dem Bedürfnisse der Orientierung bei Reisen zu Lande und besonders auf dem Meere, wo im Gegensatz zum ersten Falle die Möglichkeit der Richtungsbestimmung nach festen, bekannten Objekten fortfällt, sobald man aus Sicht der Küste gelangt. Wenn auch bis in die Zeiten der Phönizier wohl ausschließlich Küstenfahrten gemacht wurden, um mit fremden Völkern in Handelsbeziehungen zu treten, so wissen wir doch, daß schon, bevor Marco Polo und Magelhanes ihre Reisen um das Kap der guten Hoffnung und die vollständige Umsegelung der Erde ausführten, manche weiten Reisen unternommen worden sind, so diejenigen Cäsars nach Britannien, die der

Geographische
Ortsbestimmung.

Normannen nach Süden und Westen. Da erst viel später die Kenntnis von den Eigenschaften der Magnetnadel entweder aus dem fernen Osten zu uns gelangte oder vielleicht auch in den Ländern des Mittelmeeres unabhängig davon gefunden wurde, so kann doch vor Benutzung des Kompasses, wenn auch in ganz primitiver Form, auf offener See der Weg nur nach dem Stand und täglichen Lauf der Gestirne bestimmt worden sein. Auf der nördlichen Halbkugel mußte bei Tage der Stand der Sonne, bei Nacht der des Polarsternes und in geringerem Grade wohl auch der des Mondes und der übrigen Sterne als Wegweiser dienen, auf der südlichen Halbkugel hat man keinen dem Pole so nahestehenden hellen Stern, und die Orientierung war dementsprechend schwieriger. Es sind die hellen leicht durch ihre gegenseitige Stellung auffindbaren Sterne des südlichen Kreuzes, des Kentaur und auch wohl des Orion, welche zur Orientierung benutzt wurden. Der höchste Stand der Gestirne zeigt die Richtung des Meridians, die Orte ihres Auf- und Unterganges weisen nach Osten und Westen. Dabei wußte man schon sehr wohl besonders durch Vergleichung mit den Punkten, an denen die Sonne auf- und unterging, die Abweichungen der den einzelnen Sternen entsprechenden Punkte des Horizontes von der genauen Ost-West-Richtung. Aber immerhin waren die so gewonnenen Angaben für die Ortsbestimmungen auf dem Lande und noch mehr auf der See recht unsicher, solange man nicht durch Anwendung, wenn auch sehr primitiver Instrumente, zu jeder beliebigen Zeit, wann Sonne oder Gestirne sichtbar waren, mittels direkter Messungen Ort und Bewegungsrichtung des Schiffes feststellen konnte. Die ersten Instrumente, welche man zur See verwendete, waren auf die Benutzung der Lotrichtung begründet, wie sie wohl auch auf schwankendem Schiffe noch mit einiger Sicherheit durch ein an einem Faden aufgehängtes Gewicht bestimmt werden konnte. Es waren Vollkreise, die an einem Ringe von der Hand des Beobachters gehalten wurden, bei denen sich also ein diametral zum Orte des Ringes liegender Punkt senkrecht unter denselben stellte. Auf dem Umfange des Kreises war eine Teilung angebracht, die an der Stelle des Ringes 90 Grad und an dem dann horizontal liegenden Durchmesser 0 Grad zeigte. Ein einfaches Diopter, welches sich um den Kreuzungspunkt zweier radialer Speichen drehen ließ und über welches man hinweg nach der Sonne oder dem Gestirne visierte, ließ dann an der Teilung direkt die Höhen der Gestirne über dem Horizonte ablesen. Es ist klar, daß solche Instrumente, die unter dem Namen Astrolabien bis weit über das Mittelalter hinaus benutzt wurden, nur sehr geringe Genauigkeit gewähren konnten. Die Berichte der damaligen Seefahrer sagen, daß Unsicherheiten bis zu 1 Grad nicht selten waren. Ein interessantes Instrument ähnlicher Art war der sogenannte Seering. Dieser war ein Astrolabium ohne Alhidade und Speichen, dafür war am oberen Rande in etwa 45 Grad Abstand von dem zum Halten des Instrumentes ebenfalls angebrachten Ringe eine Öffnung in den Kreis geschnitten, welche die Gestalt eines rechten Winkels hatte, dessen Spitze eine feine Bohrung am inneren Rande des Kreises bil-

Die einfachsten
Instrumente für
geographische
Ortsbestimmung.

dete. Die eine Seite der Bohrung stand dann senkrecht und die andere horizontal. Die Verlängerungen dieser Kanten trafen auf der gegenüberliegenden Seite des Kreises Stellen, welche um 180 Grad voneinander abstehen müssen. Den halben Kreis, welchen diese beiden Stellen zwischen sich fassen und welcher der Bohrung gegenüberliegt, teilte man dann in 90 Grad. Fielen die Sonnenstrahlen durch die feine Bohrung hindurch, so konnte an dieser die Höhe der Sonne abgelesen werden. Die Einführung dieses Seeringes war ein bedeutender Fortschritt gegenüber den alten Instrumenten; denn die Bestimmung der Sonnenhöhe wurde von der Stellung des Auges des Beobachters unabhängig, wenn auch die Verdoppelung der Winkel wieder einigermaßen aufgehoben wurde durch die gleich großen Fehler, welche die Schwankungen des Instrumentes beim Beobachten bedingten. Bei den erwähnten Instrumenten wird durch die Schwere des Instrumentes selbst die vertikale Richtung eines Durchmesser, also eines Punktes der Teilung, bestimmt, es kommt also kein besonderes Lot oder dergleichen zur Benutzung. Das wurde anders, als man später den auf dem Lande gebräuchlichen Quadranten auch auf See einführte, und zwar in der Weise, daß man den geteilten Kreisbogen nach unten kehrte und von dem Zentrum desselben ein Lot an der Teilung herabhängen ließ. Auf einer Seite des Quadranten, welche parallel mit dem das Zentrum und den 90. Gradpunkt verbindenden Radius verlief, brachte man Diopter an, durch welche man nach der Sonne oder den Gestirnen hinsah. Das herabhängende Lot spielte über der Teilung und mußte dann allerdings im Moment der richtigen Visur vom Beobachter auf der Teilung festgehalten werden, wenn nicht ein Gehilfe gleichzeitig die Ablesung vornehmen konnte. Mit einem solchen Instrument scheint auch Kolumbus auf seinen Reisen beobachtet zu haben.

Eine ganz wesentliche Verschärfung der Beobachtungen auf See gewährte der schon von Archimedes und Hipparch benutzte sogenannte Gradstock, Stab des Hipparch oder Jakobsstab, der von den Seeleuten viel benutzt wurde. Mit seiner Einführung wurde zugleich die Winkelmessung nicht mehr mit Bezugnahme auf die Lotrichtung, sondern mit Rücksicht auf die Lage des Horizontes, welcher selbst bei sehr bewegter See noch leicht als Trennungslinie zwischen Meereshorizont und Himmelsgewölbe als sogenannte Kimm wahrgenommen werden kann, übertragen. Der Gradstock besteht aus einem vierkantigen mit einer Teilung versehenen Stabe, auf welchem senkrecht zu seiner Längsrichtung sich ein zweiter Stab von geringerer Länge bewegen läßt. Regiomontan hat ihn zur Bestimmung des Durchmesser von Kometen und desjenigen der Sonne verwendet, wie aus der von ihm 1472 in Nürnberg verfaßten Schrift „de cometæ magnitudine longitudineque“ hervorgeht. Das Instrument wurde bei den Höhenmessungen zur See so benutzt, daß man das Auge an das eine Ende des längeren Stabes brachte und den kürzeren, welcher von seiner Durchbohrung aus nach beiden Seiten gleich lang war, so weit vorschob, bis man über das eine Ende hinweg den Meereshorizont und über das andere Ende hin das anzuvisierende Gestirn

erblickte. Um die Größe des ganzen Instrumentes in zweckmäßigen Grenzen zu halten, benutzte man wohl bewegliche Stäbe von verschiedener Länge, für die dann auf den verschiedenen Seiten des Längsstabes entsprechende Teilungen angebracht waren. Wohl auch hat man gleichzeitig zwei solcher beweglichen Stäbe benutzt und über ihre Enden hinweg visiert. Das hatte den Zweck, den durch die Visierlinien eingeschlossenen Winkel vom Orte des Auges des Beobachters unabhängiger zu machen, um die Höhenmessungen zur See mit einer Sicherheit von wenigen Minuten zu erhalten. Neben dem Jakobsstab wurde aber auch der Quadrant in der Weise umgestaltet, daß man mit ihm die Höhenmessung direkt auf den Horizont beziehen konnte. Der englische Seefahrer Davis gab dem Instrument verschiedene Formen, wie aus seinem Werke „The Seamans Secrets“, London 1594, hervorgeht, wo er diese neuen Konstruktionen beschreibt. Bei einer derselben war der Gradbogen gewissermaßen aus zwei verschiedenen Teilen zusammengesetzt, von denen der eine nach oben, der andere nach unten gekehrt war. Der obere Bogen war auf einem Längsstab verschiebbar und konnte um Stücke verschoben werden, die einer Winkeländerung von 10 Grad entsprachen. Der untere kleinere Bogen trug eine Teilung, auf welcher sich ein Diopter verschieben ließ. Bei der Beobachtung kehrte man der Sonne den Rücken, stellte den Querstab auf einen vollen 10. Gradstrich, der einem Winkel entsprach, der kleiner als die Sonnenhöhe war, dann ließ man den Schatten des oberen Endes dieses Stabes auf einen an dem von der Sonne abgekehrten Ende des Stabes angebrachten Diopter fallen und blickte durch dieses und das am kleineren Bogen verschiebbare Diopter nach dem Meereshorizonte. Dieses, den eigentlichen „Davis-Quadranten“ darstellende Instrument führte in der Marine allgemein den Namen Back-Staff, weil man bei seiner Handhabung der Sonne den Rücken zukehren mußte. Spätere Verbesserungen haben das Instrument wesentlich dadurch vervollkommnet, daß man den beweglichen oberen Stab ebenfalls durch einen Bogen ersetzte und mit einem Diopter versah. Alle diese Instrumente aber hatten den großen Nachteil, daß man mit ihnen eigentlich nur bei Tage, nämlich durch Visieren nach der Sonne, beobachten konnte. Visuren nach den Sternen waren ungleich schwieriger und sind wohl nur mit Hilfe des Polarsternes und einiger weniger ganz hellen Gestirne, vielleicht auch der Planeten, ausgeführt worden. Eine Genauigkeit von einer Bogenminute, wie sie in manchen Berichten angeführt wird, lag wohl außerhalb der Möglichkeit.

Bestimmung
der geographi-
schen Breite.

Die geographische Breite des Schiffsortes bestimmte man allgemein dadurch, daß man im Moment der größten Höhe der Sonne den Winkel maß, welcher die Richtung nach ihrem Zentrum mit der Horizontalen einschließt. Diese Kulminationshöhe, vermindert um die Deklination der Sonne und von 90 Grad abgezogen, lieferte direkt die geographische Breite des Ortes. Bei Nacht trat an die Stelle der Sonne ein helles Gestirn oder auf der nördlichen Halbkugel der Polarstern, dessen Abstand vom Pole wenig über einen Grad beträgt. Die Bestimmung der geographischen Länge war

eine ungleich schwierigere Aufgabe, und bevor man nicht den Ort des Mondes am Himmel zu benutzen verstand, konnte dieselbe ausschließlich durch direkte Messung der Schiffsgeschwindigkeit und in Verbindung mit der Richtung des zurückgelegten Weges bestimmt werden. Wollte man einen Ort aufsuchen, der an einer nahezu von Nord nach Süd streichenden Küste gelegen war, so blieb nichts anderes übrig, als so weit nach Norden oder Süden zu segeln, bis man sich auf gleichem Parallel mit dem Ziel der Reise befand, und dann segelte man so gut es ging direkt nach Osten oder Westen, bis man die Küste erreichte. Dabei war es ausschließlich notwendig, sobald die Schiffsrechnung die Nähe der Küste vermuten ließ, von Bord aus scharfen Ausblick zu halten, um die Küste an einer zur Landung geeigneten Stelle zu erreichen. Mit der weiteren Entwicklung, die die Schifffahrt in dem Zeitalter der Entdeckungen gewann, wurde es aber notwendig, für die Bestimmung des Ortes eines Schiffes genauere Anhaltspunkte zu erhalten. War man durch die vorhandenen Instrumente, durch die Rechenmethoden und durch die bekannten Orte der Gestirne wohl in der Lage, die geographische Breite zu bestimmen, so war das im gleichen Maße für die Länge, wie eben bemerkt, nicht der Fall. Der Vorschlag, die Stellung des Mondes, welcher bekanntlich in etwa 29 Tagen einen Umlauf um die Erde vollendet, zur Längenbestimmung zu benutzen, war von weittragender Bedeutung. Da aber ein Fehler in der Bestimmung der Rektaszension des Mondes eben wegen der Dauer der Umlaufzeit mit dem 28 bis 30fachen Betrag in das Resultat der geographischen Längenbestimmung eingeht, so wurde es eine dringende Notwendigkeit, den Vorausberechnungen des Mondlaufes und den Instrumenten zur Beobachtung eines Ortes am Himmel (zur Bestimmung seiner Rektaszension) die nötige Genauigkeit zu verleihen, wollte man anders aus der Benutzung der Rektaszension des Mondes zur Längenbestimmung wesentlichen Vorteil ziehen. Diese Einsicht hatte zur Folge, daß man vor allen Dingen auf die Verbesserung der Instrumente bedacht war. Das Mittel dazu gab der Hadleysche Spiegelsextant. Mit seiner Hilfe wurde es möglich, Winkelmessungen zur See mit bis dahin unerreichter Genauigkeit, nämlich bis auf die Zehntel einer Bogenminute mit einiger Sicherheit auszuführen, ohne auf die Lotrichtung oder auf die Kimmlinie als Ausgangspunkt der Messungen beschränkt zu sein. Man bestimmte mit Hilfe des Spiegelsextanten den Abstand des Mondes von einem Fixstern in der Ebene des durch Mond, Stern und Auge des Beobachters gehenden größten Kreises. Hatte man die anguläre Winkelentfernung des Mondes von einem solchen Stern bestimmt, so brauchte man dieselbe nur in Vergleich zu setzen mit demselben Winkel, den man zu einer bestimmten Zeit eines Ausgangsmeridians am Erdmittelpunkt gemessen haben würde. Um den letzteren Winkel aber bestimmen zu können, wurde es erforderlich, die Bewegung des Mondes in seiner Bahn mit genügender Genauigkeit zu kennen. Diese Forderung bedingte einen Ausbau der bis dahin in der Form gewöhnlicher Kalender gegebenen Vorausberechnungen des Mondortes.

Bestimmung der
geographischen
Länge mit Hilfe
des Mondes.

Kalender und
Jahrbücher
(Ephemeriden).

Die Angaben des Kalenders, wie sie etwa bis zur Mitte des 15. Jahrhunderts gebräuchlich waren, bezogen sich im wesentlichen auf eine Aufzählung der Wochentage und der an ihnen zu feiernden Feste. Daneben enthielten sie die Stellungen des Mondes und der Sonne zueinander, wohl auch die der größeren Planeten zur Sonne, die sogenannten Adspekten, und außer diesen noch eine Anzahl nebensächlicher, auf religiöse Angelegenheiten oder landwirtschaftliche Dinge bezügliche Angaben. Diese Form reichte selbstverständlich für die Benutzung zu astronomischen Rechnungen bei weitem nicht mehr aus. So entwickelten sich aus den einfachen Kalendern die uns heute unter dem Namen: Ephemeriden und Jahrbücher bekannten Sammlungen genauer astronomischer Vorausberechnungen über den Lauf der Sonne, des Mondes und der Planeten sowie über die Orte der hauptsächlichsten sogenannten Fundamentalsterne. Es ist Regiomontan das Verdienst zuzuschreiben, solche Sammlungen um das Ende des 15. Jahrhunderts zuerst verfaßt und veröffentlicht zu haben. Die Erfindung der Buchdruckerkunst hatte Mittel an die Hand gegeben, diese Tafeln in weiterem Umfange zu vervielfältigen und allgemein in den Handel zu bringen. Im Laufe des 17. Jahrhunderts wurde eine große Anzahl solcher Ephemeriden verfaßt, darunter auch diejenigen, welche Johannes Kepler unter dem Namen „Ephemerides novae motum coelestium ab anno 1617—1636“ herausgab. Diese Ephemeriden wurden nach und nach vervollständigt in ihren Angaben, bis aus ihnen die ersten gegenwärtig noch im Gebrauch befindlichen Jahrbücher entstanden. Das älteste derselben ist die 1678 von Jean Picard für das Jahr 1679 herausgegebene „Connaissance des Temps“, die heute noch von dem französischen Institut „Bureau des Longitudes“ herausgegeben wird. Ein anderes dieser Jahrbücher, welches ebenfalls heute noch regelmäßig erscheint, wurde von dem englischen Astronomen Maskelyne im Jahre 1766 zum ersten Male herausgegeben. Es ist das der von dem extra zu diesem Zwecke in London gegründeten „Board of Longitude“ berechnete „Nautical Almanac“. Erst später folgten die anderen Nationen mit ähnlichen Ephemeridensammlungen, so Cäsaris in Mailand im Jahre 1774 und Elerd Bode zu Berlin im Jahre 1776 mit dem noch jetzt jährlich erscheinenden Berliner Astronomischen Jahrbuch. Außer diesen Jahrbüchern erscheinen heute noch eine ganze Anzahl andere, die entweder die gleichen Zwecke wie die genannten verfolgen — eine Zusammenstellung der astronomischen Daten mit größtmöglicher Genauigkeit zu geben — oder in einfacherer und gekürzter Form nur rein nautischen Zwecken dienen.

Die Angaben der Jahrbücher, welche zunächst ausschließlich den Zweck verfolgten, die ausgeführten Beobachtungen zu berechnen und sie für die Ortsbestimmung der Gestirne und für diejenige auf der Erde zu verwenden, werden heute natürlich gleichzeitig zur Kontrolle für die Richtigkeit der den Berechnungen der Ephemeriden zugrunde liegenden Daten benutzt. Die Unterschiede, welche die Beobachtungen gegenüber den vorausberechneten Angaben zeigen, bilden dann den Ausgangspunkt für die Verbesserung der kosmischen Bewegungen.

Die Berechnung der ausgeführten Mondbeobachtungen ließ sehr bald erkennen, daß die Angaben der Jahrbücher noch nicht die Genauigkeit besaßen, welche einer vollständigen Ausnutzung der durch die verbesserten Instrumente erhaltenen Beobachtungen gerecht wurden. Das Problem der Längenbestimmung zur See ist sowohl für die Verbesserung der Instrumente als ganz im besonderen auch für den Ausbau der Theorie der Mondbewegung von höchster Bedeutung geworden, und man kann wohl sagen, daß gerade die Ausgestaltung der Mondtheorie wegen der Schwierigkeit, die sie damals bot und heute noch bietet, Veranlassung gab, alle sie bestimmenden Faktoren mit einer größeren Genauigkeit festzulegen. Das britische Reich, welches von jeher das größte Interesse an der Vervollkommnung der nautischen Hilfsmittel besaß, hatte im Jahre 1714 einen hohen Preis ausgesetzt für die Verbesserung der Hilfsmittel zur Bestimmung der Längen zur See. Nach allen Richtungen wurde daran gearbeitet, der gestellten Forderung zu entsprechen. Man verbesserte den Hadleyschen Spiegelsextanten, bis er die heute noch gebräuchliche Form des Sextanten oder des Vollkreises erhielt, man konstruierte Uhren, die durch ihre Einrichtungen es ermöglichten, auf dem schwankenden Schiffe einen gleichmäßigen Gang zu bewahren, um so die Beobachtungen zu verschiedenen Zeiten miteinander vergleichbar zu machen, und vor allem wurden die Vorausberechnungen der Mondorte durch die vorzüglichen Beobachtungen des Göttinger Astronomen Tobias Mayer zu wesentlich größerer Genauigkeit gebracht. Es haben dann auch tatsächlich der englische Uhrmacher Harrison und Tobias Mayer erhebliche Teile des ausgesetzten Preises, jener für Verbesserung der Schiffsuhren (Chronometer) und dieser für seine Verbesserung der Mondtafeln, erhalten. Bis vor wenigen Jahren hat ein steter Wettstreit zwischen der Verbesserung der Beobachtungsinstrumente und der Herstellung möglichst genauer Vorausberechnungen der Mondorte bestanden, soweit es sich um die Ableitung geographischer Längen zur See handelte. Die Theorie des Mondes ist bis auf den heutigen Tag noch nicht mit einer solchen Schärfe durchgebildet, daß man den Ort des Mondzentrums bis auf wenige Bogensekunden mit Sicherheit auf längere Perioden voraussagen könnte. Es sind aber in den letzten Jahren an die Stelle der Mondbeobachtungen ganz andere Methoden zur Längenbestimmung auf See getreten und gegenwärtig noch in voller Ausbildung begriffen, so daß man wohl sagen kann, daß die Benutzung der Mondbeobachtungen zum Zwecke der Längenbestimmung heute auf dem Aussterbeetat steht.

Verbesserung
der Theorie der
Mondbewegung
und der Tafeln
der Mondorte in
den Ephemeriden

Waren es zunächst die Erfordernisse der Schifffahrt, welche die Ausbildung der Methoden zur Bestimmung des Mondortes bedingten, so sind mit den Erweiterungen unserer Kenntnis fremder Länder und der damit bedingten genaueren Ortsbestimmung einzelner Örtlichkeiten in diesen fremden Gebieten andere Methoden der Längenbestimmung zur Ausbildung gelangt, als man sie an Bord anzuwenden pflegte. Dort waren es ausschließlich die sogenannten Mond дистанzen, welche oben schon ihrem Wesen nach erwähnt

wurden. An Land aber, wo man mit fest aufgestellten Instrumenten arbeiten konnte, bildeten sich die Beobachtungen der Kulminationszeiten des Mondes und die der Messungen seiner Zenitdistanz besonders aus. Beide Verfahren dienen dazu, die Rektaszension des Mondzentrums direkt zu bestimmen. Die Fehler, welche man bei solchen Rektaszensionsbestimmungen begeht, mögen sie nun nach der einen oder anderen Methode ausgeführt sein, beeinflussen die Längenbestimmung immer um den etwa 30fachen Betrag. Das ist anders, sobald man an die Stelle des winkelmessenden Instrumentes zur Bestimmung des Abstandes eines Gestirnes vom Mondzentrum zur Bestimmung seiner Rektaszension auf direktem Wege den Mondradius selbst treten läßt. Das ist der Fall bei der Bestimmung der geographischen Längen aus Sternbedeckungen; dabei wird der Radius des Mondes selbst den Abstand des Gestirnes vom Mondzentrum angeben, so daß diese Beobachtung ausschließlich von der Genauigkeit abhängig ist, mit welcher der Zeitpunkt des Verschwindens oder Auftauchens eines Gestirnes am Rande des Mondes angegeben werden kann.

Mondtafeln
von Hansen.

Bei allen geographischen Längenbestimmungen kommt es doch schließlich darauf an, den Unterschied in den Ortszeiten zweier verschiedener Punkte der Erde, von denen der eine auf dem Ausgangsmeridian angenommen wird, zu bestimmen. Alle auf die Bewegung des Mondes gegründeten Methoden sind aber bis auf diejenige der Mondkulmination abhängig von den Dimensionen unserer Erde. Da alle Vorausberechnungen, die über den Lauf des Mondes in den Ephemeridensammlungen gegeben werden können, stets nur, da sie für alle Punkte der Erde gleichmäßig Geltung besitzen sollen, auf den Mittelpunkt der Erde bezogen werden können, so ist es notwendig, die an irgendeinem Punkte der Erde ausgeführten Messungen des angulären Abstandes zwischen Mond und Gestirn, oder diejenige gegenüber einer Fundamentalrichtung auf den Mittelpunkt der Erde zu reduzieren, d. h. aus den direkten Messungsergebnissen diejenigen Winkel abzuleiten, welche man gemessen haben würde, wenn man die Messungen am Mittelpunkt der Erde ausgeführt haben würde. Zu diesen Reduktionen ist es aber wiederum notwendig, die Dimensionen der Erde nicht nur sehr genau zu kennen, sondern auch die Größe des Mondes und seine jeweilige Entfernung von der Erde, also wiederum Elemente, welche nur aus einer genauen Kenntnis der Theorie der Mondbewegung gefolgert werden können. Wesentliche Verbesserungen dieser Theorie hat der Astronom Hansen gegeben, der auf Grund einer umfassenden Zusammenstellung aller bis dahin bekannt gewordenen Beobachtungen in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts eine neue vollständige Bearbeitung der Mondbewegung vornahm und alle für diese in Betracht kommenden Konstanten, vor allem die Massen der Planeten sowie die Elemente der Mondbahn und diejenigen, welche die Größe und Maße des Mondes bestimmen, als Unbekannte in seine Berechnungen aufnahm. Aus diesen Untersuchungen sind schließlich Tafeln der Mondbewegung hervorgegangen, die bis in die Mitte der 70er Jahre allgemein in

Benutzung waren und nach denen die Vorausberechnungen in den Jahrbüchern erfolgten. Aber schon wenige Jahre nach der Fertigstellung der Grundlagen dieser Berechnungen zeigte sich, daß die vorausberechneten Mondorte nicht in genügender Weise mit den Resultaten der regelmäßig fortgesetzten Beobachtungen übereinstimmten. Da die Unterschiede nach und nach erhebliche Beträge erreichten, unternahm der amerikanische Astronom Newcomb die Neubestimmung eines Teiles der Elemente, auf denen die Hansenschen Tafeln beruhen. Er leitete aus dem inzwischen angesammelten Beobachtungsmaterial Korrekturen ab, die man an die nach den Hansenschen Tafeln berechneten Mondorte anbringen muß, um diejenige Position zu erhalten, welche der damaligen Kenntnis der Mondbewegungen entspricht. Das sind die sogenannten Newcombschen Korrekturen. Die betreffenden Arbeiten Newcombs sind in einer umfangreichen Schriftfolge erschienen, welche zugleich alle Untersuchungen enthält, die dieser bedeutende Forscher auf dem Gebiete der Planetenbewegung ausführte. Denn gleichzeitig mit den Neuberechnungen, welche die Bewegung des Mondes betrafen, hat er auch diejenigen der Sonne und der großen Planeten von neuem bearbeitet.

Die Beobachtungen des Mondes bieten dadurch eine gewisse Schwierigkeit, daß sowohl bei Durchgangsbeobachtungen als auch bei Messungen von Zenitdistanzen selbstverständlich immer nur ein Rand desselben zu beobachten ist, mag das nun für Rektaszensionsbestimmungen der vorausgehende oder der folgende, für Deklinationsbestimmungen der obere oder der untere Rand sein. Nur in seltenen Fällen wird zur Zeit des Vollmondes die Stellung von Mond, Erde und Sonne zueinander eine solche sein, daß tatsächlich die uns zugewandte Seite des Mondes in ihrer ganzen Ausdehnung beleuchtet erscheint. Nur dann wird es möglich sein, die Messungen auf beide Ränder zugleich auszudehnen und diese Messungen, welche für die Theorie stets auf den Mittelpunkt des Mondes bezogen werden müssen, unabhängig von dem Wert des scheinbaren Mondradius zu machen, wie das für die Beobachtungen der Sonne ja stets der Fall ist. Besonders günstig gestaltet sich die Bestimmung des Mondradius dann, wenn uns der Mond total verfinstert erscheint. Es lassen sich in diesem Falle die Ein- und Austritte auch schwächerer Gestirne an den Mondrändern beobachten, und die Dauer der Bedeckungen dieser Gestirne durch den Mond gibt ein gutes Mittel für die Bestimmung seiner Dimension, zumal wenn der Mond zur Zeit einer totalen Mondfinsternis sich gerade in der Nähe der Plejaden, der Hyaden oder der Präsepe (der oben schon erwähnten „Krippe“) befindet, Sterngruppen, deren einzelne Komponenten sehr genau bezüglich ihrer gegenseitigen Stellung durch besondere Vermessungen zu verschiedenen Zeiten bestimmt worden sind. Durch die Untersuchungen Newcombs war es am Ende des vorigen Jahrhunderts gelungen, die Vorausberechnungen der Mondpositionen in den Jahrbüchern derartig zu korrigieren, daß man mit ihrer Hilfe bei der Bestimmung der Längendifferenzen aus Mondbeobachtungen zu einer erheblicheren Genauigkeit gelangen konnte. Im besonderen waren es vier Methoden, welche zur

Die Beobachtungen des Mondes bieten gewisse Schwierigkeiten. — Beobachtungsmethoden.

Sternbedeckungen durch den Mond.

Mondstrecken.

Bestimmung von Längendifferenzen ausgeführt wurden: die Mondkulminationen, die Mondhöhen, die Sternbedeckungen und die Mondstrecken. Von diesen Methoden verlangt besonders die erstere eine feste Aufstellung der Instrumente, ist mit Vorteil also nur auf dem Lande durchzuführen. Mondhöhen kann man auch wohl mit Instrumenten beobachten, die aus freier Hand, also an Bord gebraucht werden können, aber die mit ihnen zu erreichende Genauigkeit entspricht nicht derjenigen, die diese Methode sonst bei Benutzung größerer Instrumente zu gewähren imstande ist. Die Beobachtung von Sternbedeckungen ist mit jedem beliebigen Fernrohr möglich, und es bedarf dazu keinerlei fester Aufstellung desselben. Diese Vorübergänge des Mondes vor Gestirnen sind aber immerhin verhältnismäßig selten, solange es sich um die Bedeckung hellerer Gestirne handelt, und schwächere Gestirne, etwa solche unter 6. Größe, sind mit mäßigen optischen Hilfsmitteln in der Nähe des hellen Mondes nicht mehr mit Sicherheit zu beobachten. Insbesondere gilt das für das Verschwinden und Auftauchen am hellen Rande. Schon für Gestirne 3. und 4. Größe werden diese Phänomene nur unsicher wahrnehmbar. Für einen bestimmten Erdort werden im Laufe eines Jahres etwa rund 200 Gestirne innerhalb der sechs ersten Größenklassen vom Monde bedeckt, solange dieser über dem Horizont des Ortes sich befindet. Die Erfahrung hat gelehrt, daß von dieser Anzahl von Sternbedeckungen wiederum selbst in klimatisch günstigen Orten nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl tatsächlich beobachtet werden kann. Es bleibt daher immer dem Zufall überlassen, ob im gegebenen Moment eine solche Bedeckung beobachtet werden kann. Bei Gelegenheit der Expeditionen, welche 1874 und 1882 zur Beobachtung der Vorübergänge der Venus vor der Sonnenscheibe von Deutschland ausgesandt waren, hatte man besonders zu dem Zweck der Beobachtung von Sternbedeckungen größere Fernrohre mitgenommen und dementsprechend mehrere Tausende von Bedeckungen auch schwächerer Gestirne vorausberechnet. Die erzielten Resultate blieben weit hinter jeder Erwartung zurück. Von den acht in beiden Fällen ausgesandten Hauptexpeditionen wurden im ganzen ca. 95 Bedeckungen beobachtet¹⁾, obgleich Fachastronomen eifrig auf jede Gelegenheit geachtet hatten, diese Phänomene zu beobachten. Aus diesen Erfahrungen geht hervor, daß man bei Reisen zu Lande bei Benutzung stärkerer optischer Hilfsmittel wohl noch erwarten kann, mit Hilfe von Sternbedeckungen Längenbestimmungen auszuführen; daß dagegen zur See nur wenig Erfolg aus dieser Methode gezogen werden kann. Dagegen ist auf See in früheren Jahren außerordentlich vielfach Gebrauch gemacht worden von den oben erwähnten Distanzmessungen zwischen Mond und geeigneten Gestirnen. Bis in die letzten Jahre enthielten alle Jahrbücher umfangreiche Listen, welche die wahren Distanzen des Mondes von hellen Gestirnen, die sich etwa in der Bahn des Mondes befinden, von drei zu drei Stunden angaben. Die gegebenen Winkelabstände waren für die Zeiten des Jahrbuchmeridianes so be-

1) Davon 1874 15 und 1882 ca. 80, darunter aber nur 5 oder 6 an Sternen, die heller als 7. Größe sind.

rechnet, daß man aus ihnen den scheinbaren Abstand des Mondzentrums von den betreffenden Gestirnen entnehmen konnte, wie man sie vom Erdmittelpunkt aus beobachtet haben würde, also den sogenannten geozentrischen Abstand. Die Reduktion der an einem Orte der Oberfläche der Erde beobachteten Abstände auf das Erdzentrum ist eine verhältnismäßig umständliche Arbeit. Die Methoden zu diesen Rechnungen haben Astronomen und Mathematiker vielfach beschäftigt, und es sind eine größere Anzahl Rechnungsvorschriften, die zum Teil theoretisch interessant sind, gegeben worden. Erheblichen praktischen Wert besitzen dieselben heute nicht mehr. Die an Bord gebräuchlichen Instrumente sind nicht imstande, eine so große Genauigkeit der Messung zu liefern, wie sie für die heutigen Bedingungen der Schifffahrt gefordert werden muß. Eine Unsicherheit von etwa 10 Bogensekunden muß auch den besten Messungen dieser Art heute noch zugeschrieben werden. Da aber oben schon bemerkt worden ist, daß diese Unsicherheit etwa mit dem 30fachen Betrag das Resultat der Längenbestimmung beeinflußt, so würden diese also 300 Bogensekunden, d. h. 20 Zeitsekunden, unsicher bleiben. Eine Zeitsekunde beträgt im größten Kreis ungefähr 450 m, 20 Zeitsekunden also 9 km; das ist ein Betrag, den heutigentags ein mittelschnelles Schiff in dem Bruchteil einer Stunde zurücklegt. Ein anderer Grund für die den heutigen Verhältnissen der Schifffahrt nicht mehr genügende Genauigkeit der Mondabstände ist darin zu suchen, daß die Bestimmung der Zeit des Ausgangsmeridians durch die vielfachen Verbesserungen, welche die Schiffsuhren im Laufe der Zeit erfahren haben, sehr bedeutend an Genauigkeit gewonnen hat, und daß andererseits Mittel erfunden wurden, die die Länge des von dem Schiffe zurückgelegten Weges sehr genau zu ermitteln gestatten. Auch die Kompaßeinrichtungen und die Methoden, den Einfluß, welchen das in dem Schiffe enthaltene Eisen auf die Angaben des Kompasses ausübt, aus den Kursangaben zu eliminieren, sind in den letzten Dezennien derart verbessert worden, daß mit ihrer Hilfe eine sehr genaue Schiffsrechnung, ein genaues Besteck, wie der Seemann sagt, gegeben werden kann. Die Ausbildung der Dampfschifffahrt hat auch bewirkt, daß die Schiffe unabhängig von Wind und Wetter ihren Kurs halten können. Alle diese Umstände gestatten heutigentags auf Grund der einfachen Besteckrechnung mit Zuziehung der Bestimmung der Ortszeit, wie sie aus Höhenmessungen der Sonne oder eines Gestirnes bei größerem Stundenwinkel desselben jederzeit gefunden werden können, eine wesentlich genauere Ortsbestimmung, als es die Messung von Mondabständen jemals gekonnt hätte. Aus diesem Grunde sind in den letzten Jahrgängen fast aller astronomischer Ephemeriden und Nautischer Jahrbücher die umständlichen Angaben der Mondabstände in Wegfall gekommen.

Schiffsuhren
(Box-Chronometer) und
Logg-Einrichtungen, Schiffs
(Besteck-)
Rechnung.

Es ist Vorschrift, daß jedes größere Schiff, welches Reisen über die Ozeane macht, mehrere Chronometer an Bord führen muß, so daß mit ihrer Hilfe eine gesicherte Längenbestimmung gewährleistet ist. Obgleich es geglückt ist, sehr gute Uhren herzustellen, so ist es doch nicht möglich, mit-

tels derselben die Ortszeit von Greenwich, Paris oder Washington auf längere Zeit anzugeben, wenn diese Uhren einem weiteren Transport über Land ausgesetzt werden. Für die in neuerer Zeit vielfach notwendig gewordenen Arbeiten zur Abgrenzung kolonialer Gebiete muß man daher immer noch seine Zuflucht zu den Mondbeobachtungen zwecks Längenbestimmungen nehmen. Vor allem sind es die zwei zuerst genannten Methoden, welche dabei in Betracht kommen. Es ist deshalb keineswegs überflüssig geworden, den Lauf des Mondes fortwährend zu verfolgen, natürlich ganz abgesehen davon, daß die Bewegungen des Mondes an sich als Teil unseres Planetensystems von hohem astronomischen Interesse sind. Solche Beobachtungen haben wiederum gezeigt, daß auch die von Newcomb Ende der 70er Jahre abgeleiteten Korrekturen der Mondtafeln heute den Beobachtungsergebnissen nicht mehr entsprechen. Es sind offenbar Kräfte vorhanden, welche die Bewegung des Mondes beeinflussen, und deren Ursachen und Größe uns noch nicht mit genügender Sicherheit bekannt sind; denn die Abweichungen der beobachteten Mondorte von den auf Grund der Newcombschen Untersuchungen vorausgerechneten sind im Lauf der Jahre schon wieder so groß geworden, daß ihre Nichtberücksichtigung in den Berechnungen der Längenbestimmungen erhebliche Fehler verursacht. Wirklich zuverlässige Resultate können daher aus den Beobachtungen des Mondes zu Längenbestimmungszwecken nur erhalten werden, wenn nahezu gleichzeitig mit den im Felde ausgeführten Beobachtungen auch solche an festen Observatorien, deren Längendifferenzen gegenüber dem Ausgangsmeridian bekannt sind, angestellt werden. Es sind danach die verschiedensten Gründe vorhanden, in das Beobachtungsprogramm der Sternwarten die regelmäßigen Beobachtungen der Mondpositionen mit aufzunehmen.

Wert guter
Mondbeobach-
tungen.

Standlinien-
methoden
(Summerlinien).

Die Bestimmung des Ortes eines Schiffes erfolgt heutigentags zumeist nach einer Methode, welche schon zu Ende des 18. Jahrhunderts von dem Franzosen St. Hilaire angegeben worden ist und gegenwärtig unter dem Namen der „Standlinienmethode“ sich großer Verbreitung erfreut. Sie beruht darauf, daß man durch Beobachtung des Abstandes zweier Gestirne vom Zenit zwei Kreise bestimmt, auf denen beiden das Schiff sich befinden muß. Diese Kreise schneiden sich in zwei Punkten, einer dieser Punkte muß der Schiffsort sein. Könnte man in eine Karte oder auf einen Globus die Kreise wirklich eintragen, deren sphärischer Radius der Abstand der beiden Gestirne vom Zenit und deren Mittelpunkte diejenigen Stellen auf der Erde sein würden, für welche das beobachtete Gestirn sich genau im Zenit befindet, so gäbe einer der Durchschnittspunkte der beiden Kreise direkt den Schiffsort an. Sind die beiden Sterne derartig ausgewählt, daß ihr azimuthaler Abstand nahezu 90 Grad beträgt, und sind die Zenitdistanzen nicht zu klein, was schon durch die Art der Beobachtung auf See bedingt wird, so kann man nicht zweifelhaft sein, welcher der beiden Durchschnittspunkte zu wählen ist, denn beide liegen sehr weit auseinander. Diese Methode ist also außerordentlich einfach, nur die praktische Ausführung bringt einige um-

ständlichere Reduktionen und Abänderungen der rechnerischen oder graphischen Darstellung mit sich. Man kann keine Karte konstruieren von solchen Dimensionen, daß man die gegebenen Kreise wirklich einzeichnen könnte, und außerdem würden diese Kugelkreise sich auf den Karten nicht als Kreise darstellen. Man begnügt sich deshalb in der Praxis mit kleinen Stücken dieser Kreise oder setzt an deren Stelle ihre Tangenten. Aus diesem Verfahren folgt der Name „Standlinienmethode“. Durch die weite Verbreitung und die Einfachheit der gebräuchlichen Rechnungsvorschriften hat die Standlinienmethode fast alle anderen Arten der Schiffsrechnung verdrängt. Dazu kommt, daß bei der Zuverlässigkeit der Chronometer und der Sicherheit, mit welcher Richtung und Geschwindigkeit des Schiffes durch Kompaß und Logg bestimmt werden können, auch die für die schärfere Rechnung der Standlinienmethode notwendigen geschätzten Längen und Breiten der Schiffsorte mit großer Sicherheit gegeben werden können. Die Chronometerkontrolle wird ganz erheblich unterstützt durch die vielen Stationen an unseren und fremden Küsten, an denen, wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt wurde, Einrichtungen getroffen sind, um den Beobachtern an Bord eine genaue Kontrolle ihrer Uhren zu ermöglichen. Das sind die sogenannten Zeitsignalwesen Zeitstationen. An ihnen wird in einem bestimmt festgesetzten Moment, für welchen man zumeist Greenwich Mittag wählt, oder einen davon um eine ganze Stunde abweichenden Zeitpunkt, ein Signal gegeben. Dasselbe besteht in den meisten Fällen aus einer an einem hohen Maste emporgezogenen großen Kugel, die im Momente der Signalgebung an dem Maste herunter-sinkt. An anderen Orten, so z. B. vielfach an der englischen Küste, werden im Moment des Greenwicher Mittags Kanonenschüsse abgegeben. Diese Signale werden zum großen Teil automatisch durch Uhren veranlaßt, die auf nahen Sternwarten unter steter Kontrolle gehalten werden. Allen Schiffen, die in der Nähe solcher Zeitstationen sich befinden, wird damit die Möglichkeit gegeben, ihre Schiffsuhren zu kontrollieren und die Veränderungen derselben, die sie im Laufe der Reise erfahren haben, zu bestimmen und so sich die Möglichkeit zu verschaffen, die Vorausberechnungen des Standes dieser Uhren mit größerer Sicherheit weiterzuführen. In den Nautischen Jahrbüchern finden sich Verzeichnisse dieser Zeitstationen und die Beschreibung der Art der Signale sowie die Angaben des Momentes, in welchem dieselben erfolgen. Die Umspannung der Erde durch die großen Kabelnetze hat es auch ermöglicht, solche Zeitsignalstationen auf gewissen Inselgruppen, z. B. den Azoren, welche die transatlantischen Kabel passieren, zu errichten, so daß auch mitten im Ozean unabhängig von der Nähe eines Observatoriums doch sichere Zeitsignale gegeben werden können.

In ein ganz neues Stadium ist die Signalgebung sowohl an Land als auch für See getreten, als es gelang, funkentelegraphische Signale auf weite Strecken zu geben und diese mit verhältnismäßig einfachen Mitteln aufzunehmen. An vielen Punkten der Erde sind jetzt Stationen eingerichtet, von denen aus man durch radiotelegraphische Signale auf weite Strecken hin

Mitteilungen machen kann. Diese Stationen, welche im allgemeinen Verkehrsinteressen oder der Weitergabe politischer Nachrichten dienen, werden gleichzeitig dazu benutzt, in bestimmter Anordnung Signale zu geben, aus denen, wie es bei den gewöhnlichen Zeitsignalstationen der Fall ist, der Moment des Greenwicher, des Pariser oder Washingtoner Mittags ersehen werden kann. Diese Signale werden unter Kontrolle nahe gelegener Observatorien abgegeben und ermöglichen es, im weiten Umkreis bis auf Tausende von Kilometern die an Bord befindlichen Chronometer oder die Uhren der Städte dadurch zu kontrollieren und ihre jeweiligen Abweichungen von der Zeit, welche sie angeben sollen, täglich ein- oder zweimal zu bestimmen. Es gelingt leicht, mit Hilfe dieser Signalstationen den Schiffen, welche, sobald sie eine größere Anzahl von Passagieren an Bord haben, mit Empfangs- und Geberstationen einfacherer Art ausgerüstet sein müssen, die Zeitangaben zu übermitteln. Bei der zu erwartenden weiteren Ausdehnung und Vervollkommnung der funkentelegraphischen Einrichtungen wird es für die Großschiffahrt bald nicht mehr notwendig sein, durch astronomische Beobachtungen für die Kenntnis der Zeit eines Nullmeridians zu sorgen. Das schließt natürlich nicht aus, daß sowohl zu Lande als zur See die astronomischen Ortsbestimmungen für alle Zukunft der Beobachtungen der Gestirne bedürfen. Denn einmal ist eine Bestimmung der Längendifferenz nur möglich, wenn man nicht nur die Zeit des Nullmeridians, sondern auch die Ortszeit kennt, und außerdem ist die zweite Koordinate, die geographische Breite, auf astronomischem Wege nur durch Höhenmessungen von Gestirnen zu bestimmen.

Grenz-
vermessungen.

Die Besitzergreifung fremder Landgebiete durch die zivilisierten Staaten hat dazu geführt, eine scharfe Abgrenzung dieser den einzelnen Staaten zugehörigen Gebietsteile zu bedingen. Je wichtiger für die großen Staaten die Erwerbung kolonialer Gebietsteile geworden ist, einmal um aus ihnen die Rohprodukte für die Industrie unabhängig von anderen Staaten zu gewinnen, dann aber auch um sich Gebiete zu verschaffen, nach denen unter Umständen eine Auswanderung ohne Aufgabe der Nationalität erfolgen kann, um so mehr ist auch eine sichere Abgrenzung notwendig geworden; denn besonders ertragreiche oder klimatisch bevorzugte Landesteile würden leicht zu häufigen Streitigkeiten führen. Gerade diejenigen Länder, aus denen wertvolle Rohprodukte ausgeführt werden können, sind dadurch zu äußerst wertvollen Gebieten geworden, und es ist heute nicht nur notwendig, sie im allgemeinen etwa nach Völkergruppen oder einzelnen Stämmen abzugrenzen, zumal diese leicht bedeutenden Verschiebungen unterworfen sein können, sondern es müssen, ebenso wie in den zivilisierten Staaten, scharfe Grenzfestsetzungen erfolgen.

Gewöhnlich ist der Verlauf dieser Grenzbestimmungen in der Weise vor sich gegangen, daß zunächst die Forscher, welche fremde Gebiete erkundeten, im Interesse ihrer Heimatstaaten mit den Häuptlingen der bereitesten Gebiete Verträge abschlossen, nach denen die diesen Häuptlingen unterstehenden Gebiete, meist sehr wenig scharf begrenzte Distrikte, sich dem

Schutze des Heimatstaates unterstellten. War es gelungen, mit anderen ebenfalls in gleicher Gegend interessierten Staaten Übereinkommen zu treffen zur gegenseitigen Anerkennung solcher Verträge, so hatte man gewöhnlich nur die Möglichkeit, auf diplomatischem Wege Festsetzungen über den Verlauf der Grenze zwischen den einzelnen Interessensphären zu treffen, und diese Bestimmungen konnten sich naturgemäß, da man die abzugrenzenden Landesgebiete ihren geographischen Verhältnissen nach meistens gar nicht kannte, darauf beschränken, auf den mehr oder weniger vollständigen Karten ideelle Grenzen festzusetzen, die durch Breiten- oder Längengrade definiert wurden. Macht sich das Bedürfnis geltend, durch Auffindung bestimmter Produktionsgebiete, etwa wertvoller Erze, Kautschuk oder anderer Produkte, oder auch wohl wegen Festsetzung von Schiffahrtswegen die angenommenen Grenzlinien tatsächlich im Lande selbst aufzusuchen und zu bestimmen, so werden zu diesem Zweck besondere Expeditionen ausgerüstet, denen astronomisch und geodätisch gebildete Mitglieder beigegeben sind, um die Absteckung der festgesetzten Grenzlinien und die Aufnahme der Grenzgebiete vorzunehmen. Alle Methoden, welche zur Bestimmung der geographischen Breite und der Längendifferenz unter solchen Verhältnissen anwendbar sind, werden durch die Astronomen dieser Expeditionen zu ihren Zwecken benutzt. Die Breitenbestimmungen erfolgen fast ausschließlich durch Messungen der Zenitdistanzen von Gestirnen in der Nähe des Meridians. Die Längenbestimmungen aber sind in diesen Fällen bis in die neueste Zeit noch auf die Beobachtung der Mondrektaszensionen angewiesen. Erst in diesem Jahre hat man Versuche angestellt, auch auf solchen Grenzexpeditionen von der Funkentelegraphie Gebrauch zu machen. Allerdings haben sich bei Versuchen, die jüngst zwischen Paris und einigen Orten Algiers angestellt worden sind, mancherlei Umstände ergeben, die es zweifelhaft erscheinen lassen, ob in Gebieten, die in weitem Maße vom tropischen Urwald bedeckt sind, eine Signalgebung auf weitere Strecken möglich sein wird. Deutschland hat die Expeditionen, welche zur Festlegung der Grenzen der neuerworbenen Gebietsteile in Kamerun gegenwärtig in Tätigkeit sind, mit Einrichtungen für den Empfang von Zeitsignalen durch Funkentelegraphie ausgerüstet; ebenso sind auch die französischen Abteilungen dieser Expeditionen mit entsprechenden Apparaten versehen. In Duala, in Liebreville, in Brazzaville und einigen anderen Orten des französischen Afrika sind Sendestationen für drahtlose Telegraphie errichtet, und es bleibt abzuwarten, ob diese Versuche zu entsprechenden Resultaten führen werden. Sollte der Empfang der von den genannten Funkenstationen gegebenen Signale in den Grenzgebieten möglich sein, so würde das eine außerordentliche Vereinfachung und Verschärfung der astronomischen Arbeiten der Grenzexpeditionen gewähren.

Die rein praktischen Bedürfnisse können mit der Genauigkeit, mit denen die Orte der Gestirne bekannt sind, wohl in vollem Maße befriedigt werden. Aber die astronomische Forschung kann selbstverständlich dabei nicht stehen

Veränderlichkeit der geographischen Koordinaten, Polhöhen-schwankungen.

bleiben, und die fortgesetzte Vergleichung älterer und neuerer Beobachtungen hatte schon den Königsberger Astronomen Bessel veranlaßt, die Vermutung auszusprechen, daß alle Resultate astronomischer Beobachtungen noch von einer kleinen Veränderung in der Stellung der Umdrehungsachse unserer Erde beeinflußt würden. Erst in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts ist es gelungen, mit Sicherheit nachzuweisen, daß tatsächlich eine solche Veränderung in der Lage der Umdrehungsachse der Erde vorhanden ist. Der Bonner Astronom Küstner zeigte auf Grund einer in Berlin ausgeführten Beobachtungsreihe, daß der jeweilige Pol des Erdäquators eine Kurve um seine mittlere Lage beschreibt. Eine Expedition, die man zur Kontrolle dieser Wahrnehmungen nach Honolulu entsandte, lieferte durch die dort ausgeführten Beobachtungen den Beweis, daß tatsächlich zu der Zeit, wann in Deutschland die geographische Breite für Berlin etwas größer wurde, sie sich dort um den gleichen Betrag verringerte, wie es der Fall sein mußte für zwei Orte, die nahezu um 180 Grad in Länge voneinander abstehen. Die Erkenntnis dieser Tatsache war von hoher astronomischer Bedeutung, wird doch durch den Umstand, daß alle Deklinationsbestimmungen der Gestirne von den Schwankungen der geographischen Breite der Beobachtungsorte abhängig sind, die Kenntnis der Position der Gestirne beeinflußt. Daher war es geboten, diese sogenannten „Polhöenschwankungen“ fortdauernd zu verfolgen. Auf Veranlassung der internationalen Erdmessung, einer großen Vereinigung von Gelehrten aller Staaten, welche sich die Erforschung der Größe und Gestalt der Erde zur Aufgabe gemacht hat, wurden besondere kleinere Observatorien eingerichtet, die, auf gleicher geographischer Breite gelegen, die Verfolgung der Schwankungen der Erdachse zur Aufgabe erhielten. Solcher Stationen gibt es gegenwärtig auf der nördlichen Halbkugel sechs, welche fast alle genau auf dem 39. Breitengrade gelegen sind; auch auf der südlichen Halbkugel hat man drei solcher Stationen auf dem 32. Grade südl. Br. eingerichtet. Fortlaufende Beobachtungsreihen werden an diesen Stationen mittels gleichgebauter Instrumente mit Hilfe derselben Methode und mit Benutzung der gleichen Sterne ausgeführt. Nur so ist es möglich, ein genaues Bild von dem Verlaufe der Bewegungen der Erdachse um ihre mittlere Lage zu erhalten, und es ist leicht einzusehen, daß solche sorgfältigen Vorkehrungen notwendig sind, wenn man bedenkt, daß die Schwankungen nur wenige Zehntel einer Bogensekunde betragen, also in linearem Maße etwa bis 11 Meter ausmachen. Die mechanischen Ursachen für die Verlagerung der Erdachse sind bis heute noch nicht einwandfrei nachgewiesen. Die Periode der Schwankungen beträgt etwa 430 Tage, aber die Größe der Abweichungen selbst ist fortwährenden Veränderungen unterworfen. Denkt man sich an dem Punkte, welchen die mittlere Lage der Erdachse bezeichnet, eine senkrecht zu ihr liegende Ebene und auf dieser Ebene das Ende der tatsächlichen Drehungsachse eine Kurve beschreibend, so wird man für die letzten 13 Jahre die nebenstehende Darstellung Fig. 4 erhalten, aus der hervorgeht, daß es

schwer fallen dürfte, einen mathematischen Ausdruck für den Verlauf dieser Schwankungen anzugeben. Tatsächlich haben auch alle Rechnungen, die man ausführte auf Grund der speziell zu solchem Zweck angestellten ausgedehnten Beobachtungsreihen sowie auch derjenigen, die man aus weit zurückliegendem Beobachtungsmaterial der Sternwarten in Greenwich, Pulkowa, Paris, Washington u. a. durch Neuberechnungen abgeleitet hat, zu keinem Resultate in dieser Richtung geführt. Die Versuche, durch Ebbe- und Fluterscheinungen im Inneren

Ursachen der Polhöhen-schwankungen.

der Erde durch Massenveränderungen auf ihrer Oberfläche, etwa durch Abschmelzen der großen Eis- und Schneemassen an den Polen oder durch Hebungen und Senken der Kontinente die Schwankungen der Erdachse zu erklären, sind bisher nicht von Erfolg gewesen.

Die Erkenntnis der kleinen Veränderungen in der jeweiligen Lage der Umdrehungsachse der Erde ist ermöglicht worden durch

die bedeutenden Verbesserungen der astronomischen Instrumente und durch die Vervollkommnung der Beobachtungsmethoden. In gleichem Maße ist damit aber auch die Genauigkeit der Bestimmung der Positionen der Gestirne wesentlich gesteigert worden. Aus diesen Umständen hat nun ihrerseits wieder die Geodäsie Vorteil gezogen, indem die Festlegung einer großen Anzahl fast über die ganze bewohnte Erde verteilter Punkte gegenüber dem Koordinatennetz der Längen und Breiten dadurch sehr erheblich verschärft werden kann.

Haben in früheren Zeiten die Vermessungen der Länder wesentlich politischen und wirtschaftlichen Zwecken gedient, so werden heute die großen Dreiecknetze, die in einem größeren Gebiete die erwähnten Fixpunkte miteinander in Beziehung setzen, d. h. ihre gegenseitige Lage bestimmen, dazu benutzt, die auf geodätischem Wege gefundenen Resultate für lineare Ent-

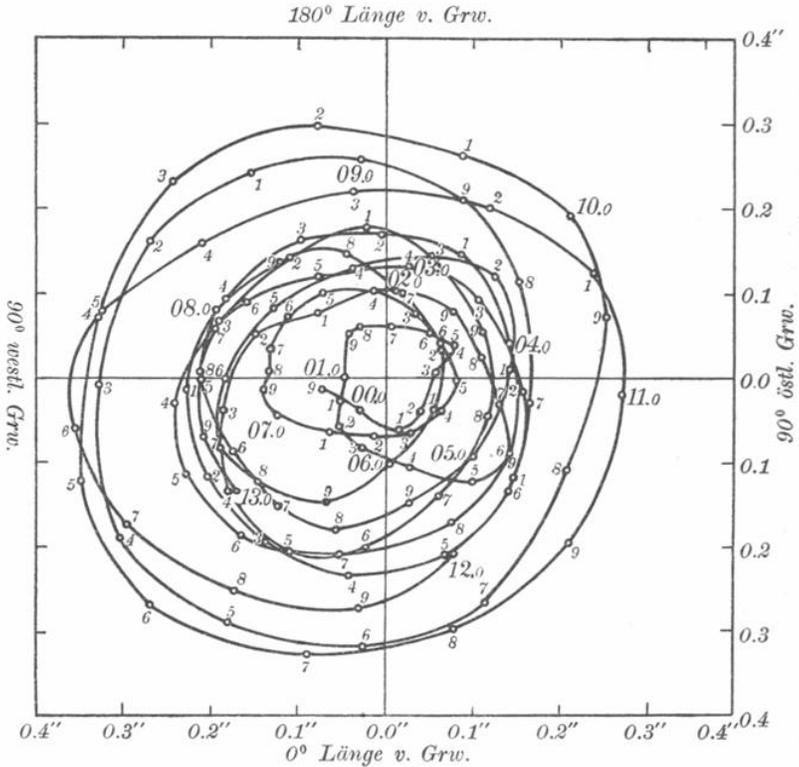


Fig. 4.

fernungen und für die Richtungen ihrer Verbindungslinien, mit den aus rein astronomischen Beobachtungen abgeleiteten gleichen Daten zu vergleichen. Die Vergleiche liefern dann durch die Unterschiede, welche sie aufweisen, die Möglichkeit, die Gestalt der Erdoberfläche immer genauer kennen zu lernen. In diesem Sinne stehen die Bestimmungen der Orte der Gestirne in enger Beziehung zu den Aufgaben der Erdmessung, und jedes dieser Wissensgebiete hat besonders in den letzten Dezennien stete Förderung durch das andere erfahren.

Die in die großen Dreiecknetze eingeschalteten engmaschigeren, die die Dreiecknetze II., III. und IV. Ordnung, wie man sie zu benennen pflegt, je nach der mittleren Seitenlänge der sie bildenden Dreiecke, haben dann den weiteren Zweck, für kleinere Gebiete Punkte festzulegen, an die schließlich die Vermessung der land- und forstwirtschaftlich wichtigen Gelände oder die Gestaltung der Stadtgebiete eingeschaltet werden kann.

Ein neues Gebiet ist der astronomischen Beobachtungskunst sowie der Technik, welche für diese Beobachtungen die Hilfsmittel liefert, eröffnet worden durch die Anforderungen, die zur Bestimmung der Orte der Luftschiffe durch astronomische Methoden notwendig geworden sind. Ist auch die Aufgabe der Ortsbestimmung in einem das Luftmeer durchfliegenden Luftschiffe oder Freiballon sehr ähnlich derjenigen auf einem Schiffe zur See und können im allgemeinen dieselben Methoden der astronomischen Ortsbestimmung zur Anwendung gelangen, wie sie der Seefahrer seit Jahrhunderten gebraucht, so kommen doch einige Umstände dazu, welche die Anstellung astronomischer Beobachtungen und ihre Auswertung nicht unerheblich erschweren. Einmal ist es der Umstand, daß man vom Ballon aus, wenn er eine erhebliche Höhe über der Erde erlangt hat, die Trennungslinie zwischen Erdoberfläche und Himmelsgewölbe, die Kimm, nur sehr undeutlich und, falls der Ballon sich über Land befindet, gar nicht als Grenze des scheinbaren Horizontes wahrnehmen kann. Durch die Schwierigkeit, welche die Höhenbestimmung des Ballons und die schnelle Veränderlichkeit der Höhe über der Erde bedingen, würde es selbst bei besserer Wahrnehmbarkeit der Kimmlinie schwierig sein, die Höhenmessungen von Gestirnen wegen der Kimmtiefe, die in diesem Falle beträchtlichen Wert erreicht, zu korrigieren; andererseits aber ist die Bewegungsgeschwindigkeit eines Ballons oder gar eines der großen lenkbaren Luftschiffe so bedeutend, daß der Schiffsführer nicht in der Lage ist, umständliche Beobachtungen und längere Rechnungen anzustellen, wenn diese nicht für einen ganz anderen Ort gelten sollen, als für den, an welchem er sich bei Abschluß der Rechnung befindet. Es müssen also sowohl noch die Methoden der Beobachtungen sowie deren Ausrechnung erheblich modifiziert werden. In erster Beziehung ist es notwendig geworden, von der Bezugnahme auf den scheinbaren Horizont Abstand zu nehmen. Man muß deshalb Instrumente verwenden, welche durch eine geeignete Einrichtung, durch eine Libelle oder durch ein Pendel, die angestellten Winkelmessungen auf den wahren Horizont oder auf die Lot-

richtung direkt beziehen. Solcher Instrumente besitzt man mehrere. Der französische Kapitän Fleury hat schon vor langer Zeit einen Sextanten erfunden, bei welchem die Teilung von einer kreisförmigen Glasröhre bedeckt wird, in welcher sich Quecksilber befindet. Nach physikalischen Gesetzen werden beide Enden der Quecksilbersäule stets gleiche Höhe einnehmen. Hat man daher eine Visur nach einem Gestirn ausgeführt, so braucht man nur die freie Zirkulation des Quecksilberfadens zu hemmen, und man wird die Stellung der Enden des Quecksilberfadens auf der Teilung ablesen können. Eine andere Einrichtung an den Sextanten ist von dem Hamburger Ingenieur Reitz angegeben worden und wird neuerdings in mehrfach veränderter Ausführung von mehreren mechanischen Werkstätten, z. B. Butenschön in Hamburg, Spindler und Hoyer in Göttingen u. a., in den Handel gebracht. Bei diesen Instrumenten tritt an die Stelle des Horizontes eine Libelle, bei welcher die Stellung der Blase gleichzeitig mit dem avisierten Gestirn durch Spiegelung im Fernrohr sichtbar gemacht wird. Man sieht also in dem Moment, in welchem die Achse der Libelle horizontal liegt, das Bild des Gestirnes scheinbar über der Mitte der Blase stehen. Diese Instrumente können aber kaum dieselbe Genauigkeit geben wie die am Bord eines Schiffes zur Anwendung gelangenden Sextanten- und Reflexionskreise. Aber es ist auch nicht nötig, daß man den Ort eines Ballons über der Erdoberfläche mit größerer Genauigkeit als auf etwa 5 bis 8 km genau kennt, und das würde einer von den Instrumenten zu fordernden Genauigkeit von 3 bis 5 Bogenminuten entsprechen. Bei einiger Übung gelangt man leicht dahin, mit einem der letztgenannten Instrumente, dem sogenannten Libellenquadranten, eine Genauigkeit in der Höhenmessung von 5 bis 6 Bogenminuten zu erhalten. Die Möglichkeit der Ausführung von Beobachtungen mit genügender Genauigkeit würde damit gegeben sein. Anders steht es mit den Hilfsmitteln zur Auswertung dieser Beobachtungen. Wenn auch von den Fachastronomen die Berechnung einer Zeitbestimmung oder einer Breite aus wenigen Einstellungen eines Gestirnes in ganz kurzer Zeit ausgeführt werden kann, so muß doch bei Luftreisen im allgemeinen damit gerechnet werden, daß astronomisch ausgebildete und in der Rechenarbeit erfahrene Personen sich nicht an Bord befinden, und daß außerdem der Führer eines Luftschiffes seine Aufmerksamkeit vielen anderen Dingen, die für die Sicherheit des Ballons von höchster Bedeutung sind, zuwenden muß, so daß höchstens in den großen lenkbaren Luftschiffen mehrere Personen vorhanden sein können, welche sich in die notwendigen Arbeiten und Pflichten teilen. Aber auch dann ist es notwendig, die rechnerischen Hilfsmittel derart zu vereinfachen, daß sie unter Umständen auch von Laien ausgeführt werden können. Man hat zu diesem Zweck eine Anzahl von Hilfstafeln herausgegeben und Einrichtungen getroffen zur graphischen Auswertung der Beobachtungen, die einen großen Teil der Rechenarbeiten entbehrlich machen, aber immerhin ist auch deren Benutzung von einer gewissen Kenntnis der astronomischen Beobachtungskunst abhängig. Im besonderen sind die graphischen

Hilfsmittel, Sternkarten, Kurventafeln und dergleichen, im schwankenden Ballon nicht immer leicht zu gebrauchen. Die Erfinder und Verfertiger solcher Hilfsmittel haben häufig hübsche theoretische Überlegungen ihren Tafelwerken und ihren Tabellen zugrunde gelegt, die aber wiederum ein nicht unerhebliches mathematisches Verständnis zur schnellen und zweckmäßigen Benutzung erfordern. Da es sich bei Luftfahrten meistens um kleine Zeitabschnitte handelt, selten wird ein Luftschiff 24 Stunden oder länger unterwegs sein, so bietet die Feststellung des Nullmeridians mit der nötigen Schärfe meist keine Schwierigkeiten. Denn ein oder zwei Taschenuhren genügen, um bis auf wenige Sekunden genau für ein oder zwei Tage die Zeit des Nullmeridians zu halten. Die Längenbestimmungen im Ballon würden also nur darauf hinauslaufen, eine Zeitbestimmung für den Moment der Beobachtung zu liefern. Die Beobachtungen eines Gestirnes im Osten oder Westen bei nicht zu geringer Zenitdistanz würden für die Bestimmung der Zeit, also in diesem Falle der Länge, genügen. Ebenso wird eine Höhenbeobachtung in der Nähe des Meridians für die Bestimmung der Breite ausreichen. Mit besonderem Vorteil hat man deshalb beide Beobachtungssätze wieder zu der Standlinienmethode kombiniert. Ihre Anwendung, welche an Einfachheit und Kürze nichts zu wünschen übrig läßt, wird daher mit oder ohne Benutzung geeigneter Hilfstafeln das gegebene Beobachtungsverfahren für die Ortsbestimmung im Ballon bilden.

Auch andere Vorschläge sind gemacht worden, um eine schnelle Orientierung im Ballon für den Fall, daß von der Oberfläche der Erde nichts sichtbar ist oder der Ballon sich über dem Meere befindet, zu ermöglichen, u. a. der, daß man mit Hilfe der Abweichung der Magnetnadel und aus der Intensität der magnetischen Kraft mit Hilfe der für die Erdoberfläche an den verschiedenen Orten bekannten Größen dieser Elemente eine Ortsbestimmung erhält. Denkt man sich z. B. für Europa die Linien gleicher magnetischer Deklination und diejenigen gleicher Intensität auf einer Karte eingetragen, so werden sich diese Linien unter günstigen Winkeln schneiden. Hat man nun im Ballon die Möglichkeit, ebenfalls die magnetische Deklination und deren Intensität auf einfache Weise zu bestimmen, so würde durch das Aufsuchen desjenigen Punktes auf der Erdoberfläche, welcher den gefundenen Werten beider magnetischer Elemente entspricht, die Orientierung für die Fahrt des Ballons gegeben sein. Dabei ist allerdings nicht in Betracht gezogen, daß wohl nicht in allen Punkten der Senkrechten über einem Ort der Erde dieselben magnetischen Verhältnisse wie auf der Oberfläche der Erde bestehen. Es ist vielmehr sicher, daß das letztere nicht der Fall ist. Man muß also von dieser Art der Orientierung zunächst wohl absehen, und sie wird erst eine Bedeutung erlangen können, wenn wir durch ausgedehnte Beobachtungsreihen das Verhalten der erdmagnetischen Verhältnisse in den der Erde zunächstliegenden Schichten des Luftmeeres bis auf einige tausend Meter über dem Erdboden erforscht haben werden.

Literatur.

S. 142. Die hier auszugsweise gegebenen Daten über frühere Bestimmungen sind entnommen aus R. WOLF, Handbuch der Astronomie (Zürich, 1892) Bd. I § 191, Bd. II § 375. Diese Angaben stützen sich auf die Zahlen in: J. C. HOUZEAU, Vade-Mecum de L'Astronomie (Bruxelles, 1882), wo sich ein sehr ausführliches Verzeichnis der bekannten Bestimmungen der Schiefe der Ekliptik findet, S. 189 ff. WOLF leitet aus dem dort gegebenen Zahlenmaterial für die Schiefe der Ekliptik die folgende Formel ab:

$$\epsilon = 23^{\circ}28'14.6'' - 0.46708 t + 0.000022528 t^2,$$

wo t vom Jahre 1800.0 an gezählt ist.

S. 144. Über die Einführung der Koordinatensysteme und ihre Beziehungen zu Raum und Zeit, wenn diese Bezugnahme heute dadurch noch allgemein genug ausgedrückt ist, findet man ausführliche, spekulative wie auch theoretische und praktische Auseinandersetzungen in: Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften (Leipzig), Bd. VI 2. Teil Kap. 1 (Über Koordinaten und Zeit, von C. ANDING).

S. 148. Das erste Sternverzeichnis von Hipparch findet sich im Almagest des PTOLEMÄUS; eine gute deutsche Ausgabe ist neuerdings von KARL MANITIUS bei B. G. Teubner erschienen. Bisher gab es außer griechischen und lateinischen Ausgaben (zum Teil sehr schöne Drucke von 1538 und aus der Mitte des 16. Jahrhunderts) nur diejenige von dem Franzosen HALMA in den Jahren 1813—16 zu Paris edierte. Einzelne Teile des Almagest sind auch anderwärts erschienen, z. B. der Sternkatalog, das 7. und 8. Buch, 1712 zu Oxford. Eine griechische Ausgabe neuen Datums erschien ebenfalls bei B. G. Teubner, besorgt von J. L. HEIBERG (Kopenhagen). Eine fast vollständige Zusammenstellung aller bis zum Jahre 1875 erschienenen Sternverzeichnisse mit genauer Inhaltsangabe und kritischen Bemerkungen hat KNOBEL in Mém. of the Roy. Astr. Society im Jahre 1877 Vol. XLIII mitgeteilt. Später hat FR. RISTENPART in Valentiners Handwörterbuch der Astronomie eine Liste von 336 Sternkatalogen gegeben. Als Sonderabdruck erschienen in Breslau 1901. Dieses Verzeichnis enthält die Aufzählung der für Forschungen über Eigenbewegungen usw. besonders wichtigen Sternkataloge mit Angaben über Anzahl, Helligkeit der katalogisierten Sterne sowie über die beabsichtigte Genauigkeit und die Gebiete des Himmels, die der Katalog umfaßt.

S. 156. Die Anzahl der Werke über die von den Seefahrern, Astronomen und Geodäten im Laufe der Zeit benutzten Instrumente ist naturgemäß sehr groß. Die Instrumente vor Erfindung des Spiegelsextanten behandelt A. BREUSING, Die Nautischen Instrumente bis zur Erfindung des Spiegelsextanten (Bremen, 1890). Die ersten Mitteilungen über diesen nebst Abbildungen finden sich in Phil. Transactions (London, 1731 und 1732). Die späteren größeren und genauere Resultate ergebenden Instrumente finden sich an der Hand vieler Abbildungen kurz beschrieben in JOH. A. REPSOLD, Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach 1450 bis 1830 (Leipzig, 1908) und nach Theorie und Gebrauch zusammengestellt in L. AMBRONN, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde (Berlin, 1899) mit vielen Literaturangaben, auf die auch hier bezüglich aller Einzelheiten hingewiesen werden muß. Bezüglich historischer Angaben finden sich auch viele Hinweise in R. WOLF, Handbuch der Astronomie — s. oben.

S. 160. REGIOMONTAN ließ 1475 einen Kalender für die Jahre 1475—1513 erscheinen, der auf dem Schlußblatte gezeichnet ist: „Also ist begriffen körczlich diss kalenders nutz

und Tögllichkeit nach meinem schlechten tewtsche und chleinem vermögen. M. Johan von Königsberg“, und in der lateinischen Ausgabe trägt sie die Schlußsignatur: „Ductu Joannis de Monteregio“. — Gegenwärtig befinden sich im Gebrauch: *Connaissance des Temps, ou des Mouvements Célestes, pour le Méridien de Paris à l'usage des Astronomes et des Navigateurs, pour l'an* publiée par le Bureau des Longitudes (Paris); *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris for the Year, for the Meridian of the Royal Observatory at Greenwich, published by Order of the lords Commissioners of the Admiralty. The American ephemeris* (Washington); *Berliner Astronomisches Jahrbuch* (Berlin) und einige andere. Für speziell nautische Zwecke: *Nautisches Jahrbuch oder Ephemeriden und Tafeln* (Berlin), herausgegeben vom Reichsamt des Innern; *Astronomisch-Nautische Ephemeriden* (Triest). Jahrbücher allgemeinen Inhalts: *Annaires du Bureau des longitudes* (Paris); *Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles* (Bruxelles). Außerdem gibt es noch eine erhebliche Anzahl weniger wichtiger, nur selten gebrauchter Jahrbücher.

S. 160. Die Bewegung des Mondes ist bei allen Völkern, die sich mit der Betrachtung der Himmelserscheinungen befaßten, von allem Anfang an aufmerksam verfolgt worden. Die ersten Angaben beziehen sich auf die Lichtgestalten und die Finsternisse und hatten als Resultat die Erkenntnis der SAROS-Periode sehr nahe, $6585\frac{1}{8}$ Tage, nach welcher sich die Stellungen des Mondes zur Sonne wiederholen. — Die älteren Werke übergehend, mögen hier nur angeführt werden: P. S. DE LAPLACE, *Mémoire sur la théorie de la Lune*, Mem. III 198 (Paris, 1801); J. PLANA, *Théorie du mouvement de la Lune* (Turin, 1832); C. DE LAUNAY, *Théorie du mouvement de la Lune* (Paris, 1860—1867); P. A. HANSEN, *Darlegung der theoretischen Berechnung der in den Mondtafeln angewandten Störungen* (Leipzig, 1863), Abh. VI 93, (1864) VII 1; S. NEWCOMB, *Researches on the Motion of the Moon* (Washington Observations, for 1875 — Washington, 1878); H. BATTERMANN, *Bestimmung der Mondlänge, des Mondhalbmessers und der Sonnenparallaxe, Beobachtungsergebnisse der Kgl. Sternwarte zu Berlin Nr. 11* (Berlin, 1902).

S. 166. Betreffs der Methoden zur Bestimmung der Mondorte geben die Handbücher der sphärischen Astronomie in den betreffenden Kapiteln den nötigen Aufschluß. Es wären in dieser Richtung sowohl als auch betreffs der Bestimmung der Koordinaten der übrigen Gestirne anzuführen: F. BRÜNNOW, *Sphärische Astronomie* (Berlin); E. CASPARI, *Cours d'astronomie pratique* (Paris); W. CHAUVENET, *Manual of spherical and practical Astronomy* (Philadelphia); L. DE BALL, *Lehrbuch der sphärischen Astronomie* (Leipzig, 1912). Für die Ortsbestimmung auf der Erde würden hier zu nennen sein die Handbücher und Tafelsammlungen zur geographischen Ortsbestimmung: WISLICENUS, *Handbuch der geographischen Ortsbestimmungen auf Reisen* (Leipzig); AD. MARCUSE, *Handbuch der geographischen Ortsbestimmung für Geographen und Forschungsreisende* (Braunschweig); P. GÜSSFELDT, *Grundzüge der astronomisch-geographischen Ortsbestimmung* (Braunschweig); TH. ALBRECHT, *Formeln und Hilfstafeln für geographische Ortsbestimmungen* (Leipzig); AMBRONN und DOMKE, *Astronomisch-geodätische Hilfstafeln* (Berlin, 1909).

S. 167. Für die Ortsbestimmung zur See kommen heutigentages in Betracht: BOLTE, *Neues Handbuch der Schifffahrtskunde* (Hamburg); BREUSING, *Steuermannskunst* (neu herausgegeben von SCHILLING); beide mit Tafelwerken versehen; *Lehrbuch der Navigation*, herausgegeben vom Reichsmarineamt.

S. 170. Die grundlegenden Arbeiten auf dem Gebiete der Verfolgung der Bewegungen der Erdachse sind: KÜSTNER, *Neue Methode zur Bestimmung der Aberrationskonstante nebst Untersuchungen über die Veränderlichkeit der Polhöhe* (Berlin) und die einschlägigen Publikationen des Bureau der Internationalen Erdmessung, herausgegeben vom Zentral-Bureau Potsdam. Die betr. Bearbeitungen in diesen Publikationen sind zum weitaus größten Teile angestellt von Geheimrat TH. ALBRECHT, Abteilungsvorsteher am Kgl. Preußischen Geodätischen Institut, welcher auch in entsprechenden Zeitabschnitten Auszüge aus diesen Arbeiten in den *Astronomischen Nachrichten* erscheinen läßt. Den letzten Aufsätzen dieser Art ist auch die beigegebene Darstellung Fig. 4 entnommen.