

Uhr und Kalender am Himmel

Die Messung kosmischer Zyklen im Rahmen von offenem Unterricht in der Sek I

Dr. Daniel Ahrens

Jeder weiß oder meint zu wissen, wie lang ein Tag, ein Monat oder ein Jahr dauert – astronomisch vorgebildete Schüler(innen) allzumal. Häufig hält dieses Schein- und Halbwissen einer genaueren Überprüfung aber nicht stand. Ist der Tag wirklich exakt 24 Stunden lang? (Antwort: nein.) Ist ein Tag so lang wie der andere? (Antwort: nein.) Wie kann man die Länge des Tages möglichst exakt messen? (Ist gar nicht so einfach.) Woran kann man am Himmel erkennen, dass genau ein Monat vergangen ist? (Ist ebenfalls viel schwieriger als man denkt.) Entsprechendes gilt für die Dauer des Jahres. (*Richtig* schwierig.) Tag, Monat und Jahr sind also nur auf den ersten Blick ganz einfache Sachverhalte; beim zweiten Hinsehen wird es kompliziert (aber natürlich auch spannend). Umso erstaunlicher, dass die Völker der Antike und sogar der Vorgeschichte die Dauer von Monat und Jahr auf die eine oder andere Nachkommastelle genau kannten. Respekt!

Der Verfasser macht sich auf die Suche nach Uhr und Kalender am Himmel und wartet mit Vorschlägen auf, wie sich das Wissen um die zeitlichen Zyklen im Rahmen eines entdeckend-offenen Unterrichts vertiefen und in die Phänomene des Himmels verwurzeln lässt.



Abbildung 1: Schüler(innen) beim Messen des Sonnenschattens.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Positionsastronomie, Astropraxis	Himmliche Rhythmen: Tag, Monat, Jahr, Zeitgleichung, Kalender, Planetariumsprogramm „Stellarium“
Lehre allgemein	Lehr-/Sozialformen, Elementarisierung, Methodenkompetenz	Offener Unterricht, Simulationen mit dem Planetariumsprogramm „Stellarium“, Messungen mit dem Schattenstab und Auswertung von Schattenkurven

Inhalte

I. Einleitung: Offener Unterricht

1. Offener Unterricht – was ist was ist das eigentlich?
2. Offener Unterricht im Bereich der elementaren Astronomie
3. Planung von offenem Unterricht

II. Kosmische Zyklen am Himmel entdecken und möglichst genau messen

1. Unterrichtliche Voraussetzungen
2. Thematische Landkarten
 - a) Tag
 - b) Monat
 - c) Jahr
3. Unterrichtliche Auswertung

III. Weiterführung: Die antike Entschlüsselung des Himmels – der Mechanismus von Antikythera

I. Einleitung: Offener Unterricht

Schwerpunktmäßig geht es in diesem Beitrag zwar um die Messung kosmischer Zyklen am Himmel; da aber bereits der Titel andeutet, dass hier ein sogenannter „offener Unterricht“ vorgeschlagen wird, ist es nötig, ein paar Worte über diese Unterrichtsform zu verlieren.

1. Offener Unterricht – was ist das eigentlich?

Die Frage, was offener Unterricht ist, lässt sich pauschal und allgemeingültig nicht beantworten. Zwar wird der Begriff inzwischen fast inflationär gebraucht (innerhalb der pädagogischen Zunft wird schon seit längerem von einer „Bewegung“ gesprochen¹), trotzdem fehlt eine einheitliche Vorstellung von dem, was Offenheit eigentlich ausmacht. Einigkeit besteht im Grunde nur darin, dass es sich im Kern um ein Alternativkonzept zum vorherrschenden, traditionellen Verständnis von Unterricht handelt. Die theoretischen und praktischen Positionen zum offenen Unterricht, Schwerpunktsetzungen und Motive sind aber so heterogen, dass man nicht von einer gemeinsamen oder gar geschlossenen Bewegung sprechen kann. Peschel versteht daher diese Bewegung „eher als Aktivitätsaufruf denn als Zusammenschluss Gleichgesinnter“². Da eine allgemein akzeptierte Definition des Begriffes „Offenheit“ fehlt, ist es in der Praxis möglich, „fast jede Unterrichtssituation nahezu völlig beliebig als offen oder als geschlossen zu werten“³, was wiederum in der Unterrichtsforschung dazu führt, dass nahezu jedes Forschungsergebnis erzielt werden kann. Die Spannweite von offenem Unterricht reicht von Minimalforderungen wie „ein Unterricht ist offen, wenn die Klassenraumtür aufsteht (unabhängig davon, was innen passiert)“ bis hin zu einer radikalen Öffnung von Unterricht, bei der sich die Offenheit nicht nur auf organisatorische⁴ und methodische⁵, sondern auch auf inhaltliche⁶ und sozial-persönliche⁷ Bereiche ausdehnt.⁸ So kann sich hinter offenem Unterricht also alles und nichts verbergen.

Unter Offenheit soll im Folgenden verstanden werden, dass die Lehrkraft das Thema nicht expositorisch-gelenkt darstellt, sondern die Schüler(innen) organisatorisch und methodisch „von der Kette lässt“, sie also weitestgehend selbstbestimmt arbeiten (ihnen damit den eigenständigen Weg zur Erkenntnis zutraut) und auch bei der Thematik zumindest die Auswahl aus Unterthemen offen lässt.

Damit sind wir weit entfernt von einer radikalen Öffnung des Unterrichts im Sinne Peschels, haben den Weg in Richtung offenen Unterricht aber eindeutig beschritten.⁹

2. Offener Unterricht im Bereich der elementaren Astronomie

Wenn in diesem Beitrag zum Verständnis kosmischer Zyklen und deren Messung ein offener Unterricht vorgeschlagen wird, so deshalb, weil sich meines Erachtens insbesondere astronomische Inhalte für eine schülerorientierte, entdecken-lassende, tendenziell un gelenkte und damit lehrgangsferne Unterrichtsweise eignen, ja geradezu anbieten. Dass eine belehrende Unterrichtsform im Bereich astronomischer Inhalte gelegentlich nicht nur wenig Wirkung zeigt, sondern geradezu falsche Vorstellungen unterstützt, zeigt z.B. der äußerst weit verbreitete Irrtum (sogar unter Studierenden der Physik), die Mondphasen kämen durch den Erdschatten zustande; obwohl doch praktisch jeder Schüler und jede Schülerin in der Mittelstufe anhand didaktisch mühevoll aufbereiteten Materials über die richtige Ursache belehrt wurde.

¹ Jürgens, E.: Die ‚neue‘ Reformpädagogik und die Bewegung Offener Unterricht. St. Augustin 1994, S. 24.

² Peschel, F.: Offener Unterricht, Teil I. Hohengehren ⁶2011, S. 67.

³ Peschel, F.: Offener Unterricht, Teil I. Hohengehren ⁶2011, S. 72.

⁴ Bestimmung der Rahmenbedingungen: Raum / Zeit / Sozialform usw.

⁵ Bestimmung des Lernweges auf Seiten der Schüler(innen).

⁶ Bestimmung des Lernstoffes innerhalb der offenen Lehrplanvorgaben.

⁷ Bestimmung von Entscheidungen bezüglich der Klassenführung bzw. des gesamten Unterrichts, der (langfristigen) Unterrichtsplanung, des konkreten Unterrichtsablaufes usw. (vgl.: Peschel, F.: Offener Unterricht, Teil I. Hohengehren ⁶2011, S. 77).

⁸ Falko Peschel hat diese radikale Form des offenen Unterrichts nicht nur wissenschaftlich ausgearbeitet und begründet, sondern praktiziert sie seit vielen Jahren an „seiner“ Bildungsschule Harzberg in Ostwestfalen (<http://www.bildungsschule-harzberg.de/aktuelles.html>). Sein bereits mehrfach zitiertes Werk ist absolut lesenswert, nicht zuletzt, weil Peschel Ordnung in die Begriffsverwirrung um den offenen Unterricht bringt.

⁹ Offenheit in diesem Sinne ist keine Frage des didaktischen Geschmacks, sondern tatsächlich eine Frage der persönlichen didaktischen Grundposition, vielleicht sogar eine „didaktische Lebensfrage“ (Peschel, F.: Offener Unterricht, Teil I. Hohengehren ⁶2011, S. 91).

Regelmäßig werden Stimmen laut, die wie Holzkamp, Giles¹⁰ und andere (i.d.R. konstruktivistisch geprägte) Pädagogen die These vertreten, Lehren würde das Lernen nicht nur nicht erleichtern, sondern diesem geradezu im Wege stehen. Immerhin macht es uns die Astronomie wenigstens im Bereich der elementaren Erkenntnisse relativ leicht, ihre Inhalte dem Entdecken der Kinder und Jugendlichen zu überlassen; viele Phänomene warten ja geradezu darauf, von den Schüler(inne)n entdeckt zu werden. So auch und gerade hinsichtlich der Periodizitäten am Himmel: Tag, Monat und Jahr.¹¹

3. Planung von offenem Unterricht

Insbesondere für die Vorbereitungstätigkeit der Lehrperson hat die Öffnung von Unterricht gravierende Folgen. Während die herkömmliche Theorie davon ausgeht, dass „die Unterrichtsplanung, der Unterrichtsverlauf und die realen Lernprozesse des einzelnen Schülers in einem direkten und kontrollierbaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhang stehen, den der Lehrer durch Tricks (,Motivierung‘) oder Disziplinierung durchzusetzen hat“¹², wird im Rahmen von offenem Unterricht kein Weg zum Ziel favorisiert oder gar zur Norm erhoben und auch keine wegleitenden Handlungsvorschriften erlassen. Das heißt, die Planungsaufgabe der Lehrkraft besteht gerade nicht in der Kunst, einen didaktisch besonders wertvollen oder leicht zu beschreitenden oder besonders aussichtsreichen Lehrgang durch den u.U. verzwickten Unterrichtsstoff zu finden. Stattdessen sollen Schüler(innen) individuelle Lernwege beschreiten, sind also für die Planung ihres eigenen Unterrichts inhaltlich sowie methodisch weitestgehend selbst verantwortlich.

Diese Abkehr vom Planungsmonopol der Lehrperson heißt aber nun keineswegs, dass offener Unterricht nicht geplant werden müsse. Im Gegenteil: Die Vorbereitung von offenen Unterrichtsphasen stellt an Lehrpersonen einen immens hohen Anspruch. Man muss sich das Themengebiet praktisch in seiner vollen Breite erschließen, ist es doch möglich (und ja auch gewünscht), dass Schüler(innen) sehr individuelle Wege beschreiten, fernab von der Trasse, die schnellstmöglich zum Ziel führt. Die Lehrperson muss sich also auch Randgebiete und auf den ersten Blick abseitige „Gegenden“ der Thematik erarbeiten und bestmöglich beherrschen, um ihrer Rolle als Ansprechpartner, Materiallieferant und Lernförderer¹³ gerecht werden zu können. Nur so kann sie ohne Angst das Wagnis eingehen, den Schüler(inne)n wirklich größtmöglichen Freiraum bei der Bearbeitung der Thematik einzuräumen.

Der vorliegende Beitrag stellt quasi die „thematische Landkarte“ zum Thema „Die großen Zyklen am Himmel“ dar. Es werden viele verschiedene Vorschläge zur Bestimmung der Länge von Tag, Monat und Jahr angesprochen und auf ihre Durchführbarkeit und Genauigkeit hin überprüft. Dabei werde ich immer wieder auch auf Erkenntnisse und Verfahren „der Alten“ zu sprechen kommen; die Frage nach Einteilung und Messung der Zeit beschäftigt die Menschheit ja seit Jahrtausenden. Es erfolgt aber sehr bewusst keine didaktische Ausarbeitung eines vermeintlich schnellsten, effizientesten oder didaktisch besonders ausgeklügelten Weges zur richtigen Erkenntnis. Denn: selbst „wenn zwei Wanderer die gleiche Route wählen, sind ihre Erfahrungen verschieden; der je individuelle Rhythmus macht sie zu etwas Einmaligem.“¹⁴ Welchen Weg die Schüler(innen) dann letztlich in dieser Erkenntnis-Landschaft gehen, muss ihnen selbst überlassen bleiben. Durch die Individualisierung und Selbststeuerung des Lernens sowie die eigenaktive Auseinandersetzung und Identifikation mit dem Thema wächst auf Seiten der Schüler(innen) die Chance – so versprechen es uns nicht zuletzt die Neurodidaktiker – auf echtes Verstehen. Entscheidend ist also, dass die Lehrperson Lernen ermöglicht, statt es (wie im herkömmlichen Unterricht) zu organisieren. Dazu müssen sich Lehrer(innen) im Thema wie in einer vertrauten Landschaft zu Hause fühlen. Der vorliegende Text möchte hierzu einen Beitrag leisten; möge es gelingen.

¹⁰ Holzkamp, K.: Lehren als Lernbehinderung? <http://www.kritische-psychologie.de/texte/kh1991a.html>; Giles, G.: Ist Lehren ein Hindernis für Lernen? In: Mathematik lehren. Heft 21 1987, S. 6ff.

¹¹ Zwar meint jeder diese Alltäglichkeiten zu kennen (Tag = von Mittag bis Mittag; Monat = von Vollmond bis Vollmond; Jahr = von Sommer bis Sommer), ganz schnell stellt sich aber heraus, dass es so einfach nicht ist; vor allem aber, dass diese Zyklen denkbar schwer experimentell messbar sind.

¹² Ramseger, J.: Das Nicht-Planbare planen? Anregung zur Gestaltung von offenem Unterricht. In: Knauff, T. (Hg.): Handbuch zur Unterrichtsvorbereitung in der Grundschule. Bensheim 1979, S. 19.

¹³ Vgl. Peschel, F.: Offener Unterricht, Teil I. Hohengehren 2011, S. 173.

¹⁴ Gallin, P. / Ruf, U.: Sprache und Mathematik. Seelzer-Velber 1998, S. 108.

II. Kosmische Zyklen am Himmel entdecken und möglichst genau messen

1. Unterrichtliche Voraussetzungen

Im Rahmen des vorgeschlagenen Unterrichts soll es nicht darum gehen, Schüler(inne)n einen Erstkontakt mit den kosmischen Zyklen zu verschaffen. Es soll vielmehr bereits vorhandenes Alltagswissen hinterfragt und in die Phänomene des Himmels eingewurzelt werden. Doch von welchem Alltags- bzw. Vorwissen können wir bei Mittelstufenschüler(inne)n ausgehen? Bereits in der Grundschule (oder gar früher) lernen Kinder, dass ein Tag 24 Stunden lang ist. In der Regel ergänzen Lehrkräfte oder Sachkundematerialien, dass ein Tag von einem Sonnenhöchststand bis zum nächsten dauert. Der tägliche Umschwung der Sonne wird als scheinbar bezeichnet, dreht sich doch in Wirklichkeit die Erde.¹⁵

Hinsichtlich des Monats wird spätestens zu Beginn der Sek. I gelehrt, dass man die Zeitspanne von Vollmond bis Vollmond als Monat bezeichnet und dass ein Monat etwa $29\frac{1}{2}$ Tage lang ist. Unter der Überschrift „Licht und Schatten im Weltall“ werden dann meist auch Mondphasen und Finsternisse thematisiert und in der Regel durch didaktische Modelle veranschaulicht.¹⁶

Auch das Thema Jahreszeiten wird häufig schon in der Grundschule behandelt; in der Regel stark an den beobachtbaren Phänomenen orientiert: Im Sommer ist es viel länger hell als im Winter und die Sonne steht mittags höher am Himmel. Die Variation der Länge des Tagbogens sowie dessen unterschiedliche Höhe im Süden (u.U. auch die sich ändernden Auf- und Untergangsorte der Sonne) sollten den Schüler(inne)n also vertraut sein. Mitunter werden die Jahreszeiten auch heliozentrisch betrachtet, was m.E. das Verständnis des Sachverhaltes deutlich erschwert.¹⁷ Als Jahr wird z.B. die Zeitspanne von Frühlingsbeginn bis Frühlingsbeginn bezeichnet¹⁸, ohne dabei allerdings zu thematisieren, woran man den Frühlingsanfang eigentlich erkennen kann. Die Länge eines Jahres wird meist mit $365\frac{1}{4}$ Tagen angegeben und in diesem Zusammenhang auf den Julianischen Kalender und seine Schaltregel verwiesen¹⁹.

Man kann also zu Beginn der Sek. I davon ausgehen, dass bei Schüler(inne)n die Länge von Tag, Monat und Jahr bekannt ist. Was den meisten aber in der Regel fehlen wird, ist die Anschauung der Himmelsphänomene. Einen Sonnenuntergang hat jeder Schüler, jede Schülerin schon einmal gesehen, aber auch einen Mond- oder gar Sternuntergang? Die wenigsten werden überhaupt wissen, dass die Sterne sich im Laufe der Nacht über den Himmel bewegen. Um aber die Zyklen wirklich verstehen und dann auch möglichst exakt messen zu können, ist dies unbedingt nötig. Voraussetzung für einen Unterricht zur Messung der kosmischen Zyklen ist also, dass die Schüler(innen) eine anschauliche Vorstellung von den großen (zum Teil scheinbaren) Drehungen am Himmel haben. Dies lässt sich z.B. mit der Software „Stellarium“ bewerkstelligen²⁰.

¹⁵ Dabei schleicht sich leider sehr regelmäßig ein Fehler ein. Diverse Sachkundebücher bzw. Arbeitsmaterialien für Grundschul Kinder behaupten nun nämlich, nicht die Sonne drehe sich in 24 Stunden einmal um die Erde, sondern in Wirklichkeit drehe sich die Erde in 24 Std. einmal um sich selbst. Zwar dreht sie sich in der Tat um sich selbst, aber eben nicht in 24 Std. Hier wird der Einfluss der Drehung der Erde um die Sonne vergessen. In Wirklichkeit benötigt die Erde 23 Stunden und etwa 56 Minuten für eine Drehung um ihre eigene Achse.

¹⁶ Wie Umfragen belegen, erfolgt letzteres aber mit nur recht mäßigem Erfolg. Der überwiegende Teil unserer Bevölkerung macht weiterhin den Schatten der Erde für die Mondphasen verantwortlich.

¹⁷ Vor allem legt die heliozentrische Betrachtungsweise das durchaus verbreitete Missverständnis nahe, immer dann, wenn die Erde auf ihrer elliptischen Bahn ein wenig weiter von der Sonne entfernt ist, sei Winter. Das müsste zwar Nord- und Südhalbe der Erdkugel gleichzeitig betreffen; an diesem Widerspruch zur Realität stört sich das angesprochene Misskonzept aber häufig nicht. Inzwischen gibt es aber zunehmend Lehrbücher für den Physikunterricht der Sek. I, die den beobachtbaren Himmelsphänomenen zunächst treu bleiben, also geozentrisch arbeiten; z.B.: Fokus Physik - Gymnasium 5/6, Berlin: Cornelsen, 2008.

¹⁸ Vgl. Fokus Physik - Gymnasium 5/6, S. 85.

¹⁹ Warum die julianische Schaltregel nicht ausreicht und wir daher seit fast einem halben Jahrtausend nicht mehr den julianischen, sondern den gregorianischen Kalender (mit modifizierten Schaltregel) benutzen, bleibt i.d.R. ungeklärt.

²⁰ <http://www.stellarium.org/de/>

Sehr viel wertvoller ist es aber, wenn man das unter freiem Himmel tut (z.B. im Rahmen einer Klassenfahrt oder eines Schullandheimaufenthaltes). Sehr viele der wesentlichen Phänomene des Tag- und Nachthimmels lassen sich in weniger als zwölf Stunden beobachten. Der Schweizer Physiklehrer Michael Jänichen hat eine solche Sonnen- und Sternennacht im Rahmen eines sogenannten „Lehrstücks“ in seiner Dissertation beschrieben.²¹

Am Ende sollten die Schüler(innen) wissen (und im besten Falle auch beobachtet haben!), dass sich der bebilderte Fixsternhimmel (scheinbar) um die Erde dreht, Mond, Sonne und Planeten aber nicht daran „befestigt“ sind, sondern auf der Ekliptik bzw. dem Tierkreisband ihr Eigenleben führen.

2. Thematische Landkarten

Die große Frage lautet: Wie können wir die zeitlichen Zyklen (Tag, Monat und Jahr) möglichst genau messen?

Im Folgenden notiere ich einige naheliegende und denkbare Fragen bzw. Vorschläge von Schüler(inne)n im Hinblick auf das gestellte Problem. Die Fragen sollen im Anschluss jeweils beantwortet und die Vorschläge auf ihre Tauglichkeit hin untersucht werden. Es liegt dann in der Hand der Lehrkraft, in welchem Maße sie den Schüler(inne)n hilft bzw. Impulse gibt. Meine Ausführungen dienen alleine der Vorbereitung der Lehrkraft auf den (offenen) Unterricht.

a) Tag

Wenn man die Länge eines Tages messen will, ist es doch zunächst naheliegend, die Zeit zwischen zwei Sonnenaufgängen bzw. zwischen zwei Sonnenuntergängen zu messen. Das tut man am besten mit Uhr bewaffnet im Freien oder man behilft sich mit der Software „Stellarium“. Dabei wird man feststellen, dass zwischen den beiden Auf- bzw. Untergängen in der Regel keine 24 Stunden liegen. Man könnte „Glück“ haben und gerade einen Tag erwischen, für den das gilt; eine Evaluation an einem anderen Tag würde die 24-Stunden-Erwartung aber zunichtemachen. Wenn man nicht gerade in der Nähe der Solstitien (21. 06. / 21. 12.) misst, wird man zudem feststellen, dass der Auf- bzw. Untergangsort der Sonne bereits von einem auf den anderen Tag variiert.²² Erschwerend kommt hinzu, dass der Zeitpunkt des Sonnenaufgangs nicht leicht zu bestimmen ist; lässt es sich mit bloßem Auge doch nur schwer entscheiden, wann genau die Sonne über dem Horizont auftaucht. Der Augenblick, in dem der Rand der Sonnenscheibe sichtbar wird bzw. verschwindet, ist wegen der großen Helligkeit des Horizonts schwer auszumachen. Im Übrigen verfälschen atmosphärische Phänomene durch die an aufeinander folgenden Tagen u.U. unterschiedlich starke Brechung des Lichts das Ergebnis erheblich.²³ Auf diesem Weg ist also eine genaue(!) Bestimmung der Tageslänge nicht möglich.



Abbildung 2: Sonnenuntergang am 21.06. auf der geografischen Breite von Marburg/Hessen

²¹ <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2011/0072/pdf/dmj.pdf>, S. 131 ff.

²² Das hat damit zu tun, dass die Sonne auf ihrem (scheinbaren) Weg entlang der Ekliptik ein Stück vorangekommen ist, sich also i.d.R. auch ihre Deklination und damit ihr Auf- bzw. Untergangsort verändert hat.

²³ Brechungseffekte können den Aufgang der Sonne bis in den Minutenbereich verfrüht erscheinen lassen.

Man kann natürlich auch die Zeit von einem Sonnenhöchststand bis zum nächsten messen. Dabei stellt sich allerdings das Problem, den Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes möglichst exakt zu bestimmen. Der Sonne sieht man mit bloßem Auge ihre Kulmination nicht an, also muss man eine indirekte Messung durchführen. Den meisten Schüler(inne)n ist die Sonnenuhr bekannt, bei der man etwas über die Sonne erfährt, indem man den Schatten beobachtet, den die Sonne von einem Stab wirft. Aus der Länge des Schattens und der Richtung, in die er fällt, kann man dann indirekt auf die Höhe der Sonne über dem Horizont (Elevation) sowie die Himmelsrichtung schließen aus der sie gerade scheint (Azimut). Der Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes zeichnet sich also durch den Zeitpunkt aus, an dem der Schatten von Gegenständen am kürzesten ist. Eine solche Messung sollte jede(r) Schüler(in) einmal durchgeführt haben, denn sie ist insbesondere durch die Schwierigkeiten, die sie ausmacht, höchst lehrreich. Man markiert also um die Mittagszeit herum die Spitze des Schattens eines möglichst langen Gegenstandes und versieht diese Markierungen mit der entsprechenden Uhrzeit.²⁴ Hierbei stellt man fest, dass der Schatten vor- und nachmittags seine Länge während gleichbleibender Zeitabstände (z.B. 5 Minuten) deutlich ändert, dass diese Veränderung gegen Mittag aber erheblich kleiner werden und während der entscheidenden Mittagsphase der Schatten über viele Minuten scheinbar gleichlang bleibt.²⁵

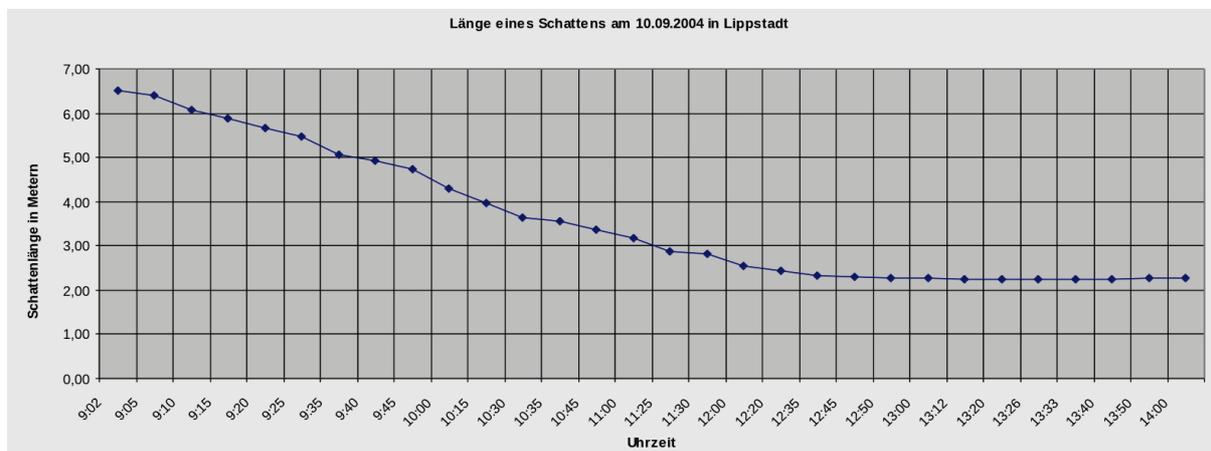


Abbildung 3: Visualisierung der sich verändernden Schattenlänge

Je länger der schattenwerfende Stab ist, desto kleiner wird dieser Zeitraum, es ist dennoch unmöglich, auf die Minute genau zu sagen, wann der Schatten am kürzesten ist. Auch durch Veränderung der Spitze des Schattenwerfers lassen sich die Ergebnisse verbessern. Es bleibt aber das Problem, dass man den Zeitpunkt, an dem der Schatten am kürzesten ist (also die Sonne am höchsten steht) auf diese Weise nur sehr ungenau bestimmen kann. Erstaunlich ist im Übrigen, dass dieser Zeitraum keineswegs symmetrisch um die 12-Uhr-Marke (bzw. im Sommer die 13-Uhr-Marke) liegt, sondern (in Abhängigkeit vom geografischen Ort, an dem die Messung durchgeführt wird) mitunter erheblich davon abweicht.²⁶

²⁴ Im Vorfeld eines solchen Versuchs habe ich Schüler(innen) schätzen lassen, wie lange wir wohl warten müssen, bis wir eine deutliche Veränderung des Schattens wahrnehmen würden. In der Regel überschätzen sich Schüler(innen) an dieser Stelle massiv, beträgt diese Zeitspanne bei ausreichend langem Schattenwerfer (in unserem Fall meist ein Speer der Fachschaft Sport) nur eine überschaubare Anzahl von Sekunden!

²⁵ Hinsichtlich der Richtung des Schattens ist es gerade umgekehrt: morgens und abends ändert sich die Richtung des Schattens nur wenig, um die Mittagszeit dann sehr deutlich.

²⁶ Vielleicht besteht an dieser Stelle Interesse seitens der Schüler(innen) sich in die Thematik „Ortszeit – Zonenzeit“ einzuarbeiten. Dabei ist „Stellarium“ einmal mehr eine große Hilfe, kann man doch per Mausklick den Standort wechseln und die damit verbundene Änderung des Sonnenstandes in Echtzeit „beobachten“.

Auf diesem Wege kommt man also erneut nicht zu einem möglichst exakten Ergebnis für die Tageslänge. Eine Sackgasse ist die Schattenmessung aber dennoch nicht. Eine mehr als zwei Jahrtausende alte Methode, die den Indern zugeschrieben wird, hilft hier weiter: Man muss gar nicht den Zeitpunkt des kürzesten Schattens direkt messen, man kann ihn auch indirekt erschließen. Setzt man voraus, dass die Sonnenbahn symmetrisch zum Punkt des Sonnenhöchststandes (Kulminationspunkt) ist,²⁷ dann reicht es, wenn man zwei gleich lange Schatten findet und somit weiß, dass genau in der Mitte der jeweiligen Zeitpunkte der Schatten am kürzesten war und somit die Sonne am höchsten stand.

Schattenkurve

Lippstadt-Dedinghausen

17.09.2005

(Zeiten in MESZ)

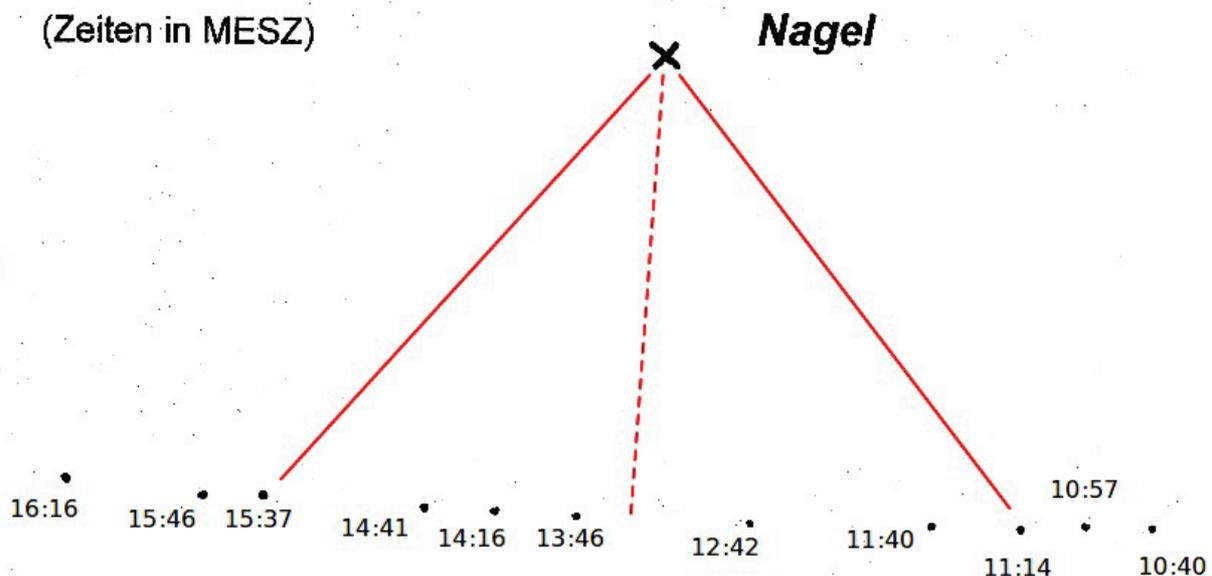


Abbildung 4: Bei dieser Messung finden sich zwei gleich lange Schatten bei 15:37 Uhr und 11:14 Uhr.

Mit ein bisschen Glück findet man in der bereits vorgenommenen Messung zwei gleichlange Schatten, andernfalls muss man das Experiment wiederholen und kann es auf diesem Wege gleichzeitig optimieren. Man könnte am Vormittag einzelne Schattenmessungen durchführen, dann konzentrische Kreise um den Schattenstab durch diese Messpunkte zeichnen und am Nachmittag darauf warten, dass der Schatten die entsprechenden Kreise erneut schneidet. Für jedes Pärchen aus gleichlangen Schatten lässt sich der Mittagszeitpunkt bestimmen,²⁸ und man erhält so für den Abstand zweier Sonnenhöchststände recht zuverlässig eine Tageslänge von 24 Stunden.

²⁷ Da die Sonne kontinuierlich ihre Deklination verändert, ist die Tagesbahn der Sonne nur dann symmetrisch, wenn am 21. 06. bzw. am 21. 12. gemessen wird und auch dann nur, wenn die Zeitpunkte von Kulmination und Sonnenwende exakt zusammenfallen. D.h. im Normalfall ist der Tagbogen der Sonne nicht ganz symmetrisch. Es wäre spannend, wenn ein motiviertes Schüler(innen)team mal abschätzen könnte, wie groß der Fehler werden kann, den man sich auf diesem Wege einhandelt.

²⁸ Bei nachdenklichem Experimentieren wird den Schüler(inne)n klar, dass die weiter außen liegenden Messpunkte geeigneter sind, da zum einen die Änderung der Schattenlänge früh morgens und spät nachmittags deutlicher beobachtbar ist. Zum anderen wirken sich bei großen Zeitabständen Messungenauigkeiten weniger stark aus!

Damit ist die Frage nach der Länge eines Tages im Grunde beantwortet. Leider aber nur auf den ersten Blick. Misst man nämlich mehrere Tage später (experimentell oder mit Hilfe von „Stellarium“), stellt man fest, dass die Sonne nicht mehr zur gleichen Zeit kulminiert, sondern je nach Jahreszeit später oder früher. Das heißt aber, dass die Tage dazwischen nicht genau 24 Stunden lang gewesen sein können. Die Abweichung der Tageslänge von den zunächst vermuteten 24 Stunden kann bis zu 50 Sekunden betragen²⁹, was sich im Laufe von Wochen aber auf eine Abweichung des Kulminationszeitpunktes von bis zu 17 **Minuten** aufaddiert. Die erstaunliche Tatsache, dass der Tag, anders als erwartet, keineswegs 24 Stunden lang ist³⁰, sollte Motivation genug sein, der Frage nachzugehen, woher das kommt.

Am einfachsten ist dies, wenn man den Sachverhalt geozentrisch betrachtet. Während sich die Fixsterne in 23 h 56' einmal (scheinbar) um den Beobachter drehen, bleibt die Sonne täglich ein Stück zurück, sie wandert entlang der Ekliptik, jeden Tag um etwas mehr als 1° gegen die Drehrichtung der Fixsterne.³¹

Zur Variation der Tageslänge tragen nun zwei Effekte bei: Die Schiefe der Ekliptik und die Tatsache, dass sich die Sonne auf ihrer scheinbaren Wanderung durch das Tierkreisband nicht mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Beide Effekte addieren sich zur sogenannten Zeitgleichung. Mit Hilfe einer Visualisierung der Zeitgleichung (Abb. 6) lässt sich für jeden Tag im Jahr ablesen, wie viele Minuten die Sonnenuhrzeit von unserer Armbanduhrzeit abweicht.

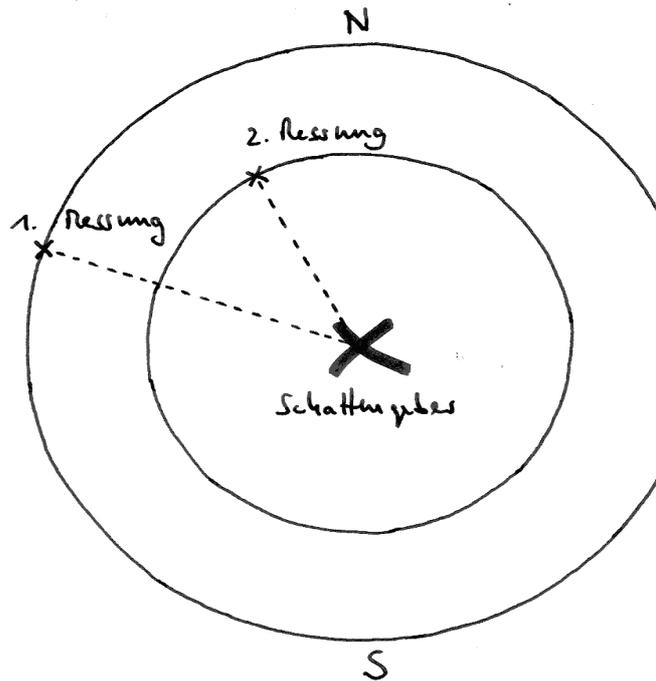
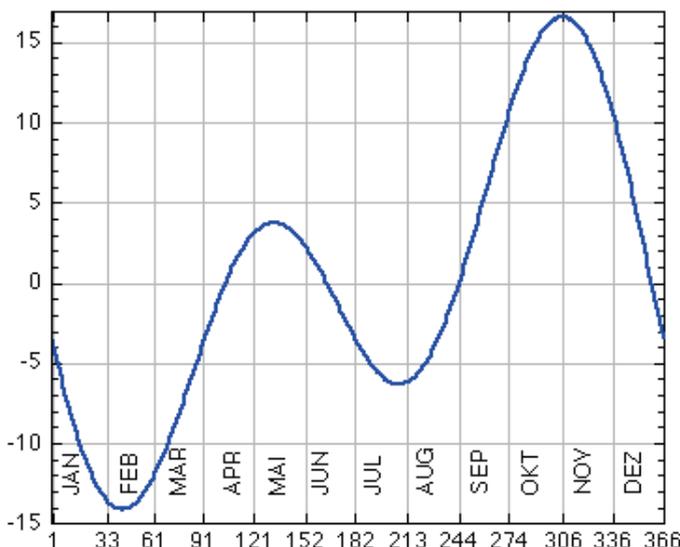


Abbildung 5: Bestimmung zweier gleich langer Schatten.



Leicht zu verstehen ist, dass der ungleichmäßige Lauf der Sonne auf der Ekliptik auch zu einer Variation der Tageslänge führt. Kommt die Sonne nämlich im Verlauf eines Tages auf der Ekliptik nur relativ wenig voran, steht sie vergleichsweise schneller wieder im Süden; der Tag ist einige Sekunden kürzer. Kommt sie weit voran, ist der Tag etwas länger.³²

Abbildung 6: Die Zeitgleichung
(Quelle: www.astronomie.info).

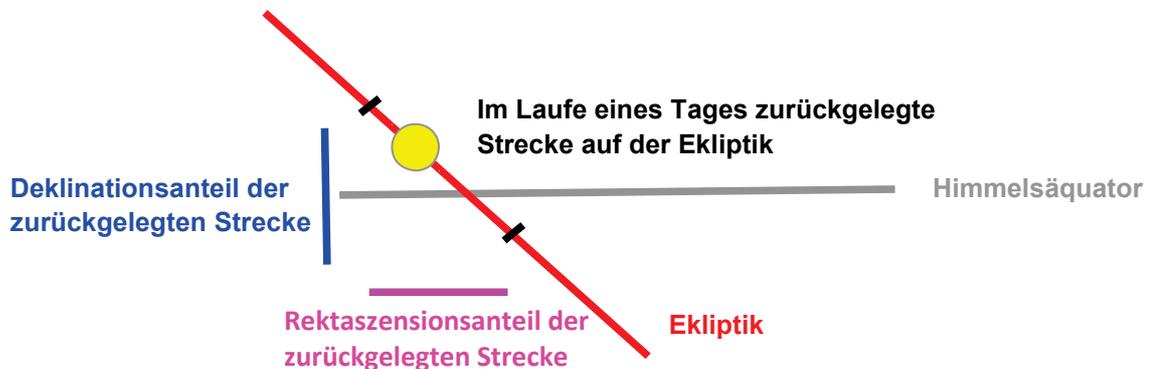
²⁹ Julitage sind bis zu 50 Sekunden kürzer als Januartage.

³⁰ Mit wenigen Ausnahmen im Laufe des Jahres.

³¹ In Wirklichkeit (also heliozentrisch betrachtet) sieht man hier die Drehung der Erde um die Sonne.

³² Diesen ungleichförmigen Gang der Sonne kannten schon die Babylonier und Griechen, wenngleich nicht ihre Ursache (dazu braucht es die Keplerschen Gesetze). Die Erde bewegt sich nicht auf einer Kreisbahn, sondern auf einer Ellipse. Dabei ist ihre Geschwindigkeit in Sonnennähe größer als in Sonnenferne, was sich geozentrisch betrachtet als eine ungleichförmig wandernde Sonne beobachten lässt. Die Geschwindigkeit der Sonne variiert dabei mit der Periode eines Jahres.

Der zweite Effekt ist nicht ganz so leicht zu verstehen. Zur Erinnerung: Würde die Sonne gar nicht „wandern“, wäre sie also ein Fixstern, wäre jeder Tag 23 h 56' lang. Ihre Wanderung gegen die Drehrichtung der Fixsterne führt nun zu einer Verlängerung des Sonnentages gegenüber dem Sterntag. Für die Verlängerung des Sonnentages ist aber nicht die volle Strecke der Sonnenwanderung verantwortlich, sondern nur der Anteil, der zu einer Veränderung der Rektaszension der Sonne führt (also die Projektion der gewanderten Strecke auf den Himmelsäquator). Was zunächst sehr abstrakt klingt, lässt sich leicht veranschaulichen, wenn wir einen Spaziergänger beobachten, der sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. So kann es sein, dass wir im Laufe der Zeit den Kopf überhaupt nicht drehen müssen, weil er direkt auf uns zu läuft bzw. sich in direkter Linie von uns entfernt. Läuft er genau senkrecht zu unserer Sichtlinie, müssen wir den Kopf sehr stark nach rechts bzw. nach links bewegen. Läuft er schräg zur Sichtlinie, nehmen wir einen entsprechend kleineren „rechts-links-Effekt“ wahr. So ist auch bei der Bewegung der Sonne entlang der Ekliptik nur der Anteil relevant, der sie in Richtung Rektaszension voranbringt. Dass sie dabei auch ihre Deklination verändert und somit am nächsten Tag höher bzw. tiefer kulminiert, spielt für die Tageslänge keine Rolle. Zu den Zeiten der Sonnenwenden bewegt sich die Sonne praktisch parallel zum Himmelsäquator, so dass der besagte Effekt sehr groß ist. Bei den Tag- und Nachtgleichen steht die Ekliptik sehr steil auf dem Himmelsäquator, was zur Folge hat, dass sich nicht nur die Rektaszension, sondern eben auch die Deklination der Sonne von Tag zu Tag ändert.



Zeichnung 1: Rektaszensions- und Deklinationsanteil der Sonnenbewegung am 21. März

Dieser Anteil der Variation in der Tageslänge besitzt somit die doppelte Periodizität eines Jahres. Beide Kurven addieren sich zur eigenartig geformten Zeitgleichung.

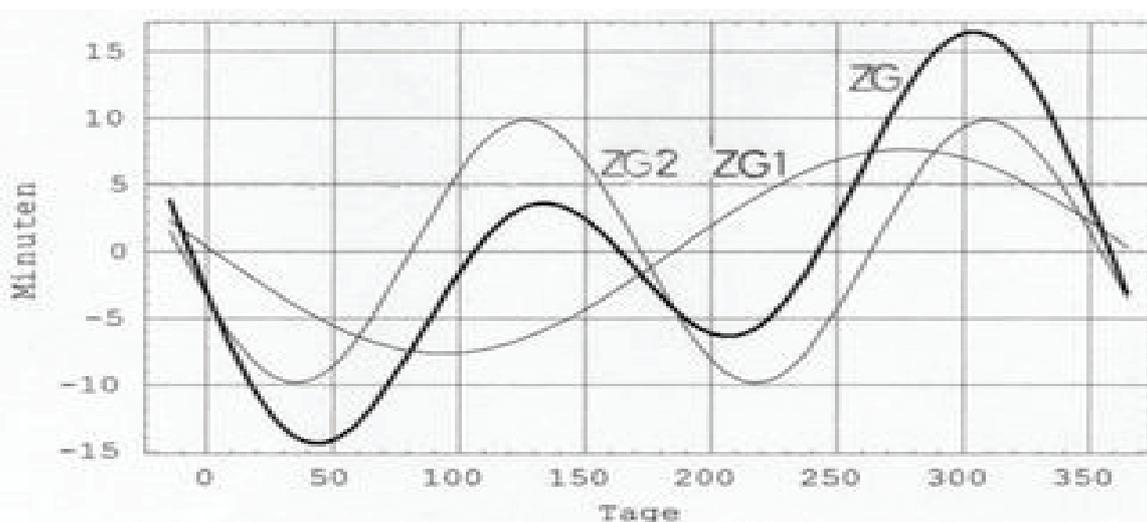


Abbildung 7: Hier sieht man sehr schön die beiden erläuterten Anteile der Zeitgleichung (die in Amplitude, Frequenz und Phase nicht übereinstimmen). ZG1: Jahreszeitlich bedingter Effekt; ZG2: Effekt durch die Projektion; ZG: Summe aus beiden Anteilen. (Quelle: <http://www.swetzel.ch/sonnenuhren/zgel/zgel.html>)

Letztlich ist also praktisch kein Tag so lang wie sein Vorgänger, d.h. die Angabe, ein Tag sei genau 24 Stunden lang, kann nicht richtig sein.³³ Um im Alltag dennoch mit gleichlangen Tagen von 24 Stunden arbeiten zu können, wurde irgendwann die sogenannte „mittlere Sonne“ erfunden, die mit absolut gleichförmiger Geschwindigkeit auf der Ekliptik entlang läuft, dabei auch ihre Rektaszension gleichförmig ändert, was zu einer konstanten Tageslänge von 24 Stunden führt. Die „wahre Sonne“ (die wir am Himmel sehen) weicht natürlich vom Gang der mittleren Sonne ab (diese Differenz spiegelt sich in der Zeitgleichung wieder). Am Ende eines Jahres haben aber beide eine Runde durch die Ekliptik geschafft, und das Spiel beginnt von neuem.

b) Monat

Die nächstlängere Einheit, in der die Menschheit die Zeit misst, ist die Woche. Man ist sich nicht ganz einig, ob die 7 Tage der Woche kulturgeschichtlich mit den 7 mit bloßem Auge sichtbaren Planeten (Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn)³⁴ zusammenhängen oder ob die Woche als $\frac{1}{4}$ eines Monats zu verstehen ist. Da sich beim Gestaltwandel des Mondes vier Phasen (Neumond, zunehmender bzw. abnehmender Halbmond und Vollmond) besonders auszeichnen, zwischen denen jeweils etwas mehr als 7 Tage liegen, möchte ich an dieser Stelle die zweite der eben erwähnten Theorien favorisieren und somit das Verständnis der Woche auf das des Monats zurückführen. Wie also lässt sich die Dauer eines Monats möglichst exakt mit einfachen Mitteln bestimmen?

Zunächst ist festzuhalten, dass es zwei verschiedene Monate gibt, den siderischen und den synodischen.³⁵ Beide lassen sich recht einfach am Himmel beobachten. Der siderische Monat bezeichnet den Zeitraum, in dem der Mond (gegen den großen Umschwung der Fixsternsphäre) eine volle Runde durch die Ekliptik macht. Viele meiner Schüler(innen) gingen zunächst davon aus, dass sie bei der Beobachtung eines Mondaufganges und der Wanderung des Mondes über den (Nacht-)himmel die Drehung des Mondes um die Erde zu sehen bekämen. Der größte Anteil dieser Mondbewegung ist aber der Eigendrehung der Erde geschuldet. Nur im langsamen Zurückbleiben des Mondes im Verhältnis zu den Fixsternen sehen wir tatsächlich die eigentliche Drehung des Mondes um die Erde. Um die Dauer eines siderischen Monats zu bestimmen, ist es wichtig, eine markante Stelle des Tierkreisbandes zu finden, so dass man in Relation zu den Fixsternen mit Sicherheit sagen kann, dass der Mond nun wieder da ist, wo er sich vor einem (siderischen) Monat auch befunden hat. Aldebaran im Stier und die beiden offenen Sternhaufen der Plejaden und Hyaden eignen sich z.B. gut für eine solche Beobachtung. Schüler(innen) könnten vermuten, dass sich Sternbedeckungen durch den Mond besonders eignen könnten, um die Dauer des siderischen Monats zu bestimmen. Das ist theoretisch auch eine gute Idee; in der Praxis bedeckt der Mond aber (wegen der vielen Einflussgrößen, der die Mondbahn unterliegt³⁶) in zwei aufeinander folgenden Runden durch das Tierkreisband in der Regel nie den gleichen Stern. Diese Messidee scheidet also aus.

Will man die oben genannte Beobachtung tatsächlich am Himmel durchführen, ist zu bedenken, dass man die erste Messung bereits am frühen Abend macht, denn der siderische Monat ist erst nach 27 Tagen und weiteren fast 8 Stunden zu Ende. Im Sommer wird man diese Messung also gar nicht realisieren können. In diesem Fall hilft mal wieder „Stellarium“ weiter. Man kann per Tastendruck/Mausklick das Streulicht der Atmosphäre „ausschalten“ und somit zu jeder beliebigen Tag- und Nachtzeit „beobachten“. Hierbei lässt sich auch herausfinden, dass die Länge einzelner siderischer Monate nicht wirklich gleich ist. So bietet sich an, einen sehr großen Zeitraum zugrunde zu legen (womöglich viele Jahre oder Jahrzehnte) und sich so dem in der Literatur angegebenen Wert von 27 d 7 h 43' anzunähern.³⁷

³³ Wenn man die Dauer sehr vieler Tage misst und den Mittelwert bildet, nähert man sich immer mehr den 24 Stunden an. Berechnet man die Tageslänge über ein ganzes Jahr gemittelt, erhält man genau 24 Stunden, obwohl nur sehr wenige Tage genau 24 Stunden lang waren.

³⁴ In der Antike zählten Sonne und Mond ebenfalls zu den Planeten, da sie sich wie diese (scheinbar) an der Himmelskugel entlang bewegen.

³⁵ Es gibt noch sehr viel mehr Monate (den drakonischen, den anomalistischen, den tropischen) deren Dauer allerdings nur mit erheblich mehr Aufwand bestimmbar ist. Der Antike gelang dies aber z.T. mit großer Genauigkeit.

³⁶ Man spricht von den Anomalien der Mondbahn.

³⁷ An dieser Stelle lernen die Schüler(innen) eine wichtige wissenschaftliche Methode der Physiker(innen) und Astronom(innen) kennen: Jede Messung ist mit einem Messfehler behaftet. Messe ich aber die Dauer eines periodischen Vorgangs, kann ich durch den Trick, die Dauer sehr vieler Perioden zu messen, und diesen Wert durch die Anzahl der Perioden zu dividieren, fast beliebig verkleinern.

Im Volksmund meint man aber gar nicht den siderischen Monat, wenn man von „Monat“ spricht, sondern den synodischen, also die Vollendung des Gestaltwandels des Mondes. Dass es überhaupt einen Unterschied zwischen diesen beiden Monaten gibt, hat damit zu tun, dass (geozentrisch gesprochen) während der Runde des Mondes durch das Tierkreisband auch die Sonne weiter gewandert ist, der Mond sich also, wenn er seinen Ausgangspunkt wieder erreicht hat, noch nicht wieder die gleiche Phase befindet wie vor $27\frac{1}{4}$ Tagen. Er muss also der Sonne noch ein Stückchen hinterher eilen, wofür er etwa $2\frac{1}{4}$ Tage benötigt. Nach etwa $29\frac{1}{2}$ Tagen hat er dann seine ursprüngliche Phase wieder erreicht.

Soweit die Theorie; doch wie kann man die Dauer eines synodischen Monats am Himmel messen? Spontane Äußerungen von Schüler(inne)n dürften lauten: „Einfach die Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinander folgenden Vollmonden bestimmen.“ Klingt gut, beinhaltet aber eine große Fehlerwahrscheinlichkeit, denn es ist äußerst schwer zu entscheiden, ob der Mond gerade wirklich „voll“, oder noch nicht ganz voll oder schon voll gewesen ist. Hierbei macht man leicht Fehler von mehr als einem ganzen Tag. Also brauchen wir eine andere, eindeutiger zu identifizierende Phase des Mondes. Der Neumond scheidet, weil nicht beobachtbar, aus – bleibt der Halbmond. In der Tat eignet sich die gerade Linie des Terminators (der Grenze zwischen Tag- und Nachtseite des Mondes) bei Halbmond recht gut als Charakteristikum, ist sie doch relativ eindeutig zu identifizieren. Man erreicht somit also sehr viel genauere Werte als mit der Vollmond-Vollmond-Messung (auf ein paar wenige Stunden genau). Als besondere Schwierigkeit ist hier aber anzumerken, dass der synodische Monat nach 29 Tagen und zusätzlichen fast 13 Stunden vergangen ist. Will man also den Halbmond bei dunklem Himmel beobachten (was einfacher und damit genauer ist), wird man dies im Dezember oder Januar tun müssen. Andernfalls muss eine der beiden Beobachtungen am Taghimmel erfolgen. Diese Messidee funktioniert im Übrigen aber nur, wenn sich der Halbmond in der nördlichen Hemisphäre befindet, weil er nur dann länger als 12 Stunden über dem Horizont zu sehen ist. Im anderen Fall ist er nach Ablauf des synodischen Monats noch gar nicht aufgegangen. Man muss



Abbildung 8: Zunehmender Halbmond (vergrößert dargestellt).

also zusätzlich darauf achten, bei einem Halbmond zu starten, der kurz nach seinem Aufgang stattfindet. All das sind Schwierigkeiten und Herausforderungen, die Schüler(innen) im Verständnis der Abläufe am Himmel enorm schulen (vorausgesetzt, die Lehrperson verrät nicht alles im Vorfeld, sondern lässt ihnen die Chance des Scheiterns eines Messvorhabens). „Stellarium“ stellt die Mondphasen sehr wirklichkeitstreu dar³⁸, so dass mit diesem Programm (nach ersten Versuchen am realen Himmel) viele Möglichkeiten des entdeckenden Lernens bestehen. Mehrere Messungen des synodischen Monats zeigen, dass auch dieser recht deutlichen Schwankungen unterworfen ist. Die Mittelung sehr vieler synodischer Monate ergibt aber durchaus einen Wert, der in der Nähe des Literaturwertes liegt.

Eine deutliche Verbesserung des Messwertes führt über die Beobachtung von Finsternissen. Zum Zeitpunkt einer Finsternis kennt man nämlich die exakte Phase des Mondes. Sonnenfinsternisse finden nur bei Neumond, Mondfinsternisse nur bei Vollmond statt. Wieder hilft „Stellarium“ weiter oder man benutzt tabellierte Zeitpunkte von Finsternissen, die man im Internet findet. Zwischen zwei Mondfinsternissen liegt eine ganzzahlige Anzahl von synodischen Monaten, die eine sehr genaue Bestimmung der Dauer eines synodischen Monats möglich macht.

³⁸ Zusätzlich kann man den Mond 4x vergrößert darstellen, so dass seine Phasen eindeutiger zu sehen und zu identifizieren sind.

Beispiel: Im Jahr 2011 fand eine Mondfinsternis am 15. 06. um 22:13 Uhr MESZ und eine am 10. 12. um 15:32 Uhr MEZ statt. Dazwischen liegen zunächst 153 Tage der Monate Juli bis November, sowie 15 ganze Tage im Juni und 9 ganze Tage im Dezember; macht in der Summe 177 Tage. Hinzu kommen 2 h 47' Resttag des 15. 06. (Achtung: an die Umrechnung in MEZ denken!) und 15 h 32' des 10. 12. Zwischen den beiden Finsternissen liegen also 177 d 18h 19' = 177,7632 d. Teilt man diese Zeitdauer durch die 6 dazwischen liegenden synodischen Monate, errechnet sich eine Dauer des synodischen Monats von 29,627 d, was nur um 2 h 15' vom Literaturwert abweicht. Durch die Vergrößerung des zeitlichen Abstandes zweier Mond- oder Sonnenfinsternisse wird man zunehmend Werte erhalten, die immer näher am Literaturwert für die mittlere(!) Dauer eines synodischen Monats liegen.

c) **Jahr**

Richtig anspruchsvoll wird es nun bei der experimentellen Bestimmung der Jahreslänge. Naive Vorschläge wie „von Frühling bis Frühling“ scheiden hinsichtlich Exaktheit von vornherein aus. Gesucht sind also andere himmelskundliche Phänomene, die sich im Takt des Jahres verändern. Zu nennen wären hier:

- die Kulminationshöhe der Sonne,
- ihr Aufgangs- bzw. Untergangsort am Horizont,
- die Länge von Tag bzw. Nacht.

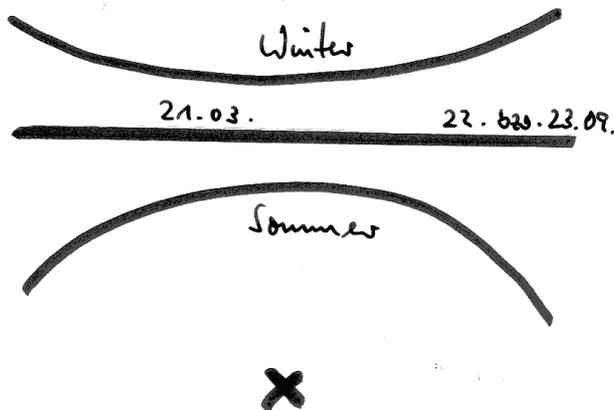
In der Tat erreicht die Sonne in unseren Breiten genau einmal im Jahr ihre maximale Kulminationshöhe von „ 90° plus $23,4^\circ$ minus geografische Breite“. An diesem Tag (dem 21. 06.) ist der Mittagsschatten der Sonne am kürzesten. Man muss also im Grunde nur den Zeitraum zwischen zwei solchen Ereignissen bestimmen. Das ist zwar richtig, führt aber nur zu relativ ungenauen Werten. Zum einen ändert sich die Länge des Mittagsschattens gerade Ende Juni/Anfang Juli nur sehr wenig (ein ähnliches Problem hatten wir bereits bei der Bestimmung der Tageslänge). Zum anderen ist die Dauer des Jahres gerade nicht kompatibel zu einer ganzen Anzahl von Tagen. D.h., bei zwei Mittagmessungen im Abstand eines vermeintlichen Jahres wird die Sonne entweder ihre Runde durch die Ekliptik noch nicht ganz vollendet haben oder aber schon über den Startpunkt hinaus sein. Wiederholt man eine solche Messung über einen langen Zeitraum (am besten über Jahrhunderte wie die Babylonier), wird dieser Fehler aber zunehmend kleiner und man nähert sich dem Literaturwert für das siderische Jahr von 365,2564 Tagen an.³⁹

Da die Sonne während ihres Laufes entlang der Ekliptik nicht nur ihre Rektaszension, sondern auch ihre Deklination ändert, variieren auch die Orte ihres Auf- und Untergangs am Horizont im Jahrestakt. Das lässt sich „live“ bereits im Abstand von zwei oder drei Tagen gut beobachten (im Zweifel hilft „Stellarium“). Viele prähistorische Steinsetzungen, am prominentesten sicherlich Stonehenge, markieren die Extrempunkte des Sonnenauf- bzw. -untergangs. Auch hierbei gilt: im Prinzip reicht es tatsächlich, den zeitlichen Abstand zweier Extremwerte zu bestimmen. Die Schwierigkeit ist aber erneut, dass sich in der Nähe der Sonnenwenden die Deklination der Sonnen und damit auch ihr Auf- bzw. Untergangsort nur sehr wenig ändert; das führt zu Exaktheitsproblemen. Messtechnisch geeigneter ist also der Auf- bzw. Untergangsort, der in der Mitte der Extremwerte liegt (genau im Osten bzw. Westen) und von der Sonne zu Frühlings- bzw. Herbstanfang erreicht wird. Jetzt haben wir den Vorteil, dass sich in dieser Phase des Jahres die Deklination der Sonne von Tag zu Tag stark ändert, so dass sich auch die Auf- bzw. Untergangsorte der Sonne deutlich verschieben. Das spricht zunächst für die Chance auf eine ziemlich exakte Messung.

³⁹ Interessierte Schüler(innen) könnten sich hier in die Unterscheidung von tropischem, siderischem und anomalistischem Jahr einarbeiten.

Zwei Phänomene machen uns aber einen „Strich durch die Rechnung“. Zum einen führt die Lichtbrechung der Atmosphäre dazu, dass die Sonne angehoben erscheint und wir sie früher und auch an anderer Stelle des Horizontes auf- bzw. untergehen sehen, als sie das (ohne Atmosphäre) tun würde. Zum anderen ist der Vorteil, dass sich im Frühling und Herbst die Deklination der Sonne stark ändert, gleichzeitig ein Nachteil. Denn die Änderung geht so schnell von statten, dass die Sonne nur dann wirklich genau im Osten aufgehen würde, wenn der Moment des Sonnenaufgangs und der des Überschreitens des Himmelsäquators (Deklination der Sonne = 0°) zusammenfallen. Das ist jedoch höchst unwahrscheinlich. Und selbst wenn das so ist, hat sich die Sonne im Laufe der 12 Stunden dieses Tages bereits wieder um 0,2° vom Himmelsäquator entfernt, was in einer geografischen Breite von 60° dazu führt, dass sie 0,4° vom Westpunkt entfernt untergeht; das entspricht ungefähr ihrem eigenen Durchmesser, stellt also einen erheblichen Messfehler dar!⁴⁰ So ist es also, selbst wenn man das Problem der atmosphärischen Refraktion vernachlässigt, sehr unwahrscheinlich, dass es einen Tag im Jahr gibt, an dem die Sonne genau im Osten auf- oder im Westen untergeht; dass dies, anders als man landläufig annimmt, am 21. 03. und am 23. 09. zugleich geschieht, ist sogar unmöglich!

Auch das Verhältnis von Tag- zu Nachtlänge schwankt im Takt des Jahres. Man könnte sowohl den kürzesten/längsten Tag als auch die Tag- und Nachtgleichen als Referenzpunkte benutzen. Beide Ideen führen aber zu keinem besonders exakten Ergebnis. Denn die Bestimmung der Tag- und Nachtlängen muss wieder über die Momente des Sonnenauf- und untergangs erfolgen. Erneut behindern uns die Effekte der atmosphärischen Refraktion sowie die kontinuierliche Veränderung der Sonnendeklination. Sucht man die Solstitien, ändert sich die Tageslänge zu wenig, um den kürzesten/längsten Tag eindeutig identifizieren zu können. Will man den Tag des Frühlings- bzw. Herbstbeginns finden, ändert sich die Deklination dagegen zu stark, als dass man den Tag treffsicher finden könnte.



Man könnte im Übrigen auch die Form der Schattenkurve wählen, um bestimmte Tage im Jahr zu identifizieren. Im Sommer ist die Schattenkurve zum Schattenwerfer hin gekrümmt, bei Tag- und Nachtgleiche stellt sie (ungefähr) eine Gerade dar, während sie im Winter vom Schattengeber weg gekrümmt ist. Obwohl diese Methode im Prinzip zum Ziel führt, macht uns erneut die stetig sich ändernde Deklination der Sonne zu schaffen.

Abbildung 9: Form der Schattenkurve in Abhängigkeit von der Jahreszeit.

Schon viele Jahrhunderte vor Christus wurde in der antiken Welt eine Methode verwandt, die ein recht treffsicheres und wenig aufwändiges Verfahren zur Bestimmung ausgezeichneter Tage im Jahr darstellt: man benutzte die sogenannten Sternphasen, die den erst- bzw. letztmaligen sichtbaren Auf- bzw. Untergang eines Sterns vor oder nach einer gewissen Unsichtbarkeitsspanne bezeichnet. Bereits Hesiod beschrieb um 700 v.Chr. in „Werke und Tage“, wie man anhand von Sternphasenerscheinungen die richtigen Zeitpunkte für Aussaat, Ernte, Seefahrt etc. finden kann. Dabei fanden vor allem die Plejaden, Arkturus, Sirius, Orion und die Hyaden als Zeitsterne bzw. -sternbilder Verwendung.

⁴⁰ Vgl. Makowezki, P.W.: Schau den Dingen auf den Grund. Frankfurt a.M. 1988, S. 11ff.

Die nachfolgende Tabelle stellt die vier möglichen Sternphasen zusammen, von denen die beiden ersten (heliakischer Auf- bzw. Untergang) für vorgeschichtliche und antike Astronomen offensichtlich eine besondere Rolle gespielt haben.

Sternphase	vereinfachte Definition	Lage von Sonne und Stern
heliakischer Aufgang oder Morgenaufgang oder Morgenerst	Erstmaliger sichtbarer Aufgang nach längerer Unsichtbarkeitsspanne in der Morgendämmerung	Sonne etwas unterhalb des Osthorizontes, Stern etwas über dem Osthorizont
heliakischer Untergang oder Abenduntergang oder Abendletzt	Letztmaliger sichtbarer Untergang vor längerer Unsichtbarkeit in der Abenddämmerung	Sonne etwas unterhalb des Westhorizontes; Stern etwas über dem Westhorizont
achronichischer Aufgang oder Abendaufgang oder Abendletzt	Erstmaliger sichtbarer Aufgang in der Abenddämmerung	Sonne etwas unterhalb des Westhorizontes; Stern etwas über dem Osthorizont
achronichischer Untergang oder Morgenuntergang oder Morgenletzt	Letztmaliger sichtbarer Untergang in der Morgendämmerung	Sonne etwas unterhalb des Osthorizontes; Stern etwas über dem Westhorizont

Abbildung 10: Definition der Sternphasen (Quelle: Steinrücken, B.: Die Sternphasen der Plejaden in der Bronzezeit).

Zunächst ist es wichtig, dass die Schüler(innen) sich ein Verständnis dafür erarbeiten, um was es sich bei den Sternphasen eigentlich handelt. Dies sollte erst unter freiem Himmel geschehen, dann aber intensiv mit „Stellarium“ nachgearbeitet und vertieft werden. Dabei gilt es zu beobachten, dass die „Wanderung“ der Sonne durch die Ekliptik dazu führt, dass die Sternbilder, wenn man nachts immer zur gleichen Uhrzeit (zum Beispiel um Mitternacht) an den Himmel schaut, im Laufe der Tage, Wochen und Monate von Osten nach Westen wandern.⁴¹

Regelmäßig werden im Osten nach Sonnenuntergang neue Sterne (und Sternbilder) zum ersten Mal sichtbar (vgl. achronichischer Aufgang), andere, die man vorher u.U. monatelang nachts beobachten konnte, sind irgendwann bei Sonnenuntergang in der westlichen Dämmerung einfach nicht mehr auszumachen (vgl. heliakischer Untergang). Entsprechendes gilt für Beobachtungen kurz vor Sonnenaufgang. Dann kann man den heliakischen Aufgang (erstmalige Sichtbarkeit im Osten) und den achronichischen Untergang (letztmalige Sichtbarkeit im Westen) beobachten. Vertieft man dies mit Hilfe von „Stellarium“, wird deutlich, dass es Sterne bzw. Sternbilder gibt, die man phasenweise nachts überhaupt nicht sehen kann, weil sie sich zu nahe an der Ekliptik befinden und somit an bestimmten Tagen/Wochen des Jahres permanent von der Sonne überstrahlt werden. Neben den 12 Tierkreisbildern kann man dieses Phänomen aber (in deutlicher Abhängigkeit von der geografischen Breite des Beobachtungsortes) noch bei diversen anderen Sternen/Sternbildern beobachten.⁴² Die heute noch gebräuchliche Bezeichnung „Hundstage“ für die Sommertage zwischen dem 23. 07. und dem 23. 08. hat mit dem heliakischen Aufgang des Sternbildes Großer Hund zu tun.

⁴¹ Das führt dazu, dass wir in bestimmten Jahreszeiten nur ganz bestimmte Sternbilder sehen können und andere nicht. Man spricht auch von Jahreszeitensternbildern.

⁴² Für die Ägypter spielte hinsichtlich der Zeitpunkte von Aussaat bzw. Ernte insbesondere der heliakische Aufgang des Sirius eine besondere Rolle.

Versucht man nun mit Hilfe von „Stellarium“ die Zeitdauer eines einzigen Jahres als Spanne zwischen zwei heliakischen Aufgängen z.B. des Sirius zu bestimmen, wird man wenig präzise Ergebnisse erhalten. Diese Methode macht erst dann Sinn, wenn man den heliakischen Aufgang eines Sterns über viele Jahre, am besten Jahrzehnte oder Jahrhunderte beobachtet. Erst dann sind die Nachkommastellen der Jahreslänge messbar und nur so erklärt sich, dass die Babylonier vor 3½ Jahrtausenden dem Literaturwert für das siderische Jahr immerhin auf 4½ Minuten nahe gekommen sind.⁴³ Da man Auf- bzw. Untergänge von Gestirnen beobachtet, spielen hier allerdings erneut Brechungsvorgänge der Atmosphäre eine nicht unerhebliche Rolle, die die Genauigkeit der Messung beeinträchtigen⁴⁴.

Achtung: In der Praxis wartet hier im Umgang mit „Stellarium“ eine „Falle“ auf die Schüler(innen). Es macht nämlich keinen Sinn, den heliakischen Aufgang z.B. des Sirius auf dem Bildschirm einzustellen und dann einfach die Jahreszahl weiter zu klicken. „Stellarium“ orientiert sich selbstverständlich an unserem Gregorianischen Kalender, fügt also regelmäßig Schalttage ein. Genau das aber ist für unsere Beobachtungsreihe unerwünscht. Man muss also die Zeitspanne in Tage umrechnen und dabei alle von „Stellarium“ eingefügten Schalttage berücksichtigen. Erst dann erhält man ein vernünftiges Ergebnis.

Beispiel: Schaltet man (zugegebenermaßen unrealistischer Weise) den störenden Einfluss der Atmosphäre aus, kann man (bei Horizonteinstellung „Ocean“) am geografischen Ort Marburg/Hessen am 14. 08. 2012 einen heliakischen Aufgang von Sirius beobachten. Die gleiche Konstellation ist dann z.B. 2061 (wieder am 14. 08.) anzutreffen. Das führt bei 49 x 365 Tagen plus 12 Schalttagen zu einer rechnerischen Jahreslänge von $17897/49 = 365,2449$ Tagen, was sich nur etwa 4 Minuten vom Literaturwert für die Dauer des siderischen Jahres unterscheidet.



Abbildung 11: Heliakischer Aufgang des Sirius.

Es folgt noch eine letzte Variante die Jahreslänge zu bestimmen, diesmal unter Zuhilfenahme des Mondes und der Sonne. Es ist ja eine Methode gesucht, anhand derer man den genauen Ort der Sonne auf der scheinbaren Himmelskuppel bestimmen kann; das geht auch mit Hilfe des Mondes. Wenn dieser sich z.B. in der recht gut identifizierbaren Phase des zunehmenden Halbmondes befindet, weiß man, dass sich die Sonne gerade 90° weiter westlich auf der Ekliptik befindet. Man muss also eine Halbmondsituation in einem charakteristischen Sternumfeld finden und über die Jahresweilerschaltung bei „Stellarium“ so lange in die Zukunft blicken, bis erneut Halbmond ist, und zwar an der gleichen Stelle des Tierkreisbandes – dann weiß man, dass auch die Sonne wieder an der gleichen Stelle der Ekliptik steht. Nachteilig machen sich hier natürlich die vielen Unregelmäßigkeiten im Lauf des Mondes bemerkbar, die nur durch einen möglichst großen Abstand der beiden Zeitpunkte klein zu halten sind.

⁴³ Vgl. Becker, F.: Geschichte der Astronomie. Mannheim u.a. 1980 (4. Aufl.), S. 10.

⁴⁴ Vgl. Steinrück, B.: Die Sternphasen der Plejaden in der Bronzezeit. Zur theoretischen Berechnung und kalendarischen Verwendbarkeit von Sternphasen. Download über die Homepage der Westfälischen Volkssternwarte Recklinghausen.

Beispiel: Am 08. 10. 2012 sieht man etwa um 9:40 Uhr in Marburg einen zunehmenden Halbmond zwischen den Beinen des linken Zwillingss Pollux. Praktisch die gleiche Situation ist am 07. 10. 2050 um 19:42 Uhr und am 07.10.2069 um 13:45 Uhr zu beobachten. Die Betrachtung des ersten Zeitraumes führt mit $[(365 \times 38) \text{ Tage} + 9 \text{ Schalttage} - 1 \text{ Tag} + 0,4 \text{ Tage}] / 38$ zu einer Jahreslänge von 365,22 Tagen. Für den zweiten Zeitraum errechnet sich mit $[(365 \times 57) \text{ Tage} + 14 \text{ Schalttage} - 1 \text{ Tag} + 0,17 \text{ Tage}] / 57$ eine Jahreslänge von 365,23 Tagen. Diese Methode ist nicht die genaueste, sicherlich aber die originellste.⁴⁵



Abbildung 12: 08.10.2012, 9:40 Uhr.



Abbildung 13: Eine fast identische Konstellation am 07.10.2069, 13:45 Uhr

3. Unterrichtliche Auswertung

Auf den zurückliegenden Seiten wurde eine Vielzahl von Ideen und Messvorschlägen zur Bestimmung kosmischer Zyklen dargestellt und hinsichtlich ihrer Praktikabilität und Genauigkeit diskutiert. Für welche Themen sich die Schüler(innen) dann in der unterrichtlichen Praxis interessieren, welche Fragen sie dabei stellen, welche Lösungswege sie einschlagen und welche Ergebnisse sie letztendlich erhalten, bleibt natürlich offen.

Am Ende einer solchen Unterrichtseinheit ist es wichtig, sich gegenseitig die eingeschlagenen Wege und erzielten Ergebnisse zu präsentieren. Entscheidend ist dabei meines Erachtens dass die Lehrkraft deutlich macht, dass auch fehlerbehaftete Methoden und das Beschreiten von Sackgassen wissenschaftlich wertvoll sind und die Forschung voranbringen. Von daher sollte sie ihre Schüler(inne)n ermutigen, auch Ideen zu präsentieren, die sich im Nachhinein(!) als Irrtum herausgestellt haben. Im Rahmen von offenem Unterricht ist auch der Weg ganz häufig das Ziel oder doch zumindest Teil des Ziels.

⁴⁵ Archäoastronomen vermuten, dass in der Bronzezeit die Beobachtung der „Dicke“ der Mondsichel in der Nähe der Plejaden für die Bestimmung des Frühlingsanfangs benutzt wurde. Womöglich hat man also bereits vor mehreren tausend Jahren den Mond quasi als „Sonnenzeiger“ benutzt. Vgl.: Hansen, R./Rink, C.: Kalender und Finsternisse – Überlegungen zur bronzezeitlichen Astronomie. In: Wolfschmidt, G. (Hg.): Prähistorische Astronomie und Ethnoastronomie. Norderstedt 2007, S. 131ff.

III. Weiterführung: Die antike Entschlüsselung des Himmels – der Mechanismus von Antikythera

Nachdem die Schüler(innen) im Rahmen der oben vorgeschlagenen Unterrichtseinheit in kleinen Gruppen an unterschiedlichen Fragestellungen gearbeitet haben, könnte man diese Einheit in eine gemeinsame Beschäftigung mit dem Mechanismus von Antikythera münden lassen. Hierbei handelt es sich um eine antike, mehr als 2000 Jahre alte „analoge Rechenmaschine mit rund 30 Zahnrädern und epizyklischen Getriebezügen (...) und einem Differenzialgetriebe, das einen Sonnen- und einen Mondkalender synchronisierte“.⁴⁶

Dieser Mechanismus bündelt die im Unterricht gewonnenen Erkenntnisse auf eindrucksvolle Weise, führt sie aber auch deutlich weiter (dieser „mechanische Kalendercomputer“ bildet nämlich zusätzlich den elliptischen Verlauf der Planeten nach, die bislang ja nicht Gegenstand der Überlegungen waren). Durch die Auseinandersetzung mit diesem brillanten Gerät⁴⁷ wächst mit Sicherheit der Respekt der Schüler(innen) vor den wissenschaftlichen, speziell astronomischen Fähigkeiten und Erkenntnissen der Antike – ein nicht zu vernachlässigendes Lernziel!

⁴⁶ Marchant, J.: Die Entschlüsselung des Himmels. Reinebeck 2011, Klappentext.

⁴⁷ Bei YouTube findet sich zum Stichwort „Antikythera“ eine Vielzahl von Beiträgen. Ausdrücklich seien die beiden englischsprachigen Videos von nature empfohlen.