AUS DER NATUR

Zeitschrift für den naturwissenschaftlichen und erdkundlichen Unterricht

herausgegeben von

Prof. P. Johannesson · Prof. Dr. W. Schoenichen
Prof. Dr. P. Wagner

XI. Jahrgang · 1914/15
Mit 2 farbigen und 12 schwarzen Tafeln
sowie 180 Abbildungen

Verlag von Quelle & Meyer in Leipzig

sofort auf. Auch der Farbenumschlag mit Alkalien bezw. Säuren kann leicht hervorgebracht werden. Man muß nur dabei mit verdünnten Reagenzien arbeiten, da zu starke Lösungen die Farbe sonst ganz verschwinden lassen. Die mit den Anthocyanstrichen versehenen Papierstücke lassen sich aufbewahren (im Dunkeln), und so können die Reaktionen jederzeit vorgenommen werden, auch wenn keine lebenden Blüten zur Verfügung stehen. Die Reaktionen traten z. B. auf einem schon vor über einem Jahre mit Anthocyanstrichen versehenen Papiere mit unverminderter Deutlichkeit und Raschheit auf. Auszüge verblassen, wenn auch im Dunkeln aufbewahrt, nach einiger Zeit.

Der Unterschied der ähnlichen Reaktionen mit Lackmus läßt sich in folgender Weise sehr schön zeigen. Hält man blaues Lackmuspapier über Dämpfe von schwefliger Säure, so färbt es sich rot, dagegen löschen die Anthocyanstriche über SO_2-Dämpfen vollständig aus. Befeuchtet man nun die betreffende Stelle, wo die Striche verschwunden sind, z. B. mit Nikotinlösung oder mit Salzsäure, so treten die Striche wieder in grüner bezw. roter Farbe deutlich hervor.

Die angegebene Methode hat also folgende Vorteile:

1. geringster Zeitaufwand,
2. Vergleichbarkeit verschiedener Anthocyane auf kleinstem Raume,
3. geringster Aufwand an Reagenzien,
4. das Material steht immer zur Verfügung.

Die Selbstanfertigung einfacher astronomischer Instrumente.

Von **MAX VALIER** in Bozen.

Mit zwölf Abbildungen.

(Schluß zu S. 604.)

Der Quadrant.

Der Entwickelung der astronomischen Instrumente mit der Zeit folgend müßten wir eigentlich nun die Vorgänger des Quadranten, das Astrolabium und die Armillarsphären oder Armillen, besprechen. Infolge ihrer komplizierten Bauart und wenig stabilen Form konnten aber diese Instrumente selbst von den mechanischen Künstlern des Altertums und auch noch späterer Jahrhunderte nicht mit solcher Präzision hergestellt werden, als daß wir hoffen dürften, mit unseren einfachen mechanischen Hilfsmitteln solche Instrumente von lohnender Leistung bauen zu können.

Wir wollen vielmehr in einfacher Form den „Quadrans Tychonicus", den Mauerquadranten nach Tychos Bauart nachahmen.

Unsere Abb. 1 sagt schon sehr viel und zeigt uns das Instrument so deutlich, daß uns, nachdem wir manches schon bei den oben besprochenen Instrumenten erwähnt haben, nur noch weniges zu erklären übrigbleibt.

Der Quadrant besteht aus einem Viertelkreis, der auf einem Brette so montiert ist, daß seine Ebene normal zum Horizonte steht und daß der eine Schenkel des

90° Winkels des Quadranten seinerseits wieder senkrecht in dieser Ebene liegend steht, der andere zum Horizonte parallel ist.

Um den Mittelpunkt des Quadrantkreises drehbar ist ein Stab, der Mücke und Korn oder zwei Absehen bekannter Konstruktion trägt. Ein Stift, in dem Abstande von der Achse, die dem Kreise der Quadrantteilung entspricht, gestattet dann, unmittelbar den Elevationswinkel des Gestirns über dem Horizont abzulesen, respektive auf

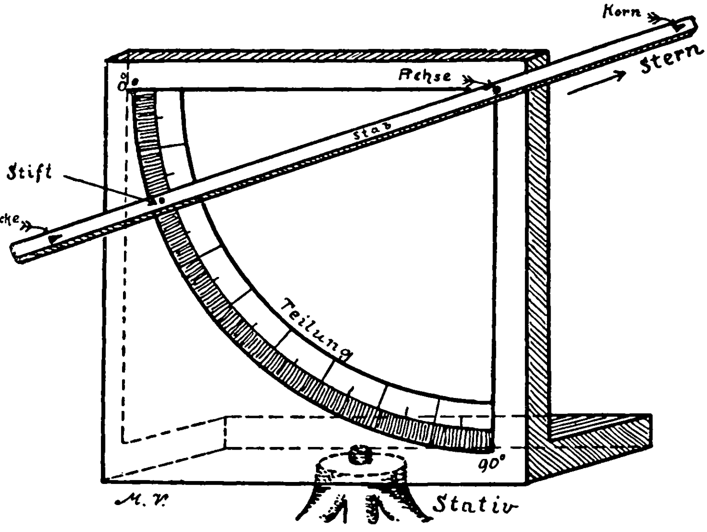

Abb. 1. Quadrant.

die bekannte Art (sofern die Quadrantebene in der Meridianebene liegt,) die Deklination des Gestirns abzuleiten.

Als praktische Größe empfehle ich wieder $^1/_2$ Meter Radius und eine direkte Kreisteilung auf $^1/_4$ Grade.

Will man noch feiner arbeiten, so würde man schon auf praktisch schwer (mit Schülermitteln) überwindliche Schwierigkeiten stoßen, denn schon $^1/_4$ Grade bei $^1/_2$ Meter Kreisradius sind nur ca. 2.2 mm groß, da, wie aus Tafeln leicht zu entnehmen, bei 1 m Kreisradius $^1/_2{}^0 = 30'$ $= 0.00873$ m mißt, wenn wir einfach weiterteilen wollten. Weniger Arbeit und bessere Resultate werden wir durch Einführung der Transversalen in die Kreisteilung erhalten.

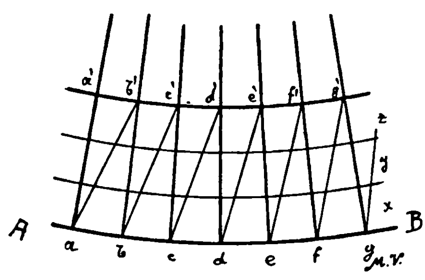

Abb. 2. Die Transversalen.

Es sei in Abb. 2 A—B der ursprüngliche Kreis von $^1/_2$ m Radius. Die Linien von den Punkten a, b, c, d, e, f, g nach a', b', c', d', e', f', g' seien die letzten eigentlichen Teilstriche und entsprächen für unseren Fall einer Winkelteilung von $^1/_4$ Graden. Ziehen wir nun in den nicht groß zu wählenden Abständen $x = y = z$ zum ursprünglichen Kreis konzentrische Kreise und ziehen die Transversalen ab', bc', cd' . . ., so kann man — insofern man die Bogen a—b, b—c, c—d . . . als Gerade ansehen kann und die

Radien a—a', b—b', c—c' . . . als parallel betrachtet (was freilich nicht genau wahr ist) — annehmen, daß die Schnittpunkte der Transversalen mit den Kreisen C—D, E—F (in unserem Falle) die dritten Teile der Winkel a—b, b—c, c—d . . . erkennen lassen.

Es ist klar, daß der Fehler, welcher notwendig mitunterläuft, um so kleiner wird, je größer der Radius des Grundkreises und je feiner die letzten Einheiten der ursprünglichen Teilung sind.

Bei $^1/_2$ m Radius und $^1/_4{}^0$ ursprünglicher Teilung wird der Fehler schon hinreichend klein, jedenfalls kleiner als der beim Handzeichnen mit der Reißfeder unterlaufende, denn es ist immerhin schwierig, 360 Teilstriche mit solcher Präzision zu zeichnen.

Das technisch schwierigste Stück ist natürlich die Teilung. Von ihrer Güte hängt aber auch die Messungsgenauigkeit ab, und es kann daher der Stolz des Schülers sein, wenn er durch die Kontrollrechnung bemerkt, daß seine Beobachtungen recht kleine Fehler aufweisen. Viertelgradteilung mit Dritteltransversalen würde Zwölftelgrad oder 5′ (Bogenminuten) abzulesen gestatten.

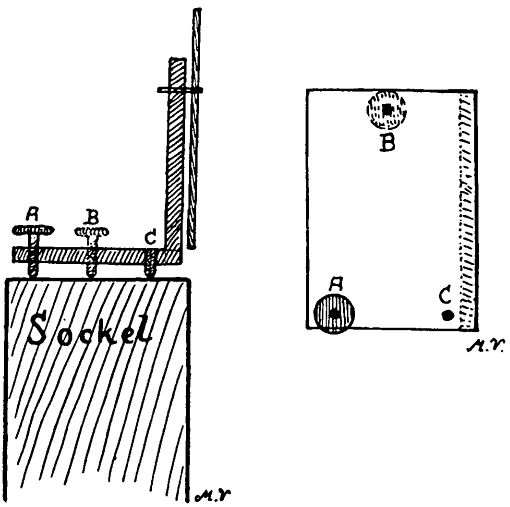

Abb. 3. Quadrant im Meridian.

Man könnte aber auch noch Fünfteltransversalen versuchen, das heißt 5 konzentrische Kreise in gleichen Abständen $x = y = z = u = v$ ziehen und so Zwanzigstelgrad oder 3′ ablesbar machen. Die praktische Beobachtungsgenauigkeit wird ungefähr der des Triquetrums gleich sein und etwa 5′ betragen, sofern Winkeldifferenzen gemessen werden.

Um aber den Wirkungskreis des Quadranten zu erweitern, wollen wir ihm eine Aufstellung geben, welche uns mittels der Ebene, in welcher der Viertelkreis des Quadranten liegt, auch Rektaszensionsbeobachtungen gestattet. In Abb. 3 ist dies schematisch veranschaulicht.

Auf einem festen Sockel (wie ein solcher in jeder Schule irgendwie, sei es auf dem Dache, sei es im Garten zur Aufstellung mannigfacher Instrumente vorhanden sein wird) montieren wir den Quadranten so, daß wir durch Ausrüstung seines Grundbrettes mit zwei Stellschrauben A, B und einem dritten Fußstift C in der Lage sind, einerseits die Ebene des Quadrantkreises senkrecht zu stellen, anderseits zu bewirken, daß der 0° Radius des Quadranten in die Horizontale kommt, was durch eine Libelle geprüft werden kann.

(Auch hier ergibt sich gegenüber dem Triquetrum ein Vorteil. Die Prüfung auf Horizontalstehen mittels einer gewöhnlichen Libelle pflegt genauer zu sein, als die mittels eines einfachen Lotes oder Senkbleis.)

Endlich setze ich voraus, daß wir dafür gesorgt haben, daß die Ebene des Quadranten in die Meridianebene so genau als möglich fällt.

Wir können dann durch Anvisieren längs der Fläche des Quadranten auch den Moment der Meridianpassagen der beobachteten Gestirne bestimmen. Freilich muß diese Bestimmung der Deklinationsbestimmung vorausgehen, denn letztere kann man bei dieser Stellung des Quadranten erst unmittelbar nach der Passage des Meridians ausführen, weil man vorher den Stern nicht in die Absehen bekommen kann.

Gegeben den Fall, man wollte die Position eines Planeten durch Anschluß an einen bekannten Fixstern erhalten, würde man sich rechtzeitig (kurz vor der Meridianpassage des Planeten) an den Quadranten begeben und, längs der Fläche des Quadranten spähend, den Moment, wo der Planet vor der Fläche auftaucht, mit der Uhr bestimmen, unmittelbar darauf mittels der Absehen die Deklination festlegen und dann das Auftauchen des bekannten Fixsterns in eben der Weise erwarten. Die Zeitdifferenz gibt dann den Rektaszensionsunterschied in Stunden, Zeitminuten und Zeitsekunden, oder in Graden, wenn man bedenkt, daß $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$ ist.

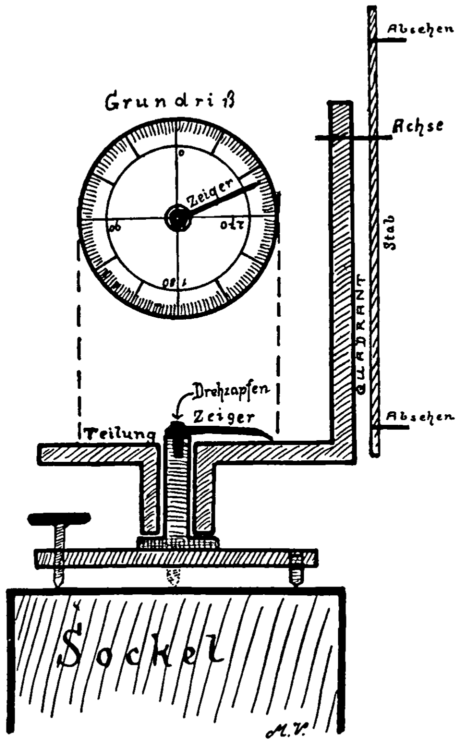

Abb. 4. Quadrant mit Azimutalkreis.

Die Ablesungsdifferenz an der Quadrantteilung ist die Deklinationsdifferenz.

Eine Kombination des einfachen Quadranten mit einer Vorrichtung, auch azimutale Winkel zu messen, wollen wir noch erwähnen.

In Abb. 4 führen wir sie deutlich genug vor Augen, so daß uns wenig zu sagen übrigbleibt.

Der Quadrant — gebaut wie früher — ist nur, anstatt direkt auf dem Dreifußstellschraubenstativ zu stehen, mit seinem Grundbrette drehbar um einen Zapfen angeordnet, der seinerseits auf dem Dreifußstellschraubenstativ steht.

Auf dem etwas größer als sonst zu wählenden Grundbrette ist nun ein Vollkreis so geteilt aufgezeichnet (vgl. Grundriß), daß seine 0°—180° Linie parallel der Projektion der Quadrantfläche auf das Grundbrett ist. Ein Zeiger ist auf dem Zapfen so angebracht, daß er auf der sich mit dem Quadranten drehenden Teilung (welche ja auf dem Grundbrett aufgetragen ist) auf Null zeigt, wenn die Ebene des Quadranten im Meridian liegt, auf 90° zeigt, wenn der Quadrant nach Westen schaut etc.

Es ist klar, daß vermittels eines solchen Instrumentes sowohl die Höhen der Gestirne (oder auch terrestrischer Objekte) wie auch ihre azimutalen Winkel gemessen werden können. Nur wenn man die eigentlichen Azimute haben will, das sind die Winkelabstände vom Meridian, dann muß man dafür sorgen, daß der Zeiger dann auf Null zeigt, wenn der Quadrant im Meridian steht; wenn man nur Winkeldifferenzen messen will, ist die Nullstellung der Teilung natürlich gleichgültig.

Bezüglich der Teilung dieses Vollkreises empfehlen sich einerseits dieselben Methoden, welche wir für den Quadranten angegeben haben, bei der viermal größeren Teilungsstrichezahl wird es aber besser sein, nach der Vernierschen Methode zu teilen, welche sparsamer mit Strichen ist, sofern die Grundteilung aber zuverläßlich ist, noch bessere Resultate gibt als das Transversalverfahren (wovon später).

In unserer letzten Kombination haben wir ein Instrument geschaffen, das mit den Altazimuten und Theodoliten prinzipiell große Ähnlichkeit hat.

Der Spiegelsextant.

Mochte auch der Quadrant durch hohe Vervollkommnung wissenschaftlich durchaus brauchbare Winkelmessungen geben, so war man doch in seiner nutzbaren Verwendung an eine sehr stabile Aufstellung gebunden.

Für die Bedürfnisse des Seefahrers, der auf schwankem Schiffe dennoch genaue Winkelmessungen ausführen wollte, um eine Ortsbestimmung vornehmen zu können, aber auch für die Bedürfnisse des Astronomen, der an beliebigen Stellen der Himmelssphäre in beliebig schiefen Lagen zum Horizonte die Winkelentfernung zweier Sterne rasch messen wollte, genügten aber alle vorbesprochenen Instrumente nicht.

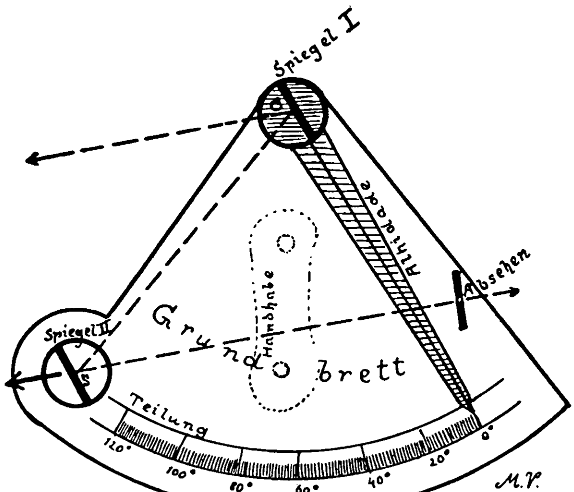

Abb. 5. Sextant.

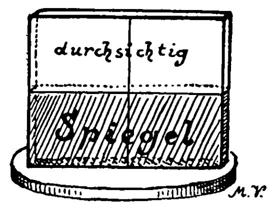

Abb. 6. Spiegel II des Sextanten.

Erst der von Hadley 1731 erfundene Spiegelsextant löste das Problem in hinreichender Weise; ja in moderner Ausführung, in Verbindung mit einem Fernrohr leistet der Sextant so vorzügliches, daß die besten Instrumente der Alten 10 ja 20 fach so große unvermeidliche Beobachtungsfehler übrigließen.

Da die Theorie des Sextanten meistens Gegenstand des physikalischen Unterrichtes ist, will ich mich hier nicht auf sie einlassen — weil sie allzukurz nicht gegeben werden kann, und gleich die Herstellung dieses interessanten Instrumentes mit einfachen Mitteln besprechen.

Wir wählen ein glattes Brett von guter Beschaffenheit und geben ihm mit Laubsäge etc. die Umrißform, wie unsere Abb. 5 darstellt. Auf diesem Brette bezeichnen wir einen Punkt, der dem Mittel- oder Drehpunkt des Spiegels I entsprechen soll. Auch die Stelle des Spiegels II können wir noch beliebig bezeichnen, nun sind wir aber schon in etwas gebunden. Wenn wir den Drehpunkt des Spiegels I mit C

(= Zentrum des Grundkreises) bezeichnen, so ziehen wir dann eine Linie, die von der Linie C nach S (womit wir den Drehpunkt des Spiegels II bezeichnen wollen) mindestens 60° Winkelabstand hat. Diese Linie sei die Nullinie unserer Kreisteilung. Mit einem der Größe des Brettes entsprechenden Radius schlagen wir dann einen Sechstelkreis von der Linie C—Null an, den Teilbogen des Sextanten. (Wie wir die Teilung anfertigen, davon später.) Der Spiegel II nun ist von der Beschaffenheit, daß seine obere Hälfte durchsichtig, nur seine untere Hälfte spiegelnd ist. Er wird möglichst genau senkrecht auf einem kleinen Brettchen aufmontiert, wie Abb. 6 anschaulich macht.

Der Spiegel I ist wie ein gewöhnlicher Spiegel in seiner ganzen Fläche spiegelnd, sitzt aber nicht auf einem kleinen runden Brettchen, wie Spiegel II, sondern auf einem Brettchen mit einem langen zeigerförmigen Ansatz, der „Alhidade" auf Abb. 5 bezeichnet ist. Mit dieser Alhidade ist nun der Spiegel I fest verbunden, steht normal

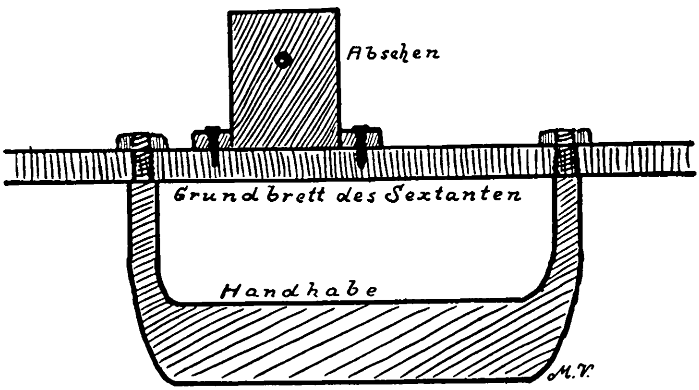

Abb. 7. Sextant.

auf ihr und parallel der Längslinie, welche vom Drehpunkt der Alhidade zur Spitze derselben führt.

Wird die Alhidade samt Spiegel I auf das Grundbrett des Sextanten aufgesetzt, so wird sie durch einen Stift um das Zentrum C beweglich (bei C wird das Grundbrett entsprechend durchbohrt) eingesetzt. Weist dann die Spitze der Alhidade auf den Nullpunkt der Teilung, so muß der Spiegel I parallel der Linie C—Nullpunkt sein, normal auf der Grundbrettebene. Ingleichen wird der Spiegel II parallel zu Spiegel I aufgesetzt. Nun ist noch ein wesentlicher Punkt des Sextanten zu ermitteln: die Stelle, wo das Absehen angebracht werden muß.

Man findet nach der Theorie des Sextanten diese Stelle, indem man vom Drehpunkt (Mittelpunkt) des Spiegels II eine Normale auf die Linie C—Nullpunkt fällt und den Winkel, den die Normale mit C—S bildet, jenseits nochmals aufträgt. Wir erhalten so den Austrittsstrahl eines auf den Spiegel II auffallenden Lichtstrahls, welcher in der Richtung C—S einfällt. In diesen Austrittssrahl muß nun das Absehen irgendwo zu liegen kommen, praktisch vorteilhaft an etwa die bezeichnete Stelle. Das Absehen steht senkrecht auf der Grundbrettebene und ist etwa in der durch Abb. 7 angedeuteten Weise befestigt, auf welchem Bilde zugleich auch die Anbringungsart des nötigen Handgriffes auf der Gegenseite des Grundbrettes ersichtlich ist.

Nun wollen wir noch zur Winkelteilung einiges sagen. Entsprechend dem Prinzipe des Sextanten, entspricht dem wahren Winkel zwischen zwei Objekten nur die halbe Alhidadenverschiebung. Daher werden wir praktisch schon auf der Teilung die Winkel doppelt angeben, wie aus Abb. 5 auch ersichtlich ist, wo an der Stelle, die eigentlich einem Kreisbogen von 60° entspräche, die Zahl 120° hingeschrieben ist.

Wir sehen also, daß wir in der Winkelablesung nur die halbe Feinheit der Teilung ausnützen. Hätten wir den Sechstelkreis in $^1/_4$ Grade geteilt, so würde er in der Ablesung nur halbe Grade geben.

Wir werden, sofern wir die mit freiem Auge sonst erreichbare Messungsgenauigkeit von etwa 4 Bogenminuten auch nur annähernd erreichen wollen, schon eine so feine Teilung brauchen, daß wir sie mit Handzeichnung nicht ohne weiteres erreichen können, zumal zu bedenken ist, daß wir den Sextantkreisradius nicht allzugroß, höchstens 25—30 cm machen werden. Viertelgrade werden schon nur mehr 1,1 mm groß sein. Auch Drittel oder Fünfteltransversalen würden in so engen Viertelgraden nicht mehr gut anzubringen sein, höchstens in $^1/_2$ grädiger Hauptteilung. Dann aber werden die unvermeidlichen Fehler wieder größer, und selbst bei sorgfältiger Konstruktion würden wir nur Zehntelgrade oder $6'$ ablesen können, die beim Sextanten dem doppelten, also $12'$ entsprechen würden, eine Feinheit, die der der Messung nicht entspricht. Eigentlich sollten wir den Sechstelkreis auf $2'$ teilen können.

Wenn auch diese Feinheit mit einfachen Mitteln nicht erreicht werden kann, so können wir sie mit Hilfe des Kreisverniers doch annähernd erzielen. Wir brauchen dann die ursprüngliche Teilungsfeinheit nur auf halbe Grade zu treiben, welche dann in der immer noch ansehnlichen Distanz von 2,2 mm zu ziehen sein werden, so daß die mit einer guten Reißfeder erreichbare Strichbreite von etwa 0,15 mm noch kleiner ist als ein Zehntel der Intervalle. Die Teilungsstriche mögen zwischen 2 konzentrische Kreise eingeschlossen sein. Nun wählen wir eine Alhidade, die nicht in eine Spitze ausläuft, sondern in einen genügend breiten konzentrischen Kreisbogen endigt. Auf dieser Alhidade wird nun ein Kreisbogen, der neun halben Graden der ursprünglichen Teilung entspricht, möglichst sorgfältig in 10 gleiche Teile geteilt.

Diese Teilung kann möglichst genau etwa dadurch erzielt werden, daß man einen Kreisbogen von großem Radius (1 m) auf einem großen Blatte zeichnet, nach Tafeln die Länge der Sehnen der zu ganzen Graden gehörigen Winkel berechnet, diese Längen sehr genau in einen Zirkel nimmt und auf dem großen Kreisbogen (der 1 Meter Radius haben möge) aufträgt. Fünf so aufgetragene Grade genügen. Nach der Halbierungsmethode erhalten wir die halben Grade, die, wie wir schon wissen, etwa 8,73 mm groß sein werden. Nun wollen wir Bogen von $4^{\circ}\,30'$ in zehn gleiche Teile teilen.

$4^{\circ}\,30'$ sind gleich $270'$. Ein Zehntel dieses Winkels ist gleich $27'$. Nun berechnen wir nach der bekannten Formel die Längen der Sehnen des Winkels von 1 mal $27'$; 2 mal $27'$; 3 mal $27'$ . . ., nehmen die gefundenen Strecken in den Zirkel und tragen sie auf dem Bogen auf. Auf diese Weise werden wir den Bogen des Kreises von 1 m Radius auf dem großen Papierblatte von 9 halben Graden in 10 Teile zu $27'$ geteilt haben. Indem wir die Alhidade mit ihrem Drehpunkt (C) auf den Mittelpunkt des großen Kreises auf dem Papier genau auflegen, ist es uns leicht möglich, die der Präzision halber am 1 m Radius-Kreis ausgeführte Teilung der 4^0 30′ in 10 Teile von je 27′ auf den kleinen Radius der Alhidide (= 25 bis 30 cm) zu übertragen. So dürfen wir hoffen, daß die Vernierstriche um nicht mehr als eine knappe Strichbreite = 0,11 mm falsch stehen. Da $^1/_2$ Grad bei 25 cm Radius etwa 2,2 mm groß ist, ist dies gleich $1^1/_2$′. Wenn wir durch die gleiche Vorsichtsmaßregel, nämlich durch Vorkonstruieren des Sextantbogens auf einem Blatte bei 1 Meter Radius und Übertragen und Verkleinern auf $^1/_4$ m = 25 cm auch den Hauptbogen teilen und so auch dort die Sicherheit auf etwa $1^1/_2$′ genießen, so können wir, da die Nonienablesung (wie wir sie gewählt haben) Zehntel der Hauptteilung gibt, Beträge von 3′ noch ablesen — freilich entsprechen ihnen in Wirklichkeit schon 6′.

Der Weg, eine möglichst feine Teilung herzustellen, ist angegeben; wie weit es die Fertigkeit des einzelnen und seine Mittel gestatten, sie zu treiben, mag jeder selbst versuchen. Gute Sextanten, die mit maschinellen Mitteln geteilt wurden und vermittels ihrer Nonien noch Bruchteile von 1′ abzulesen gestatten, ergeben aber, wenn man sie mit freiem Auge benützt (ohne das auf solchen angebrachte Visierfernrohr), auch keine genaueren Beobachtungen als auf 2′, weil eben das Auge noch kleinere Winkelbeträge nicht mehr zu unterscheiden vermag. Selbst 2′ zu erreichen ist nur guten und geübten Augen möglich.

Aber auch abgesehen von der Schwierigkeit, eine genaue Teilung von solcher Feinheit und Gleichmäßigkeit herzustellen, ist noch einige Schwierigkeit bei dem Baue eines einigermaßen brauchbaren Sextanten zu überwinden.

Es ist nämlich — sollen die Messungen nicht schon von vornherein falsche Werte geben — zu beachten, daß die Spiegel nicht nur senkrecht auf der Grundebene des Sextanten stehen, sondern ihre spiegelnden Flächen müssen auch für die Nullstellung der Linie *C*—Null parallel sein, und die spiegelnde Schicht muß durch die Drehpunkte der Spiegel gehen. Man darf also den ersten Spiegel keineswegs auf der Alhidade oder den zweiten Spiegel auf dem Grundbrett aufleimen, sondern muß durch zwei Korrektionsschrauben ein Korrigieren der Vertikalstellung und eine Drehung des Spiegels um kleine Beträge ermöglichen.

Es ist — je nach den Ansprüchen, die man an die Feinheit dieser Korrektionsbewegungen stellt — auf verschiedene, auch auf recht einfache Weise möglich, sich diese Bedingungen zu schaffen, zum Beispiel einfach dadurch, daß man die Spiegel mittels eines erst langsam erhärtenden Kittes auf Alhidade oder Grundbrett befestigt und genau einstellt, solange der Kitt noch weich ist, noch einige Male dazu sieht, während er hart wird und vielleicht kleine Verzerrungen durch Korrigieren beseitigt, dann aber das Instrument, nach Erhärten des Kittes, so benützt. Sollte durch eine Ungeschicklichkeit die richtige Stellung der Spiegel wieder gestört worden sein, so ist es durch Erweichen des Kittes nicht allzu schwer möglich, den Fehler wieder gutzumachen.

Es kann, wie gesagt, je nach den Ansprüchen, auf so vielerlei und leicht zu erfindende Art hier geholfen werden, daß wir nicht weiter hier darauf eingehen wollen. In den meisten Fällen wird in den Kabinetten schon einer der einfacheren käuflichen Sextanten vorhanden sein und zum nachahmenswerten Beispiel dienen können.

Wie mit dem Sextanten Winkel gemessen werden, kann hier nicht näher beschrieben werden, wird ja aber auch im Schulunterricht vorgetragen oder ist in jeder größeren Physik zu finden.