

Navigation im antiken Mittelmeer



Altersspanne

14 – 19 Jahre

Materialien

- Arbeitsblätter
- Taschenrechner
- Bleistift
- Geodreieck oder Lineal + Winkelmesser
- Zirkel
- Computer mit MS Excel
- Excel-Tabelle „NavigationImAntikenMittelmeer-HelleSterne.xlsx“
- Taschenlampe (für zusätzliche Übung)
- Magnetkompass (optional, für zusätzliche Übung)

Stichworte

Erde, Navigation, Astronomie, Geschichte, Geografie, Sonne, Äquator, Breitengrad, Meridian, Himmelsnavigation, Bronzezeit, Mittelmeer, zirkumpolar, Polhöhe, Polarstern

Zusammenfassung

Die Schüler lernen, wie die Bestimmung des Breitengrads von der Polhöhe, also der Winkelhöhe des Himmelspols über dem Horizont abhängt. Sie werden erkennen, dass bereits in der Antike Seefahrer diese Erkenntnis zur Navigation nutzten. Hierzu lernen sie, zirkumpolare Sterne zu bestimmen und zu benutzen. Weiterhin werden Sie erfahren, wie man mit Hilfe von Sternen einen Kompass bauen kann.

Lernziele

Die Schüler werden durch Winkelmessungen am Himmel Breitengrade auf der Erde bestimmen. Dazu wenden sie rechnerische als auch zeichnerische Methoden an. Durch die Nutzung einer Excel-Tabelle werden sie die Himmelsrichtungen von aufgehenden Sternen ermitteln und sich daraus einen Kompass bauen. In einer optionalen Zusatzaufgabe wenden sie diesen im Feld an.

Einleitung

Es wäre vorteilhaft, diese Aktivität in einen größeren Kontext der Seefahrt, z. B. in den Fächern Erdkunde, Geschichte, Literatur, usw. einzubetten.

Tipp: Diese Aktivität könnte mit anderen Formen zur Aneignung von Wissen kombiniert werden, wie z. B. Vorträge zur Geschichte, Literatur oder Geografie in Verbindung zur Navigation. Das würde das Thema in einer interaktiveren Weise einleiten als durch simple Nennung der Fakten.

Hier ist eine Auswahl:

„The Simple Geography - Koordinaten und das Gradnetz der Erde - Unser Planet 2“ (Deutsch, Dauer: 8:25)

<https://youtu.be/ieh-yGHD1HI>

„Längengrad und Breitengrad“, The Wobbix (Dauer: 2:02)

<https://www.youtube.com/watch?v=-1lfiQib2pM>

„The Simple History - Die griechische Kolonisation - Die Gesellschaft im antiken Griechenland“ (Dauer: 3:25)

<https://youtu.be/5U1obtvNus8>

Es war einmal ... die Entdeckung unserer Welt (Dauer: 25:37)

<http://69.167.127.57/m/watch.php?v=v20579672ts2fhFSS>

Einige dieser Videos sollten die Schüler als Vorbereitung anschauen, entweder im Unterricht oder zuhause.

Fragen, Antworten und Diskussion

Fragen Sie die Schüler, ob sie eine Vorstellung darüber hätten, wie lange der Mensch schon zur See fährt. Man könnte darauf hinweisen, dass der Mensch einst Inseln und isolierte Kontinente wie Australien besiedelte.

Mögliche Antworten:

Man weiß sicher, dass Schiffe seit 3000 v. d. Z. genutzt wurden, um größere Distanzen zurück zu legen. Sehr wahrscheinlich aber auch schon deutlich früher, denn Australien wurde schon vor etwa 50.000 Jahren besiedelt.

Fragen Sie die Schüler, was nach ihrer Ansicht der Antrieb jener frühen Seefahrer gewesen könnte. Vielleicht kennt auch jemand historische Völker, die berühmte Seefahrer waren. Diese Idee könnte durch Nennung von Beispielen einiger antiker seefahrender Völker wie z. B. im Mittelmeer gefördert werden

Mögliche Antworten:

Suche nach neuen Rohstoffen und Nahrung, Handel, Entdeckergeist, Neugier.

Fragen Sie die Schüler, wie sie täglich den Weg zur Schule finden. Woran orientieren sie sich, damit sie sich nicht verirren?

Mögliche Antworten:

Bekannte Landmarken wie Straßen, Gebäude, Ampeln, Kreuzungen, Haltestellen, also Referenzpunkte

Fragen Sie sie, wie sich die frühen Seefahrer auf dem Meer zurechtfinden. Woran konnten sie sich orientieren?

So lange sie in der Nähe der Küste blieben, haben sie Landmarken genutzt. Leuchttürme haben ebenfalls geholfen. Aber welche Orientierungspunkte gibt es auf offener See? Versuchen Sie, die Diskussion dahin zu lenken, dass astronomische Objekte wie die Sonne, der Mond oder die Sterne erwähnt werden.

Mögliche Antworten:

Kompass (recht späte Erfindung), Segeln entlang Küstenlinien und Leuchttürmen (Referenzpunkte), Himmelsobjekte (Sonne, Mond, Sterne)

Aktivität 1: Zirkumpolare Konstellationen und Sterne

Benötigte Materialien:

- Arbeitsblätter
- Zirkel
- Bleistift
- Lineal
- Taschenrechner

Einleitung

Ohne einen hellen Stern an den Himmelpolen konnten die antiken Seefahrer den Pol finden, indem sie einige zirkumpolare Sterne beobachteten. Diese Seefahrer waren so erfahren, dass sie die wahre Nordrichtung bestimmt haben, indem sie die relative Position solcher Sterne und ihre Wege um sie herum wiedererkannten.

Zusätzlich nutzten sie zirkumpolare Sternbilder und Sterne, um auf ihre Breitengrade zu schließen. Das bedeutet, dass sie nie auf- oder untergehen - sie befinden sich immer über dem Horizont. Während wir heute einfach die Höhe des Polarsterns über dem Horizont messen können, sahen alte Seefahrer diesen Stern viele Grad vom Himmelsnordpol entfernt. Auf der Südhalbkugel gibt es ohnehin keinen solchen Sternindikator. Anstatt also die Höhe des Polarsterns zu messen, beobachteten sie, welche Sterne und Sternbilder noch über dem Horizont sichtbar waren, als sie während ihrer scheinbaren Umlaufbahn um den Himmelspol ihre niedrigste Höhe über dem Horizont (untere Kulmination) erreichten.

Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler die beiden folgenden Videos anschauen, die das Phänomen der Zirkumpolarsterne und Sternbilder für zwei Orte auf der Erde demonstrieren. Sie zeigen die simulierte tägliche scheinbare Rotation des Himmels um den nördlichen Himmelspol.

CircumpolarStars Heidelberg 49degN (Dauer: 0:57)

<https://youtu.be/uzeey9VPA48>

CircumpolarStars Habana 23degN (Dauer: 0:49)

https://youtu.be/zggfQC_d7UQ

Die Schülerinnen und Schüler werden feststellen, dass

1. es immer Sterne und Sternbilder gibt, die nie untergehen. Das sind die zirkumpolaren Sterne und Sternbilder.

2. der Winkel zwischen dem Himmelspol (Polaris) und dem Horizont von der geografischen Breite des Beobachters abhängt. Tatsächlich sind diese beiden Winkel identisch.
3. die Zirkumpolarregion von der geografischen Breite des Beobachters abhängt. Sie ist größer für Standorte, die näher am Pol liegen.

Wenn die SchülerInnen mit dem Gebrauch einer drehbaren Sternkarte vertraut sind, können sie das gleiche Phänomen studieren, indem sie sich die folgenden zwei Videos ansehen.

CircumPolarStars phi N20 (Dauer: 0:37)

<https://youtu.be/Uv-xcdqhV00>

CircumPolarStars phi N45 (Dauer: 0:37)

<https://youtu.be/VZ6RmdzbpPw>

Sie zeigen die Rotation des Himmels für die Breitengrade 20° und 45° . Die transparente Fläche zeigt den sichtbaren Himmel zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der gestrichelte Kreis zeigt die Region der zirkumpolaren Sterne und Sternbilder an.

Fragen und Antworten

F: Was ist das Besondere an den geografischen Nord- und Südpolen der Erde im Vergleich zu anderen Orten?

A: Sie definieren die Rotationsachse der Erde.

F: Wie findet man den Norden und die anderen Himmelsrichtungen ohne Kompass?

A: Himmelskörper, z.B. Sterne wie Polaris, die den Himmelsnordpol anzeigen.

F: Warum zeigt der Polarstern (Polaris) den Norden an?

A: Zu unseren Lebzeiten befindet sich Polaris in der Nähe des Himmelsnordpols.

F: Wo am Himmel wäre der Himmelsnord- und Südpol, wenn Sie genau am erdgebundenen Nord- und Südpol stehen würden?

A: Im Zenit, d.h. direkt über Kopf.

F: Wie würde sich diese Position ändern, wenn du in Richtung Äquator reist?

A: Seine Höhe würde vom Zenit bis zum Horizont abnehmen.

F: Was sind zirkumpolare Sternbilder?

A: Das sind Sternbilder, die sich um einen der Himmelspole drehen und niemals auf- oder untergehen. Sie befinden sich immer über dem Horizont.

F: Welche der sichtbaren Konstellationen wären zirkumpolar, wenn du auf dem Nord-/Südpol/Äquator stehen würdest?

A: Die gesamte Nord-/Südhalbkugel (Pole). Keine am Äquator.

F: Wenn der Polarstern nicht sichtbar wäre, wie würdest du dann überhaupt deinen Breitengrad bestimmen können?

A: Da die Zirkumpolarsterne und Sternbilder vom Breitengrad abhängen, genau wie die Höhe des Polarsterns, zeigen diejenigen, die immer über dem Horizont bleiben, an, wo ich bin.

Übung

Die Aufgabe besteht nun darin, in die Fußstapfen eines Navigators zu treten, der vor rund 5000 Jahren gelebt hat. Basierend auf diesen Fertigkeiten werden die Schülerinnen und Schüler die Konstellationen bestimmen, die zirkumpolar sind, wenn sie von bestimmten Positionen auf der Erde aus beobachtet werden.

In der folgenden Tabelle sind die Namen von sechs Städten mit ihren Breitengraden ϕ aufgeführt. Negative Werte weisen auf südliche Breitengrade hin. Eine siebte Zeile ist leer, in der die Schüler die Details ihrer Heimatstadt eintragen können. Daraus müssen sie die Winkelradien ϱ vom Himmelpol aus berechnen. Die Berechnung ist einfach, denn sie ist identisch mit der Polhöhe und dem Breitengrad:

$$\varphi = \varrho$$

Dann wählen sie die Karte aus, die zur Halbkugel passt. Die Schülerinnen und Schüler verwenden die Zirkel, um Kreise mit den ermittelten Radien um den entsprechenden Pol herum zu zeichnen. Die Konstellationen innerhalb dieses Kreises sind zirkumpolar. Die Konstellationen, die für eine bestimmte Stadt nur ganz oder teilweise sichtbar sind, werden der Tabelle hinzugefügt.

Mögliche Lösungen sind kursiv gedruckt. Die für die Übung vorbereitete Tabelle ist im Arbeitsblatt enthalten.

Tabelle 1: Liste von Orte mit ihren Breitengraden. Die Lösungen von Aktivität 1 sind in kursiver Schrift hinzugefügt.

Ort	Geografische Breite (°)	Radius in Karte (cm)	Sternbilder
Tunis (antikes Karthago, Tunesien)	36.8	3.7	<i>Kleine Bärin, Große Bärin (Großer Wagen), Drache, Kepheus, Kassiopeia</i>
Kapstadt (Cape Town, Südafrika)	-33.9	3.4	<i>Kreuz des Südens, Pfau (Peacock), Achernar, Großteil des Kiels des Schiffs, Toliman im Zentauren</i>
Plymouth (UK)	50.4	5.0	<i>Kleine Bärin, Große Bärin (Großer Wagen), Drache, Kepheus, Kassiopeia, Großteil des Perseus, Teil des Schwans mit Deneb</i>
Wellington (Neuseeland)	-41.3	4.1	<i>Kiel des Schiffs mit Canopus, Papagei, Maler, Schwertfisch</i>
Mumbai (Indien)	19.0	1.9	<i>Kleine Bärin</i>
Grytviken (Südgeorgien)	-54.3	5.4	<i>Zentaur, Wolf, Großteil des Achterdecks des Schiffs, Phönix, Kranich</i>

Detaillierte Instruktionen

1. Bestimme den Maßstab der Karte. Die Winkelskala beträgt 90° von den Polen zum äußeren Rand, d.h. dem Himmelsäquator.
2. Rechne die Breitengrade in der Tabelle in Radian in der Karte um und trage sie in die Tabelle ein.
3. Für jeden Ort:
 - a. Wähle die passende Karte.
 - b. Benutze den Zirkel, um einen Kreis zu zeichnen, der zu diesem Ort gehört.
 - c. Finde und notiere die sichtbaren zirkumpolaren Sternbilder. Falls es zu viele werden, wähle nur die wichtigsten Konstellationen.

Diskussion

In der Antike stimmte Polaris nicht mit dem Himmelsnordpol überein. Erkläre, wie wichtig zirkumpolare Sterne und Sternbilder für Navigatoren aus dieser Zeit waren.

Mögliches Ergebnis:

Sie waren ein hervorragendes Werkzeug, um den Kurs entlang eines Breitengrads zu halten. Sie halfen daher, sich auf hoher See nicht zu verirren.

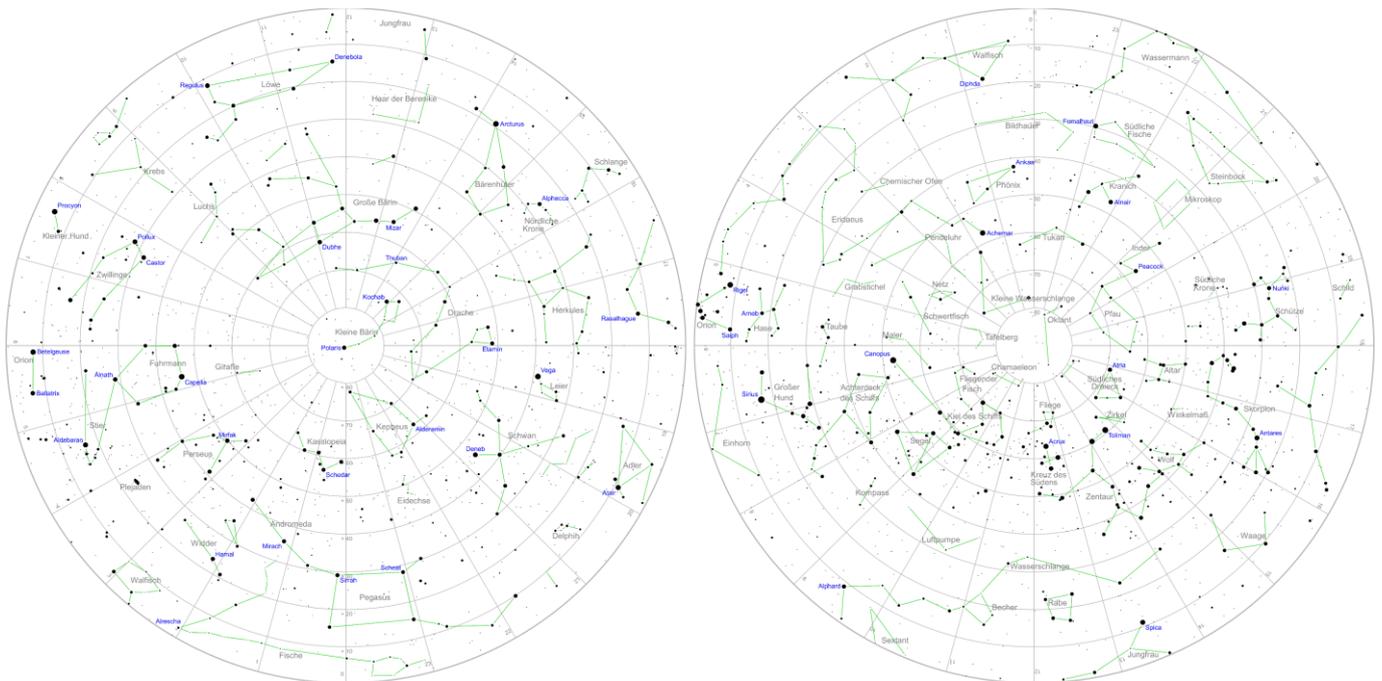
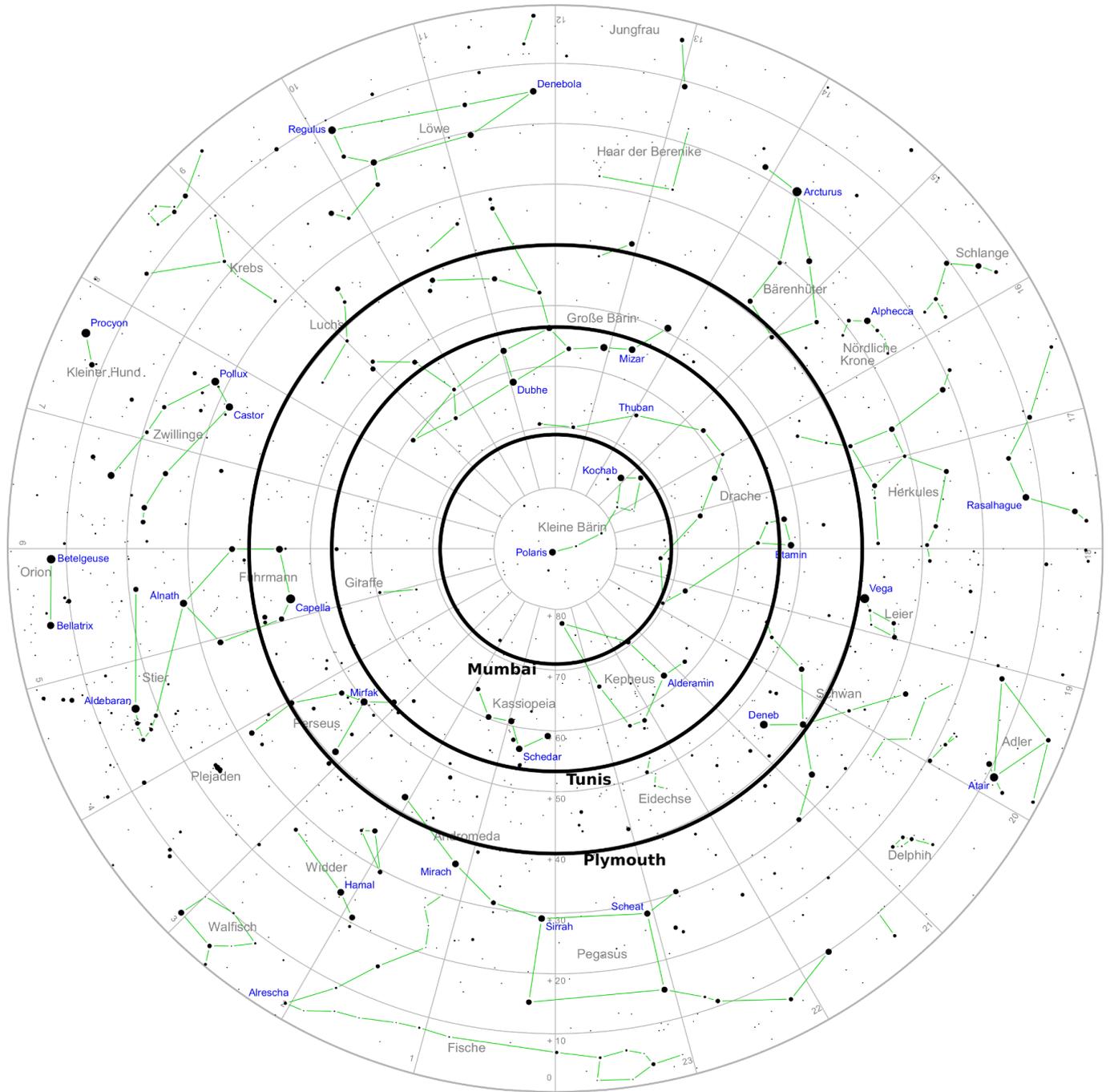


Abbildung 1: Sternkarten der nördlichen und südlichen Himmelsphären (eigenes Werk).

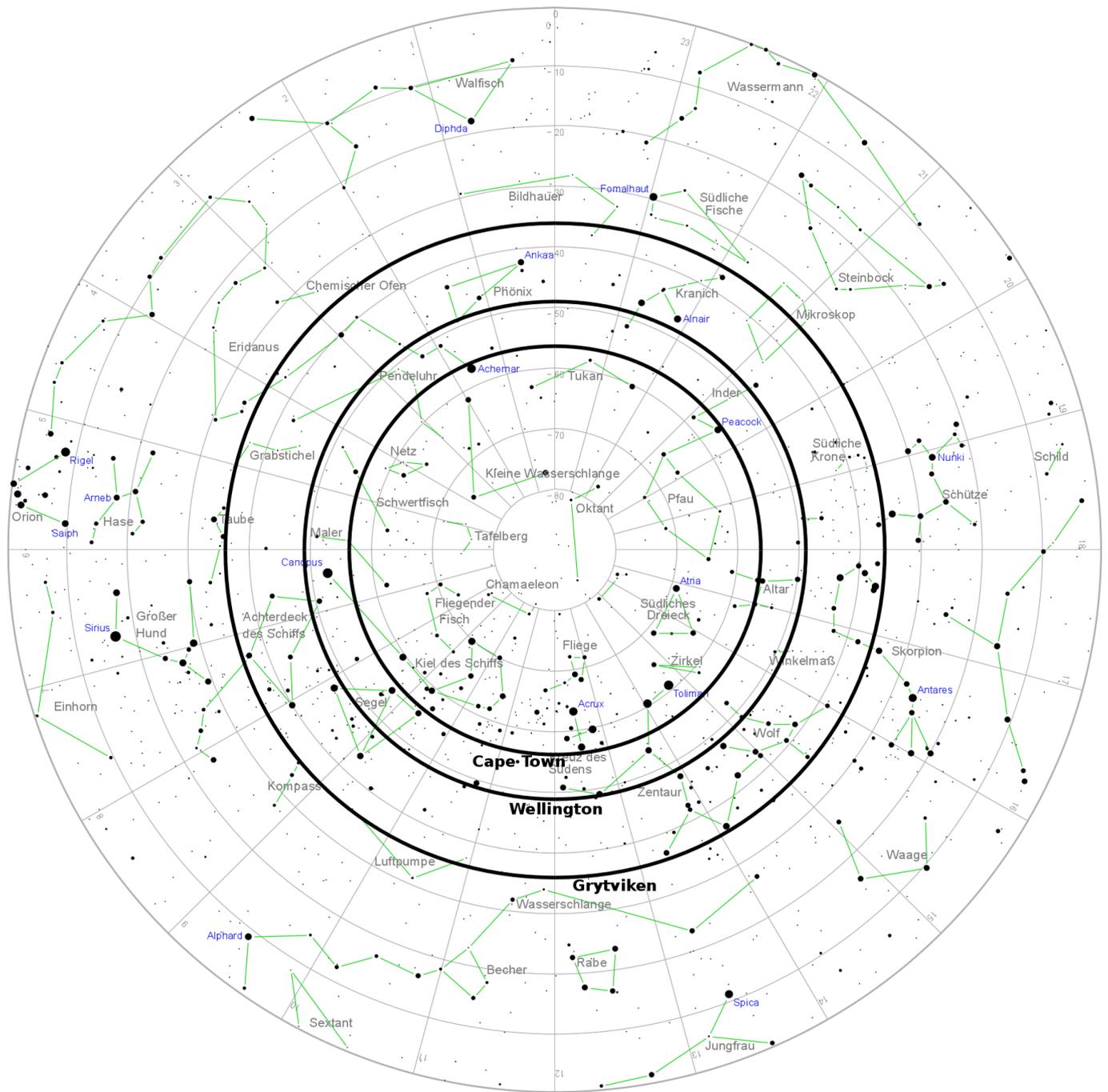
Lösungen

Der Maßstab der Karte beträgt: $1\text{cm} \propto 10^\circ$

Nordhimmel



Südhimmel



Aufgabe 2: Die Sterne zeigen den Weg

Benötigte Materialien:

- Arbeitsblätter
- Bleistift
- Geodreieck oder Winkelmesser
- Computer mit MS Excel
- Excel-Tabelle „NavigationImAntikenMittelmeer-HelleSterne.xlsx“

Da es keinen Stern wie Polaris gab, der einen Himmelspol anzeigt, benutzten die antiken Seefahrer andere Sterne und Konstellationen, um die Himmelsrichtungen und den Kurs ihres Schiffes zu bestimmen. Sie stellten fest, dass sich die Positionen, an denen sie am Horizont erscheinen und verschwinden (die Peilungen), im Laufe eines Menschenlebens nicht ändern. Erfahrene Navigatoren kannten die hellsten Sterne und Sternbilder auswendig.

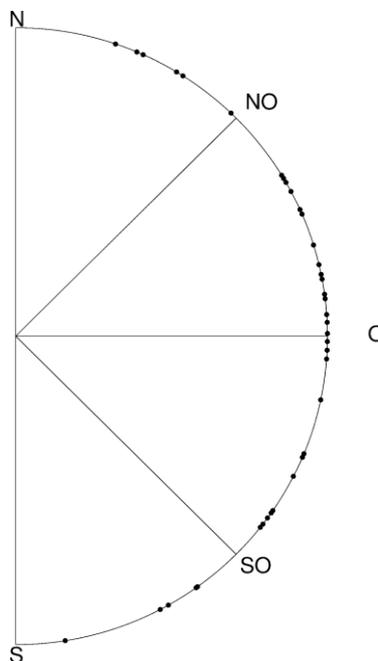


Abbildung 2: Himmelsrichtungen von ausgewählten hellen Sternen, an denen sie aufgehen, berechnet für einen Breitengrad von 45° und einer Höhe von 10° über dem Horizont (eigenes Werk).

Fragen und Antworten

F: Kann man die Himmelsrichtungen von anderen Sternen als Polaris bestimmen? Beachte, dass es am Südpol keinen solchen Stern gibt.

A: Ja. Wenn man die Sterne und Sternbilder kennt, können sie den Weg weisen, da sie jeden Tag zu den gleichen Positionen zurückkehren.

F: Warum kann man mit auf- und untergehenden Sternen und Sternbildern einen Kurs auf See bestimmen?

A: Die Position am Horizont beim Auf- und Untergang ändert sich nicht (mit Ausnahme einer sehr langsamen langfristigen Variation).

F: Würde man im Laufe des Jahres jeden Abend dieselben Sterne sehen können?

A: Nein, die Zeit des Aufstiegs und des Untergangs ändert sich. Die Sterne, die in den Winternächten sichtbar sind, sind in den Sommermonaten am Tag aufgegangen.

Übung

Die Schülerinnen und Schüler stellen einen Sternkompass ähnlich Abbildung 2 her. Die Berechnungen, die notwendig sind, um die Himmelskoordinaten der Sterne in horizontale Koordinaten, d.h. Azimut und Elevation, umzuwandeln, sind ziemlich komplex. Der Azimut ist ein Winkel am Horizont, der im Uhrzeigersinn von Norden her gezählt wird. Daher wird diese Aktivität mit einer Excel-Datei ausgeliefert, die das für sie erledigt. Sie besteht aus 57 hellen Sternen und den Plejaden, einem sehr markanten Sternhaufen.

Sie müssen lediglich den Breitengrad ihres Standortes und die Höhe der Sterne in der entsprechenden Zeile am unteren Rand der Tabelle eingeben. Für die Höhe ist 10° ein guter Wert. Das bedeutet, dass sie die Azimute der Sterne erhalten, wenn sie in einer Höhe von 10° beobachtet werden. Man kann auch andere Werte verwenden, aber diese Übung ist für das Finden von Sternen gedacht, die nur aufgehen oder untergehen.

In den letzten beiden Spalten (AZ1, AZ2) werden dann zwei Azimute angezeigt, eine, wenn der Stern aufgeht, und eine, wenn der Stern untergeht. Beachten Sie, dass die Verteilung der Azimute für aufgehende und untergehende Sterne symmetrisch zum Meridian, d.h. der Linie, die Nord und Süd verbindet, ist. Die Zellen, die #NA anzeigen, enthalten keine gültigen Zahlen. Diese Sterne werden nie aufgehen oder untergehen. Sie sind entweder zirkumpolar oder unterhalb des Horizonts.

Die Schülerinnen und Schüler übersetzen die Werte in den darunter liegenden Sternkompass. Sie verwenden einen Winkelmesser und tragen die Position jedes Sterns auf dem Kreis ein. Dann schreiben sie den Namen daneben.

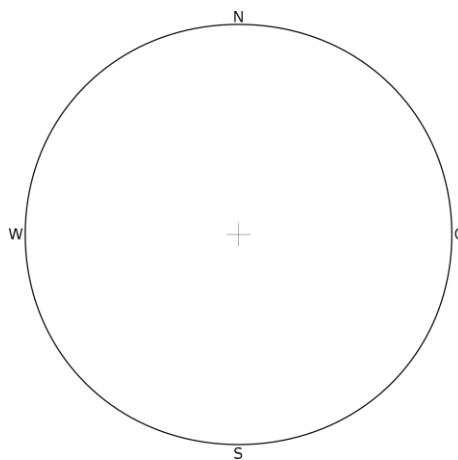


Abbildung 3: Vorlage für den Sternkompass.

Diskussion

Eine der Methoden, um durch das antike Mittelmeer zu navigieren, war es, nahe an den Ufern zu bleiben. Erkläre, warum die bronzezeitlichen Seefahrer neben der Gefahr von Flachwasser auch über Methoden verfügten, die es ihnen ermöglicht hätten, sicher auf offenen Gewässern zu navigieren. Vielleicht möchtest du dir eine Karte des Mittelmeeres ansehen.

Mögliche Antworten:

Die alten Völker besuchten auch Inseln wegen des Handels oder aus anderen Gründen. Viele von ihnen sind von den Küsten des Mittelmeeres aus nicht sichtbar. Die Fahrten dauerten oft auch länger als nur ein paar Stunden. Schiffe dieses Zeitalters konnten durchschnittlich fünf Seemeilen pro Stunde zurücklegen. Es gibt auch Berichte, die im Laufe der Jahrhunderte weitergegeben wurden und die uns von der Himmelsnavigation erzählen.

Aktivität 3: Mach es selbst! (Zusatzübung)

Benötigte Materialien:

- Ergebnisse der vorherigen Aktivitäten
- Tragbare Lampe, z.B. eine abgedunkelte Taschenlampe oder eine mit einem roten Filter
- Falls vorhanden, ein Magnetkompass

Nichts ist lehrreicher, als das, was in der Theorie gelernt und geübt wurde, tatsächlich auf die realen Bedingungen anzuwenden. Daher können die Ergebnisse der beiden vorangegangenen Aktivitäten durch Beobachtung des Nachthimmels getestet werden.

Diese Aktivität kann von den Teilnehmern selbst zu Hause oder als Gruppenveranstaltung mit der Klasse durchgeführt werden.

Wählen Sie einen klaren Abend und einen Ort mit guter Sicht zum Horizont, insbesondere Richtung Norden. Sobald es dunkel genug ist, um die Sterne zu sehen, lassen Sie die Schülerinnen und Schüler mit ihren abgedunkelten Taschenlampen ihre Karten mit dem Zirkumpolarbereich von Aktivität 1 inspizieren. Eine abgedunkelte Taschenlampe - noch besser: eine rote - hilft, die Augen an die Dunkelheit anzupassen.

Nachdem sie die hellsten Sterne identifiziert haben, lassen Sie sie ihre Sternkompass aus Aktivität 2 benutzen. Die Schülerinnen und Schüler sollten die Markierungen eines oder mehrerer Sterne auf die Sterne am Himmel richten. Lassen Sie sie Nord (oder Süd, je nachdem, welcher Himmelspol von Ihrem Standort aus sichtbar ist) identifizieren. Wenn Sie sich auf der nördlichen Hemisphäre befinden, stimmt das mit der Richtung zum Polarstern überein? In der südlichen Hemisphäre kann ein Magnetkompass erforderlich sein.

Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler die Sternbilder, die sie am Himmel sehen, auf ihren Karten erkennen. Bitten Sie sie, nach Norden (Süden in der südlichen Hemisphäre) zu schauen und die Sterne und Sternbilder zu benennen, die sich knapp über dem Horizont befinden. Stimmt das mit den Karten überein? Beachten Sie, dass es einen Kreis geben sollte, der den zirkumpolaren Bereich für den lokalen Breitengrad angibt.

Versuchen Sie zu betonen, dass sie mit dieser Aktivität wie die Navigatoren vor 4000 Jahren arbeiten.

Hintergrundinformation

Himmelsrichtungen

Die Himmelsrichtungen werden durch astronomische Zyklen wie Tages- und Jahresbewegungen der Sonne und die scheinbaren Bewegungen der Sterne bestimmt. Im Altertum und in der Vorgeschichte hatte der Himmel sicherlich eine andere Bedeutung als heute. Dies spiegelt sich in den vielen Mythen rund um die Welt wider. Daher können wir davon ausgehen, dass die Vorgänge am Himmel genau beobachtet und überwacht wurden. Dabei waren die zugrunde liegenden Zyklen und sichtbaren Phänomene leicht zu beobachten.

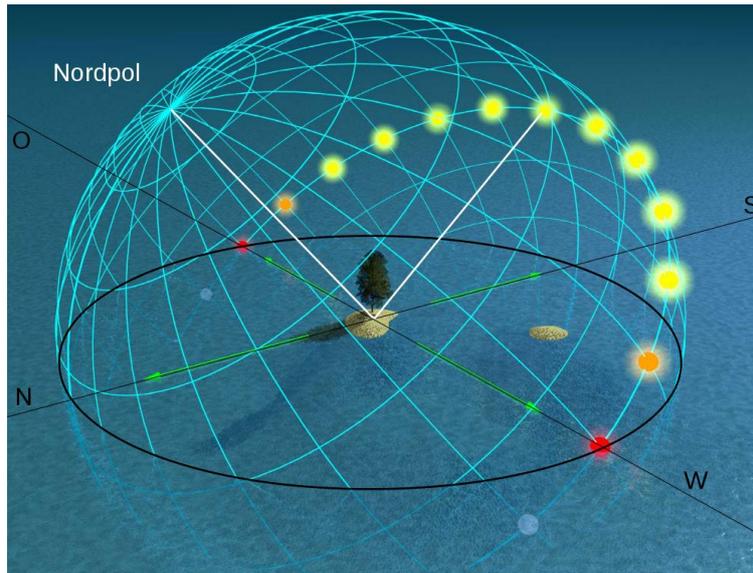


Abbildung 4: Scheinbare tägliche Bewegung der Sonne in der nördlichen Hemisphäre zur Tagundnachtgleiche (Credit: Tau'olunga, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equinox-50.jpg>, „Equinox-50“, Übersetzung, Horizontkoordinaten und Beschriftungen von Markus Nielbock, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Für jede beliebige Position auf der Erde, mit Ausnahme der äquatorialen Region, kulminiert die Sonne immer in dieselbe Richtung (Abbildung 1). Die Region zwischen den beiden Wendekreisen $23,5^\circ$ nördlich und südlich des Äquators ist etwas Besonderes, denn die Sonne kann das Jahr hindurch Zenitpositionen am lokalen Mittag erreichen. Nachts drehen sich die Sterne um die Himmelspole. Archäologische Befunde aus prähistorischen Epochen wie Bestattungen und die Orientierung von Gebäuden zeigen, dass die Himmelsrichtungen in einer Vielzahl von Kulturen bereits vor vielen Jahrtausenden allgemein bekannt waren (z. B. McKim Malville & Putnam, 1993; Rudgeley, 2000; z. B. Schmidt-Kaler & Schlosser, 1984). Daher ist es offensichtlich, dass sie auf die frühe Navigation angewandt wurden. Der Magnetkompass war in Europa bis zum 13. Jahrhundert unbekannt (Lane, 1963).

Breitengrad und Längengrad

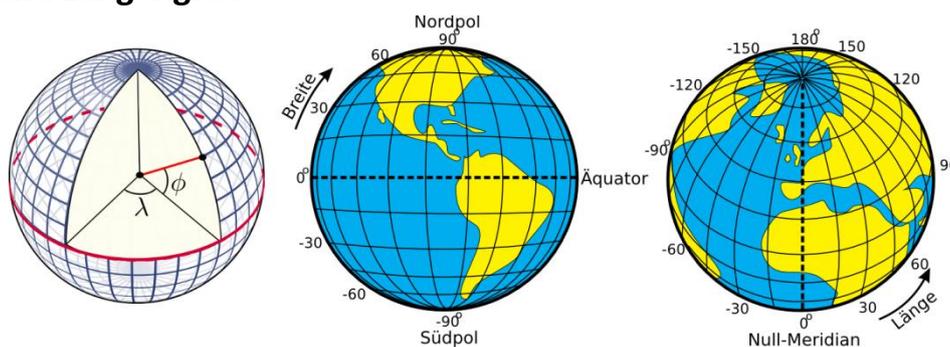


Abbildung 5: Definition der geografischen Länge und Breite (Peter Mercator, djexplo, CC0).

Jeder Punkt auf einer Fläche wird durch zwei Koordinaten eindeutig definiert. Die Oberfläche einer Kugel stellt eine gekrümmte Fläche dar. Jedoch sind Koordinaten im Stile von oben, unten, links und rechts nicht sinnvoll, da eine Kugel weder einen Anfang noch ein Ende hat. Stattdessen führt man sphärische Polarkoordinaten ein, die ihren Ursprung im Zentrum der Kugel haben. Der Radius ist dabei konstant (Abbildung 5). Es verbleiben zwei Winkelkoordinaten, die für die Erde Breitengrad und Längengrad oder auch geografische Breite und Länge genannt werden, wobei die Rotation die Symmetrieachse vorgibt. Der Nordpol ist der Punkt, an dem die gedachte Rotationsachse die Oberfläche durchstößt. Betrachtet man diesen von oben, vollzieht sich die Rotation gegen den Uhrzeigersinn. Der gegenüber liegende Punkt ist der Südpol. Der Äquator ist definiert als der Großkreis¹, der auf halbem Weg zwischen den beiden Polen liegt.

Die Breitengrade sind Kreise parallel zum Äquator. Man zählt sie von 0° am Äquator bis $\pm 90^\circ$ an den Polen. Die Längengrade sind Großkreise, die die beiden Pole der Erde verbinden. Für einen beliebigen Ort auf der Erde wird der Längengrad, der durch den Zenit geht – der Punkt senkrecht nach oben – Meridian genannt. Dies ist die Linie, die die Sonne scheinbar² zum Ortsmittag kreuzt. Der Ursprung der Längengrade wurde auf den Meridian von Greenwich festgelegt, also am Ort des Königlichen Observatoriums von England. Von dort zählt man die Längengrade von 0° bis $\pm 180^\circ$.

Beispiel: Heidelberg in Deutschland befindet sich bei 49.4° Nord und 8.7° Ost.

Polhöhe

Projiziert man das Koordinatensystem mit Breiten- und Längengrad an den Himmel, so erhält man das äquatoriale Koordinatensystem des Himmels. Der Erdäquator wird zum Himmelsäquator, und die geografischen Pole werden so an die Himmelssphäre verlängert, dass sie die Himmelspole ergeben. Macht man ein Foto mit einer Langzeitbelichtung des Nordhimmels, so würden wir sehen, dass die Sternstrichspuren um einen gemeinsamen Punkt kreisen. Das ist der nördliche Himmelspol (Abbildung 6).



Abbildung 6: Sternstrichspuren nach einer Belichtung von etwa 2 Stunden (Ralph Arvesen, Live Oak star trails, <https://www.flickr.com/photos/rarvesen/9494908143>, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>)

¹ Ein Kreis mit dem Radius der Kugel

² Scheinbar in dem Sinne, dass sich tatsächlich die Erde dreht

Auf der Nordhalbkugel gibt es einen relativ hellen Stern nahe am Himmelspol, den Polarstern oder Polaris. Stünde man genau auf dem geografischen Nordpol, würde Polaris immer im Zenit stehen. Man kann sagen, dass seine Winkelhöhe (oder kurz: Höhe) dann – nahezu – 90° beträgt. Mit diesen Schilderungen wird das lokale, horizontale Koordinatensystem eingeführt (Abbildung 7).

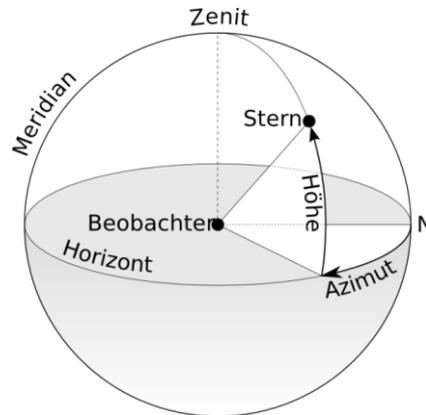


Abbildung 7: Das horizontale Koordinatensystem. Der Beobachter befindet sich im Ursprung der Koordinaten, die mit Azimut und Höhe bezeichnet werden (TWCarlson, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg, „Azimuth-Altitude schematic“, Übersetzung von Markus Nielbock, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Das ist die natürliche Referenz, die wir täglich nutzen. Wir, die Beobachter, sind der Ursprung dieses Koordinatensystems, welches sich auf einer gedachten Ebene befindet, dessen Rand der Horizont ist. Der Himmel wird als eine Halbkugel betrachtet, die sich darüber wölbt. Der Winkel zwischen einem Himmelsobjekt und dieser Ebene oder dem Horizont wird Winkelhöhe oder schlicht Höhe genannt. Die Richtung innerhalb der Ebene zu einem gedachten Punkt am Horizont ist das Azimut, welches üblicherweise von Norden aus in Uhrzeigerrichtung gemessen wird. In der Navigation wird dies auch als Peilung bezeichnet. Der Meridian ist dann die Linie, die den Nordpunkt mit dem Südpunkt am Horizont durch den Zenit verbindet.

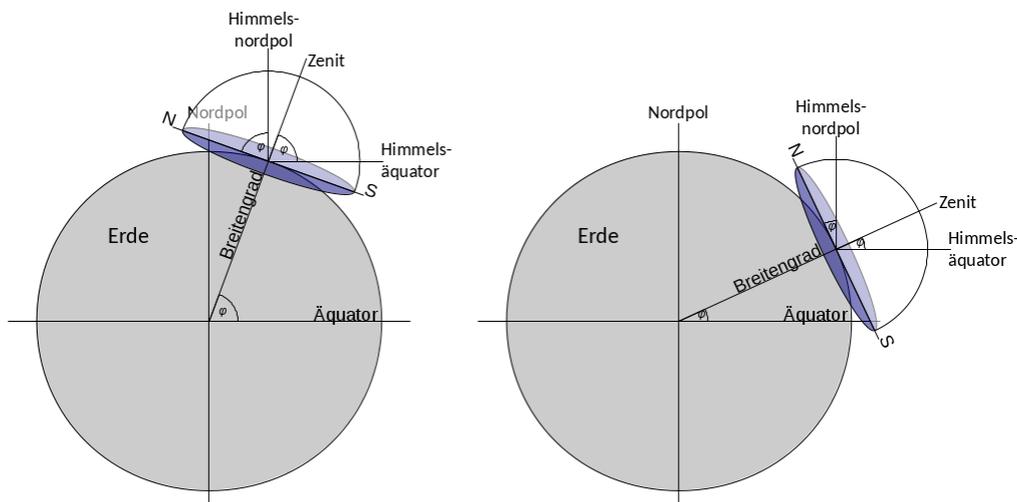


Abbildung 8: Verbindet man die drei Koordinatensysteme (sphärisch geografisch, äquatorial und horizontal), wird deutlich, dass der Breitengrad des Beobachters der Polhöhe entspricht (M. Nielbock, eigenes Werk).

Für jede andere Position auf der Erde erscheint der Himmelspol unter einem Winkel, der geringer als 90° ist. Am Äquator würde er gerade eben am Horizont erscheinen, also bei einer Höhe von 0° . Der Zusammenhang mit dem Breitengrad (Nordpol = 90° , Äquator = 0°) ist nicht zufällig. Abbildung 8 kombiniert die drei genannten Koordinatensysteme. Für einen beliebigen Beobachter auf der Erde berührt das lokale Horizontsystem das terrestrische, sphärische Koordinatensystem an einem tangential anliegenden Punkt. Die Grafik verdeutlicht, dass die Höhe des Himmelspols, auch Polhöhe genannt, genau der geografischen Breite des Beobachters entspricht.

Zirkumpolare Sterne und Sternbilder

In der Antike, z.B. in der Bronzezeit, konnte Polaris nicht zur Bestimmung der Nordrichtung verwendet werden. Aufgrund der Präzession der Erdachse lag er um 3500 v. d. Z. etwa 30° vom Himmelsnordpol entfernt. Stattdessen war der Stern Thuban (α Draconis) besser geeignet, da er weniger als 4° entfernt war. Er war jedoch wesentlich schwächer als Polaris und mit bloßem Auge vielleicht nicht immer sichtbar.

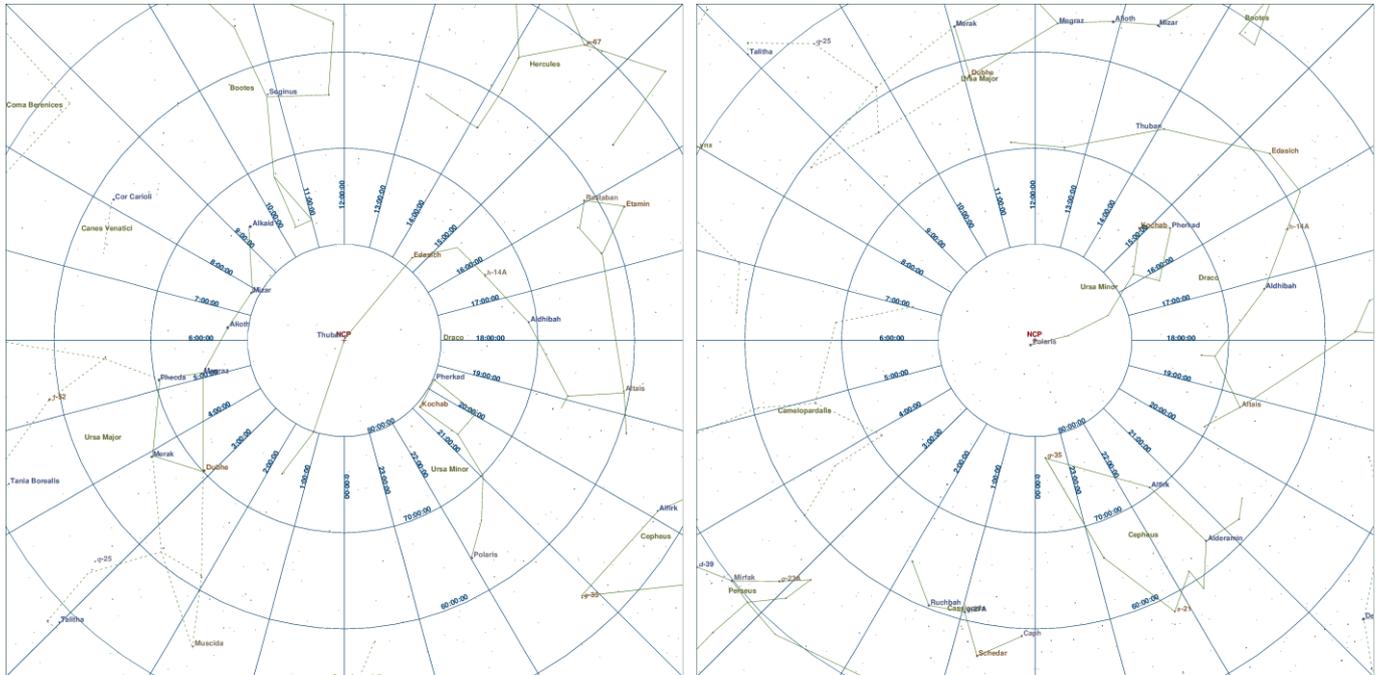


Abbildung 9: Sternkarten der nördlichen Polregion für die Jahre 2750 v. d. Z. und 2016 n. d. Z. (eigenes Werk, erstellt mit XEphem, Version 3.7.6, entwickelt von Elwood C. Downey und vertrieben vom Clear Sky Institute Inc., Soloon, Iowa, USA, <http://www.xephem.com>).

Beim Anblick des Nachthimmels sind einige Sterne innerhalb eines bestimmten Radius um die Himmelspole nie untergegangen. Sie sind zirkumpolar (siehe Abbildung 6). Die Navigatoren waren geschickt genug, um die wahre Position des Himmelspols zu bestimmen, indem sie ein paar Sterne in dessen Nähe beobachteten. Diese Methode funktioniert auch für den südlichen Himmelspol. Es gibt zwei Videos, die das Phänomen demonstrieren.

CircumpolarStars Heidelberg 49degN (Dauer: 0:57)

<https://youtu.be/uzeey9VPA48>

CircumpolarStars Habana 23degN (Dauer: 0:49)

https://youtu.be/zggfQC_d7UQ

Sie zeigen die Bewegung des Sternenhimmels in der Nordrichtung für zwei verschiedene geografische Breiten, die mit den Städten Heidelberg, Deutschland (49° Nord) und Lissabon, Portugal bzw. Havanna, Kuba (23° Nord) übereinstimmen. Die Filme zeigen, dass

1. es immer Sterne und Sternbilder gibt, die nie untergehen. Das sind die zirkumpolaren Sterne und Sternbilder.
2. der Winkel zwischen dem Himmelspol (Polaris) und dem Horizont von der geografischen Breite des Beobachters abhängt. Tatsächlich sind diese beiden Winkel identisch.
3. die Zirkumpolarregion von der geografischen Breite des Beobachters abhängt. Sie ist größer für Standorte, die näher am Pol liegen.

Wenn die SchülerInnen mit dem Gebrauch einer drehbaren Sternkarte vertraut sind, können sie das gleiche Phänomen studieren, indem sie sich die folgenden zwei Videos ansehen. Sie zeigen die Rotation des Himmels für geografische Breiten von 20° und 45°. Die transparente Fläche zeigt den sichtbaren Himmel zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der gestrichelte Kreis zeigt die Region der zirkumpolaren Sterne und Sternbilder an.

CircumPolarStars phi N20 (Dauer: 0:37)

<https://youtu.be/Uv-xcdqhV00>

CircumPolarStars phi N45 (Dauer: 0:37)

<https://youtu.be/VZ6RmdzbpPw>

Beim Segeln nach Norden oder Süden beobachten die Seeleute, dass sich bei wechselnder Höhe des Himmelspols auch der Zirkumpolarbereich verändert. Wenn Navigatoren also denselben Stern oder dieselbe Konstellation sehen, die auf der gleichen Höhe kulminieren, d.h. den Meridian passieren, bleiben sie auf dem "Breitengrad". Obwohl die Gebildeten unter den antiken Griechen mit dem Konzept des Breitengrades einer kugelförmigen Erde vertraut waren, waren es wohl die einfachen Seeleute nicht. Für sie genügte es, den Zusammenhang zwischen der Höhe der Sterne und ihrem Kurs zu erkennen. Die frühen Seefahrer kannten den Nachthimmel sehr gut. Insbesondere nutzten sie die relativen Positionen der Konstellation, die ihnen halfen, ihre Position in Bezug auf den Breitengrad zu bestimmen.

Frühe Seefahrt und Navigation im Mittelmeer

Die Navigation mit Hilfe von Himmelsobjekten ist eine Fertigkeit, die schon lange bevor die Menschen die Erde durchstreiften, entstanden ist. Heute kennen wir zahlreiche Beispiele von Tieren, die ihren Weg über den Tag- oder Nachthimmel finden. Bienen und Monarchfalter navigieren nach der Sonne (Sauman u. a., 2005), ebenso wie Stare (Kramer, 1952). Noch eindrucksvoller ist die Fähigkeit von Vögeln (Emlen, 1970; Lockley, 1967; Sauer, 1958) und Robben (Mauck, Gläser, Schlosser, & Dehnhardt, 2008), die Position von Sternen in der Nacht zu bestimmen, um einen Kurs zu steuern. Doch in unserer modernen Zivilisation mit intensiver Beleuchtung der Städte können starke Lichtquellen mit Himmelsobjekten verwechselt werden. Zum Beispiel benutzen Motten den Mond, um einen konstanten Kurs beizubehalten, aber wenn sie durch eine Straßenlaterne verwirrt werden, umkreisen sie ihn bis zur Erschöpfung (Stevenson, 2008). Daher stellt die Lichtverschmutzung für viele Tiere eine ernsthafte Bedrohung dar. Das Ausmaß ist in Abbildung 10 dargestellt.



Abbildung 10: Die Iberische Halbinsel bei Nacht von der Internationalen Raumstation aus gesehen (: Image courtesy of the Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center, mission-roll-frame no. ISS040-E-081320 (26 July 2014), <http://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS040&roll=E&frame=081320>).

Zu den ersten Menschen, die das offene Meer befahren haben, gehörten die Ureinwohner Australiens vor etwa 50.000 Jahren (Hiscock, 2013). Die ältesten Aufzeichnungen über die Seefahrt im Mittelmeer gehen auf 7.000 v. d. Z. zurück (Hertel, 1990), allerdings mit Booten oder kleinen Schiffen, die nur mit Paddeln angetrieben wurden. Die Routen wurden auf den Küstenbereich beschränkt, wo Landmarken dazu beitrugen, zu den gewünschten Zielen zu navigieren. Um größere Distanzen überbrücken zu können, ist ein Antrieb unabhängig von der Muskelkraft erforderlich. Daher war das Segel eine der wichtigsten Erfindungen der Menschheitsgeschichte, in seiner Bedeutung ähnlich dem Rad. Um die Mitte des 4. Jahrtausends v. d. Z. befuhren ägyptische Schiffe das östliche Mittelmeer (Bohn, 2011) und etablierten Handelsrouten mit Byblos in Phönizien, dem biblischen Kanaan, dem heutigen Libanon. Es handelt sich um die Zeit, in der die Bronzezeit begann. Zinn ist ein wichtiger Bestandteil von Bronze. Nach der Erschöpfung der lokalen Lagerstätten lösten Zinnvorkommen in Mittel- und Westeuropa einen groß angelegten Handel aus (Penhallurick, 1986). Der Transport über große Entfernungen innerhalb und außerhalb des Mittelmeeres wurde mit Schiffen durchgeführt.

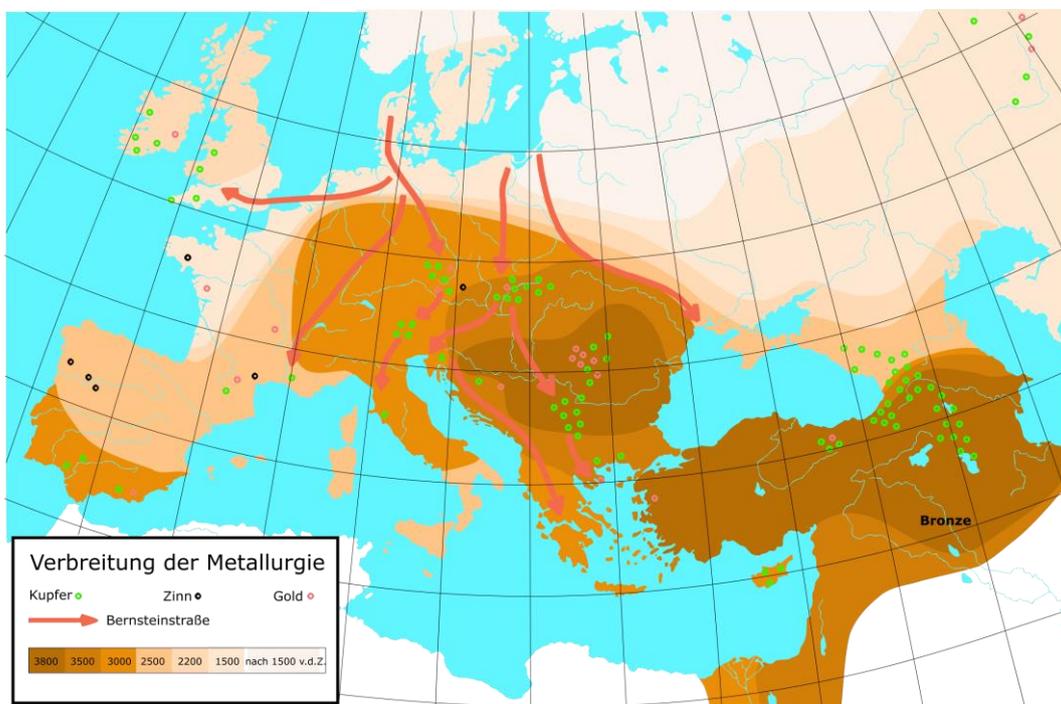


Abbildung 11: Karte der Verbreitung der Metallurgie. Zinnlagerstätten der Bronzezeit befinden sich an der europäischen Atlantikküste (gemeinfrei).

Schon bald erkannten die Seefahrer, dass man mit Himmelsobjekten, vor allem mit Sternen, den Kurs eines Schiffes halten kann. Solche Fähigkeiten wurden in der frühen Literatur erwähnt, wie Homers Odyssee, von der man annimmt, dass sie auf das 8. Jahrhundert v. d. Z. stammt. Die ursprünglichen Quellen stammen vermutlich aus der Bronzezeit, in der die Minoer von Kreta ein besonders einflussreiches Volk waren, das zwischen 3650 und .450 v. d. Z. im nördlichen Mittelmeer lebte und die Ägäis befuhr. Da viele ihrer Sakralbauten mit den Himmelsrichtungen und astronomischen Phänomenen wie der aufgehenden Sonne und den Tagundnachtgleichen ausgerichtet waren (Henriksson & Blomberg, 2008, 2009), ist es naheliegend anzunehmen, dass sie dieses Wissen auch für die Navigation nutzten (Blomberg & Henriksson, 1999). Die Minoer segelten auf die Insel Thera und nach Ägypten, was sie für mehrere Tage auf offenes Wasser geführt hat.

Der griechische Dichter Aratos von Soli veröffentlichte seine *Phainomena* um 275 v. d. Z. (Aratus, Callimachus, & Lycophron, 1921), in der er detaillierte Positionen der Konstellationen und ihre Reihenfolge des Aufgangs und ihrer Richtung angab, was für jeden Seefahrer eine wichtige Information zur Einhaltung eines bestimmten Kurses

wäre. Er hätte sein Schiff einfach auf eine Himmelsrichtung ausgerichtet und mit Hilfe von Sternkonstellationen, die in dieser Richtung erschienen, seinen Kurs halten können. Der Azimut des Auf- und Untergangs eines bestimmten Sterns bleibt das ganze Jahr über konstant, mit Ausnahme einer langsamen Variation, die durch die 26000 Jahre der Präzession der Erdachse verursacht wird. Interessanterweise passten Aratos' Positionen nicht in die Spätbronze- und Früheisenzeit, sondern in die Ära der minoischen Herrschaft (Blomberg & Henriksson, 1999), etwa 2000 Jahre zuvor.

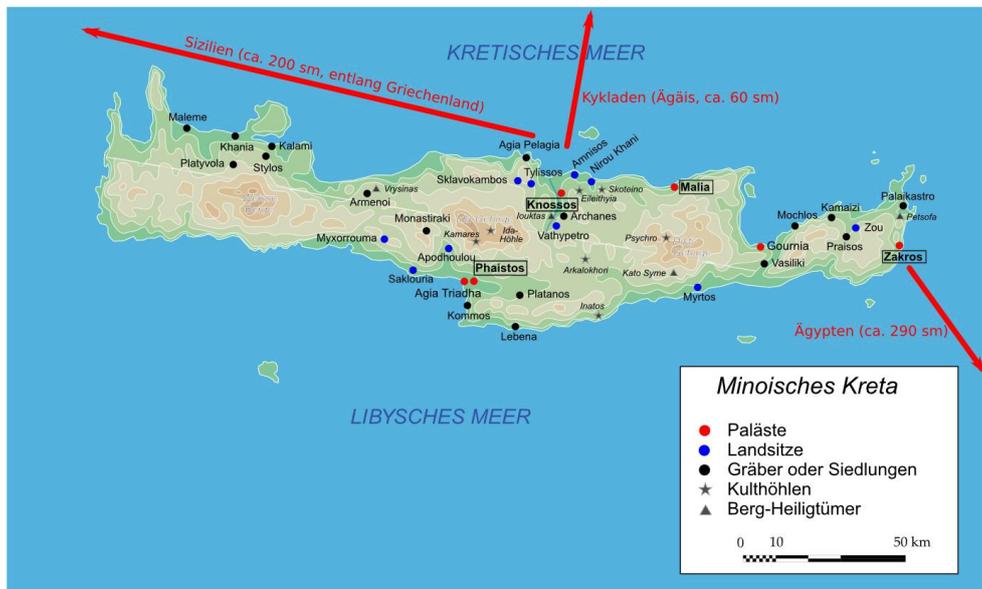


Abbildung 12: Karte Kretas mit antiken minoischen Stätten des frühen 2. Jahrtausends v. d. Z. (Bibi Saint-Pol, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_Minoan_Crete-de.svg, „Map Minoan Crete-de“, Beschriftungen von Markus Nielbock, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Um 1200 v. d. Z. wurden die Phönizier zur dominierenden Zivilisation im Mittelmeerraum. Sie errichteten Kolonien an der Süd- und Westküste des Mittelmeers und darüber hinaus. Darunter befand sich auch die Kolonie Gades (heute Cadíz) vor der Straße von Gibraltar, die als Handelsplatz für Waren und Ressourcen aus Nordeuropa diente (Cunliffe, 2003; Hertel, 1990). Mehrere dokumentierte Reisen durch den Atlantik führten sie nach Großbritannien und sogar mehrere hundert Meilen südlich entlang der afrikanischen Küste (Johnson & Nurminen, 2009).



Abbildung 13: Der Nachthimmel mit der Peilung von Kreta nach Alexandria für den 22. September 2000 v. d. Z., 21:30 UT (eigenes Werk, erstellt mit Stellarium, freie GNU/GPL-Software, nach Blomberg & Henriksson, 1999, Abb. 9).

Der griechische Historiker Herodot (ca. 484 - 420 v. d. Z.) berichtet von einer vom ägyptischen Pharaon Necho II (610 - 595 v. d. Z.) finanzierten phönizischen Expedition, die vom Roten Meer aus Afrika umsegelte und über das Mittelmeer nach Ägypten zurückkehrte (Bohn, 2011; Hertel, 1990; Johnson & Nurminen, 2009). Die Seeleute berichteten offenbar, dass sich zeitweise die Sonne im Norden befand (Cunliffe, 2003), was nach der Überquerung des Äquators im Süden zu erwarten ist. All dies spricht für außergewöhnliche Navigationsfähigkeiten. Nachdem die Perser 539 v. Chr. die phönizische Herkunftsregion erobert hatten, ging ihr Einfluss zurück, wurde aber von den Nachkommen ihrer Kolonien, den Karthagern, wiederhergestellt.



Abbildung 14: Handelsrouten der Phönizier während der europäischen Bronzezeit (gemeinfrei).

Pytheas

Eine sehr bemerkenswerte und gut dokumentierte Fernreise wurde von antiken Autoren und Gelehrten wie Strabo, Plinius und Diodorus von Sizilien überliefert. Es handelt sich um die Reise von Pytheas (ca. 380 - 310 v. d. Z.), ein griechischer Astronom, Geograph und Entdecker aus Marseille, der um 320 v. d. Z. anscheinend das Mittelmeer verließ, reiste an der europäischen Westküste entlang und schaffte es nach Norden bis zu den Britischen Inseln und über den Polarkreis hinaus, wobei er möglicherweise Island oder die Färöer-Inseln erreichte, die er Thule nannte (Baker & Baker, 1997; Cunliffe, 2003; Hergt, 1893).



Abbildung 15: Statue des Pytheas, aufgestellt am Palais de la Bourse in Marseille (Rvalette, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pythéas.jpg>, „Pythéas“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Massalia (oder Massilia), wie es damals genannt wurde, wurde um 600 v. d. Z. von phokäischen Griechen gegründet und entwickelte sich schnell zu einem der größten und reichsten griechischen Außenposten im westlichen Mittelmeerraum mit starken Handelsbeziehungen zu keltischen Stämmen, die den größten Teil Europas besetzten (Cunliffe, 2003). Pytheas wurde in die Spätbronzezeit hineingeboren, als der Handel mit Rohstoffen aus Nordeuropa florierte. In der griechischen Geographie war nicht viel über diesen Teil der Welt bekannt, außer dass die dort lebenden Barbaren das Zinnerz förderten und den kostbaren Bernstein lieferten, nach dem sich das ganze Mittelmeer so sehnte. Vielleicht war es aus reiner Neugier, warum Pytheas sich aufmachte, diese Küsten zu erkunden.



Abbildung 16: Die Reise des Pytheas von Massalia gemäß (Cunliffe, 2003) (ESA/Cunliffe, http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2005/09/The_journey_of_Pytheas, http://www.esa.int/spaceinimages/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images).

Seine Reise war ein Meilenstein, denn Pytheas war ein Wissenschaftler und ein großartiger Beobachter. Er benutzte bereits einen Gnomon oder eine Sonnenuhr, die es ihm erlaubte, seinen Breitengrad zu bestimmen und die Zeit während seiner Reise zu messen (Nansen, 1911). Er bemerkte auch, dass im Sommer die Sonne in höheren Breiten länger scheint. Darüber hinaus war er der erste, der einen Zusammenhang zwischen den Gezeiten, die im Mittelmeer praktisch nicht vorhanden sind, und den Mondphasen feststellte (Roller, 2006).

Literatur

- Aratus, Callimachus, & Lycophron. (1921). *Callimachus: Hymns and Epigrams, Lycophron and Aratus*. (A. W. Mair & G. R. Mair, Übers.) (2nd Aufl.). Harvard University Press. Abgerufen von <http://www.theoi.com/Text/AratusPhaenomena.html>
- Baker, R. F., & Baker, C. F. (1997). *Ancient Greeks: Creating the Classical Tradition*. New York, USA: Oxford University Press.
- Blomberg, M., & Henriksson, G. (1999). Evidence for the Minoan origins of stellar navigation in the Aegean. In *Actes de la Vème Conférence annuelle de la SEAC* (Bd. 2, S. 69–81). Warszawa, Poland: Société européenne pour l'astronomie dans la culture Conférence annuelle. Abgerufen von <http://minoanastronomy.mikrob.com/pdf/1999%20Gdansk.pdf>
- Bohn, R. (2011). *Geschichte der Seefahrt*. München: Verlag C. H. Beck oHG.



- Cunliffe, B. (2003). *The Extraordinary Voyage of Pytheas the Greek* (Paperback). Harmondsworth, UK: Penguin Books.
- Emlen, S. T. (1970). Celestial Rotation: Its Importance in the Development of Migratory Orientation. *Science*, 170(3963), 1198–1201. <https://doi.org/10.1126/science.170.3963.1198>
- Henriksson, G., & Blomberg, M. (2008). Orientations at the Minoan peak sanctuary on Philioremos near Gouies (Maleviziou), Crete. *Archaeologica Baltica*, 10, 125–130.
- Henriksson, G., & Blomberg, M. (2009). Solar Orientations of Bronze Age Shrines in Gournia, Crete. In J. A. Rubiño-Martín, J. A. Belmonte, F. Prada, & A. Alberdi (Hrsg.), *ASP Conference Series* (Bd. 409, S. 430–435). San Francisco, USA: Astronomical Society of the Pacific. Abgerufen von <http://minoanastronomy.mikrob.com/pdf/2009%20Granada.pdf>
- Hergt, W. G. (1893). *Die Nordlandfahrt des Pytheas*. Halle an der Saale, Germany: Hofbuchdruckerei von C. A. Kaemmerer & Co.
- Hertel, P. (1990). *Das Geheimnis der alten Seefahrer*. Gotha, Germany: Hermann Haack Verlagsgesellschaft mbH.
- Hiscock, P. (2013). Occupying new lands : global migrations and cultural diversifications with particular reference to Australia. In K. E. Graf, C. V. Ketron, & M. R. Waters (Hrsg.), *Paleoamerican Odyssey* (S. 3–11). College Station, USA: Center for the Study of the First Americans, Department of Anthropology, Texas A & M University. Abgerufen von https://www.researchgate.net/publication/283609921_Occupying_new_lands_Global_migrations_and_cultural_diversification_with_particular_reference_to_Australia
- Johnson, D. S., & Nurminen, J. (2009). *The History of Seafaring* (2nd Aufl.). National Geographic.
- Kramer, G. (1952). Experiments on Bird Migration. *Ibis*, 94(2), 265–285. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1952.tb01817.x>
- Lane, F. C. (1963). The Economic Meaning of the Invention of the Compass. *The American Historical Review*, 68(3), 605–617. <https://doi.org/10.2307/1847032>
- Lockley, R. M. (1967). *Animal Navigation*. New York, USA: Hart Publishing Company, Inc.
- Mauck, B., Gläser, N., Schlosser, W., & Dehnhardt, G. (2008). Harbour seals (*Phoca vitulina*) can steer by the stars. *Animal Cognition*, 11(4), 715–718. <https://doi.org/10.1007/s10071-008-0156-1>
- McKim Malville, J., & Putnam, C. (1993). *Prehistoric Astronomy in the Southwest*. Boulder, USA: Johnson Books.
- Nansen, F. (1911). In *Northern Mists: Arctic Exploration in Early Times*. (Chater, Arthur G., Übers.) (Bd. 1). New York: Frederick A. Stokes company.
- Penhallurick, R. D. (1986). *Tin in antiquity: its mining and trade throughout the ancient world with particular reference to Cornwall*. London, UK: Institute of Metals.
- Roller, D. W. (2006). *Through the Pillars of Herakles: Greco-Roman Exploration of the Atlantic*. New York, USA: Routledge (Taylor & Francis).
- Rudgeley, R. (2000). *The Lost Civilizations of the Stone Age*. New York, USA: Simon and Schuster.
- Sauer, E. G. F. (1958). Celestial Navigation by Birds. *Scientific American*, 199(2), 42–47. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0858-42>
- Sauman, I., Briscoe, A. D., Zhu, H., Shi, D., Froy, O., Stalleicken, J., ... Reppert, S. M. (2005). Connecting the Navigational Clock to Sun Compass Input in Monarch Butterfly Brain. *Neuron*, 46(3), 457–467. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.03.014>
- Schmidt-Kaler, T., & Schlosser, W. (1984). Stone-Age Burials as a Hint to Prehistoric Astronomy. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 78(5), 178.
- Stevenson, A. (2008, Oktober 20). Probing Question: Why are moths attracted to light? Abgerufen 1. August 2016, von <http://news.psu.edu/story/141283/2008/10/20/research/probing-question-why-are-moths-attracted-light>



Glossar

Elevation

Winkelabstand zwischen einem Himmelsobjekt und dem Horizont.

Gnomon

Jedes Objekt, das einen Schatten wirft.

Großkreis

Ein Kreis auf einer Kugel, deren Radius mit dem Radius der Kugel identisch ist.

Himmelsrichtungen

Hauptrichtungen, d.h. Nord, Süd, West, West, Ost

Kulmination

Durchgang von Himmelskörpern durch den Meridian. Diese Objekte erreichen dort ihre höchste oder niedrigste Höhe.

Meridian

Eine Linie, die Nord und Süd am Horizont über den Zenit verbindet.

Polhöhe

Elevation eines Himmelspols. Sein Wert ist identisch mit dem Breitengrad des Beobachters auf der Erde.

Präzession

Neben der Rotation eines drehenden Körpers bewegt sich die Rotationsachse oft auch im Raum. Dies wird als Präzession bezeichnet. Dadurch ändert die Rotationsachse ständig ihre Ausrichtung und zeigt auf verschiedene Punkte im Raum. Der vollständige Zyklus der Präzession der Erdachse dauert etwa 26.000 Jahre.

Scheinbare Bewegung

Bewegung von Himmelsobjekten, die tatsächlich durch die Rotation der Erde verursacht wird.

Sphärische Polarkoordinaten

Das natürliche Koordinatensystem einer flachen Ebene ist kartesisch und misst Entfernungen in zwei Richtungen (vorwärts, rückwärts, links, rechts). Für eine Sphäre ist das nicht sehr nützlich, weil sie weder Anfang noch Ende hat. Stattdessen ist der Fixpunkt das Zentrum der Kugel. Wenn man von der zentralen Position aus nach außen projiziert, kann jeder Punkt auf der Oberfläche der Kugel durch zwei Winkel bestimmt werden, wobei einer von ihnen mit der Symmetrieachse in Beziehung steht. Diese Achse definiert zwei Pole. Hinzu kommt der Radius, der die dritte Dimension des Raumes repräsentiert, der es erlaubt, jeden Punkt innerhalb einer Kugel zu bestimmen. Hiermit werden die sphärischen Polarkoordinaten definiert. Bei der Definition von Punkten auf der Oberfläche einer Kugel bleibt der Radius konstant.

Sonnenuhr

Ein Stab, der von der Sonne beleuchtet wird und einen Schatten wirft. Die Orientierung und Länge des Schattens erlaubt es, Zeit und geografische Breite zu bestimmen.



Tagundnachtgleiche

Dies ist die Konfiguration, wenn die Sonne den Äquator anscheinend überquert. Dies geschieht zweimal im Jahr. Zu diesen Zeitpunkten befindet sich die Sonne am Erdäquator genau im Zenit. Diese beiden Daten definieren den Beginn des Frühlings und des Herbstes.

Zenit

Punkt am Himmel direkt über uns.

Zirkumpolar

Eigenschaft von Himmelsobjekten, die nie den Horizont unterschreiten.

Dieses Material gehört zu einer größeren didaktischen Sammlung genannt „Navigation im Laufe der Geschichte“ die verschiedene historische und moderne Navigationstechniken beleuchtet.