

Die astronomische Zeitbestimmung

Von Dr. Johannes Riem, Astronom

Es ist allgemein bekannt, daß die Angaben aller unserer öffentlichen Uhren, soweit sie sich im Bereiche der Post, der Eisenbahn, öffentlicher Gebäude oder Schulen befinden, zuletzt unmittelbar oder auf Umwegen auf die Angaben der Hauptuhr einer Sternwarte zurückgehen. Die Anforderungen

unseres Verkehrs, der mit Minuten rechnet, verlangen die einheitliche Regelung des Uhrwesens eines ganzen Landes unbedingt und bedürfen dazu der unmittelbaren Mitwirkung der Sternwarten, die allein imstande sind, ihre Uhren nach dem Laufe der Gestirne zu richten. Es leuchtet von vornherein ein, daß dies nicht so ganz einfach ist, und daß man nicht nur geeigneter Instrumente in guter Ausführung, sondern vor allem auch geschickter Astronomen bedarf, die ihre Instrumente zu handhaben wissen. Um dies zu begründen, soll hier einmal auf die zur Zeitbestimmung dienenden Instrumente näher eingegangen und an einem Beispiele gezeigt werden, wie sich die Ausführung einer solchen Beobachtung im einzelnen gestaltet.

Wir nehmen an, daß sich die Erde mit einer unveränderlichen Geschwindigkeit um ihre Achse drehe; sie ist uns gewissermaßen selber eine Uhr, und die Sterne bilden mit ihrer scheinbaren Bewegung das Zifferblatt.

Als Zeiger dient eine Richtung, eine Ebene, die man sich an jedem beliebigen Orte denken kann, senkrecht stehend in der Richtung von Norden nach Süden; es ist die Meridianebene, und jeder Stern muß jeden Tag notwendig diese Ebene durchschneiden, in dem Augenblicke, da er am höchsten über dem Horizonte erscheint. Er geht dann durch den Meridian. Diese Meridianebene geht innerhalb eines Tages durch das Sternheer hindurch und trifft jeden Stern einmal (Zirkumpolar-Sterne zweimal). Wenn wir also ein Instrument bauen, das nur von oben nach unten bewegt werden kann und das genau nach Süden sieht, dann stellt dies genau unsere Meridianebene dar und zeigt uns an den Sternen, die gerade sichtbar sind, wie spät es ist. Man kann da an einer ganz beliebigen Stelle anfangen zu zählen und hat sich dahin geeinigt, den Frühlingspunkt als Nullpunkt anzusehen, also den Punkt, an dem die Sonne sich zur Zeit der Frühlings-

Tag-und-Nacht-Gleiche befindet. Wenn dieser Punkt durch unser Fernrohr geht, dann ist es null Uhr, und die Zeit bis zum nächsten Durchgang dauert 24 Stunden Sternzeit, was etwas weniger ist (etwa 4 Minuten) als unsere bürgerliche Zeit. — In unserer Fig. 1 sehen wir nun so ein Instrument, den sogenannten Meridiankreis; die Achse geht genau von Ost nach West, und die Gesichtslinie des Fernrohrs geht infolge davon immer durch den Meridian des Ortes. Die beiden großen Kreise tragen eine Kreisteilung, die dazu dient, das Fernrohr so einzustellen, daß es auf den richtigen Stern gerichtet ist. Sieht man nun in das Okular hinein, so erscheint das Bild von Fig. 3. Mitten durch das Gesichtsfeld laufen zwei feine Spinnwebfäden, einander parallel und genau waagrecht. Man bewegt das Fernrohr so, daß der Stern genau zwischen beiden dahinfließt, wozu ein Stern, der zu Zeitbestimmungen gebraucht wird, etwa 2 bis 3 Minuten braucht. Von oben nach unten laufen eine ganze Reihe Fäden, meist in mehreren Gruppen angeordnet; hier zwei Gruppen und in der Mitte einer, der Mittelfaden. Dieser soll ganz genau in der Mitte stehen. Der Augenblick, in dem der Stern gerade hinter ihm verschwindet, ist eben der Meridiandurchgang

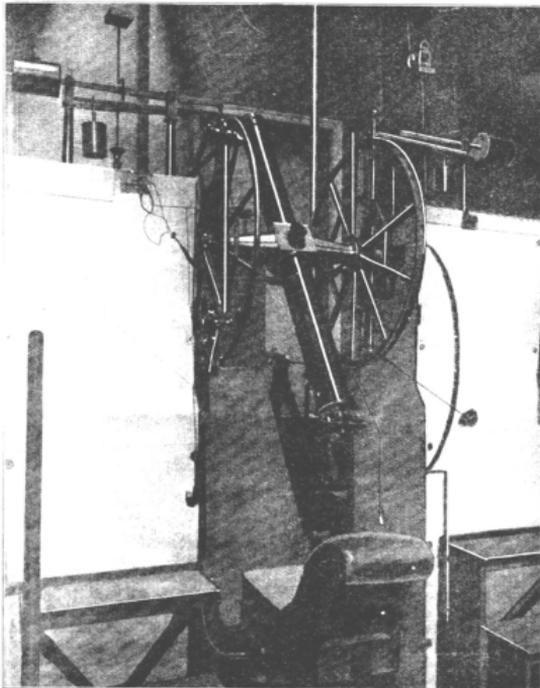


Fig. 1

des Sternes, und wenn man diesen Augenblick hinreichend scharf mit der Uhr bestimmen könnte, dann wäre damit die Zeitbestimmung eigentlich schon fertig. Aus praktischen Gründen aber empfiehlt es sich, außer dem Mittelfaden noch mehrere andere zu beobachten, damit die Genauigkeit erhöht und ein etwaiger Fehler eines Fadens entdeckt werden kann. Es ist dazu nur nötig, den Abstand jedes einzelnen Fadens vom Mittelfaden zu kennen und ihn zu dem betreffenden Zeitmoment hinzuzufügen, in dem der Stern hinter dem Faden war.

Nun die Bestimmung dieses Momentes. Die einfachste, früher einzige Methode ist die, mit Auge und Ohr zu beobachten. Der Beobachter sieht nach der Pendeluhr und zählt die Sekunden mit, während er den Stern hinter den Fäden herlaufen sieht. Nehmen wir an, der Stern hätte zur Sekunde 16 an der bezeichneten Stelle links und bei 17 rechts vom Mittelfaden gestanden; dann stand er hinter dem Mittelfaden

zur Zeit 16,3 Sekunden. Der Beobachter vergleicht die beiden Abstände nach dem Augenmaße miteinander und notiert auf dem Papier: 16,3. Eine solche Zahl wird er bei jedem der elf Fäden notieren, und mit Hinzufügung der sogenannten Fadendistanz erhält man gewissermaßen elf Durchgänge durch den Mittelfaden, aus denen das arithmetische Mittel genommen wird als wahrscheinlichster Wert. Man erhält mit einiger Übung eine erstaunliche Gewandtheit in dieser Methode, sodaß die einzelnen Zahlen bis auf eine oder zwei Zehntel-Sekunden zusammenstimmen.

Neuerdings benutzt man aber elektrische Hilfsapparate, durch deren Anwendung die Genauigkeit wesentlich erhöht werden kann, sodaß man schon aus einigen Fäden einen genaueren Wert erhält, als früher aus vielen, was eine große Zeitersparnis ist. In Fig. 2 sehen wir einen solchen Chronographen.

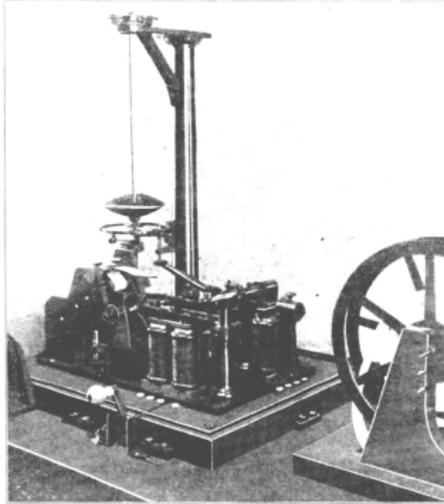


Fig. 2

Von rechts läuft die Papierrolle ab und links wieder herunter. Die Elektromagnete wirken ähnlich wie in der Telegraphie beim Morse-Apparat. In Fig. 4 sehen wir ein Stück eines solchen Streifens mit einem Stück aus einer Zeitbestimmung.

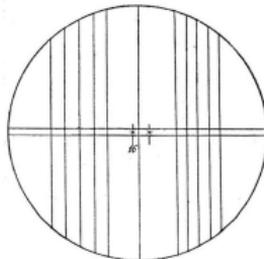


Fig. 3

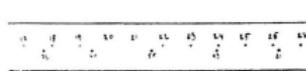


Fig. 4

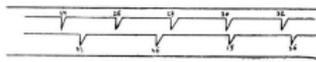


Fig. 5

tragen. So sehen wir hier, daß die einzelnen Fäden liegen bei 17,72, 19,90, 21,56, 23,95, 26,21 Sekunden. Die Genauigkeit ist

aber viel größer geworden, sie beträgt nur wenige Hundertstel Sekunden. Es liegt dies daran, daß wir in der ersten Methode die beiden Sekundenpunkte und den Ort des Fadens rein nach dem Augenmaße miteinander vergleichen; zudem werden jene beiden Punkte rein gedächtnismäßig festgehalten; ferner geht immer ein Teil der Aufmerksamkeit beim Schreiben verloren, besonders wenn die Fadenschnitte schnell aufeinander folgen. Es sind also dabei drei Tätigkeiten notwendig: das Sehen, das Vergleichen und das Schreiben, während das neue elektrische Verfahren nur zwei Tätigkeiten erfordert: das Sehen und das Drücken auf den Taster. Letzteres erfordert keine besondere Aufmerksamkeit und stört daher die erste Tätigkeit nicht. Ferner ist das Ablesen der Punkte, die man sieht, viel genauer zu bewirken, als das Abschätzen von Größen, die man nur im Gedächtnis hat.

Das Verfahren mit den Punktterapparaten ist sehr bequem; die Stiche sind schön scharf, aber sie drücken sich leicht zu, und wenn man sich leicht zu, und wenn man

später etwas nachsehen will, dann ist der Punkt verwischt. Daher verwendet man neuerdings Farbstoffapparate, die

eine bunte Linie ziehen, in der man gewisse Unterbrechungen herstellt, wie Fig. 5 zeigt. Die obere Linie ist die der Uhr; alle zwei Sekunden schließt das Pendel den Strom, und der Magnet reißt die Schreibfeder zur Seite; das gleiche geschieht in der unteren Linie, so oft der Beobachter den Strom schließt. Nun vergleicht man die Abstände der scharfen Ecken miteinander und erhält so die beobachteten Momente: 24,73, 27,46, 30,15, 32,36 Sekunden. Diese Methode ist aber auch nicht frei von Schattenseiten; es kommt vor, daß die Farbe gefriert oder eindickt oder daß sie in feuchtem Papiere ausläuft, sodaß man seine Mühe hat mit dem Ablesen. — Nach diesen technischen Vorkenntnissen können wir nun dem Beobachter bei seiner Tätigkeit folgen. Dieser eilt an die Uhr,

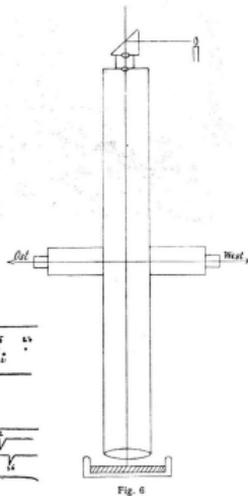


Fig. 6

überzeugt sich, daß der nächste durch den Meridian gehende und zur Beobachtung geeignete Stern nach den Angaben des Berliner Astronomischen Jahrbuches*) der Stern α in der Jungfrau ist. Dieser geht zur Zeit $13^h 20^m$ durch den Meridian. Es sind also noch drei Minuten Zeit. Schnell wird das Fernrohr eingestellt, der Chronograph in Gang gesetzt und auf den Streifen aufgeschrieben: „ α Virginis (= α in der Jungfrau), erste Gruppe und Mittelfäden“, damit man weiß, welche Fäden benutzt

worden sind. Nun ans Fernrohr! Der Chronograph tickt regelmäßig, und die Kontaktvorrichtung in meiner Hand spricht auch an. Mit Ruhe werden die fünf Fäden der ersten Gruppe und der Mittelfäden erledigt. Dann beuge ich mich zur Uhr, die verglichen werden soll. Es braucht dies nämlich durchaus nicht dieselbe Uhr zu sein, die den Chronographen treibt. Im Gegenteil, dies läßt man meist eine ältere, weniger gute Uhr tun, um nicht einer guten Uhr die Mehrarbeit aufzuladen, die durch das Antreiben des Chronographen geleistet wird und die einem präzisen Werke leicht schaden kann. Ich gebe also mehrere Sekunden lang bei jedem Schlage der Uhr auch ein Signal wie bei dem Stern, und sodann auch bei meiner Uhr, die nach mittlerer Zeit geht. Infolgedessen habe ich auf demselben Streifen der Reihe nach die Beobachtungen der Sterne, der Sternzeituhr und der Uhr für mittlere Zeit. Und damit die Uhrvergleichung und Zeitbestimmung unabhängig ist vom Gange der Uhr, die den Chronographen antreibt, werde ich hinterher noch ein paar Sterne in der gleichen Weise behandeln wie die ersten, und nach zwanzig Minuten oder weniger ist die ganze Zeitbestimmung erledigt. Am andern Morgen wird abgelesen. Da kommt dann ins Beobachtungsbuch folgende Eintragung:

1906 Mai 10. Zeitbestimmung			
1. „ α Virginis	Abstand vom Mittelfad.	Mittelfäden	
Faden 1	13,74	12,73	26,47
2	15,26	11,16	26,42
3	16,93	9,50	26,43
4	18,66	7,80	26,46
5	20,23	6,26	26,49
Mittelfad.	26,44	0,00	26,44
			Mittel 26,45

Es ist also die dritte Reihe die Summe der beiden ersten, und die Beobachtung ist als gut zu bezeichnen, da die größte Abweichung eines Fadens vom Mittel nur $0,04$ Sekunden beträgt. Dazu gehört die Minute $13^h 20^m$, also ging α Virginis durch den Mittelfaden meines Instrumentes zur Zeit $13^h 20^m 26,45^s$.

Nun ist aber nach den Angaben meines Berliner Jahrbuches der Ort des Sternes $13^h 20^m 15,81^s$. Daraus geht hervor, daß meine Uhr $10,64^s$ vorgeht. Dies ist aber nur dann richtig, wenn das Instrument ohne Fehler ist, was niemals so ganz zutrifft. Dazu gehört nämlich

1. daß die Umdrehungsachse des Fernrohrs mathematisch genau von Ost nach West geht, und nicht etwa das eine Achsenlager auch nur ein Zehntel-Millimeter zu weit nach

Norden oder Süden steht; denn dann zielt das Fernrohr nicht mehr genau nach Süden, sondern um einen sehr kleinen Winkel nach Osten oder Westen. Dieser Winkel heißt das Azimut und darf nur etwa 1 bis 2 Bogensekunden groß sein.

2. daß die Umdrehungsachse genau wagerecht liegt, nicht etwa ein Ende ein wenig höher; der dann entstehende Winkel ist die Neigung, die ebenfalls mittels geeigneter Stellschrauben sehr klein gehalten wird.

3. ist zu beachten, daß der Winkel, den die Umdrehungsachse und die optische Achse, also die Verbindungslinie von Objektiv- und Okularmittelpunkt, miteinander bilden, genau ein rechter sein soll. Auch das ist nie so ganz der Fall, kann aber durch Verschieben

des Fadennetzes im Okular erreicht werden. — Es ist jedoch notwendig, sich jederzeit davon zu überzeugen, daß die Fehler sehr klein sind, und vor allem, wie groß sie sind, damit ihr Einfluß berechnet werden kann. Und das geschieht bei dem ersten Fehler, dem Azimutfehler, durch Beobachtung eines Sternes im Äquator und eines in der Nähe des Poles; aus der verschiedenen Wirkung des Fehlers auf beide Sterne kann seine Größe berechnet werden. Die Neigung wird durch eine aufgehängte Wasserwaage bestimmt. Der dritte Fehler, der des Achsenwinkels, wird bei kleinen Instrumenten bestimmt, indem man einen sich langsam bewegenden Stern erst an einer Gruppe von Fäden beobachtet und dann das Instrument aus seinen Achsenlagern heraushebt und umgekehrt wieder hineinlegt. Damit ist die erste Fadengruppe die letzte geworden, und ich kann den Stern noch einmal an den gleichen Fäden beobachten. Der Unterschied der auf den Mittel-

fäden berechneten Zeitmomente gibt mir dann den Fehler. Bei großen Instrumenten aber, bei denen das Umlegen eine mühevoll und zeitraubende Sache ist, verfährt man so, daß man — siehe Fig. 6 — das Instrument nach unten richtet und mit Hilfe einer Treppe daran heraufsteigt. Unter dem Instrumente befindet sich eine Schale voll Quecksilber, oben auf das Okular setzt man unter einem Winkel von 45° eine Glasplatte, die teils durchsichtig ist, teils das Licht einer daneben gestellten

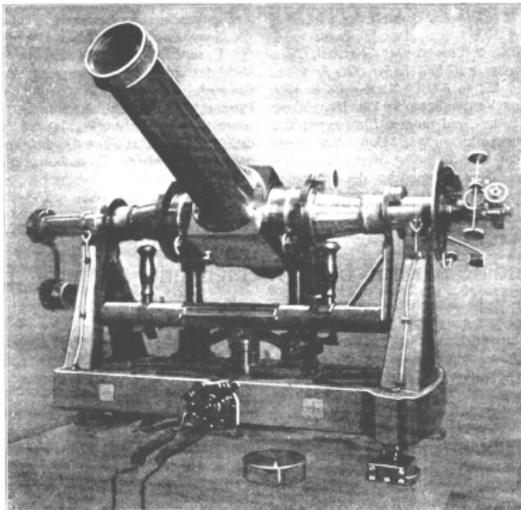


Fig. 7

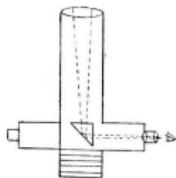


Fig. 8

*) Siehe den Aufsatz über das Astronomische Recheninstitut in Berlin in voriger Nummer, Seite 382.

Kerze nach unten spiegelt. Sieht man nun oben hinein, dann sieht man, wenn der Achsenfehler gleich null ist, den Mittelfaden einfach: sein Spiegelbild fällt mit ihm zusammen. Für gewöhnlich sieht man ihn aber doppelt, und dann ist der Achsenfehler die Hälfte des Abstandes von Faden und Bild. So hat man also die drei Instrumentalfehler bestimmt und muß ihren Einfluß mit in Rechnung bringen. Nehmen wir an, ihr Einfluß sei bestimmt zu: Azimut $-+ 0,09^{\circ}$, Neigung $= -0,12^{\circ}$ und Achsenfehler zu $+ 0,13^{\circ}$, das gibt zusammen $+ 0,10^{\circ}$; dieser Betrag ist also an den Mittelfaden oben noch anzubringen, und wir haben:

Durchgang des Sternes $13^{\text{h}} 20^{\text{m}} 26,55^{\text{s}}$ nach der Uhr,
Ort des Sternes $13^{\text{h}} 20^{\text{m}} 15,81^{\text{s}}$ nach dem Jahrbuch.

Also geht die Uhr vor um $10,74^{\text{s}}$. Das ist aber Sternzeit. Nun schlagen wir das Jahrbuch weiter auf und finden die Angabe: Mai 10, Sternzeit im mittleren Mittag $5^{\text{h}} 9^{\text{m}} 21,21^{\text{s}}$ (= 12 Uhr Mittag). Dies brauchen wir zur Vergleichung der Uhr für mittlere Zeit, da, wie wir gesehen haben, auf unserm Chronographen ebenfalls die Sternzeit-Uhr angeschlossen war. Und zwar ergab die Ablesung des Streifens, daß $13^{\text{h}} 22^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ Sternzeit = $10^{\text{h}} 10^{\text{m}} 14,76^{\text{s}}$ mittlere Zeit war. Nun ist zunächst der Uhrfehler anzubringen: die Uhr ging vor um $10,74^{\text{s}}$; zieht man dies ab,

so zeigt die Sternzeituhr in Wahrheit $13^{\text{h}} 22^{\text{m}} 19,26^{\text{s}}$. Davon ist abzuziehen: Sternzeit im mittleren Mittag $5^{\text{h}} 9^{\text{m}} 21,21^{\text{s}}$, das gibt $10^{\text{h}} 12^{\text{m}} 58,05^{\text{s}}$. Soviel Sternzeit ist seit 12^{h} verlossen.

Das Jahrbuch zeigt an anderer Stelle, daß die Umrechnung auf bürgerliche Zeit beträgt: $- 1^{\text{m}} 40,42^{\text{s}}$. Dies abgezogen, gibt also für den Moment der Uhrvergleichung $10^{\text{h}} 11^{\text{m}} 17,63^{\text{s}}$ mittlere Zeit. Die betreffende Uhr zeigte aber bei der Vergleichung $10^{\text{h}} 10^{\text{m}} 14,76^{\text{s}}$; demnach ging die Uhr nach um $1^{\text{m}} 2,87^{\text{s}}$.

Damit ist nun die Zeitbestimmung vollendet; aus dem Fehler der Sternzeit-Uhr haben wir den Fehler der nach mittlerer Zeit gehenden Uhr bestimmt, also eben das geleistet, was für die Kenntnis der öffentlichen Uhren notwendig ist.

Unsere Fig. 7 und 8 zeigen ein kleineres Instrument, mit Hilfe dessen die Zeitbestimmung sehr bequem auszuführen und das auch leicht auf Reisen mitzuführen ist. Durch ein spiegelndes Prisma wird der Strahlengang im Innern des Rohres so abgelenkt, daß die Strahlen in die eine Achse fallen; dann ist das Achsenende zugleich Okular, und es ist für den Beobachter ganz gleich, ob der Stern hoch oder tief steht; er sieht immer an der gleichen Stelle in das Fernrohr hinein und hält das Beobachten länger aus, ohne ermüdet zu werden.

