wissenschaft in die schulen!

STERNE UND WELTRAUM

Die Sonne am Himmel – Betrachtungen mit dem Flaschenglobus

In Bezug zu „Sonne aktuell“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 3/2016, WIS-ID: 1285861

Olaf Fischer

Tag für Tag erhellt sie unseren Lebensraum, und bei klarem Himmel erscheint sie grell leuchtend am Himmel – die Sonne. Der Frühlingsanfang am 20. März 2016 soll Anlass sein, um über die Sichtbarkeit unseres Tagesgestirns nachzudenken. Wie steht dieses Datum mit der Position der Sonne am Himmel in Beziehung? Wie ändern sich ihre Auf- und Untergangsorte am Horizont und ihre Mittagshöhen und damit die Dauer ihrer Sichtbarkeit (die Dauer des lichten Tages) im Laufe eines Jahres? Und wie hängt dies alles vom Beobachtungsstandort auf der Erde ab?
Zur allgemeinbildenden Beantwortung all dieser Fragen, die Alltagserfahrungen betreffen, wird im WIS-Beitrag das Modell „Flaschenglobus“ vorgestellt und angewendet. Dieses schnell verfügbare Hilfsmittel erlaubt eine anschauliche Darstellung der scheinbaren Bahn der Sonne über der Horizontebene.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Positionsastronomie	Scheinbare Himmelskugel, Polachse, Polhöhe, Himmelspole und Himmelsäquator, mathematischer Horizont, Aufgang, Untergang, Süddurchgang, Erdrotation und scheinbare tägliche Bewegung der Himmelsobjekte, Erdumlauf und scheinbare jährliche Bewegung der Sonne, Ekliptik, Orte der Sonne bei Beginn der Jahreszeiten
Fächerverknüpfung	Astro-Ma, Astro-Geo, Astro-Geschichte	Höhenwinkel, räumliche Geometrie: Ebene, Tangentialebene, Schnittlinie zwischen Kugel und Ebene, ebene Geometrie: Scheitelwinkel, Nebenwinkel, Winkelsumme im rechtwinkligen Dreieck, Erdglobus, Erdrotation, Erdachse und ihre 23,5°-Neigung zur Umlaufebene, Pole und Äquator, Himmelsrichtungen, Breitengrad, Jahreszeiten, Revolution der Erde, Sonnenwagen, geozentrisches Weltbild, antikes Sphärenmodell, Armillarsphäre, Himmelsscheibe von Nebra
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	Schulung des geometrischen Vorstellungsvermögens, Modell als vereinfachte Widerspiegelung der Realität, Modell „Flaschenglobus“, Unterscheidung zwischen scheinbar und wahr bei der Deutung von Beobachtungen

Abbildung 1: Der Flaschenglobus - ein Planetarium im Miniaturformat - ermöglicht einen praktischen und anschaulichen Einstieg in die Thematik „Orientierung am Sternenhimmel“ im Klassenzimmer. ©: Olaf Fischer.

Grundlegende Vorstellungen zum Thema „Orientierung am Sternenhimmel“

Grundlegende Kenntnisse zur unterschiedlichen Sichtbarkeit verschiedener auffallender Himmelsobjekte (Sonne, Mond, Planeten) sind mehr oder weniger schon lange Bestandteil der Allgemeinbildung und werden oft schon in der Grundschule eingeführt. Zur Weiterentwicklung und Festigung dieser Kenntnisse gilt es, diese unter dem Oberthema „Orientierung am Sternenhimmel“ mit Modellvorstellungen zu untermauern und zu vernetzen.
Im Folgenden werden einige grundlegende Vorstellungen zu diesem Thema portionsweise eingeführt, um die in der Einführung genannten Fragen zur Sonne am Himmel schließlich allgemeingültig beantworten zu können. Eine zentrale Modellvorstellung ist dabei die von der scheinbaren Himmelskugel, die mittels des Modells „Flaschenglobus“ fasslich wird.

Die scheinbare Himmelskugel und der Flaschenglobus

Der Mensch kann nicht anders, als seine Welt zu interpretieren und in Modelle zu fassen, um Vorhersagen treffen zu können. So entstand schon lange vor unserer Zeit das Modell von himmlischen Sphären, welche die Erde umspannen und die sichtbaren Himmelskörper tragen und bewegen. Auch wenn wir es heute besser wissen, die geozentrische Grundidee von der die Erde bzw. den Beobachter umspannenden Himmelskugel haben wir übernommen. Es handelt sich dabei aber nicht mehr um eine Schale, an der Himmelskörper haften, sondern um eine gedachte kugelförmige Bildfläche mit solch riesigem Radius (am besten: unendlich), dass wir sämtliche Objekte des Kosmos von der in ihrem Zentrum befindlichen Erde aus auf ihrer Innenseite, wie auf eine Leinwand projiziert, sehen können. Die unterschiedlichen Entfernungen der Objekte sind dabei nicht von Belang, nur ihre Richtungen sind von Interesse. Diese riesige gedachte Leinwand ist das Modell von der scheinbaren Himmelskugel.

Abbildung 2: Links: Spätmittelalterliches Weltbild des englischen Mathematikers und Astronomen John of Holywood (um 1195 – 1256), welches dem antiken Modell von Aristoteles folgte. Danach befindet sich die Erdkugel unbeweglich im Mittelpunkt des Kosmos. Um die Erde herum kommen erst 3 sublunare Sphären der Elemente, dann die 7 Himmelssphären mit den Planeten (inklusive Mond und Sonne) und die Sphäre des Firmaments mit den Fixsternen und schließlich noch weitere Sphären bis hin zum Sitz Gottes. Rechts: Gravurbild von 1584, welches John von Holywood beim Demonstrieren mit einer Armillarsphäre zeigen soll. Die Armillarsphäre könnte man als Vorläufer des Flaschenglobus ansehen.
Bildquellen: Links: Von Fastfission - from Edward Grant, "Celestial Orbs in the Latin Middle Ages", Isis, Vol. 78, No. 2. (Jun., 1987), pp. 152-173. See also: F. A. C. Mantello and A. G. Rigg, "Medieval Latin: An Introduction and Bibliographical Guide", The Catholic University of America Press, p. 365 (on-line text here)., ©: Gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=317560. Rechts: John of Holywood (Johannes de Sacrobosco). Line engraving. ©: https://wellcomeimages.org/indexplus/obf_images/35/81/dc54ea1260e916d45b0e2ee7cfb5.jpg Gallery: https://wellcomeimages.org/indexplus/image/V0003118.html Wellcome Collection gallery (2018-03-30): https://wellcomecollection.org/works/n96e2k42 CC-BY-4.0, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36399215.

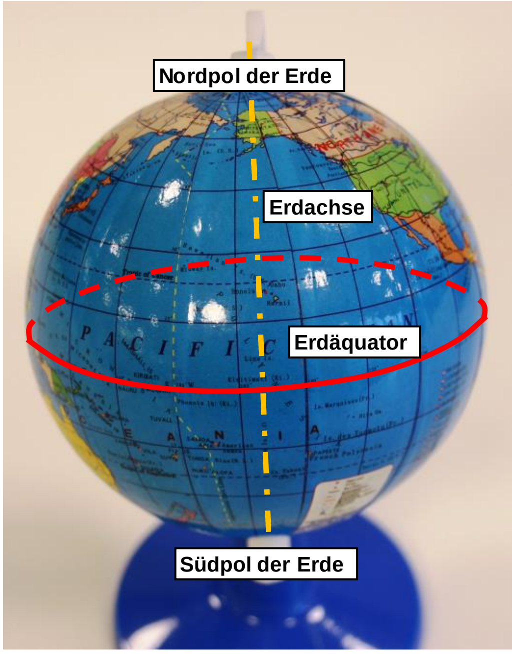
Um dieses Modell zu veranschaulichen, muss es in endliche Dimensionen gefasst werden. Der Flaschenglobus ist eine Modellierungsvariante, die schon lange bekannt ist. Inzwischen gibt es kaum noch kugelförmige Flaschen, dafür aber Rundkolben in der Chemiesammlung der Schule. Über das Modell vom Flaschenglobus wurde schon kurz im WIS-Beitrag 12/2004 (http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/zentrales-wis-dokument-1-12-2004/1049927) geschrieben. Im Folgenden soll es schrittweise und ausführlich eingeführt werden.
Für das Modell wird für das zentrale Element, den Enghalsrundkolben (2-Liter-Variante für den demonstrierenden Lehrer, 1-Liter-Variante für die Schülerarbeit in Gruppen bis zu 4) noch ein Stopfen mit zentraler Bohrung benötigt. Durch die Bohrung wird ein Rundstab geführt, welcher diese gleichzeitig abdichtet. Schließlich wird noch eine Abstellhilfe benötigt (z. B. eine Schüssel oder ein Stück von einem Abwasserrohr oder, wie in Abb. 2 gezeigt, ein Muffenstopfen für Abwasserrohre, hier: ø = 15 cm für die 2-l-Variante).

Abbildung 3: Bestandteile des Flaschenglobus: Enghalsrundkolben, mittig durchbohrter Stopfen mit Rundstab, Abstellring. Zusätzlich hilfreich: Rundstab mit Kugel zum Zeigen der Erde im Zentrum der scheinbaren Himmelskugel. ©: Olaf Fischer.

Eine Modelleigenschaft ist besonders wichtig – die Durchsichtigkeit. Diese ermöglicht es dem Modellnutzer, sich gedanklich ins Zentrum der Kugel zu versetzen, um von dort aus an die Innenseite der Himmelskugel zu schauen.
Ein weiterer Rundstab, auf den an einem Ende eine kleine Kugel (Ø ca. 2 cm) aufgesteckt ist, kann die Erde im Zentrum der scheinbaren Himmelskugel zeigen und für das Vorstellungsvermögen der Schüler hilfreich sein.

Die Himmelskugel bekommt Merkmale – Anknüpfungspunkt Erde

Dieser Schritt knüpft an den aus der Geografie bekannten Erdglobus an. Die Rotation der Erde ermöglicht es, eine (gedachte) Achse auszumachen. Die Durchstoßpunkte dieser Achse an der Erdoberfläche definieren die Pole der Erde. Legt man eine Ebene senkrecht zur Achse durch den Erdmittelpunkt, so schneidet diese Ebene die Erdoberfläche in einem Kreis, welcher den Äquator darstellt - soweit zur Wiederholung.
Nun kann wieder die kleine Erdkugel am Stab zum Einsatz kommen. Diesmal wird auf die Pole und den Äquator hingewiesen, die auf deren Oberfläche auch gut sichtbar markiert sein sollten. Diese Merkmale werden wie die realen kosmischen Objekte an die Innenseite der Himmelskugel projiziert und erzeugen dort die Himmelspole und den Himmelsäquator (siehe Abb.4). So, wie die Erde zwei Hemisphären hat, so hat nun auch die Himmelskugel einen nördlichen und einen südlichen Teil.
Die Übertragung weiterer Merkmale (Koordinatenlinien der Erde auf die Himmelskugel) ist möglich, an dieser Stelle aber noch nicht angebracht.



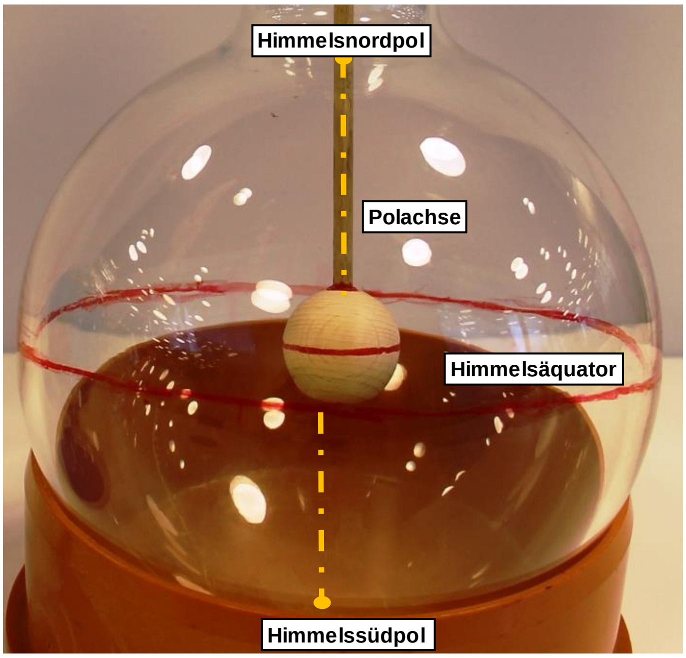


Abbildung 4: Die Erdkugel „übergibt“ markante Merkmale an die Himmelskugel. Die Verlängerung der Erdachse wird zur Polachse (um die sich die scheinbare Himmelskugel scheinbar dreht). Die Polachse stößt im Himmelsnordpol und im Himmelssüdpol in die scheinbare Himmelskugel. Der nördliche Teil der Polachse wird im Flaschenglobus durch den Holzstab repräsentiert. Die Ebene des Erdäquators schneidet die Himmelskugel im Himmelsäquator und teilt den Sternenhimmel in den nördlichen und den südlichen Teil. ©: Olaf Fischer.

Beobachtungsort Erdoberfläche – die Horizontebene

Wieder knüpfen wir am Erdglobusmodell an. Es geht nun darum, den Bezug zum Beobachtungsort auf der Erdoberfläche herzustellen. Für sich langsam an das Modell „Herantastende“ ist es wichtig, ab und an etwas Auflockerndes ins Modell einzubringen. Dies könnte an dieser Stelle z. B. eine Play-Mobil-Figur sein, die einen Beobachter repräsentiert. Dieser sieht von der Erdoberfläche umso mehr, d. h. der Radius der überblickbaren Kreisfläche wächst, je höher sein Standort ist. Die ihm erscheinende Grenzlinie zwischen Erde und Himmel nennen wir Horizont. Den Idealfall nennen wir mathematischen Horizont - eine glatte Linie mit 0° Höhe. Diese Grenzlinie zwischen Himmel und Erde erhalten wir, wenn wir an die Erdkugel am Beobachtungsort eine Ebene (die Tangentialebene) anlegen. Diese kann im Modell natürlich nicht unbegrenzt sein, wie es die Definition der Ebene vorsieht. Zudem sollte diese Fläche (z. B. eine dicke Pappe) aus didaktischen Gründen kreisförmig sein.

Nun muss der mathematische Horizont ins Flaschenglobusmodell eingebracht werden. Auch oder gerade bei diesem Schritt kann die Miniaturerde helfen, an die nun eine Miniaturhorizontebene angebracht werden kann (siehe Abb. 5). Um den mathematischen Horizont auf der scheinbaren Himmelskugel (als Grenzlinie zwischen Himmel und Erde) erscheinen zu lassen, müssten wir die Ebene vergrößern, bis sie an die Glaswand anstößt. Diese starre Horizontebene würde zudem einen weiteren Modellierungsschritt - die Demonstration der scheinbaren Himmelsdrehung (in einem der folgenden Kapitel) - sehr erschweren.

Eine geniale Idee zur Modellierung der Horizontebene liefert uns die Natur: Wasser. Bis zur Hälfte in den Kolben eingefüllt, stellt es sich immer waagerecht ein und markiert an der Kolbenwand die Horizontlinie; so, wie wir es vorführen wollen. Die Erde im Zentrum des Kolbens haben wir gedanklich nun so weit verkleinert, dass sie nur noch einen Punkt im Zentrum ausmacht; dafür haben wir den Beobachter zur Veranschaulichung vergrößert. (Der Unterschied zwischen geozentrischer und topozentrischer Betrachtungsweise soll hier nicht zur Sprache kommen.)

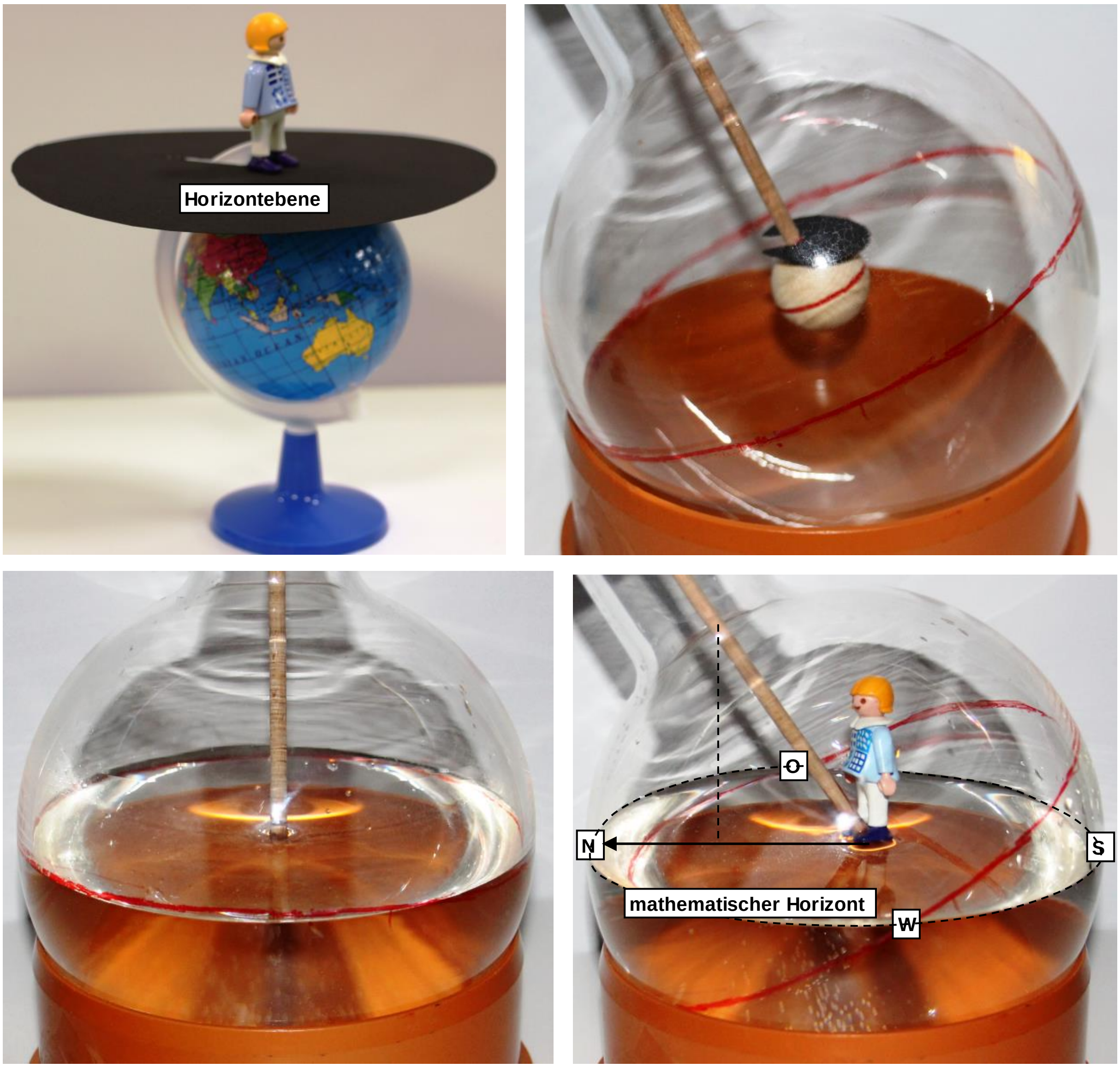


Abbildung 5: Erde mit Horizontebene (Tangentialebene, die hier endlich dargestellt ist), die am Globus so angelegt wird, dass sie waagerecht erscheint (für die einfachere Gleichsetzung mit der realen Horizontebene durch den Schüler). Man sollte auch Horizontebenen bei anderen Breitengraden zeigen, wozu dann aber der Erdglobus in der Hand gehalten werden muss, um die Horizontebene weiterhin in waagerechter Lage zu demonstrieren. Mit Hilfe einer Miniaturhorizontebene an der Miniaturerde kann die Vorstellung von der Horizontebene ins Flaschenglobusmodell eingebracht werden. Die Horizontebene kann in idealer Weise durch eine Wasseroberfläche demonstriert werden. Dazu wird der Rundkolben halb mit Wasser gefüllt, wobei die zuvor schon aufgebrachte Linie des Himmelsäquators hilft. Der Horizont (die gedachte Linie an der scheinbaren Himmelskugel) wird ersichtlich (hier markiert durch gestrichelte Linie). Die Himmelsrichtungen können gezeigt werden. Der Nordpunkt ist mit Hilfe der Polachse (mit der Richtung zum Himmelsnordpol) auffindbar. Ost- und Westpunkt entstehen durch die Schnittpunkte des Himmelsäquators mit dem mathematischen Horizont.
Nun ist das Modell komplett. Der Schüler kann sich mit der Beobachterfigur im Zentrum identifizieren und den Modellhimmel über sich beobachten. ©: Olaf Fischer.

Mit der Einbringung des Horizonts in das Flaschenglobusmodell können auch die schon bekannten Haupthimmelsrichtungen Norden, Osten, Süden und Westen damit verknüpft werden. Es ist wichtig, dem Schüler klarzumachen, dass deren Festlegung astronomisch und nicht etwa mit Hilfe des Kompasses geschieht. Die Richtung zum Fußpunkt des Lots vom Himmelsnordpol auf die Horizontebene gibt die Nordrichtung vor. Diese zielt zum Nordpunkt auf dem Horizont. Die weiteren Haupthimmelsrichtungen sind damit auch festgelegt.

Polachsenlage für Horizontebenen bei Beobachtungsorten verschiedener geografischer Breite

Eine zentrale Frage gilt es jetzt zu klären: Wie ist die Polachse bezüglich der Horizontebene geneigt? Von der Polachse ist ja schon bekannt, dass diese zu den Himmelspolen weist.

Eine Tafelskizze kann nun den Zusammenhang zwischen dem Breitengrad φ des Beobachters und dem Neigungswinkel h_{HNP} der Polachse (der Polhöhe) herstellen. Der Index HNP am Höhenwinkel h bezeichnet den Himmelsnordpol, zu dem ja der nördliche Teil der Polachse zeigt. Mit der Annahme, dass die Polachse des Beobachters (so wie die Erdachse) zum Himmelsnordpol zeigt (weil dieser unendlich weit entfernt ist), können Kenntnisse der ebenen Geometrie zur Anwendung kommen (siehe Abb. 6).

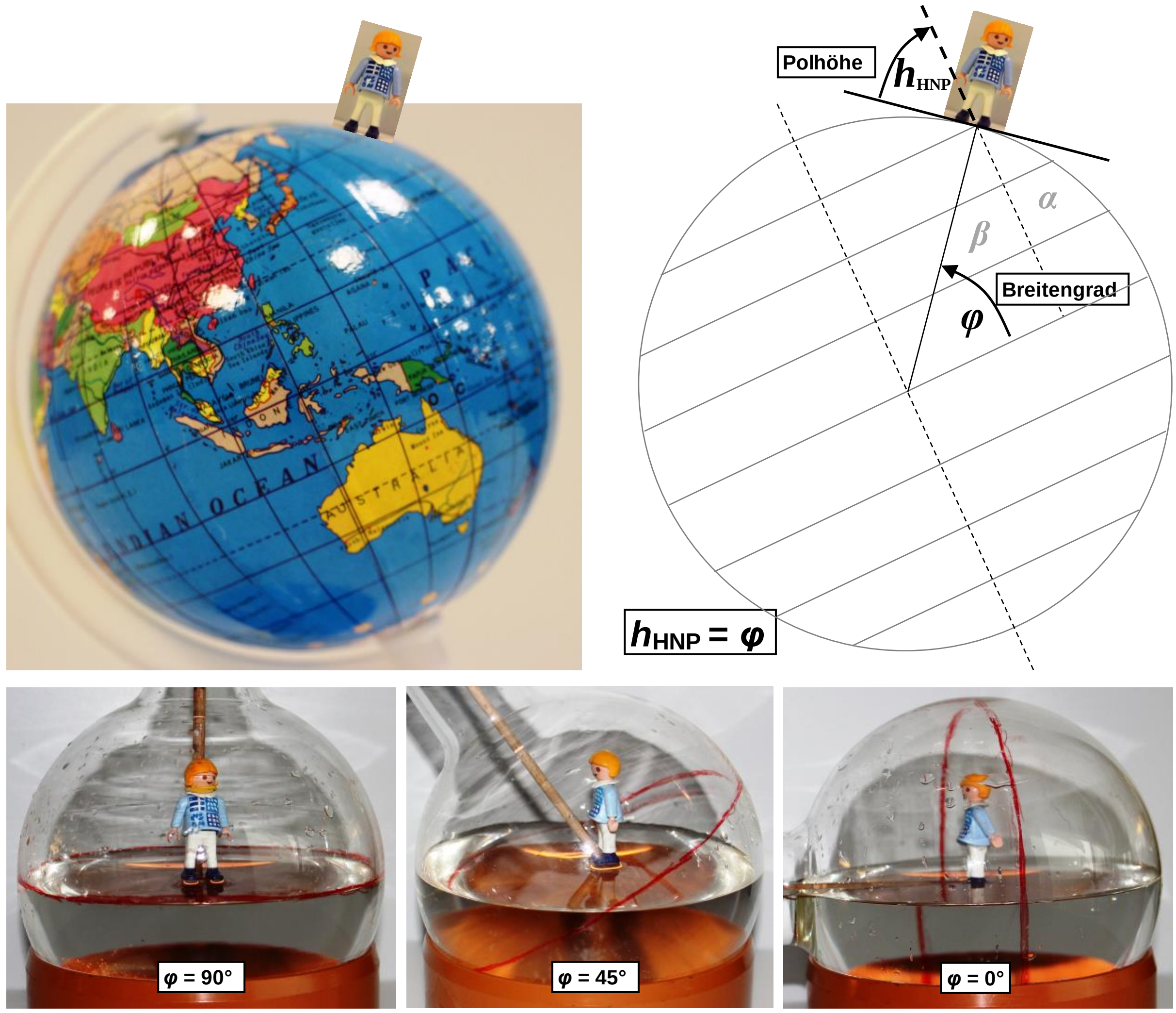


Abbildung 6: Oben links: Sicht auf den Erdglobus mit Gradnetz. Oben rechts: Schnittdarstellung des Erdglobus mit Breitengradlinien und Erdachse. Nach Einzeichnen der Horizontebene (Tangente) an einen Beobachtungsort werden zunächst der Breitengradwinkel φ und der Höhenwinkel h_{HNP} (die Polhöhe) identifiziert. Daraufhin kommen Winkelbeziehungen zur Anwendung (Scheitelwinkel: $\alpha = h_{HNP}$, Nebenwinkel: $\beta = 90° - \alpha$, Winkelsumme im rechtwinkligen Dreieck: $\varphi = 180° – (90° + \beta)$ und es ergibt sich $\varphi = 180° – (90° + 90° - h_{HNP}) = h_{HNP}$, d. h. der Breitengrad bestimmt die Polhöhe. Unten: Flaschenglobuseinstellungen für verschiedene Breitengrade. ©: Olaf Fischer.

Rotation und Revolution der Erde (von „außen" und von „innen" gesehen)

Das Flaschenglobusmodell ermöglicht (wie zuvor schon angedeutet) die Demonstration der scheinbaren täglichen Drehung des Himmels. Diese, wie auch die sich ständig verändernde Position der Sonne vor den Fixsternen haben ihren Ursprung in den zwei wahren Bewegungen der Erde, ihrer Rotation und ihrer Revolution. Diese Bewegungen, wie sie von außen sichtbar sind, sollten zunächst mit Modellen gezeigt werden.

Für den Übergang von der Außensicht der Rotation (als ruhender Beobachter) zu ihrer Innenansicht (als mitrotierender Beobachter) kann wieder das kleine Hilfsmittel Miniaturerde zum Einsatz kommen.

Dem Betrachter wird schnell klar, dass der mitrotierende Beobachter auf einem „Karussell“ sitzt, an dem die Umgebung, sprich die scheinbare Himmelskugel mit ihren Objekten, scheinbar vorbeizieht. So kann der Begriff ‚scheinbare tägliche Drehung des Himmels‘ geprägt werden. Diese Bewegung kann mit dem Flaschenglobus modelliert werden, indem dieser (die scheinbare Himmelskugel) um die Polachse gedreht wird. Dabei ist darauf zu achten, dass deren Lage stabil im Raum bleibt – repräsentiert sie doch die verlängerte Erdachse, von der wir wissen, dass sie in erster Näherung kreiselstabilisiert ist. Der Horizont behält dabei seine Lage bei und ermöglicht dem Betrachter (gedanklich im Zentrum des Flaschenglobus stehend) eine sehr gute Veranschaulichung der Bahnen von Himmelsobjekten über der Horizontebene (siehe folgender Abschnitt).
Wenn wir den Ort der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel festmachen wollen, müssen wir uns darüber klarwerden, dass es im Vergleich mit anderen Sternen (den Fixsternen) einen wesentlichen Unterschied gibt: Die Erde befindet sich auf einer Umlaufbahn um diesen Stern. Diese bereits im Modell gezeigte Tatsache hat wieder eine scheinbare Bewegung zur Folge – die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne vor dem Hintergrund der viel weiter entfernten Sterne. Auf dem Flaschenglobus (an der scheinbaren Himmelskugel) kann diese scheinbare Bahn, die auch Ekliptik genannt wird, markiert werden, doch wo? Auf Grundlage des zuvor Gesagten kann man sich schnell klarmachen, dass die Ekliptik als Schnittlinie zwischen der scheinbaren Himmelskugel und der Umlaufbahnebene der Erde entsteht. Unter welchen Winkel steht nun die Ekliptik in Bezug zum Himmelsäquator?
Bei der Beantwortung dieser Frage hilft ein Tellurium weiter, weil dieses auch zeigt, unter welchem Winkel die stabil im Raum stehende Erdachse in Bezug zum Lot auf der Umlaufbahnebene steht. Diesen Winkel (ca. 23,5°) finden wir zwischen der Umlaufbahnebene der Erde und der Himmelsäquatorebene wieder (siehe Abb. 8).

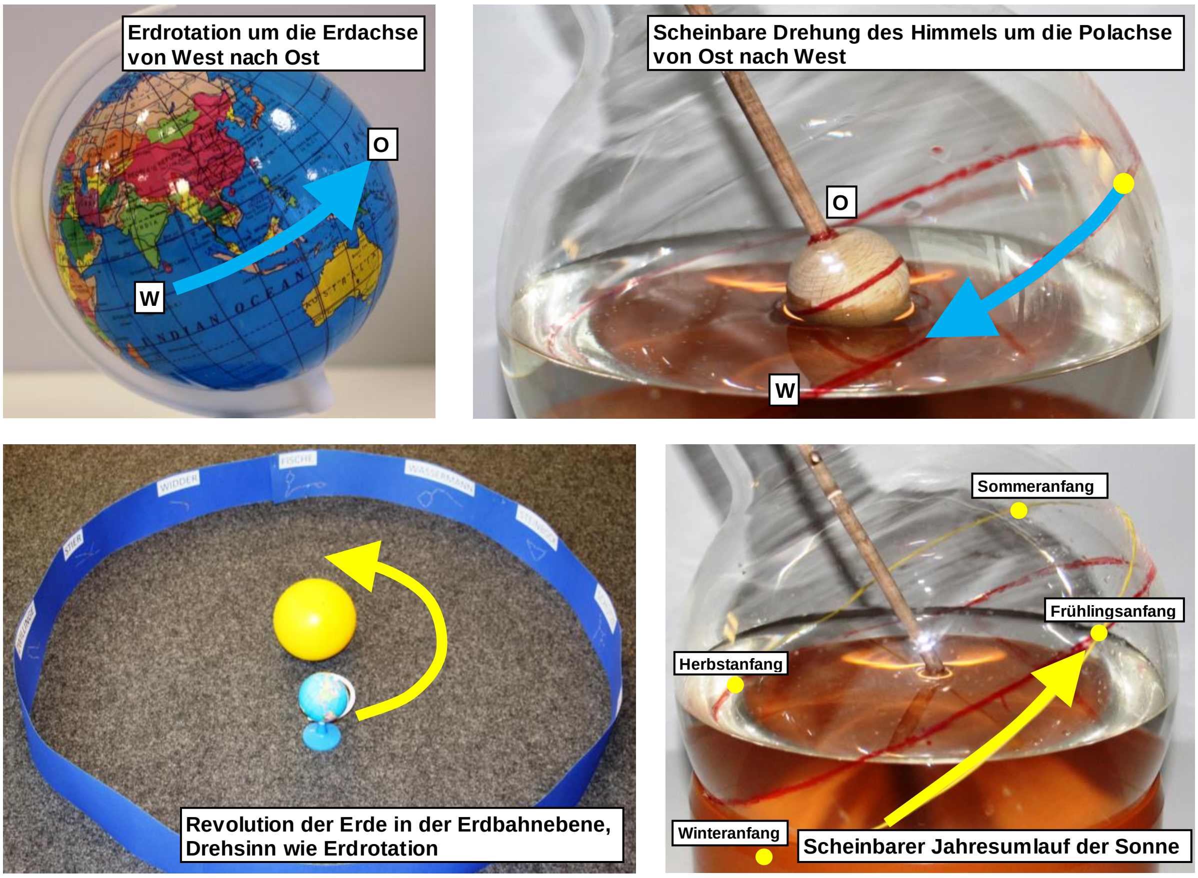


Abbildung 7: Wahre (links) und scheinbare (rechts) Bewegungen im Vergleich. Oben: Die Erde rotiert entgegen dem Uhrzeigersinn, wenn man auf ihren Nordpol schaut – von West nach Ost. Die resultierende scheinbare Drehung des Himmels von Ost nach West kann mit dem Flaschenglobus sehr gut demonstriert werden. Hier wird die Sonne auf dem Himmelsäquator (also z. B. zum Zeitpunkt des Frühlingsanfangs) gezeigt. Unten: Die Erde umläuft die Sonne ebenfalls entgegen dem Uhrzeigersinn, wenn man auf ihren Nordpol schaut. Sie erscheint dabei im Laufe eines Umlaufes (Jahres) vor verschiedenen Sternbildern der Himmelskugel (dem Band der Ekliptiksternbilder). Daraus resultiert die scheinbare jährliche Bewegung der Sonne am Himmel entlang der Ekliptik (durch Klebepunkte und einen Gummi markiert). ©: Olaf Fischer.

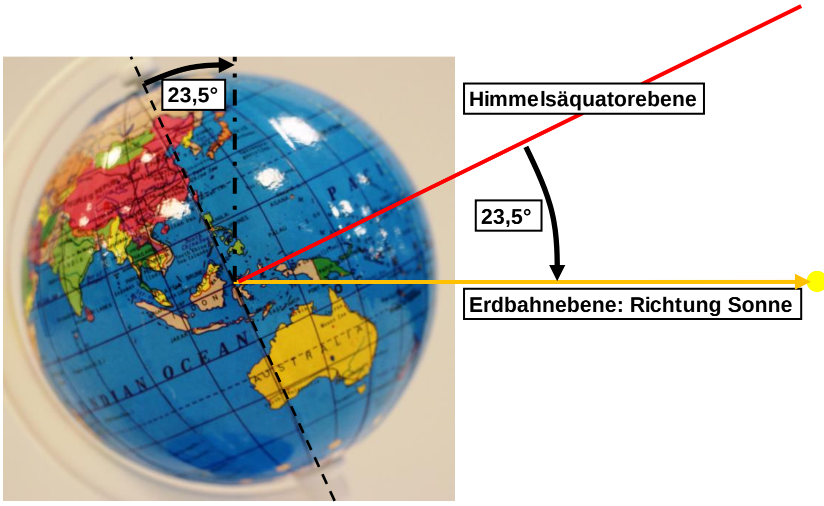
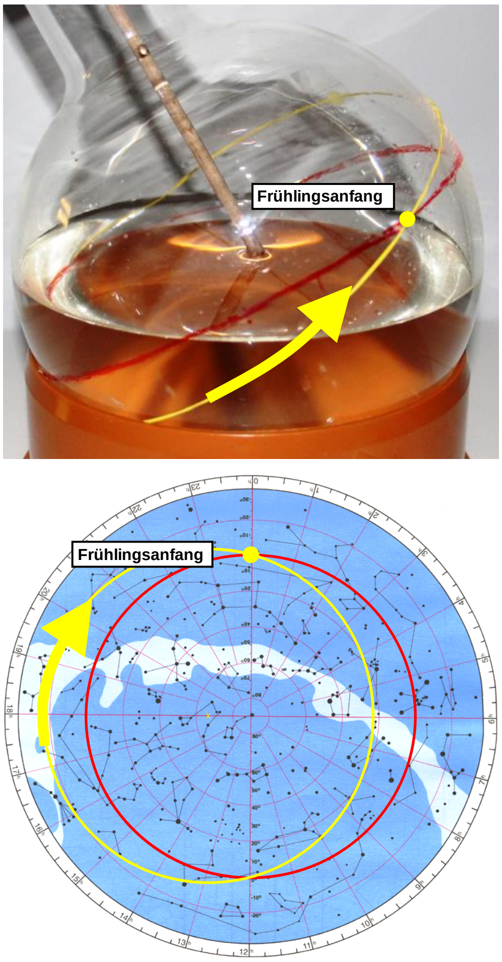


Abbildung 8: Erdbahnebene im Querschnitt durch die Solstitien (Anfänge von Sommer und Winter). Die Erdachse steht in erster Näherung stabil im Raum und ist um ca. 23,5° gegenüber der Senkrechten zur Erdbahnebene geneigt. Würde die Erde senkrecht auf ihrer Bahnebene stehen, so würde man sie im Laufe eines Jahres entlang des Himmelsäquators scheinbar umlaufen sehen. Wegen der 23,5°-Neigung ist ihre scheinbare Bahn (Ekliptik) um 23,5° gegenüber der Himmelsäquatorebene geneigt. So steht die Sonne bei Beginn von Frühling und Herbst genau auf dem Himmelsäquator, bei Sommeranfang 23,5° oberhalb und bei Winteranfang (im Bild) 23,5° unterhalb. ©: Olaf Fischer.

Ort der Sonne an der scheinbaren Himmelskugel zu Frühlingsbeginn



Auf der zuvor auf dem Flaschenglobus markierten Ekliptik lassen sich nun vier ausgezeichnete Punkte ausmachen, die entweder genau auf dem Himmelsäquator liegen oder sich in maximalem Winkelabstand (23,5° N oder 23,5° S) zu diesem befinden.

Am 20. März 2016 steht die Sonne um 5:30 Uhr Mitteleuropäischer Zeit genau auf dem Himmelsäquator und befindet sich im „Nordwärtsgang“, d. h. der Frühling auf der Nordhalbkugel der Erde fängt astronomisch gesehen an. Die Momente, in denen die Sonne auf dem Himmelsäquator steht, nennt man Äquinoktien (Ursprung des Wortes ist das lateinische Wort ‚aequus‘, was ‚gleich‘ bedeutet.) Diese Momente werden auch als Tag-und-Nacht-Gleichen bezeichnet, weil die Sonne dann (weltweit) 12 Stunden über und 12 Stunden unter dem mathematischen Horizont sein kann.

Stellen wir uns vor, die Erde wäre atmosphärenlos wie der Mond. Dann könnte man durchaus auch helle Sterne am Taghimmel sehen und es wäre sofort ersichtlich, vor welchem Sternbild die Sonne gerade steht. Zu Frühlingsanfang ist es derzeit das Sternbild Fische.

Abbildung 9: Oben: Sonne zu Frühlingsanfang und ihre scheinbare jährliche Bahn über den Sternenhimmel (Ekliptik) an der scheinbaren Himmelskugel, modelliert durch den Flaschenglobus. Unten: Ebene Sternkarte (Grundscheibe der drehbaren Sternkarte) mit Ekliptik und Ort der Sonne bei Frühlingsanfang im Sternbild Fische. ©: Olaf Fischer.

Der scheinbare tägliche Weg der Sonne über den Taghimmel

Auf der Basis aller zuvor eingeführten Grundlagen und Zusammenhänge kann die scheinbare tägliche Bewegung der Sonne für einen beliebigen Beobachtungsort (w. z. B. den Fundort der bronzezeitlichen „Himmelsscheibe“, welche vermutlich auch den Sonnenlauf vor Ort darstellt) und eine beliebige Jahreszeit mit dem Flaschenglobus simuliert werden. Fragen nach ihren Auf- und Untergangsorten am Horizont, ihren Mittagshöhen und den Dauern des lichten Tages können beantwortet werden.

Abbildung 10: Links: Sonnenwagen von Trundholm aus der älteren Nordischen Bronzezeit (um 1400 v. Chr.), Skulptur im Dänischen Nationalmuseum in Kopenhagen. ©: CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=215736. Rechts: Helios im Sonnenwagen (Fresko von J. B. Zimmermann, 17. Jh.) , Fresko im Nymphenburg-Palast, München. ©: CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1094636.

Doch zunächst soll an einen Urmythos (ein „früheres Modell“ zur Erklärung der täglichen Sonnenbewegung) kurz erinnert werden – den Sonnenwagen (siehe Abbildungen 10), der oft im Zusammenhang mit Göttervorstellungen dargestellt wurde. Es ist wohl so, dass dieser schon in der Vorstellung der Menschen existiert, seitdem es diese Art von Fortbewegungsmittel gibt. Die Bahn der Sonne kann mit diesem „Modell“ wiedergegeben werden, ihre Natur (scheinbare Bewegung) jedoch nicht.

Im Folgenden soll der Sonnenlauf über dem Ort Nebra (Fundort der „Himmelsscheibe“) mit dem Flaschenglobus modelliert werden. Die scheinbare tägliche Drehung des Himmels und damit die scheinbare tägliche Bahn der Sonne kann durch Drehen den Flaschenglobus um die Polachse erreicht werden. Die ist dabei um den Winkel gegenüber der Horizontebene (die Polhöhe) geneigt, welcher dem Breitengrad von Nebra entspricht, also um rund 51° (51,2844°). Im Weiteren wird der Flaschenglobus für 4 besondere Tage des Jahres (Anfänge der Jahreszeiten) jeweils für Sonnenaufgang, Sonne in Südrichtung (Mittag) und Sonnenuntergang eingestellt (siehe Abb. 11).

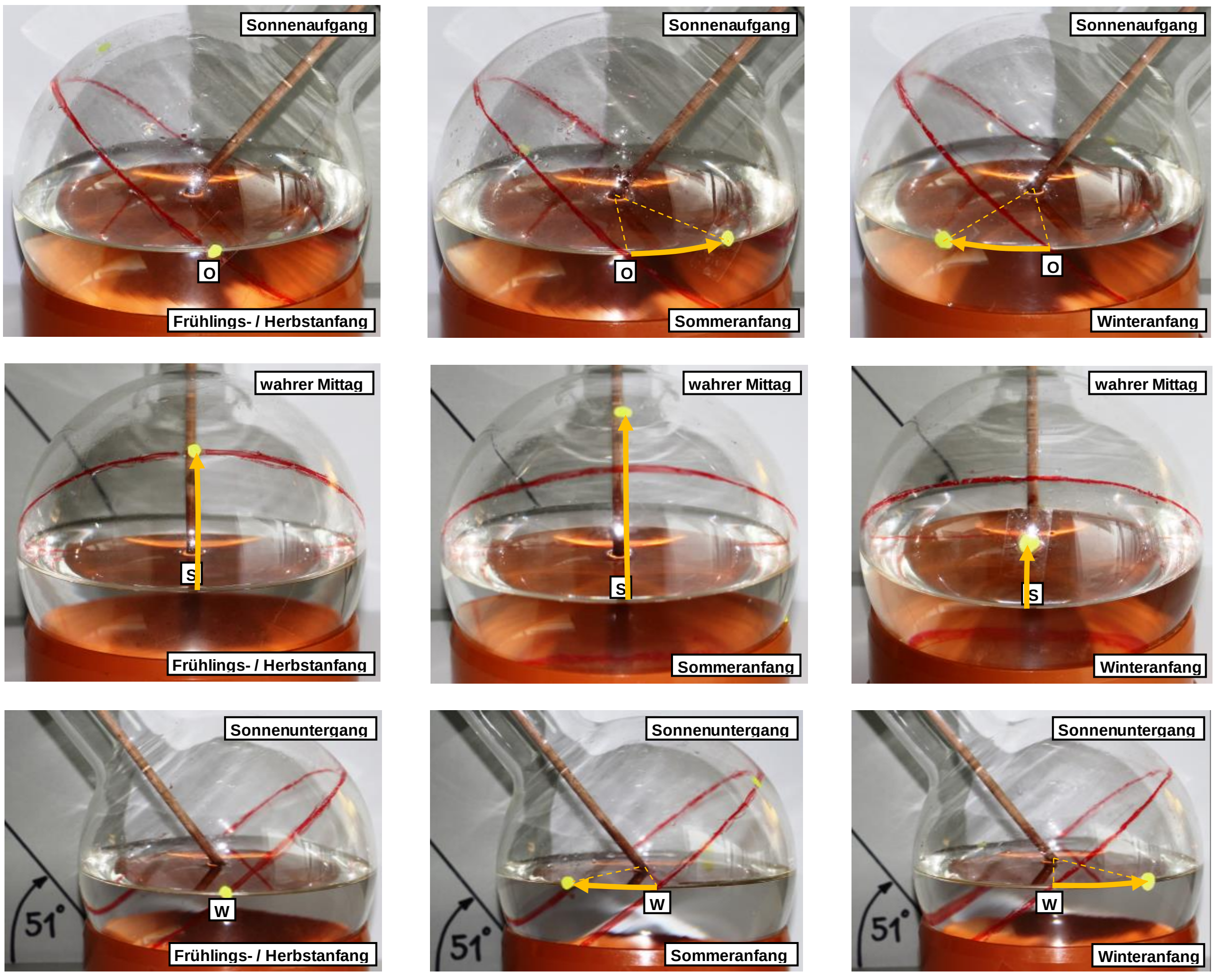


Abbildung 11: Sonne (gelbe Klebepunkte) am Himmel über Nebra zu ausgewählten Zeiten des Tages und des Jahres (Sommeranfang: 23,5° über dem Himmelsäquator, Winteranfang: 23,5° unter dem Himmelsäquator). Man achte auf die variierenden Himmelsrichtungen für Sonnenauf- und untergänge sowie auf die verschiedenen Mittagshöhen zu den verschiedenen Jahreszeitanfängen. ©: Olaf Fischer.

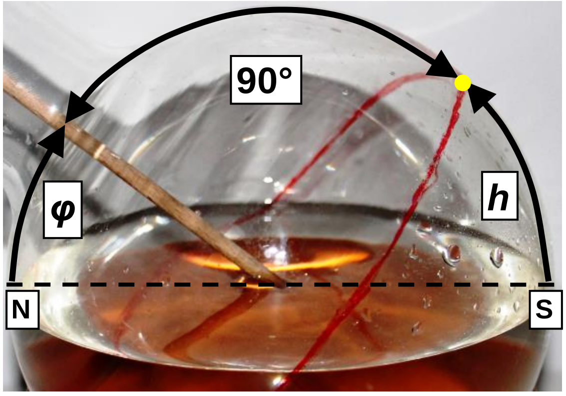


Abbildung 12: Nebenwinkelsumme im Meridian, d. h., entlang des (Halb-)Kreises, der von Norden über den Himmelsnordpol zum Süden führt. ©: Olaf Fischer.

Die jahreszeitliche Variation der Mittagshöhen der Sonne ist den Schülern vermutlich nichts Neues. Der Flaschenglobus erlaubt es ihnen nun aber, diese Höhen (für die Jahreszeitenanfänge) auch zu berechnen. Dazu muss er nur den Nebenwinkelsatz anwenden, wonach sich die Polhöhe φ, der 90°-Winkel zwischen Polachse und Himmelsäquator und die Höhe des Himmelsäquators h zu 180° addieren (siehe Abb. 12). Bei Frühlingsanfang steht die Sonne auf dem Himmelsäquator, und die Summe muss nur nach h umgestellt werden. Bei Sommeranfang steht die Sonne 23,5° über dem Himmelsäquator, so dass für die Sonnenhöhe noch 23,5° dazugezählt werden müssen; bei Winteranfang werden sie subtrahiert.

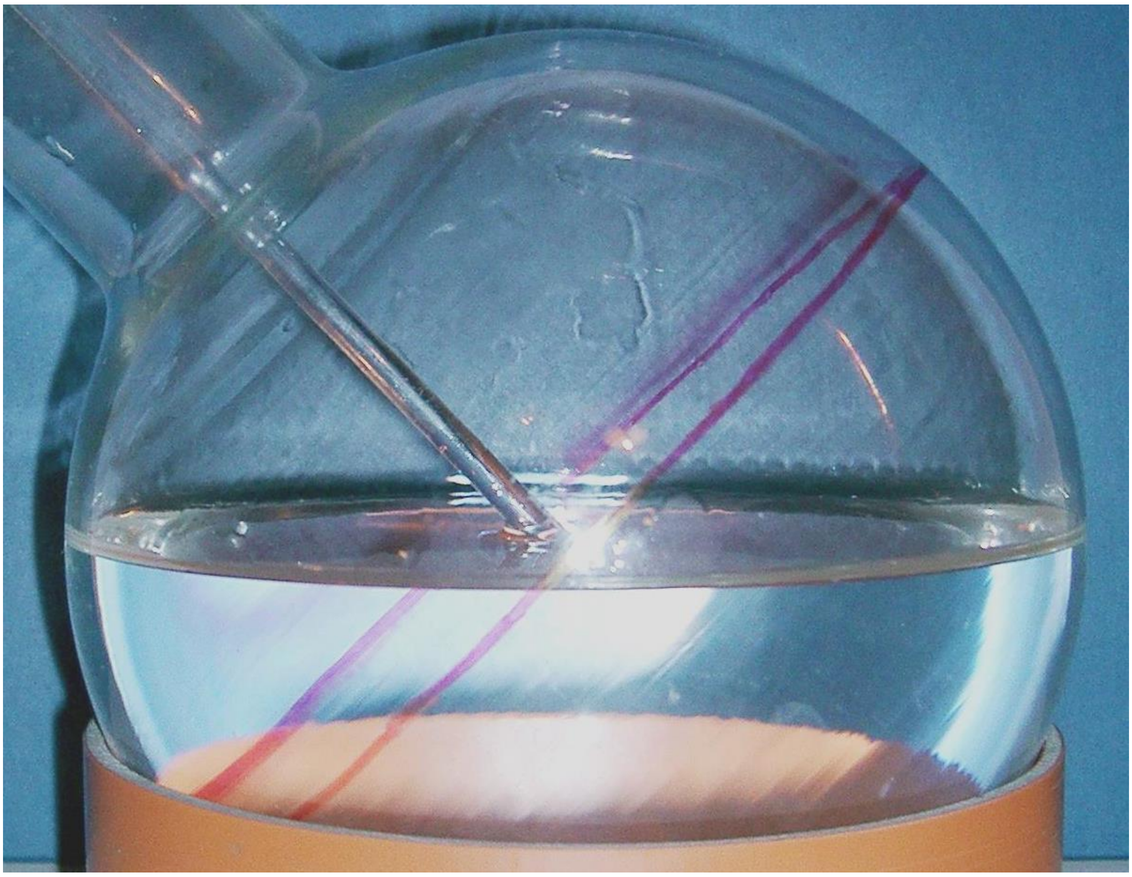
Den Schülern wird auch deutlich, dass die Sonne zwar am Osthorizont aufgeht und am Westhorizont untergeht, doch genau im Osten und Westen macht sie dies nur bei Frühlings- und Herbstbeginn. Ansonsten wandern die Aufgangspunkte/Untergangspunkte der Sonne vom Frühlingsbeginn an immer weiter in Richtung Norden und ab dem Herbstbeginn in Richtung Süden. Den maximalen Winkelabstand vom Ostpunkt/Westpunkt in Richtung Norden (die maximale nördliche Morgenweite/Abendweite) erreichen die Aufgangspunkte/Untergangspunkte der Sonne am Horizont bei Sommeranfang. Den maximalen Winkelabstand vom Ostpunkt/Westpunkt in Richtung Süden (die maximale südliche Morgenweite/Abendweite) erreichen die Aufgangspunkte/Untergangspunkte der Sonne bei Winteranfang. Bestimmt man die max. nördlichen und südlichen Morgen- und Abendweiten aus (siehe Abb. 11) und addiert sie, so kommt man ganz grob auf einen Winkel von 80°.
Diese Beobachtung haben die Menschen schon sehr zeitig gemacht und für die Festlegung von Terminen für landwirtschaftliche Aktivitäten gemacht. Die Himmelsscheibe von Nebra (siehe Abb. 13) legt darüber Zeugnis ab. An ihren Rändern wurden Horizontbögen angebracht, die jeweils 82° überstreichen und als Auf- und Untergangszonen der Sonne interpretiert werden können.

Abbildung 13: Die Himmelsscheibe von Nebra wurde mehrfach ergänzt. Eine Ergänzung bestand in Horizontbögen (vom linken sieht man nur den Abdruck). Diese überstreichen jeweils einen Winkel von 82 Grad. Diese Winkelbereiche entsprechen den Horizontabschnitten, an denen man von Nebra aus im Laufe eines Jahres die Sonne auf- bzw. untergehen sieht. Die letzte Ergänzung - ein goldener Bogen mit zwei annähernd parallelen Längsrillen – wird der als Sonnenbarke gedeutet, die bei seefahrenden Völkern analog zu den Sonnenwagen dazu diente, die tägliche Bewegung der Sonne zu erklären. ©: Von Dbachmann, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1500795.

Beobachtungsaufträge

- Bestimme die Sonnenhöhen **im Zeitraum eines Tages** und notiere diese jeweils mit der Uhrzeit der Messung. Verwende zur Höhenbestimmung einen Schattenstab. Beschreibe kurz den Versuchsaufbau und die Auswertung.
- Langzeitaufgabe: Bestimmung der Richtungen der Auf- und Untergangspunkte der Sonne am Horizont für einen bestimmten Beobachtungsort **im Laufe eines Jahres** (mit Skizze der Horizontsilhouette).

Arbeitsblatt: „Die Sonne am Himmel“



1. Beschrifte den dargestellten „Flaschenglobus“ (ein Modell zur Veranschaulichung grundlegender Begriffe der Positionsastronomie) mit den folgenden Begriffen: scheinbare Himmelskugel, Polachse, Himmelsnordpol, Himmelssüdpol, Himmelsäquator, Horizontebene, mathematischer Horizont, 4 Punkte auf mathematischem Horizont: Norden, Osten, Süden, Westen.
   Markiere die genannten Objekte so eindeutig wie möglich (Linien können nachgezogen werden, fehlende Punkte sind zu ergänzen). Füge, wenn nötig, Text hinzu!

2. Für welchen Breitengrad gilt die gezeigte Einstellung des Flaschenglobus? Zeichne den Winkel im Bild ein und miss ihn!

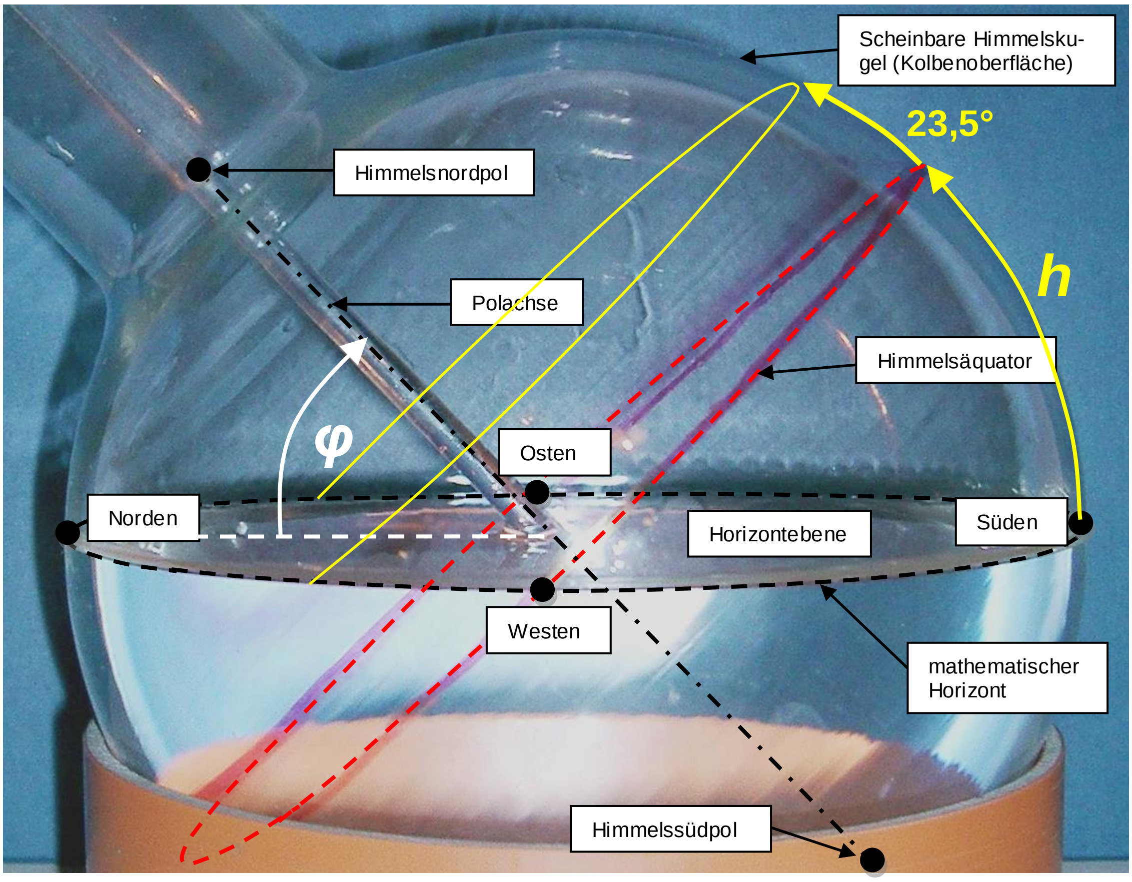
3. Wo am Horizont geht die Sonne am Tag des Frühlingsanfangs / des Herbstanfangs auf und wo wieder unter? Markiere und benenne die Punkte im Bild eindeutig und begründe!

4. Wie hoch steht die Sonne für den eingestellten Breitengrad bei Frühlingsanfang in Südrichtung (größte Höhe)? Rechne und verdeutliche die beteiligten Winkel im Bild!

5. Zeichne die scheinbare tägliche Bahn der Sonne für den längsten Tag des Jahres ein! Erläutere deine Zeichnung!

Lösungen zum Arbeitsblatt: „Die Sonne am Himmel“

Zu 1.



zu 2.
Siehe Bild oben: der Breitengrad φ entspricht der Höhe (dem Höhenwinkel) des Himmelsnordpols (für einen Beobachter auf der Nordhalbkugel der Erde). Er beträgt rund 48°.

zu 3.
Siehe Bild oben: Zu Frühlings- und Herbstanfang geht die Sonne im Osten (im Ostpunkt) auf und im Westen (Westpunkt) wieder unter, weil die Sonne in diesen Momenten genau auf dem Himmelsäquator steht und der Himmelsäquator den mathematischen Horizont exakt im Ost- und Westpunkt schneidet.

zu 4.
Siehe Bild oben: Bei Frühlingsanfang steht die Sonne auf dem Himmelsäquator. Die Frage lautet also: Wie hoch steht der Himmelsäquator über der Südrichtung? Die Antwort ergibt sich durch Nutzung der Nebenwinkelsumme $180° = \varphi + 90° + h$ und lautet $h = 180° - 48° - 90° = 42°$.

zu 5.
Siehe Bild oben: Der längste Tag des Jahres liegt bei Sommeranfang vor. Zum Zeitpunkt des Sommeranfangs (auf der Nordhalbkugel) befindet sich die Sonne ca. 23,5° nördlich vom Himmelsäquator.