

## Gestaltung einer Windrose auf dem Schulhof

Zu einem praktischen Astronomieunterrichtes sollte das Auffinden der Haupthimmelsrichtungen bzw. die Einnordung einer Windrose als wichtige und schöne Projekteinheit mit dazu gehören. In diesem Artikel werden zwei einfache Verfahren zur Einnordung beschrieben, von denen eines an einem sonnigen Tag Anwendung finden kann und das andere in einer sternklaren Nacht zum Erfolg führt. Bereits mit Grundschulern kann man diese Arbeit durchführen. Ist die Nordrichtung erst einmal gefunden, so müssen die übrigen Himmelsrichtungen konstruiert werden. Dies geschieht mit einem einfachen geometrischen Verfahren mit Zirkel und Kreide.

Vermutlich hat Heinrich der Seefahrer im 15. Jahrhundert bei der großen Windrose seiner Seefahrtsschule in Sagres / Portugal ebenfalls dieses oder ein vergleichbares Verfahren angewendet.



Fotographie 1:  
Windrose der von Heinrich dem Seefahrer gegründeten Seefahrtsschule in Sagres / Portugal.

### Auffinden der Nordrichtung I - Die Indischen Kreise

Zuerst wird auf einer ebenen und waagerechten Fläche der Mittelpunkt der zukünftigen Windrose festgelegt und sicher – z.B. durch einen großen Nagel - markiert. Um das Zentrum werden nun mit Hilfe von Schnur und Filzschreiber oder Straßenkreide Kreise gezogen. Die Abstände der konzentrischen Kreise sollten ca. 20 cm betragen. Man nennt sie die *Indischen Kreise*.

Der gewählte Mittelpunkt dient jetzt auch als Fußpunkt eines lotrechten Schattenwerfers, der in das Zentrum der Kreise gestellt wird. Es kann auch eine Schattenwerferkugel mit Hilfe eines daran angebrachten Lotes senkrecht über die Mitte gestellt werden. Man muss sich eine geeignete Halterung basteln, die über den Lauf eines Tages die lotrechte Stellung des Schattenwerfers garantiert.

Am Tage der Messung ist zu beobachten, wie der Endpunkt des Stabschattens bzw. des Kugelschattens über das Gelände wandert und Kreisring um Kreisring überschreitet. Die Schattenspur wird mitgezeichnet, so dass sich am späten Nachmittag eine Linie, die zahlreiche Kreise an jeweils zwei Stellen schneidet, auf dem Gelände findet. Die Gestalt der Linie hängt von der Jahreszeit ab, in der die Messung durchgeführt wird. In den Herbst- und Wintermonaten ergibt sich eine nach außen geöffnete Hyperbel, in den Frühlings- und Sommermonaten eine zum Zentrum der Kreise gewandte (Abb. 1). Jedoch an zwei Tagen im Jahr läuft das Schattenende auf einer geraden Linie: zum Frühlingsanfang am 21. März und zum Herbstanfang am 23. September. Wir haben hiermit auch ein klassisches Verfahren zur Bestimmung der Länge des Sonnenjahres kennengelernt. Die Anzahl der Tage zwischen den jeweils übernächsten Tagen mit gerader Schattenlinie (von Frühlings- oder Herbstanfang bis zum Frühlings- oder Herbstanfang des nächsten Jahres) liegt bei etwa 365. Führt man diese Beobachtungen über viele Jahre durch, so läßt sich die Genauigkeit durch Ausgleich der Meßergebnisse steigern und Bruchteile eines Tages erfassen, während die einmalige Messung der Jahreslänge zu einer Genauigkeit von etwa 1 - 3 Tagen führt. Schon zu diesem Zweck sollte später ein robuster Schattenstab das Zentrum der Anlage zieren.

Die Bestimmung der Nordrichtung geschieht nun wie folgt. Nachdem von den Morgenstunden bis in den späten Nachmittag die Spur des Schattens aufgezeichnet wurde (eine Messung in den Mittagsstunden ist nicht ausreichend, da dann nur wenige Kreise mit kleinen Radien geschnitten werden), werden die zwei Schnittpunkte eines jeden Kreises miteinander verbunden. Die Linie, die senkrecht zu diesen Verbindungslinien liegt ist die Nord-

Südrichtung. Sie wird durch die Zirkelmethode ermittelt: Um die zwei Schnittpunkte werden hinreichend große Kreise gleicher Radien gezogen, die sich ihrerseits in zwei Punkten schneiden. Diese Schnittpunkte und der Mittelpunkt der konzentrischen Kreise liegen auf der gesuchten Linie, die mit einer Schlagschnur oder einem langen Vierkanthrohr und Filzstift markiert wird. Für jeden geschnittenen Kreis wird dies wiederholt, so dass sich eine ganze Schar von nordweisenden Linien ergibt, aus deren Mittelung sich das Endergebnis mit einer Genauigkeit von ca.  $1^\circ$  ergibt. Wenn die einzelnen Richtungen nicht zu stark voneinander abweichen, ist dies ein Indiz für sorgfältiges und genaues Arbeiten. Je größer die Kreise und je länger die Schattenlinie ist, desto präziser fällt das Ergebnis aus. Aber auch bei optimaler Präzision in der Ausführung ist das Ergebnis fehlerbehaftet, da sich die Sonnendeklination während des Messtages ändert, und zwar bis zu einem halben Grad während der Frühlings- oder Herbstmonate. Die Vormittags- und Nachmittagsschattenspur sind deshalb nicht ganz symmetrisch bezüglich der Nord-Südlinie.

## **Auffinden der Nordrichtung II - Die Polarsternmethode**

In einer Sternennacht läßt sich die Nordrichtung grob mit Hilfe des Polarsterns bestimmen. Der Polarstern markiert den Himmelspol nicht genau, sondern ist zur Zeit etwa anderthalb Vollmonddurchmesser von der wahren Polage entfernt. Folglich verändert sich auch im Laufe einer Umdrehung des Sternenhimmels die Richtung in der er steht.

Steht ein kleiner Theodolith zur Verfügung, so läßt sich mit geringem Aufwand die Lage des Himmelspols und damit die Nordrichtung mit einer Genauigkeit, die wesentlich geringer als  $1^\circ$  ist, bestimmen. Macht man sich nämlich mit der Sternregion um Pol und Polarstern ein wenig vertraut, z.B. durch die Beobachtung mit einem gewöhnlichen Feldstecher, so läßt sich die Polage leicht per Augenmaß in Relation zur Sternumgebung ermitteln. Die Karte der Abbildung 2 zeigt die hellsten Sterne der Nordpolarregion und ein Koordinatenraaster, dessen Mittelpunkt der Himmelsnordpol ist. Die Beschriftung mit den umliegenden Sternbildern gibt eine Hilfestellung zur Orientierung der Karte. Man sucht bei Blickrichtung Nord zuerst den Großen Wagen oder die Kassiopeia auf und bringt die betreffende Beschriftung „Großer Wagen“ oder „Kassiopeia“ auf der Polarsternkarte in die gleiche Stellung relativ zum Nordstern.

Vergleicht man nun die Karte mit dem Eindruck der visuellen Beobachtung im Feldstecher, so erkennt man bald die Position und Zuordnung der hellsten Sterne. Im Fernrohr eines Theodolithen, der lotrecht über dem Mittelpunkt der Kreisanlage aufgestellt und einjustiert wurde, zeigt sich die Polarsternregion ähnlich wie im Feldstecher (Achtung! Wird die Beobachtung mit einem astronomischen Fernrohr durchgeführt, so zeigt sich allerdings ein gespiegeltes Bild). Das Fadenkreuz läßt sich nun mit einer Genauigkeit von wenigen Bogenminuten durch Vergleich mit der Sternkarte und überlegte Schätzung auf den Himmelspol richten. Durch Schwenken des Theodolithfernrohres um die horizontale Achse kann der Nordpunkt am Landschaftshorizont und auf dem Rand der Windrose angepeilt und markiert werden. Um die gute Genauigkeit dieses Verfahrens nicht einzubüßen, bietet sich die Einmessung eines markanten Landschaftsmals am Horizont, z.B. ein Fernsehturm oder Radiosendemast, an. Liegt ein solches Landschaftsmal nicht genau auf dem Nordpunkt, so schwenkt man den Theodolith um die horizontale Achse und vermißt den Winkelabstand im Azimuth zum Nordpunkt. So kann man später, falls erforderlich, die Himmelsrichtungen am Tage mit dem Theodolithen einmessen.

Steht kein Theodolith zur Verfügung, so kann man den Nordpunkt mit Hilfe eines Lotes finden, welches am Nordstern "angesetzt" wird. Dieses Verfahren ist dann exakt, wenn der Nordstern senkrecht über oder unter der eigentlichen Polage steht. Mit Hilfe des Fernglases und der Sternkarte in Abb. 2 kann man diesen Zeitpunkt genau abpassen. Da der Nordstern nur zweimal am Tag bzw. einmal in der Nacht die Senkrechte durch den Himmelspol überquert, muß man die Messung u. U. zu einem Zeitpunkt tief in der Nacht durchführen.

## **Das Sechseckverfahren zur Aufteilung der Windrose**

Ist die Nord-Süd-Richtung erst einmal gefunden, so stellt sich die Aufgabe, eine große Windrose bzw. Azimutskala, welche später als Ort für astronomische Beobachtungen immer wieder aufgesucht und gestaltet werden kann, ebenfalls mit einer Genauigkeit von 1 Grad einzumessen und zu teilen. Mit einem schönen geometrischen Verfahren ist dies für jeden verständlich und anschaulich durchführbar. Benötigt werden Schnur, Lineal (langes Vierkanthrohr) und Filzstift. Wenn die Windrose einen Durchmesser von 6 Meter erhalten soll, so entspricht ein Winkelgrad einem Bogenstück von  $6 \text{ m} * \pi/360^\circ = 5,24 \text{ cm}/^\circ$ . Die Freiluftgeometrie auf dem Schulhof sollte demnach auf 1 - 2 cm genau sein.

Zunächst wird der Außenring der Windrose mit Radius  $R = 3 \text{ m}$  um das Zentrum der Indischen Kreise gezogen. Die Nord- und Südmarke liegen bereits durch die Einnordung fest und diese Fixpunkte bilden die Grundlage für die weitere Vermessung. Mit Hilfe eines Maßbandes lassen sich ausgehend von Nord 6 Teilstücke zu jeweils drei Metern Länge in den Basiskreis einpassen (schwarzes Sechseck im schwarzen Kreis der Abbildung 3). Die Ecken dieses Sechsecks markieren die Azimutwinkel  $0^\circ$  (Süd),  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$  (Nord),  $240^\circ$  und  $300^\circ$ . Die Teilstrecken werden nun wieder mit der Zirkelmethode halbiert (gleichgroße, sich schneidende Kreise um die Endpunkte der Teilstrecken ziehen; deren Schnittpunkte liegen mit dem Mittelpunkt der Indischen Kreise auf einer radialen Geraden; siehe blaue Linien in der Abbildung 3). Nun liegen die Azimuthe  $30^\circ$ ,  $90^\circ$  (West),  $150^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $270^\circ$  (Ost) und  $330^\circ$  fest. Über das zuerst gezeichnete Sechseck läßt sich nun ein zweites mit einer Verdrehung von  $30^\circ$  gegenüber dem ersten Sechseck zeichnen (in der Abbildung in blau), so daß sich beide Sechsecke in zwölf Punkten schneiden. Die Verbindungslinien vom Zentrum zu den zwölf Schnittpunkten markieren weitere zwölf Azimutwinkel (in Abbildung 3 rot eingezeichnet). Im jetzigen Zustand der Arbeit sind schon 24 Markierungen vorhanden, von denen zwei benachbarte Teilungen um 15 Winkelgrade voneinander entfernt sind.

Nun lassen sich zwei Zwölfecke zeichnen, indem immer die Enden zweier übernächsten Nachbarstrahlen verbunden werden. Eines dieser Zwölfecke ist in der Abbildung in rot eingezeichnet. Auf das zweite wurde der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Beide Zwölfecke überschneiden sich an weiteren zwölf Punkten. Jeder Radialstrahl der zu einem dieser Schnittpunkte führt, teilt den zuvor erhaltenen  $15^\circ$ -Sektor in zwei gleiche Teile, so daß nun alle Azimuthe festliegen, die um  $7,5^\circ$  voneinander entfernt sind. Im Prinzip läßt sich durch weitere Anwendung dieser Methode die Windrose immer feiner einteilen. Allerdings wird die Sache recht unübersichtlich und zeitraubend. Wegen der vorgegebenen Zeichengenauigkeit von 1 - 2 cm läßt sich die restliche Aufteilung leichter bewerkstelligen, wenn die Sehne, die zwei Strahlen mit  $7,5^\circ$  Winkelabstand verbindet, mit Hilfe eines Zentimetermaßes in 15 gleiche Abschnitte unterteilt wird. Der Fehler, der durch diese Annäherung des Bogens durch die Sehne gemacht wird, hält sich in Grenzen und liegt unterhalb der Zeichengenauigkeit. Das Bogenstück hat eine Länge von  $7,5 * (\pi/180) * 3 \text{ m} = 39,3 \text{ cm}$ . Die Länge der Sehne beträgt dagegen  $2 * \sin(3,75^\circ) * 3 \text{ m} = 39,2 \text{ cm}$ . Nach Abschluß der Arbeiten ist die Windrose in 720 Teile zu jeweils  $0,5^\circ$  aufgeteilt. Wer diese Präzision nicht anstrebt, kann bereits die Näherung des Bogens durch die Sehne auf die 24-teilige Skala anwenden.

### **Hinweise zur Gestaltung von Schattenwerfer und Skala**

Ein Schatten, der von einem im Sonnenschein stehenden Stab geworfen wird, ist nicht über seine ganze Länge gleich scharf. Mit zunehmendem Abstand vom Fußpunktes wird der Schattenrand undeutlicher bis sich der dunkle Kernschattenbereich vollends verliert. Ursache für diese Erscheinung ist die Ausdehnung der Lichtquelle Sonne. Ein gedachter Beobachter im Schatten sieht die Sonne nur dann nicht, wenn er sich völlig im Kernschattenbereich aufhält. An den Kernschattenbereich schließt sich der Halbschattenbereich an. Von dort kann man einen Teil der Sonne erblicken; die Sonnenscheibe wird vom Schattenwerfer nicht gänzlich überdeckt. Weil die Sonne keine punktförmige Strahlungsquelle ist, kann der Kernschattenbereich nicht bis ins Unendliche reichen. Wie ein spitzer Kegel erstreckt er sich hinter einer schattenwerfenden Kugel. Soll mit der Windrose eine Winkelmessung auch bei tiefstehender Sonne (diese führt zu den längsten Schatten) möglich sein, so muss der zentrale Schattenstab eine Mindestdicke aufweisen. Anderenfalls reicht die Kernschattenzone, die

allein sich wegen ihres Kontrastes gegenüber der aufgehellten Umgebung zur Messung eignet, nicht bis an den Rand der Windrose. Die Länge  $L$  der Kernschattenzone hinter einem Schattenwerfer mit Durchmesser  $d$  hängt von der Winkelausdehnung  $D$  der Sonne folgendermaßen ab:

$$\tan D = \frac{d}{L} \Leftrightarrow L = d \cdot \tan D$$

Die geometrischen Verhältnisse verdeutlicht die Abbildung 4. Für bequemes Ablesen der Kernschattenlage auf der Azimutskala sollte der Kernschatten bei einem Abstand von  $R = 3 \text{ m}$  (Radius der Windrose) noch mindestens die Fingerbreite  $b = 1 \text{ cm}$  aufweisen. Mit Hilfe des Strahlensatzes läßt sich nun der bei den gewählten Verhältnissen erforderliche Durchmesser  $d$  des Schattenwerfers ermitteln:

$$\text{Strahlensatz: } \frac{d}{L} = \frac{b}{L-R} \Leftrightarrow d = \frac{b}{1-R/L} = \frac{b}{1-(R/d \cdot \tan D)}$$

$\Leftrightarrow$

$$d - R \cdot \tan d = b \Leftrightarrow d = b + R \cdot \tan D$$

Mit  $b = 1 \text{ cm}$  und  $R = 3 \text{ m}$  ergibt sich z.B.  $d = 3,8 \text{ cm}$ . Die schattenwerfende Messeinrichtung sollte demnach ca.  $4 \text{ cm}$  dick sein. Diese Mindestdicke ist aber bereits durch die Forderung angeraten, dass der Schattenwerfer nicht ohne weiteres durch Vandalen zerstört werden kann. Eher wird man eine noch stabilere Ausführung wählen und auf ein wenig Messgenauigkeit verzichten. Der Schattenstab kann aber auch mit Kugeln oder Kerben in verschiedenen Höhen versehen werden, die als Höhenindikator dienen. Bei Auf- oder Untergangsmessungen in geringer Höhe wirft bereits eine tiefliegende Kugel den Schatten bis zum Rand der Windrose. Zur Mittagszeit, wenn die Sonne am höchsten steht, erreicht nur der Schatten einer hoch angebrachten Kugel eine Skala am Rand der Windrose. In unserem Beispiel: Bei einem Radius von  $3 \text{ m}$  definiert eine übergeworfene Kugel in geringerer Höhe einen künstlichen Horizont in einer Höhe von ca.  $10^\circ$ . Bei einer - in mitteleuropäischen Breiten - maximalen Sonnenhöhe von rund  $62^\circ$  ( $90^\circ - \phi + \varepsilon$ ) erreicht erst der Schatten einer  $h = 3 \text{ m} \cdot \tan(62^\circ) = 5,6 \text{ m}$  hohen Schattenkugel den Rand. Abhilfe kann man schaffen, in dem nicht nur der äußere Rand der Windrose mit der Skala versehen wird, sondern ein innerer Messkreis eingepflanzt wird. Aber auch erneutes Seilspannen ermöglicht die Messung des Azimuths der mittäglichen Sommersonne: Durch Anlegen einer gespannten Schnur zwischen Zentrum und äußerem Messkreis lassen sich alle Azimutswerte über die ganze Fläche ermitteln.

Wenn das genaue Ablesen des Kernschattens schwerfällt, hilft noch die Methode des „Schattenschärfens“: Mit einer Spalt- oder Lochblende, die in den Schattenbereich gehalten wird, lassen sich Sonnenstrahlen, die in den Halbschattenbereich fallen, ausblenden. Die Helligkeit der Halbschattenzone wird dadurch zwar verringert, die Kernschattenzone ist aber schärfer begrenzt. Das freihändige Ausrichten der Blende ist etwas mühsam, man wird jedoch durch eine präzise und bequeme Ablesung entschädigt.

### **Astronomische Unterrichtsprojekte auf der Windrose**

Die fertig gestaltete Windrose fügt sich auch in ästhetischer Hinsicht in einen liebevoll und freundlich gestalteten Schulhof ein, wie das Beispiel der Erich-Kästner-Grundschule in Recklinghausen zeigt, wo eine solche Arbeit im Rahmen einer Projektwoche zur Schulhofverschönerung durchgeführt wurde. Die Fläche ist auch für außerschulische Aktivitäten als Treffpunkt geeignet und erinnert ein wenig an die mit Richtungshinweisen gestalteten Aussichtsflächen, wie man sie oft in Urlaubsorten findet.

Aber auch für eine dauerhafte Beschäftigung mit astronomischen Themen im Unterricht oder der Freizeit ist sie geeignet. Die oben geschilderte Methode der Indischen Kreise kann immer

wieder durchgeführt werden, und das in allen Jahreszeiten. Es ist von vornherein ja gar nicht klar, das der Sonnenlauf an jedem Tag im Jahr vormittags beim Steigen und nachmittags beim Sinken in symmetrischer Weise zur Nord-Südlinie erfolgt.

Wurde die Windrose an einem Ort errichtet, der den Blick zum Horizont erlaubt, so lassen sich die jährlich wandernden Auf- oder Untergangsorte der Sonne, bzw. die des Mondes, die ihren Zyklus bereits in einem Monat beenden, systematisch beobachten. Der Schatten des senkrechten Zeigers, den die tiefstehende Sonne verursacht, zeigt ja immer auf der Skala am Rand der Windrose den Sonnenstand an. Den Mond peilt man über den Stab an und kann seinen eigenen wechselnden Standort auf der Skala messen.

Durch systematische Beobachtungen wird man herausfinden, dass der Aufgangsort der Sonne immer dem Untergangsort gegenübersteht, den die Sonne ein halbes Jahr früher oder später aufsucht (Abb. 5). Wie macht die Sonne das? Auch ohne tiefeschürfende astrometrische Überlegungen wird man einen Sinn für die wundervolle Symmetrie der Auf- und Untergangsorte und -zeiten im jährlichen Sonnelauf entwickeln können. Die ineinandergreifenden räumlichen und zeitlichen Aspekte der solaren Richtlagen und Wendezeiten lassen sich auch phänomenologisch und intuitiv erfassen, ohne dass man eine abstrakte Anschauungsweise zugrundelegt, die von den Schülern die gedankliche Aufgabe des irdischen Stand- und Lebensortes verlangt.

Auch als Neulicht-Auffindungshilfe eignet sich die Windrose. Hat man im Vormonat die junge Mondsichel in einer bestimmten Azimuthspanne südlich zur gerade versinkenden Sonne gefunden, so wird auch in den Folgemonaten das Neulicht etwa in jener Richtung zu finden sein, die sich um ein vergleichbares Differenzazimuth vom nun veränderten Untergangsort der Sonne unterscheidet (Abb.6).

Abschließend sei die vielleicht spannendste Angelegenheit all dieser Beobachtungsmöglichkeiten genannt – die Vorhersage der Aufgangszeit und des Aufgangsortes des Vollmondes.

Der Mond, der sein helles Gesicht immer der Sonne zeigt, weil er von ihr sein Licht bekommt, kann es nur dann auch uns ganz zeigen, wenn wir zwischen Mond und Sonne stehen. Für und Erdbewohner sind Sonne und Vollmond demnach Himmelskörper, die sich diametral gegenüberstehen. Dann geht der Vollmond bei Sonnenuntergang auf und zwar in einer Richtung, in die der von der untergehenden Sonne verursachte Schatten geworfen wird!

Im allgemeinen wird er nicht genau in diesem Oppositionspunkt zur Sonne erscheinen, nur dann, wenn für die Nacht eine Mondfinsternis vorhergesagt ist. Dann nämlich steht der aufgehende Mond noch ein wenig rechts des Oppositionspunktes in dessen Richtung ja auch der Erdschatten zeigt. Im Laufe der Nacht kann er in diesen noch eintreten, da er stündlich entlang seiner Bahn gen Osten ein Stück Weg zurücklegt, das seiner eigenen Winkelgröße entspricht.

Die Beobachtung der Vollmondaufgänge und insbesondere der genauen Aufgangsorte in Relation zum Oppositionspunkt der Sonne eröffnet uns damit einen phänomenologischen Zugang zur Beobachtung des Mondwendezyklus und der Mondfinsternisvorhersage (Abb. 7).



Fotographie 2:  
Die Windrose der Erich-Kästner-Grundschule in Recklinghausen während der Malerarbeiten.  
(Aufnahme F. Wienhöfer)

# Einnorden der Windrose mit der Methode der Indischen Kreise

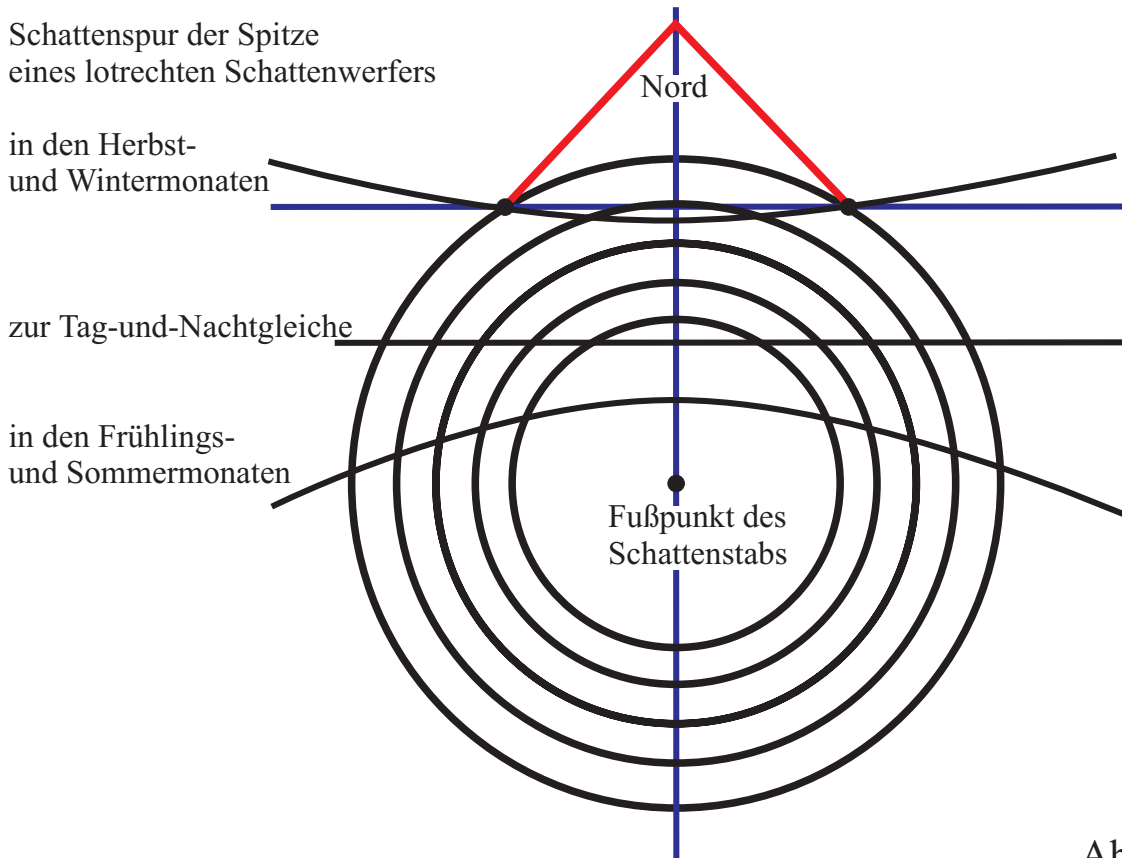


Abb. 1

# Einmessen der Windrose durch Seilspannen

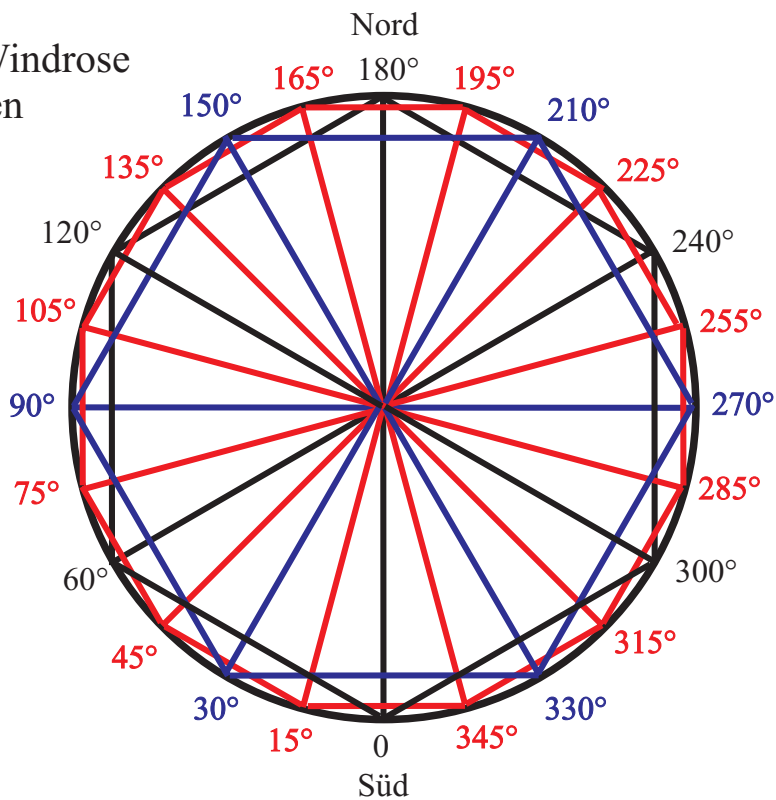


Abb. 3

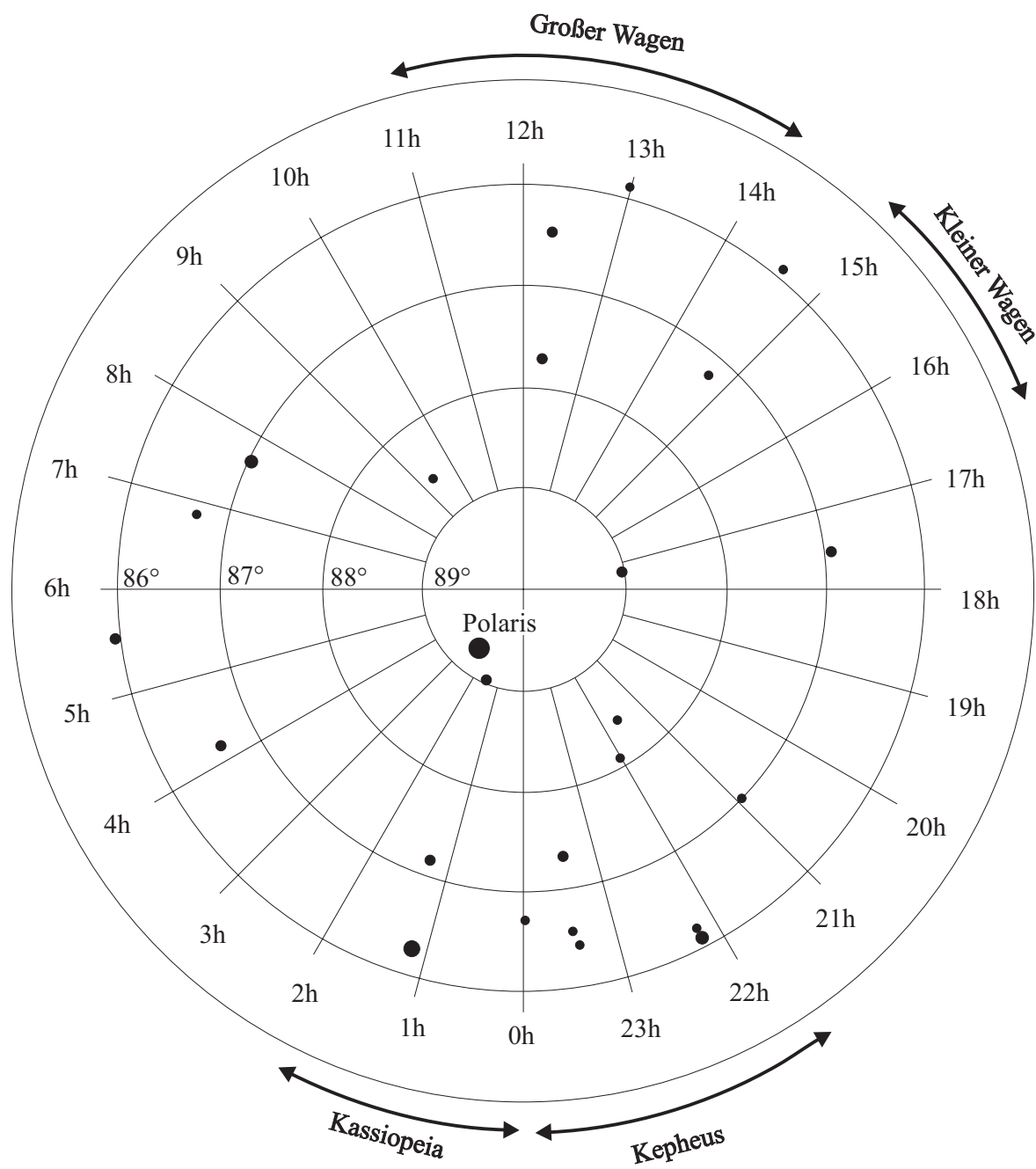


Abb. 2

# Zur Schattengeometrie

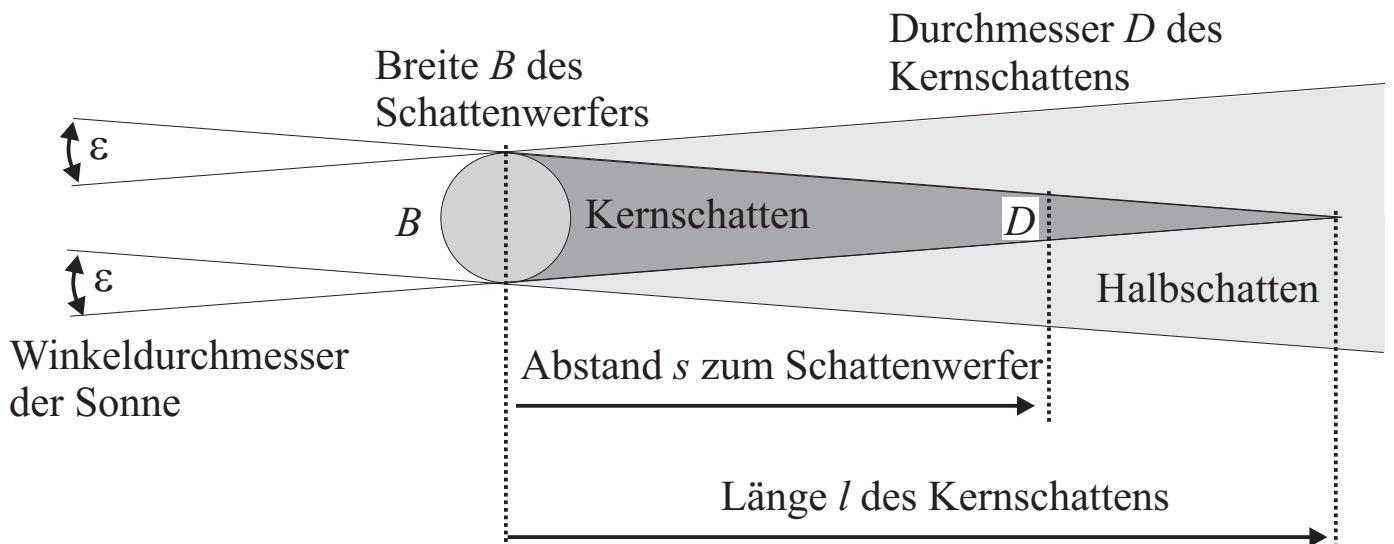


Abbildung 4

Symmetrie der Wendepunkttrichtungen

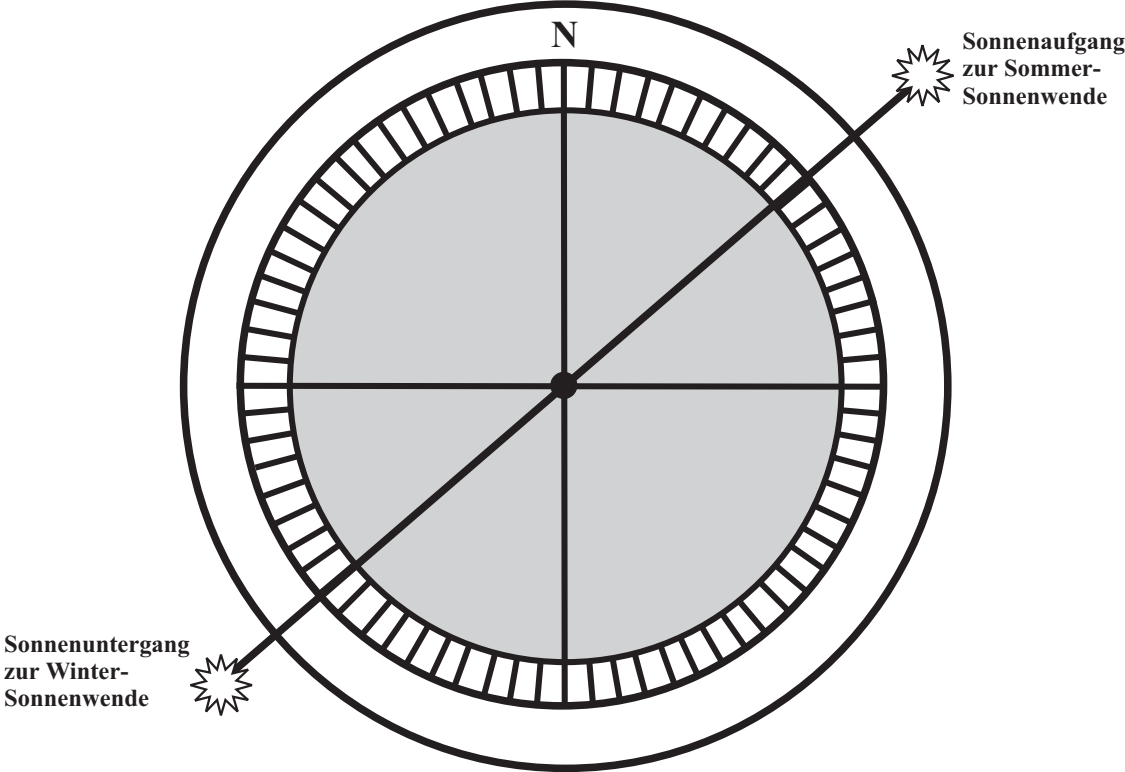


Abb. 5

# Neulichtbeobachtungshilfe

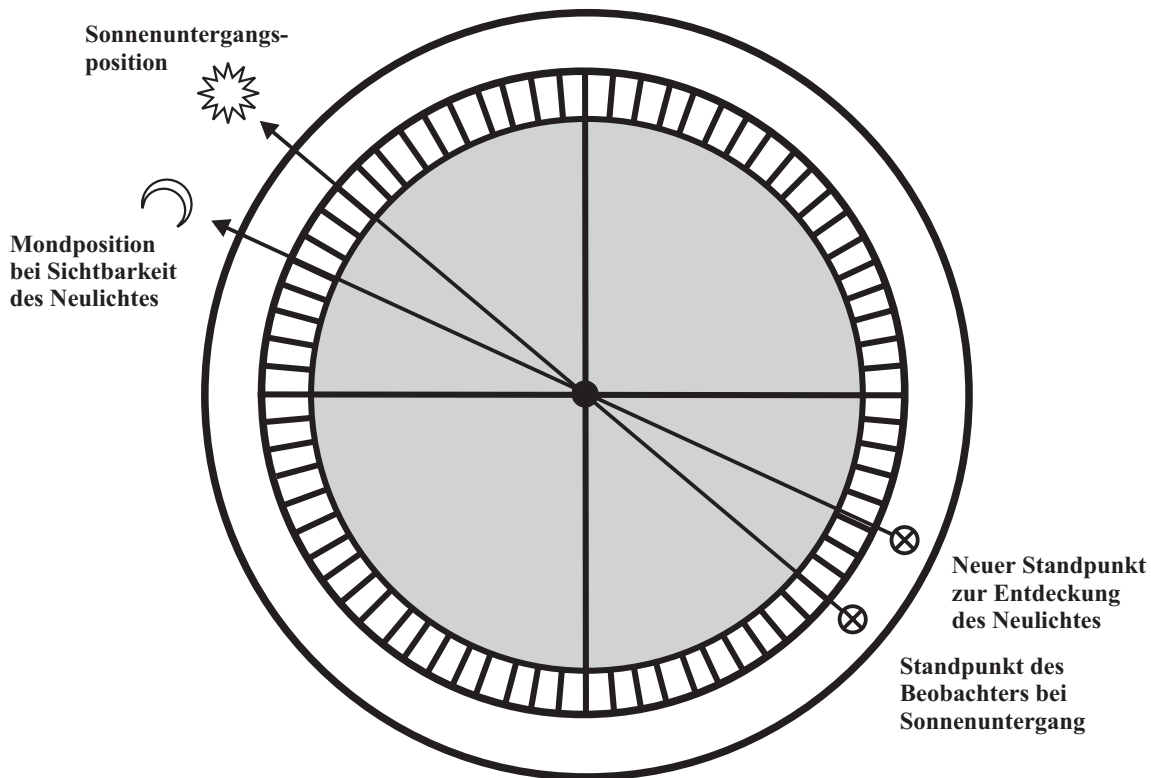


Abb. 6

# Beobachtungshilfe für Vollmondaufgänge und Mondknotenpositionen

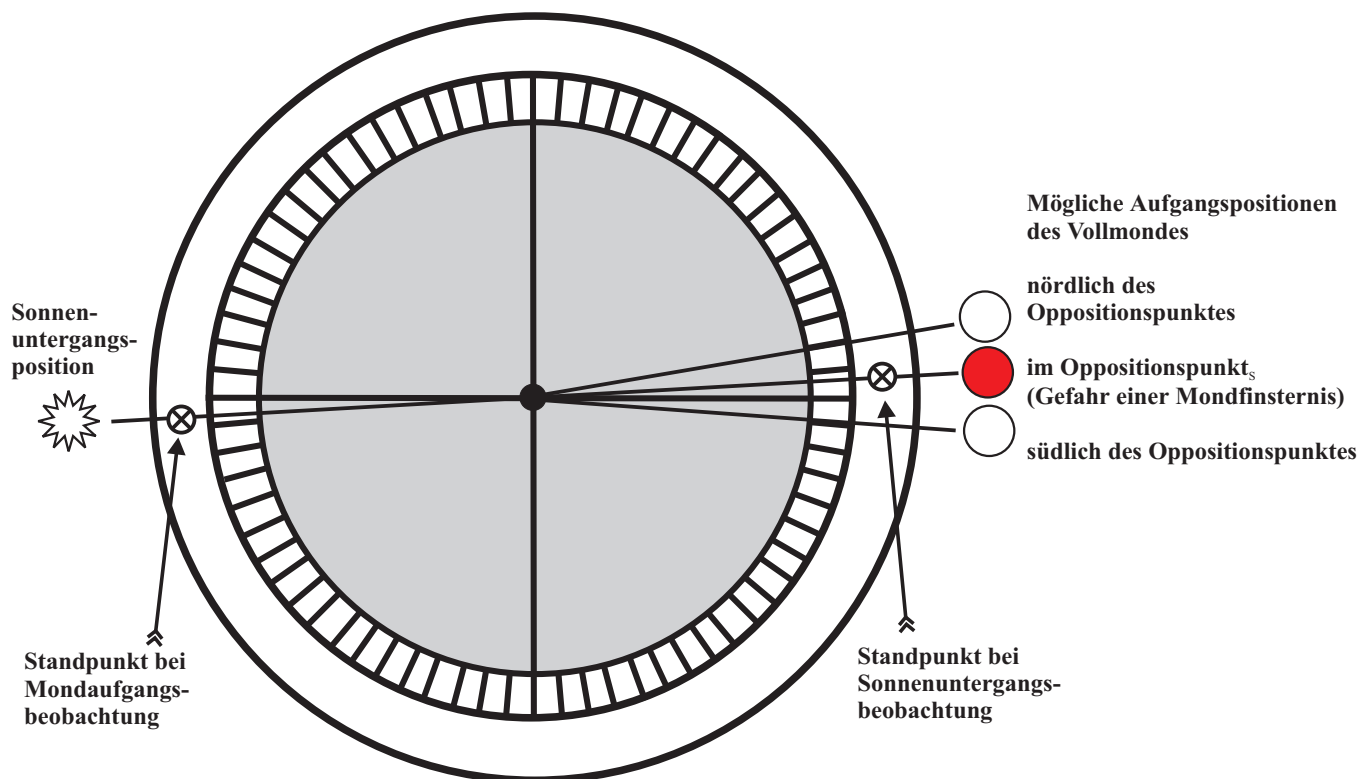


Abb. 7