

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal
Humboldt-Gymnasium, Solingen

Der Sextant – Astronomische Navigation
Projektarbeit in der Qualifikationsphase 1
Projektkurs Astronomie
Schuljahr 2019/2020



Ersteller der Arbeit: Luca Scheurer
Projektkursleiter: Bernd Koch

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Grundlagen Navigation.....	4
3 Astronavigation in der Vergangenheit.....	5
3.1 Astrolabium.....	6
3.2 Der Kompass.....	7
3.3 Der Sextant.....	9
3.3.1 Idee/Entwicklung.....	9
3.3.2 Beschreibung des Sextanten.....	10
3.3.3 Voraussetzungen für die korrekte Verwendung eines Sextanten.....	11
3.3.4 Vorsichtige Verwendung.....	12
3.3.5 Die Verwendung eines Sextanten.....	13
3.3.6 Fehler des Sextanten.....	15
3.3.7 Die Berechnung.....	16
4 Koordinatentransformation.....	18
5 Fazit.....	20
6 Quellenverzeichnis.....	21
7 Danksagung.....	23
8 Eigenständigkeitserklärung.....	23

1 Einleitung

Von meiner Leidenschaft als Segler waren mir Begriffe wie Sextant, Astronavigation und Ähnliche bekannt. Allerdings war mir nie klar, wie die Astronavigation an sich funktioniert. Über das Angebot des Projektkurses Astronomie entstand die Idee dahingehend ein Thema zu formulieren und umzusetzen. Daher befasst sich diese Projektarbeit mit der Entstehung der Astronavigation, verschiedenen Hilfsmitteln, insbesondere dem Sextanten und den theoretischen Hintergründen zur Astronavigation. Ziel dieser Projektarbeit war es, möglichst leicht nachvollziehbar die Funktion und Umsetzung der Astronavigation darzustellen und dabei den historischen Kontext mit einzubeziehen. Um das ganze einmal praktisch darzustellen, besteht die Idee diese Rechnungen und Vorgehensweisen an einer praktischen Positionsbestimmung durchzuführen, welche statt in der Projektarbeit in der eigentlichen Präsentation stattfinden soll.

2 Grundlagen Navigation

Um sich auf einem Planeten, beispielsweise der Erde, zurecht zu finden, braucht man gewisse Anhaltspunkte. Da diese nicht immer gegeben sind, wurde ein einheitliches Koordinatensystem erdacht, sprich imaginäre Linien in gleichen Abständen. Dabei gibt es horizontale und vertikale Linien, welche einander rechtwinklig schneiden. Die horizontalen Linien werden Breitengrade und die vertikalen Linien Längengrade genannt. Sie werden grundsätzlich in Grad angegeben. Um aber genauere Angaben machen zu können, gehören zu diesen Angaben noch weitere, also die Anzahl der Bogenminuten und Bogensekunden. In ganz genauen Fällen sogar 1/10 Bogensekunden. Dieses Gitter lässt sich immer weiter verkleinern, sodass man letzten Endes eine genaue Angabe über den Standort einer Person oder eines Objekts erhält. Die Breitengrade werden vom Äquator aus gezählt, also liegt der Nordpol bei 90° N, bzw. der Südpol bei 90° S. Die Längengrade werden vom Grad Null aus gezählt, welche Anfang des 20. Jahrhunderts willkürlich aber allgemeingültig festgelegt wurden. Die Längengrade Null schneidet die Sternwarte in Greenwich, England. Dabei gibt es verschiedene Zählarten, wobei die reguläre in Richtung Ost und West genau 180° beträgt. Manch einer zählt allerdings 360° im Uhrzeigersinn. Bei sämtlichen Koordinatensystemen ist allerdings zu beachten, dass die Erde ein Ellipsoid ist, daher können leichter Verschiebungen auftreten, denn um eine genaue Darstellung eines dreidimensionalen Objekts auf einer zweidimensionalen Fläche zu erhalten, müssen einige Teile gestreckt und wieder andere gestaucht dargestellt werden. Aus diesem Grund gibt es auch die sogenannte Missweisung, welche den Korrekturwert für erhaltene Positionen angibt.

Meist wird für diese Darstellung das WGS 84 verwendet (World Geodetic System 1984). Es handelt sich hierbei um ein geodätisches Referenzsystem, welches als Grundlage für Navigation und Ortsbestimmung verwendet wird. Heutzutage werden Positionsbestimmung mithilfe von GPS (Global Positioning System) oder DGPS (Differential Global positioning system) durchgeführt, wobei äußerst präzise Ergebnisse erzielt werden. Beide Systeme basieren auf dem

Satelliten Netzwerk. Der Nutzer peilt verschiedene Satelliten gleichzeitig an und das digitale Gerät errechnet die Position. Meist sind über vier Peilungen gleichzeitig zu erwarten, was die präzisen Ergebnisse ausmacht. DGPS unterscheidet sich dabei nur darin, dass in diesem System noch eine Bodenstation zusätzlich angepeilt wird. Dies steigert die Genauigkeit. Da es vor gar nicht allzu langer Zeit jedoch noch keine Satelliten gab, auf welche man zurückgreifen hätte können, musste man anderweitig navigieren. In Landnähe war dies kein großes Problem, da man immer einen Anhaltspunkt hatte. Wenn man jedoch auf die hohe See hinausfahren wollte, gab es einen solchen Anhaltspunkt nicht mehr. Das einzige, was auf hoher See zu sehen war, war der Himmel und bei Dämmerung der Horizont. Auf Basis dieser Erkenntnis fingen Menschen schon früh an, mithilfe von Gestirnen zu navigieren. Damals gab es immer noch starke Ungenauigkeiten. Allerdings waren die Schiffscrews früher schon froh, wenn sie wussten, in welche Richtung sie Segeln mussten. Mit der Zeit kamen genauere Messinstrumente und verbesserte mathematische Formeln hinzu, um eine möglichst genaue Position zu ermitteln. Heutzutage wird dies mithilfe sphärischer Trigonometrie in Kombination mit genauesten Messgeräten erreicht. Seit ein paar Jahrzehnten lösen auch Satellitenpeilungen diese Methoden langsam ab.

3 Astronavigation in der Vergangenheit

Die Erkenntnis, dass sich Magneteisenstein, auch genannt Magnetit, eines der stärksten ferromagnetischen Mineralien, entlang der Längengeraden, bzw. der magnetischen Längen in Nord-Süd-Richtung ausrichten, ist in Europa seit der griechischen Antike bekannt. In China wird diese Erkenntnis auf die Zeit der streitenden Reiche zurückdatiert. Dieses Wissen sollte später den Grundstein für sämtliche Kompassse bilden.

3.1 Astrolabium

Das Astrolabium ist eine vereinfachte zweidimensionale Abbildung des Nachthimmels. Es ist ein rundes Instrument, meist aus Messing gefertigt. Es wurde um 150 v. Chr. von griechischen Gelehrten entwickelt. Auf dem äußersten Rand ist eine Zeit- und/ oder eine Winkelskala eingraviert. Innerhalb dieser Messingfassung ist nun eine Einlegescheibe und darauf aufgelegt die „Rete“. Während auf der Rete eine Datumsskala und die wichtigsten Fixsterne aufgezeigt werden, ist auf der Einlegescheibe unter der Rete das äquatoriale Koordinatensystem des Himmels abgebildet. In der Mitte befindet sich ein Stift. Auf der Rückseite liegt eine Alhidade mit zwei Visiermarken und auf der Vorderseite nur ein Zeiger. Nun misst man einen bekannten Stern mit der Rückseite, auf welcher ebenfalls nochmal Kalender und Winkelskala eingraviert sind, und dann dreht man den auf der Rete liegenden gemessenen Stern auf den gemessenen Winkel. Anschließend kann man mit dem Zeiger auf der Vorderseite, wenn das Datum bekannt ist, die entsprechende Uhrzeit ermitteln bzw. wenn die genaue Uhrzeit bekannt ist, das Datum. Innerhalb der Skalen auf der Rückseite finden sich manchmal auch die Tierkreise und einige astronomische Hilfsmittel, so zum Beispiel ein „Schattenquadrat“ und/oder eine Kurvenschar zur Bestimmung von „ungleichen Stunden“. In diesem Fall war diese Kurvenschar notwendig, da früher der Zeitraum zwischen Sonnenauf - und untergang als Konstante, 12 Stunden, angesehen wurde, dabei gab es aber das Problem mit den kürzeren Tagen im Winter und den längeren Tagen im Sommer, die eine große Rolle spielten. Dieses Instrument wurde später durch den Jakobsstab abgelöst.

Als weiteres navigatorisches Hilfsmittel galt wohl ein sogenannter Sonnenstein, mit welchem die Position der Sonne auch bei Wolken und Nebel ermittelt werden sollte. Nach heutigem Kenntnisstand war dieser wohl ein Calcitkristall, auch genannt Doppelspalt. Die chemische Formel lautet CaCO_3 . Chemisch gesehen handelt es sich also um ein Carbonatmineral. Mithilfe dieses Minerals lässt sich die Position der Sonne bestimmen, indem der „Stein“ vom Betrachter gedreht wird. Durch die hervorgerufene Doppelbrechung, kann man zwei Lichtstrahlen

unterschiedlicher Intensitäten wahrnehmen. An dem Moment, in welchem beide Lichtstrahlen dieselbe Intensität haben, scheint die Sonne im rechten Winkel auf das Mineral. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Calcit das Sonnenlicht in Abhängigkeit seiner eigenen Drehung bricht. Nach verschiedenen mündlich überlieferten Sagen nutzten die Wikinger diesen Sonnenstein bereits bei ihren Überfahrten, insbesondere nach Neufundland. Allerdings gibt es dafür keine Beweise. Es handelt sich hierbei um nicht mehr als eine haltlose Theorie. Die Existenz und der Nutzen des Calcits hingegen sind wissenschaftlich belegt. Archäologen konnten um 2011 einen solchen Calcit aus einem Schiffswrack bergen. Allerdings handelte es sich bei dem Wrack um ein britisches Kriegsschiff, welches erst im 16. Jahrhundert gesunken sein soll, womit die Nutzung des Calcits zur Wikingerzeit nur eine vage Vermutung bleibt.

3.2 Der Kompass

Der Kompass war ein Meilenstein in der Navigation, denn zum ersten Mal konnte man sehen, wo Norden ist und wo man selbst hinsegelt.

Der sogenannte „nasse Kompass“ wurde im 11. Jahrhundert in China erfunden. Dabei handelte es sich um eine Kompassnadel, welche schwimmend in einem festen Gehäuse liegt. Dies war der erste Kompass, welcher in China den Namen „Südweiser“ trug, weswegen man davon ausgehen kann, dass in China der Süden die maßgebliche Himmelsrichtung war. Der nasse Kompass selbst wurde in Europa zuerst von dem englischen Gelehrten Alexander Neckam erwähnt. Ob der nasse Kompass in Europa unabhängig von Chinas Südweiser erfunden oder adaptiert wurde, ist umstritten.

Der trockene Kompass hingegen wurde erstmalig von Petrus Peregrinus de Maricourt in seiner Schrift „Epistola de magneto“ erwähnt. Als Erfinder gilt Flavio Gioia.

Bei dem trockenen Kompass ist die Kompassnadel auf einem kleinen dünnen Stift drehbar gelagert, wodurch die normale Kompassdrehung ohne Wasser gewährleistet wird. Im 13. Jahrhundert kombinierten Seefahrer diesen Kompass mit einer Windrose. Eine Windrose ist eine

kleine „Grafik“ bzw. der heute typische Hintergrund eines Kompass. Sie wird genutzt, um Angaben über Wind- bzw. Himmelsrichtungen anzugeben. Um 1400 n.Chr. kombinierten einige Seefahrer den Kompass mit Windrose mit einem festen Gehäuse, was eine stationäre Anbringung des Kompasses ermöglichte. Dadurch wurde das Zittern und Wackeln der Seeleute ausgeschlossen, was dem Kompass eine höhere Genauigkeit verlieh. Leonardo Da Vinci war der erste, der für fest eingebaute Kompass eine kardalische Aufhängung vorschlug. Sein Vorschlag wurde ab 1534 ausgeführt. Da durch diese Aufhängung Schwingungen ausgeglichen werden konnten, erhöhte dies die Präzision wieder ungemein. Somit konnten die Einwirkungen auf Kursmessungen durch Wind und Wellen minimiert werden. Dies verbesserte den trockenen Kompass nochmal deutlich gegenüber dem nassen Kompass, denn letzterer kann bei Wellengang verrutschen. Da das Wasser sich aber innerhalb des Gehäuses auch bewegt, waren ungenaue Messergebnisse die Folge. Beim trockenen Kompass war dieses Problem nicht gegeben.

Der Jakobsstab ist eine Kombination verschiedener Holzstäbe zu einem zuverlässigen Winkelmessinstrument. Erstmals wurde er von Levi Ben Gerson fachlich beschrieben und dokumentiert. Der Astronom Johannes Müller publizierte eine Bauanleitung für einen solchen Jakobsstab im Jahr 1472. Der Jakobsstab ist im Vergleich zum Astrolabium simpel zu bedienen, kann dafür allerdings nicht das Datum oder die Uhrzeit berechnen. Es handelt sich meist um einen 70cm langen Holzstab, auf dem einer bis vier Querstäbe beweglich angebracht sind. Der lange Hauptstab ist mit einer Längenskala beschriftet, von den Querstäben muss die Länge bekannt sein. Bei der Peilung über den Horizont wird der Hauptstab knapp unter bzw. neben dem Auge angesetzt und von dort aus werden die einzelnen Querstäbe verschoben, bis das angepeilte Objekt und der Horizont kaum/knapp zu sehen ist. Dann kann der Jakobsstab ohne Verschiebung der Querstäbe abgesetzt werden. Anhand der Skala kann nun abgelesen werden, welcher Querstab mit welcher Länge wie weit verschoben wurde, um dann mit trigonometrischen Funktionen den

gemessenen Winkel zwischen dem gepeilten Objekt und Horizont zu berechnen.

3.3 Der Sextant

3.3.1 Idee/Entwicklung

Als Nachfolger des Jakobsstabs gilt der sogenannte Quadrant. Es handelt sich hierbei um ein Viertel eines Kreises, woher auch sein Name stammt. An einer der geraden Kanten des Kreises sind Kimme und Korn angebracht und am Bogen des Quadranten eine Skala. In der Ecke, an der beide Geraden rechtwinklig aufeinandertreffen, befindet sich ein Lot, welches bei der Anpeilung eines Objekts, dank der Schwerkraft, den Winkel auf der Skala des Bogens anzeigt. Entwickelt wurde dieses Instrument von dem englischen Navigator John Davis. Nachteile dieses Instruments waren, dass sämtliche Schwingungen das Lot zum Pendeln brachten. Genaue Messungen wurden dadurch erschwert.

Das erste Konzept zum Bau eines Gerätes zur Winkelmessung mit Hilfe von Spiegeln wurde von Isaac Newton entwickelt. Er reichte dieses Konzept um 1700 bei der Royal Society ein. Allerdings blieb sein Konzept vorerst unbeachtet. Die Veröffentlichung erfolgte 1742. John Hadley, ein englischer Astronom und Mathematiker und Thomas Godfrey, ein Optiker und Erfinder stellten 1731 unabhängig voneinander ein ähnliches Messinstrument vor. Dabei wurde Hadleys Konzept als zweckmäßiger angesehen. Dieses Konzept war der damalige Oktant. Der Name kommt von dem Kreissektor des Geräterahmens, welcher 45° beträgt, wobei 45° ein Achtel eines Kreises sind und ein Achtel Kreis wiederum auf lateinisch „Octans“ bedeutet. Er war der Vorläufer des Sextanten, der diesem am ähnlichsten war. Der Geräterahmen hatte einen verstellbaren Arm, der sogenannte Alhidada. mit welcher ein Spiegel gedreht wurde, um ein Objekt anzupeilen. Der Winkel lässt sich auf dem Bogen abmessen und bedingt durch die Spiegelgesetze waren Winkelmessungen bis zu 90° möglich, obwohl der eigentliche Winkel des Kreissektors ja nur 45° beträgt. Dieses Konzept hatte allerdings noch einige Mängel. Zum Beispiel

war kein Fernglas vorhanden, wodurch das Anpeilen von Objekten erschwert war.

1757 entwickelte John Hadley selbst sein Messinstrument weiter. Nun betrug der Geräteraumen 60° , sodass durch die Spiegelgesetze ein messbarer Bereich von 120° entstand. Zusätzlich dazu fügte er ein Fernglas hinzu, welches beim ursprünglichen Oktanten fehlte.

In seiner „Anfangszeit“ wurde ein Sextant meist aus Holz gefertigt. Dieses verzog sich bei hoher Luftfeuchtigkeit aber, welche auf hoher See eben gegeben ist. Somit waren die Messungen mit verzogenen Sextanten unbrauchbar. Also entschloss man sich dazu, Sextanten künftig aus Metall zu fertigen.

Der Sextant ersetzte schnell alternative Mess- und Peilungsverfahren aufgrund seiner überragenden Genauigkeit. Heutzutage allerdings verliert er immer mehr an Bedeutung, unter anderem durch die Entwicklung von Satellitenpeilungen, sprich GPS und ähnlichen digitalen Verfahren.

3.3.2 Beschreibung des Sextanten

Der Sextant besteht, wie bereits gesagt, aus einem Metallrahmen mit einem runden Bogen. An der spitzen Ecke des Sextants befindet sich die Lagerung der Alhidade, dem Arm welcher unten auf dem Bogen geführt wird.

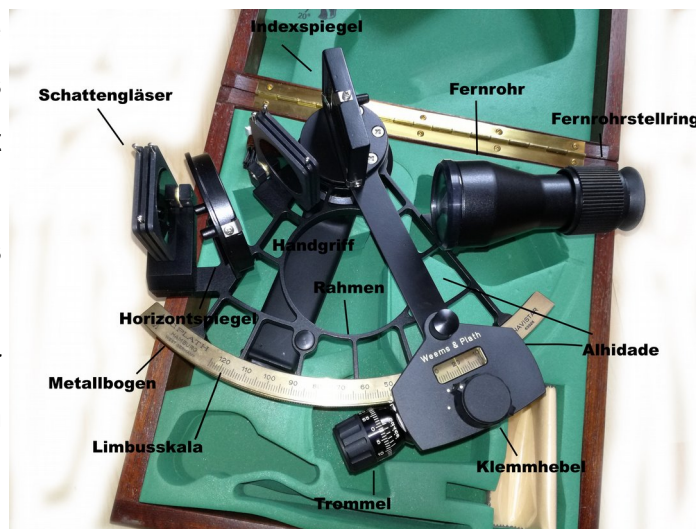
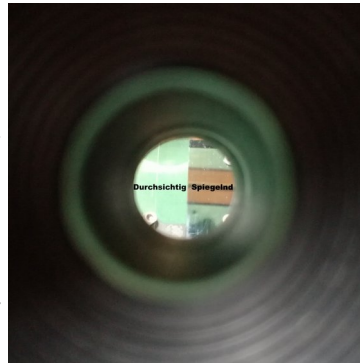


Abb. 1: Bestandteile des Sextants

Über der Alhidade befindet sich der sogenannte Indexspiegel, welcher durch Bewegen der Alhidade ebenfalls gedreht wird. Die Alhidade lässt sich mithilfe einer Trommel, im Prinzip ein mechanischer Drehregler, um kleinste Werte bewegen. An der vorderen Kante des Sextanten ist der sogenannte Horizontspiegel angebracht. Er sorgt dafür, dass man zum

einen die Spiegelung des Indexspiegels sieht, aber auch gleichzeitig den Horizont in Richtung des angepeilten Objekts sehen kann.

Die Spiegelungen lassen sich durch ein Fernrohr betrachten, welches auf der hinteren Kante des Sextanten angebracht ist. Der Sextant wird an einem Haltegriff gehalten. Dieser ist an der selben Stelle wie die Alhidade befestigt. Je nach



Modell des Sextanten lässt sich das Fernglas auf verschiedene Entfernungen einstellen, um eine möglichst scharfe Sicht zu erhalten. Ebenfalls abhängig vom Modell sind die Sonnenfilter, die die Peilung der Sonne selbst und die Peilung eines stark reflektierenden Horizonts ermöglichen.

Abb. 2: Spiegelungsbeispiel

3.3.3 Voraussetzungen für die korrekte Verwendung eines Sextanten

Um die mit einem Sextanten gemessenen Winkel in Positionen umzurechnen, ist es von äußerster Wichtigkeit die genaue Uhrzeit zu kennen. Heutzutage ist dies kein Problem mehr. Schließlich hat man überall Funkuhren. Vor, während als auch nach der Entwicklung des Sextante stellte das ein großes Problem dar. Daher setzte England 20.000 £ Belohnung für denjenigen aus, der eine funktionierende und den hohen Anforderungen gerecht werdende Uhr konstruiert.

Zum Vergleich: Ein Seemann hatte zu dieser Zeit einen ungefähren Lohn von circa 1£ pro Monat und gehörte damit zu den bestbezahlten Männern dieser Zeit.

Dabei sollten Positionsbestimmungen nicht weiter als 30 Seemeilen, bzw. 55,5 km von der tatsächlichen Position abweichen. Das Ganze war bekannt unter dem sogenannten „longitude Act“ aus dem Jahr 1714. John Harrison war damals ein geschickter Schreiner und begann mit der Konstruktion einer solchen Uhr. Er bekam finanzielle Unterstützung durch George Graham.

Sein erstes Modell stellte er 1735 fertig und nannte sie H1. Sie war äußerst ungenau und dazu sehr schwer, wurde allerdings nur gering durch die Temperatur beeinflusst.

Sein zweites Modell stellte er 1741 fertig, die H2. Sie war zwar nicht mehr so temperaturbeständig wie die H1, war dafür aber nur noch halb so groß und er schaffte es Ungenauigkeiten durch innere Einflüsse, wie z.B. falsch konstruierte oder installierte Einzelteile zu minimieren. Dafür war diese Uhr sehr anfällig für äußere Einwirkungen wie Wellen. Das machte auch diese Uhr unbrauchbar.

Die H3 stellte er 1760 fertig, allerdings war diese auch sehr groß und lief dazu noch sehr ungenau.

Während des Baus der H3 baute er gleichzeitig mithilfe eines Uhrenmachers die H4. Eine äußerst präzise laufende Uhr, dazu temperaturbeständig und klein. Sie war rund und hatte einen Durchmesser von 13cm bei einem Gewicht von 1,45 kg.

Sie bestand mit Bravour die erste Testfahrt, die organisiert wurde, um die Genauigkeit zu prüfen. Nach einer Reise von 147 Tagen, wich seine Uhr um 1 Minute und 54 Sekunden von der in London gezeigten Zeit ab, was sämtliche Bedingungen erfüllen hätte müssen. Die Kommission, welche über das Preisgeld entschied, hatte allerdings dennoch Einwände. Ihrer Meinung nach hätte Harrison die Fehlerrate angeben müssen. Also hätte er kein Anrecht auf das Preisgeld. Bei einer zweiten Testfahrt zeigte seine Uhr eine Abweichung von 39,1 Sekunden bei einer Reisedauer von 46 Tagen. Doch er bekam aufgrund weiterer Einwände seitens der Kommission nur 10.000£ ausbezahlt. Harrison suchte Rat beim König von England, der sich darum kümmerte, dass Harrison das volle Preisgeld erhielt. Damit war Harrison der Erfinder des ersten funktionsfähigen Schiffschronometers. Aufzeichnungen zu Folge verwendete die Royal Navy um 1858 610 Exemplare seines Schiffschronometers.

3.3.4 Vorsichtige Verwendung

Ein Sextant ist ein hochpräzises und äußerst empfindliches Messinstrument. Es gibt die ungeschriebene Regel, dass der Sextant

entweder in die Hand des Navigators oder sicher verwahrt gehört. Diese Regel hat einen guten Grund. Denn, wenn man versehentlich mit etwas zu viel Kraft den Sextanten in die Hand nimmt oder diesen sogar fallen lässt, können insbesondere seine Spiegel verstellt werden, die Alhidade kann krümmen, der Ablesezeiger kann verbiegen und Unmengen weiterer fataler Schäden können entstehen. Ein



verbogener Spiegel zum Beispiel kann letzten Endes Messwerte um einige Bogenminuten, wenn nicht sogar mehr, verfälschen. Eine geringe Verfälschung hätte im 18. Jahrhundert beispielsweise an Meerengen den Unterschied zwischen dem sicheren Passieren und Auflaufen und Zerschellen ausmachen können.

Abb. 3: Verwahrung

3.3.5 Die Verwendung eines Sextanten

Der Sextant wird aus oben genannten Gründen so lange wie möglich in dem dafür vorgesehenen Transportbehältnis verwahrt. Soll nun eine Messung vorgenommen werden, wird zuerst eine genaue Uhr organisiert. Zusätzlich dazu sind Stift und Papier



Abb. 4: Versuchsaufbau

empfehlenswert, um Messergebnisse zu dokumentieren. Danach wird ein Objekt zum Peilen ausgesucht. Das gepeilte Objekt muss ebenfalls dokumentiert werden. Nun kommt der Sextant zum Einsatz. Nach dem vorsichtigen Hervorholen wird der Sextant angesetzt und zu allererst nach eigenem Ermessen der Sonnenschutz eingestellt. Danach wird der Horizont gepeilt. Die Schärfe wird eingestellt, um ein möglichst genaues Bild im Fernrohr des Sextanten zu sehen. Die Alhidade wird so bewegt, dass der gespiegelte Bildausschnitt,



Abb. 5: Fernrohreinstellungen

in diesem Fall der rechte, mit dem zu sehenden Bildausschnitt, in diesem Fall auf der linken Seite, übereinstimmt. Der gemessene Winkel wird dokumentiert. Dieser Vorgang sollte etwa fünf mal wiederholt werden. Die Uhrzeit muss nicht dokumentiert werden, da keine Abhängigkeit besteht.



Abb. 6: Winkelmessung

Bei diesem Vorgang wird der sogenannte Indexfehler festgestellt. Es handelt sich hierbei um einen meist unvermeidbaren Fehler eines Sextanten. Darauf wird in Kapitel 3.3.6 noch einmal eingegangen. Um diesen Fehler zu übergehen, wird also der Horizont

gepeilt, denn so wird festgestellt, bei welchem Winkel die Alhidade ihre Nullstellung erreicht hat. Aus den fünf Messungen wird der Mittelwert genommen, um diesen später bei der

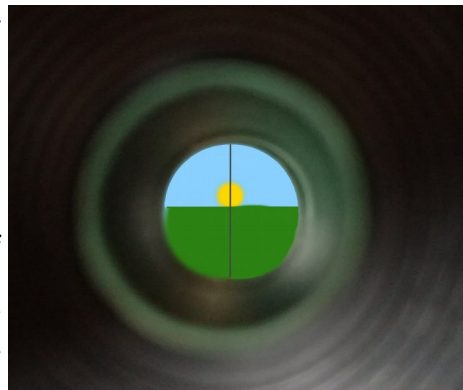


Abb. 7: Sonne anlegen

Berechnung miteinzubeziehen. Nachdem der Indexfehler bekannt ist, kann ein ausgewähltes Gestirn gepeilt werden. Dazu muss das zu peilende Gestirn auf der spiegelnden Hälfte des Sextanten zu sehen sein. Um nun den Winkel zwischen Horizont und Gestirn zu berechnen, muss das Gestirn „auf den Horizont gelegt“ werden, wie die oben zu sehende Abbildung zeigt. Wenn dieser Punkt erreicht, ist darf die Messung am Sextanten nicht weiter verändert werden und die Uhrzeit muss so schnell wie möglich abgelesen werden. Dies funktioniert am besten mithilfe einer Stoppuhr und einem Partner, der auf Kommando des Peilenden die aktuelle Uhrzeit stoppt. Der gemessene Winkel wird notiert. Um eine brauchbare Position zu erhalten, muss eine zweite Messung stattfinden. Entweder es wird dasselbe Gestirn nochmal gepeilt, allerdings mit deutlich zeitlichem Unterschied oder es wird ein anderes Gestirn gemessen. Bei mehrfacher Messung desselben Gestirns muss beachtet werden, dass mindestens eine Messung vor und mindestens eine nach dem Sonnenhöchststand erfolgt. Je genauer die Position sein soll, desto mehr Messungen müssen gemacht werden. Nach der

beendeten Messung bzw. nach der beendeten Messreihe wird der Sextant wieder sicher verstaut, um möglich Schäden zu vermeiden.

3.3.6 Fehler des Sextanten

Der Sextant als mechanisches Messinstrument ist äußerst fehleranfällig. Hierbei unterscheidet man zwischen korrigierbaren und nicht korrigierbaren Fehlern.

Zu den nicht korrigierbaren Fehlern gehört zum einen eine mögliche Teilung der Limbusskala. Konstruktionsbedingt kann es passieren, dass hierbei leichte Abweichungen und Ungenauigkeiten auftreten, was das Ablesen des korrekten Wertes unmöglich macht. In einem solchen Fall wird ein solcher Aspekt in einem sogenannten Prüfattest vermerkt, welches dem Sextanten beiliegt.

Ein weiterer konstruktionsbedingter Fehler ist der Zentrierungsfehler. Hierbei dreht sich die Alhidade nicht zentriert auf dem geometrischen Mittelpunkt des Gradbogens, was unter anderem zur Folge hat, dass die gemessenen Werte von den tatsächlichen Werten abweichen können. Auch dieser Fehler wird, sofern vorhanden, in dem beigelegten Prüfattest vermerkt.

Der dritte nicht korrigierbare Fehler ist ein Fehler der Schattengläser. Sind diese nicht exakt parallel angebracht und gleich geschliffen, wird der gemessene Wert erheblich verändert. Aus diesem Grund sollten fehlerhafte Schattengläser sofort ersetzt werden.

Bei den korrigierbaren Fehlern lässt sich anhand von kleinen Handlungen die Unstimmigkeit beheben. In den Fällen des Indexspiegelfehlers und des Horizontspiegelfehlers basiert der Fehler auf einer fehlerhaften Stellung des jeweiligen Spiegels. Dadurch werden die Spiegungen verändert, wodurch der abgelesene Wert nicht dem der Realität entspricht. Er lässt sich entweder beheben oder einfach „ausklammern“. Um diesen Fehler zu beheben, befinden sich auf der Rückseite der Spiegel eine kleine Klemmvorrichtung mit Madenschrauben. Bei Drehung dieser Madenschrauben, werden die Spiegel entsprechend verstellt. Stellt man den Sextanten also auf seine Nullstellung, kann man langsam die Spiegel

passend drehen. Da dies allerdings Erfahrung und Wissen erfordert, kann man mithilfe einer zweiten Möglichkeit diese Fehler „ausklammern“. Dazu peilt man ein festes Objekt, zum Beispiel den Horizont. Dabei muss mit der Drehung der Trommel der Sextant so eingestellt werden, dass der Horizont mit dem gespiegelten Horizont übereinstimmt. Nun kann man den Wert des Indexfehlers auf der Limbuskala ablesen. Dieser wird dann in den folgenden Berechnungen abgezogen bzw. hinzuaddiert.

Der letzte relevante Fehler ist der sogenannte Kollimationsfehler. Hierbei ist das Fernglas nicht im korrekten Winkel, sodass die Sonne niedriger erscheint, als sie tatsächlich ist. Das führt dazu, dass die Messwerte zu groß sind. Dieser Fehler lässt sich allerdings auch mit kleinen Stellschrauben schnell beheben. Außerdem ist sein Auftreten äußerst selten und kommt bei gut gewarteten Sextanten normalerweise nie vor.

3.3.7 Die Berechnung

Bei einer eigenen Messreihe mit einem Sextanten auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal bin ich folgendermaßen vorgegangen: Zu allererst mussten die Messwerte berichtigt werden. Dabei spielte der zuvor genannte Indexfehler des Sextanten eine wichtige Rolle. Zusätzlich dazu, musste noch die Augenhöhe des Betrachters, sowie die Höhe des angepeilten Horizonts miteinbezogen werden. Schlussendlich musste auch die Refraktion berichtigt werden. Der Indexfehler wurde in zwei Messreihen ermittelt, wobei die zweite Messreihe stark von der ersten abwich. Da bei der zweiten Messreihe die Sicht deutlich schlechter war, wird diese nicht weiter berücksichtigt. Der durchschnittliche Indexfehler liegt bei 04,6' Bogenminuten. Die Augenhöhe beim Messen betrug etwa 332m über dem Meeresspiegel, der gepeilte Horizont lag bei 51m über Null. Die Distanz zwischen beiden Punkten betrug etwa 21.320m. Über die Ebene Trigonometrie lässt sich hier die Winkeländerung durch die Höhe berechnen. Mit dem Satz des Pythagoras wird die Länge der gepeilten Strecke berechnet, die Höhe des gepeilten Objekts von der Augenhöhe abgezogen und nun kann mithilfe des Sinus, in diesem Fall Luftlinie/gepeilte Linie der Winkel berechnet werden. In diesem Fall

89,215°. Da allerdings 90° vorliegen müssten, wird der berechnete Wert von 90 subtrahiert, wodurch ein Korrekturwert für die Höhe von 47,08' Bogenminuten vorliegt. Für die Refraktion wird der Korrekturwert aus dem Buch „Astronavigation“ von Bobby Schenk aus dem Jahr 2013 verwendet. Er beträgt 11' Bogenminuten. Addiert man alle Korrekturwerte zusammen, erhält man den Gesamtkorrekturwert von 1° 01,7'. Da die in diesem Fall genutzten Messungen alle nach dem Höchstsonnenstand durchgeführt wurden, ist keine korrekte Positionsbestimmung möglich, allerdings wird versucht die Vorgehensweise zu erläutern.

Man hat nun ein Gestirn gepeilt und sucht nach den korrekten Positionen des Gestirns am Himmel. Sobald dieses gefunden sind, kann ein sphärisches Dreieck konstruiert werden. Die Eckpunkte liegen im Himmelsnordpol, der Position des Gestirns und dem Zenit der eigenen Position. Bis auf die eigene Position sind alle Punkte gegeben. Die Distanz zwischen der eigenen Position und der Gestirnposition lässt sich mit einer simplen Formel berechnen.

Diese lautet: Zenitdistanz = 90° - gemessener Winkel. Somit sind zwei Längen gegeben und nun kann mit der sphärischen Pythagoras Formel die eigene geografische Breite berechnet werden.

Diese Formel lautet $\cos(c) = \cos(a) \cdot \cos(b)$. Nun kann mittels Koordinatentransformation die eigene geografische Breite ermittelt werden. Dazu müssen die Koordinaten vom äquatorialem in das horizontale Koordinatensystem umgerechnet werden können.

4 Koordinatentransformation

Mit Hilfe der Koordinatentransformation können Bildpunkte der Gestirne auf das irdische Koordinatensystem umgerechnet werden. Dies ist elementar für die Astronomische Navigation, da man nur dann über die sphärische Trigonometrie die entsprechenden Winkel und Seiten eines Dreiecks auf der Erdoberfläche bestimmen kann. Daraus folgt, dass ohne Koordinatentransformation keine genaue Positionsbestimmung möglich ist.

Umwandlung von Äquatorkoordinaten in Ekliptikkordinaten:

$$\sin \beta = \sin \delta \cdot \cos \varepsilon - \cos \delta \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \alpha$$
$$\tan \lambda = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \varepsilon + \tan \delta \cdot \sin \varepsilon}{\cos \alpha}$$

Umwandlung von Ekliptikkordinaten in Äquatorkoordinaten:

$$\sin \delta = \sin \beta \cdot \cos \varepsilon + \cos \beta \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \lambda$$
$$\tan \alpha = \frac{\sin \lambda \cdot \cos \varepsilon - \tan \beta \cdot \sin \varepsilon}{\cos \lambda}$$

Abb. 8: Koordinatentransformation1

Quelle: https://de.wikibooks.org/wiki/Astronomische_Berechnungen_f%C3%BCr_Amateure/_Positionsastronomie/_Koordinatentransformationen
Nachweis IAU XXV GA 2006 (letzter Zugriff 19.05.2020)

Umwandlung von festen Äquatorkoordinaten in Horizontkoordinaten:

$$\cos z = \sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau$$
$$\tan A = \frac{\sin \tau}{\sin \varphi \cdot \cos \tau - \cos \varphi \cdot \tan \delta}$$

Umwandlung von Horizontkoordinaten in Äquatorkoordinaten:

$$\sin \delta = \cos z \cdot \sin \varphi - \sin z \cdot \cos \varphi \cdot \cos A = \sin h \cdot \sin \varphi - \cos h \cdot \cos \varphi \cdot \cos A$$
$$\tan \tau = \frac{\sin A}{\cos A \cdot \sin \varphi + \tan h \cdot \cos \varphi}$$

Abb. 9: Koordinatentransformation2

Quelle: https://de.wikibooks.org/wiki/Astronomische_Berechnungen_f%C3%BCr_Amateure/_Positionsastronomie/_Koordinatentransformationen#Horizontsystem_und_festes_%C3%84quatorsystem (letzter Zugriff 19.05.2020)

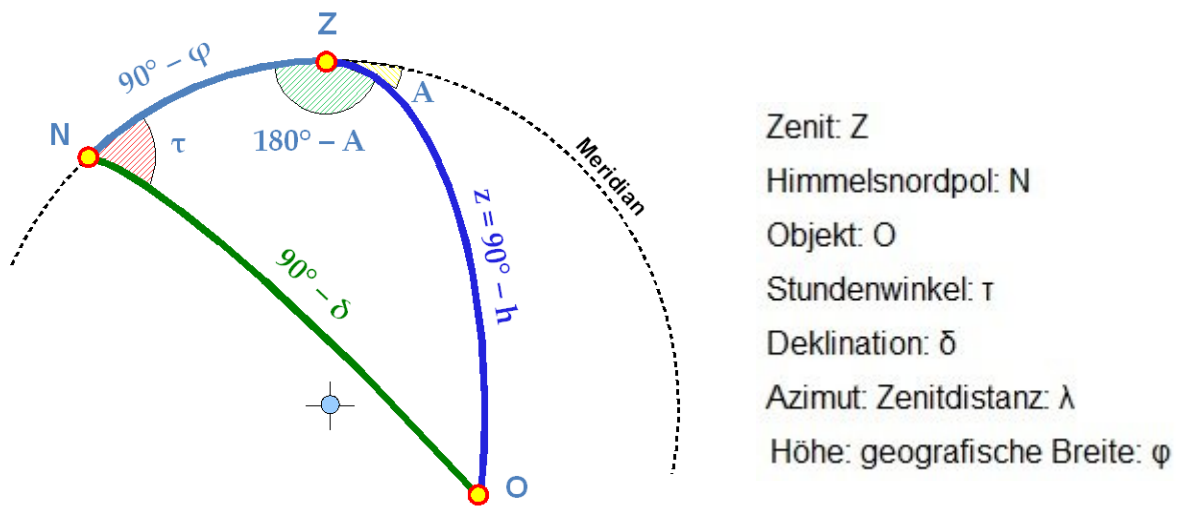


Abb. 10: Koordinatentransformation Beispielsgrafik

Quelle: <https://de.wikibooks.org/wiki/Datei:Poldreieck.png> (letzter Zugriff 19.05.2020)

Ist nun die geografische Breite bekannt, wird die geografische Länge berechnet. Hierzu ist wichtig, dass mindestens eine Messung vor und mindestens zwei Messungen danach stattgefunden haben. Hierbei wird die Uhrzeit wieder wichtig. Die zwei Messungen, welche zum selben Zustand (steigen/sinken) gemessen wurden, werden wie bei einer Geraden behandelt. Hierzu sieht man beide Messungen als Punkte auf einem Graphen. Somit wird eine Geradengleichung aufgestellt, wie zum Beispiel bei der Zunahme des gemessenen Winkels um $1,2683^\circ$ in einem Zeitraum von zehn Minuten. Nun wird die Messung im anderen „Zustand“ interessant. Es muss per Division berechnet werden, welche zeitliche Distanz zwischen der Messung und dem Zeitpunkt, an dem die Messung denselben Winkel erreicht hat wie eine der „Sinkungsmessungen“, liegt. An diesem Punkt, kann mithilfe der zeitlich berechneten Distanz und der Uhrzeit der Messung festgestellt werden, welche Zeit zwischen zwei Messungen desselben Winkels liegt. Halbiert man diese Zeit und addiert diese Hälfte zu der bekannten bzw. berechneten Uhrzeit der Messung einer steigenden Sonne, erhält man etwa den Mittelpunkt und damit den höchsten Punkt der Sonne. Wenn die Sonne ihren höchsten Punkt erreicht hat, steht sie immer im Süden. Durch Recherche lässt sich wieder

feststellen zu welcher Uhrzeit die Sonne beim 0. Längengrad, sprich London im Süden, stand. Bringt man nun die eigene berechnete Uhrzeit auf dieselbe Zeitzone wie die Londons, kann man berechnen auf welchem Längengrad man sich selbst befindet. Dies funktioniert, da die Sonne in gut 24 Stunden 360° „zurücklegt“ Also braucht sie für 1° 3,6 Minuten. Befindet man sich also auf dem 10. Längengrad, müsste die Differenz zwischen dem Sonnenhochpunkt in Greenwich und dem der eigenen Position 36 Minuten auseinanderliegen bzw. wenn eine zeitliche Differenz von 36 Minuten vorliegt, weiß man, dass man sich auf dem 10. Längengrad befindet.

5 Fazit

Die nun erhaltenen Angaben beschreiben in etwa die eigene Position, allerdings sind wie oben genannt viele Abweichungen zu berücksichtigen. Zudem sind zwischen Sonne und Erde extrem große Abstände gegeben, wodurch die kleinsten Fehler im Winkel große Abweichungen in der Realität bedeuten. Geübte Navigatoren sind in der Lage ihre Position auf maximal eine Seemeile genau zu bestimmen. Das entspricht einem Umkreis von 1,852 Kilometer um die berechnete Position. Diese Angabe ist recht genau, allerdings gibt eine einfache Peilung an Landmarken eine Position auf wenige Meter genau an, daher wäre die Astronavigation heutzutage meist nur noch zu Hochseefahrten nützlich. Allerdings wird sie auch dort von GPS-Systemen abgelöst. Aus dem einfachen Grund, dass GPS eine Position auf einige paar Meter genau angibt. Somit ist man mit GPS-Systemen deutlich sicherer unterwegs. Die Astronavigation dient höchstens in einem Notfall, wenn sämtliche elektronischen Bordgeräte ausfallen. An sich ist die Astronavigation ein schöner Zeitvertreib. Es macht Spaß mit einem Sextanten Dinge zu vermessen und Positionen zu bestimmen. Notwendig ist sie allerdings nicht mehr. Aus diesem Grund ist sie mehr als Hobby für Liebhaber zu betrachten oder maximal noch für den privaten Gebrauch auf hoher See, da sie allerdings recht aufwendig ist, wird sie heutzutage nur noch recht selten eingesetzt.

6 Quellenverzeichnis

Buchquellen

Astronomische Navigation für den Sporthochseeschifferschein – Eine ausführliche Darstellung als Unterrichtsbegleiter und zur Prüfungsvorbereitung, Gunther Herdam (2007)

Astronavigation – Workshopbegleitendes Skript zum Umgang mit dem Sextanten, Holger Behrens

Der Sextant – Technik und Handhabung, Dag Pike (2013), Delius Klasing Verlag

Astronavigation – ohne Formeln – praxisnah (8. Auflage), Bobby Schenk (1990), Delius Klasing Verlag

Astronavigation – ohne Formeln – praxisnah (14. Auflage), Bobby Schenk (2013), Delius Klasing Verlag

Astronavigation (2. Auflage), Heinz A. Meyer (2001), Palstek Verlag

Internetquellen

<http://astronavigation.net/der-sextant/> (letzter Zugriff 29.04.2020)

<https://www.geo.de/magazine/geo-kompakt/4433-rtkl-hobby-uhrmacher-wie-john-harrison-die-vielleicht-wichtigste-uhr-der> (letzter Zugriff 05.05.2020)

<http://www.maritimes-atlantic.de/jakobsstab-quadrant-oktant-sextant/> (letzter Zugriff 11.05.2020)

<https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Sextant> (letzter Zugriff 13.04.2020)

<http://vierte-flottille.de/roberto.roth/sextant/sextant.html>
(letzter Zugriff 24.05.2020)

<https://www.esys.org/technik/jakobsstab.html> (letzter Zugriff 18.05.2020)

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/astrolabium/817>
(letzter Zugriff 11.05.2020)

<http://www.deutsches-museum.de/sammlungen/meisterwerke/meisterwerke-iii/astrolabium/> (letzter Zugriff 11.05.2020)

<https://www.welt.de/wissenschaft/article114182428/Forscher-finden-Hinweis-auf-Wikinger-Sonnenstein.html> (letzter Zugriff 05.05.2020)

<https://www.chemie.de/lexikon/Kompass.html> (letzter Zugriff 03.05.2020)

<https://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=2&l=C&name=Calcit>
(letzter Zugriff 05.05.2020)

<https://einklich.net/rec/astro/koordinatensysteme.htm>
(letzter Zugriff 13.04.2020)

<https://www.donnerhaus.eu/2019/08/alltagsleben>
(letzter Zugriff 18.05.2020)

Bis auf Abbildung acht, neun und zehn, wurden sämtliche Abbildungen selbst angefertigt, unter anderem bei praktischen Versuchen auf dem Dach des Carl - Fuhlrott Gymnasiums.

Abbildungsverzeichnis

Abb.8 https://de.wikibooks.org/wiki/Astronomische_Berechnungen_f%C3%BCr_Amateure/_Positionsastronomie/_Koordinatentransformationen
(letzter Zugriff 19.05.2020)

Abb.9 https://de.wikibooks.org/wiki/Astronomische_Berechnungen_f%C3%BCr_Amateure/_Positionsastronomie_Koordinatentransformationen#Horizontsystem_und_festes_%C3%84quatorsystem

(letzter Zugriff 19.05.2020)

Abb.10 <https://de.wikibooks.org/wiki/Datei:Poldreieck.png>

(letzter Zugriff 19.05.2020)

7 Danksagung

Ich möchte mich hiermit bei Herrn Koch bedanken für die tatkräftige Betreuung, die Motivation, die er vermittelt und auch dafür, dass er mir diesen Projektkurs trotz einiger Umwege ermöglichte.

Außerdem möchte ich mich beim Zweckverband Erholungsgebiet Unterbacher See für die Unterstützung bedanken, insbesondere bei Frau Krüger und Herrn Behrens für das zur Verfügung Stellen von qualitativ hochwertigen Lehrmaterialien, sowie für das Ausleihen eines professionellen Sextanten.

Schlussendlich möchte ich mich bei meinen Eltern für deren Beistand bedanken, insbesondere bei langen Fahrtwegen zu späten Uhrzeiten und dem Korrekturlesen meiner Projektarbeit.

8 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle sinngemäß und wörtlich übernommenen Textstellen aus der Literatur bzw. dem Internet wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Solingen, den [19.05.2020]

Luca Scheurer