

Wo genau befindet sich die Ekliptik im Tierkreisband?

Rekonstruktion der Sonnenbahn mit Schüler(inne)n der Sek I

In Bezug auf: Aktuelles am Himmel in SuW 9/2016, WIS-ID: 1285882

Dr. Daniel Ahrens

Bereits im Anfängerunterricht der Astronomie wird die Ekliptik als die scheinbare Bahn der Sonne durch die 12 Bilder des Tierkreises eingeführt; man findet sie leicht auf jeder Sternkarte. Nur: Wie kommt sie da eigentlich drauf?

Während man die Bahnen des Mondes und der Planeten durch die Sternbilderwelt Nacht für Nacht verfolgen kann (und so das Tierkreisband sichtbar wird), ist es naturgemäß am Taghimmel zu hell, um wahrzunehmen, an welcher Stelle der scheinbaren Himmelskugel sich die Sonne gerade befindet.

Wie entdeckte die Menschheit die Ekliptik und wie kann man sie mit SuS nachentdecken? Wie lässt sich auf indirekte Weise die Jahresbahn der Sonne rekonstruieren?

In diesem Beitrag werden zwei an den Phänomenen orientierte Möglichkeiten für himmelskundliche Anfänger(innen) beschrieben. Dabei kommt u.a. die Planetariumssoftware *stellarium* zum Einsatz.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Physik	Mechanik	Himmelsmechanik
Astronomie	Positionsastronomie	Elementare Himmelskunde, Ekliptik, Tierkreisband, Ortszeit, Zeitzonen, Zeitgleichung, Finsternisse
Fächer- verknüpfung	Physik – Geschichte	Vorgeschichtliche Astronomie, Babylonische und griechische Astronomie



Die 12 Sternbilder des Tierkreisbandes (© *stellarium*)

Inhalt

I. Vorbemerkungen

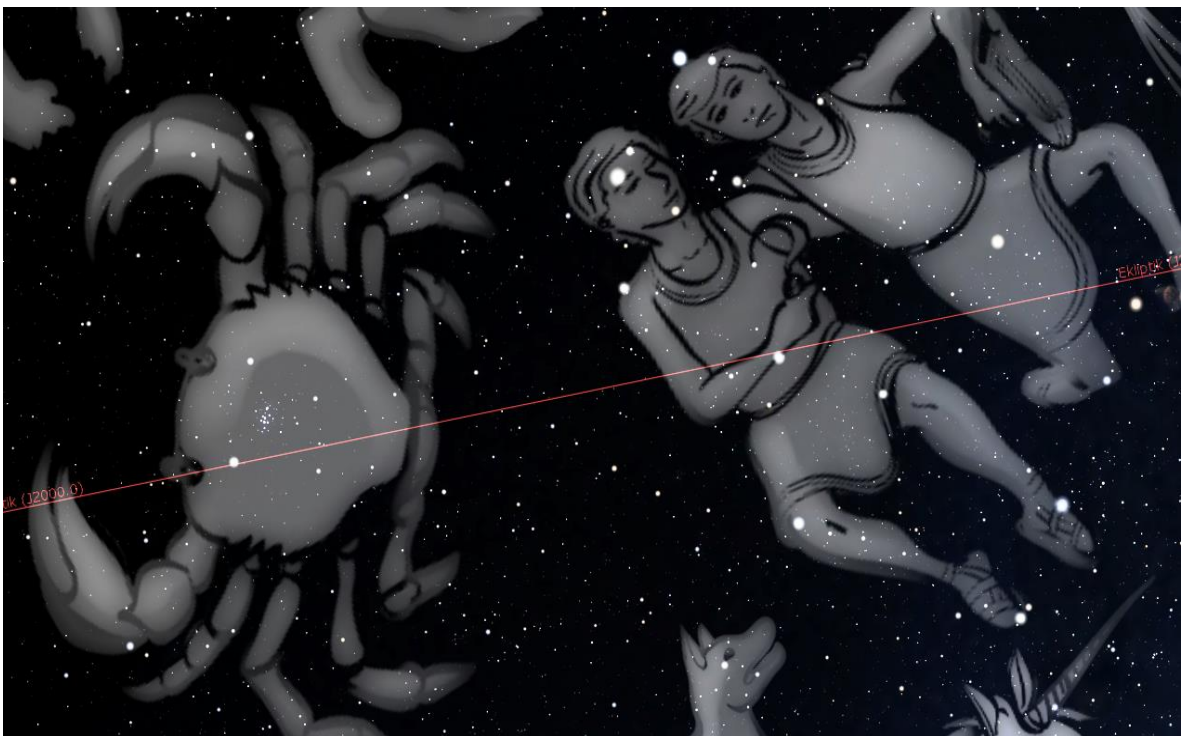
1. Fachliche Vorüberlegungen: Problemaufriss
2. Ein kurzer Blick in die Astronomiegeschichte
3. Didaktisch-methodische Vorüberlegungen: Nachentdecken

II. Rekonstruktion der Sonnenbahn mit Schüler(inne)n der Sek I

1. Nötiges Vorwissen der SuS
2. Methode A: Messung/Beobachtung im Halbjahrestakt
 - a) Idee
 - b) Auswertung
3. Methode B: Beobachtung von totalen Finsternissen
 - a) Idee
 - b) Auswertung

III. Weiterführung / Ausblick: Thematische Landkarte

IV. Literaturhinweise / Materialien



Die Tierkreisbilder Krebs und Zwillinge; in der Mitte – rot – die Ekliptik (© stellarium)

I. Vorbemerkungen

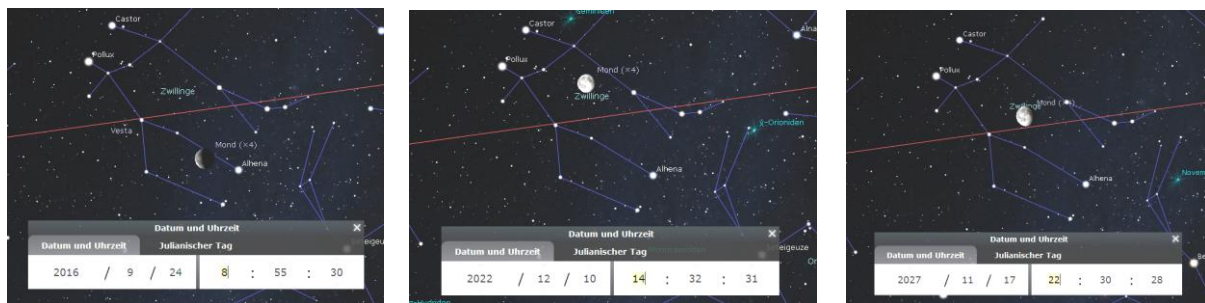
1. Fachliche Vorüberlegungen: Problemaufriss

Die Ekliptik gehört, aus Sicht des himmelskundlich Versierten, zu den völlig selbstverständlichen und alltäglichen astronomischen Begrifflichkeiten. Geht man gedanklich einen Schritt zurück, stellt man allerdings – womöglich überrascht – fest, dass es zwar vergleichsweise leicht ist, diverse klassische Himmelslinien (wie den Meridian, den Himmelsäquator, die Deklinations- bzw. Rektaszensionslinien, die Wendekreise) durch gezielte Beobachtungen (Winkel- bzw. Zeitmessungen) am Himmel zu verorten, man aber recht schnell ratlos wird, wie man den genauen Verlauf der Ekliptik eigentlich beobachten kann.

Definitionsgemäß handelt es sich bei der Ekliptik ja um die im Laufe eines Jahres von der Sonne scheinbar durchlaufene Bahn am Fixsternhimmel. Leider aber sieht man die Sonne aufgrund des hellen Taghimmels nicht vor dem Hintergrund der Fixsterne, kann also – außer bei dem höchst seltenen Ereignis einer totalen Sonnenfinsternis – ihren Ort an der scheinbaren Himmelskugel nicht ausmachen. Ein kontinuierliches Registrieren ihrer Position und die Zusammenführung dieser Orte zur Jahresbahn scheiden also erst recht aus. Eine Sichtbarmachung der Ekliptik kann demnach nur durch *indirekte* Beobachtung erfolgen; man muss sie also letztlich rekonstruieren. Fragt sich: wie???

Erste Ideen von Schüler(innen)seite könnten lauten, dass ja auch Mond und Planeten auf der Ekliptik wandern, diese also des Nachts die Ekliptik (= Sonnenbahn) an der Himmelskugel sichtbar machen.

Wenn man allerdings genau beobachtet, stellt man fest, dass der **Mond** keineswegs immer den exakt gleichen Weg durch das Tierkreisband nimmt, im Gegenteil: vergleicht man seinen Ort innerhalb eines bestimmten Tierkreisbildes, sind im Laufe der Monate und Jahre sehr deutlich Abweichungen von der Ekliptik auszumachen.¹



Der Mond (hier vergrößert dargestellt) nimmt unterschiedliche Wege durch das Tierkreisband, hier: im Sternbild Zwillinge (© stellarium)

Dass sich Ekliptik und Mondbahn unterscheiden, liegt daran, dass letztere um etwas mehr als 5° gegen die Ekliptik geneigt ist; der Mond befindet sich also während einer Runde durch das Tierkreisband (einem siderischen Monat) nur zweimal tatsächlich auf der Ekliptik. Wäre die Lage der Mondbahn stabil, würde dies immer in den gleichen beiden Tierkreisbildern stattfinden und der Mond in den anderen Tierkreisbildern dauerhaft um einen bestimmten Betrag neben der Ekliptik auftauchen. Da die Bahn aber präzediert, wandern die Schnittpunkte von Ekliptik und Mondbahn (= Mondknoten) rückwärts auf der Ekliptik, was wiederum dazu führt, dass der Mond bei jeder Runde durch das Tierkreisband einen geringfügig anderen Weg nimmt als beim letzten Mal.² Er besitzt – kurzfristig beobachtet – keine eindeutige Bahn, sondern erzeugt im Laufe von 18,6 Jahren ein etwas mehr als 10° breites Band um die Ekliptik (als deren Mitte) herum.

¹ Zwischen den Extrempositionen liegen mehr als 10° , also etwa 21 Vollmonddurchmesser!

² Würde man diese Zeitpunkte kennen, könnte man so die Ekliptik tatsächlich rekonstruieren.

Beobachtet man im Laufe der Jahre den Mond immer im gleichen Sternbild des Tierkreises, so ändert sich nicht nur im Monatstakt seine Phase, sondern man würde langfristig (im Laufe der Jahre) zunächst ein sich (relativ rasches) Entfernen des Mondes von der Ekliptik beobachten können, dann ein eher langsames sich Annähern an eine von der Ekliptik maximal entfernte Bahn“ (etwa $5,2^\circ$ in ekliptikaler Breite), anschließend ein sich erst langsames, dann immer schneller werdendes wieder Annähern an diese, bis nach etwas mehr als 9 Jahren die Ekliptik erneut erreicht ist und das ganze Spiel auf der anderen Seite der Ekliptik ein weiteres Mal beginnt. Im Laufe von 6798 Tagen = 18,61 Jahren füllen die 249 Mondbahnen also ein etwa $10,5^\circ$ breites Band um die Ekliptik. *Mondbahnband* und die *Linie* der Ekliptik unterscheiden sich also deutlich.

Da die Bahnen der **Planeten** ebenfalls (unterschiedlich stark) gegen die Ekliptik geneigt sind³, würde ein Identifizieren der Sonnenbahn mit einer der Planetenbahnen zu einem nicht unerheblichen Fehler führen.⁴ Im Übrigen wandern auch bei den Planeten die Schnittpunkte ihrer Bahnen mit der Ekliptik ebene (also die beiden Knoten der Bahnen): Unsere Planeten durchlaufen also bei jeder „Runde“ durch das Tierkreisband nicht die exakt gleiche Linie. Würde man Jahr für Jahr ihre Bahnen auf einer Sternkarte einzeichnen, ergäbe sich im Laufe der Jahrzehnte bzw. Jahrhunderte bei allen ein mehr oder weniger breites Band.

Das Tierkreisband umschließt nun alle „Bänder“, die von Mond und den Planeten. Einzig die Sonne bewegt sich dauerhaft exakt auf einer Linie, nämlich der Ekliptik.

Mond- und Planetenbahnen helfen also nur sehr bedingt weiter sie aufzuspüren.⁵

2. Ein kurzer Blick in die Astronomiegeschichte

Die Ekliptik ist ja nicht nur eine für die Theorie relevante Himmelslinie, sondern war bereits für den vorgeschichtlichen Menschen von durchaus praktischer Bedeutung. Schließlich handelt es sich um den Weg des augenfälligsten und für das alltägliche Leben wohl wichtigsten Gestirns: die Sonne. Ihr Licht und ihre Wärme sicherten dem damaligen Menschen das Überleben, und es war von entscheidender Bedeutung, Zeitpunkte für Aussaat und Ernte möglichst gut vorherbestimmen zu können. Nun sind es aber gerade die Schnittpunkte von Ekliptik und Himmelsäquator, die den Frühlings- bzw. Herbstpunkt festlegen und die somit kalendarisch von größter Relevanz sind. Auch die Zeitpunkte für Sonnenwenden waren für landwirtschaftlich geprägte Kulturen wesentlich.⁶ Es machte also Sinn, sich um den genauen Verlauf der Sonnenbahn zu bemühen. Seit wann die Menschen die Bahnen von Sonne und Mond systematisch beobachten, ist umstritten. Womöglich sind aber bereits die gigantischen Steinsetzungen des neolithischen Menschen viele tausend Jahre v.Chr. Zeugnis eines recht umfassenden Wissens über die Abläufe am Himmel. Spätestens für die Bronzezeit im 2. Jahrtausend v.Chr. muss man davon ausgehen, dass Himmelskundigen die wesentlichen Zusammenhänge z.B. zwischen Sonnenlauf und Jahreszeiten bekannt waren.⁷ Wenn dann die Babylonier zu Beginn des ersten Jahrtausends v.Chr. die Schiefe der Ekliptik und die Präzession des Frühlingspunktes maßen, wenn ihnen die Ekliptik als

³ Ihre Bahnen sind im Schnitt um $2,7^\circ$ gegen die Ekliptik geneigt; berücksichtigt man nur die fünf mit bloßem Auge sichtbaren Planeten, beträgt die Neigung im Schnitt sogar $3,2^\circ$.

⁴ Zusätzlich vollführen die Planeten – anders als die Sonne! – vor dem Hintergrund der Fixsterne merkwürdige Torkel- und Schleifenbewegungen, was ja ihren Namen erklärt (das Wort „Planet“ geht zurück auf Griechisch „planētēs, planáomai“, das auf Deutsch „umherirren, umherschweifen“ bedeutet).

⁵ Man müsste das Band der Mondbahnen aufzeichnen, bzw. ihre Schnittpunkte mit einer senkrecht zur Ekliptik stehenden Linie registrieren, und könnte dann, von kleineren Fehlern durch die vielen Unregelmäßigkeiten der Mondbahn abgesehen, die Ekliptik als die Mitte dieses Bandes rekonstruieren. Dass die antiken griechischen Astronomen die Ekliptik auch „den *Kreis durch die Mitte der Zeichen* (zodia = Tierkreiszeichen)“ (v.d. Waerden, S. 19) nannten, spricht womöglich dafür, dass dieser Gedanke bereits Tradition hat.

Das Ganze wäre aber eine Argumentation auf geometrisch-symmetrischer Basis und keinesfalls ein Beweis dafür, dass die Sonne tatsächlich diese Bahn nimmt.

⁶ Vgl. Simonyi, S. 52.

⁷ Vgl. Hamel, S. 15 ff.

Bezugspunkt für Sternkoordinaten diente⁸, wenn sie in der Lage waren, „Tafeln der Mondphasen zu berechnen und, darauf beruhend, Mondfinsternisse vorherzubestimmen“⁹, dann muss spätestens ihnen diese Linie offensichtlich in großer Exaktheit vertraut gewesen sein.¹⁰ Bleibt die Frage: Wie entdeckten sie diese?

Einfache Beobachtungen am Himmel führen zunächst sehr leicht zur Identifizierung des Tierkreisbandes. Innerhalb dieser etwa 20° breiten Zone bewegen sich Mond und alle Planeten unseres Sonnensystems. Da die Planeten und der Mond nachts gemeinsam mit den Sternen sichtbar sind, war es für den vorgeschichtlichen Menschen gut möglich, ihren Weg an der scheinbaren Himmelskugel entlang zu beobachten.¹¹ Nur funktioniert diese Methode bei unserem Tagesgestirn nicht. Dass sich die Sonne ebenfalls im Tierkreisband bewegt, wusste die Menschheit aber dennoch vermutlich schon recht früh¹², wo genau ihre Bahn aber innerhalb des Tierkreisbandes verläuft, musste erst mühsam auf indirektem Wege gefunden werden.¹³

Die verblüffende These lautet nun, dass die Menschheit die Ekliptik vermutlich kannte, bevor sie diese als Bahn der Sonne wahrnahm, nämlich als Linie derjenigen Orte, an denen totale Mondfinsternisse (und die sehr seltenen totalen Sonnenfinsternisse) zu beobachten waren. Man kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass spektakuläre Ereignisse wie totale Finsternisse sehr genau beobachtet wurden. Da diese nur beim Zusammentreffen von Sonne und Mond, also in der unmittelbaren Nähe der Mondknoten, stattfinden können, ereignen sie sich grundsätzlich sehr nahe bei der Ekliptik. Registriert man oft genug, wo genau diese totalen Finsternisse innerhalb des Tierkreisbandes stattfinden, ergibt sich eine Linie am Himmel: die Ekliptik!

Aus diesem Grund erhielt sie im Übrigen ihren Namen und heißt auch heute noch so: Der Name „Ekliptik“ ist abgeleitet vom Griechischen *ekleiptikē [trochiá]*, ‚verdeckende [Umlaufbahn]‘ (von *ekleipsis*, ‚Verlassen, Ausbleiben‘).¹⁴ Somit war die Ekliptik zwar vermutlich schon früh als prominente Himmelslinie bekannt,¹⁵ den Zusammenhang von Ekliptik und scheinbarer Jahresbahn der Sonne erkannte man aber höchstwahrscheinlich erst deutlich später.¹⁶

Zusammenfassend ist es also leicht nachzuvollziehen, dass die Menschheit durch kontinuierlich-langfristige Beobachtungen von Mond und Planeten das Tierkreisband am Himmel (er-)fand. Überraschend ist, dass sie vermutlich die Ekliptik als Linie der Finsternisse innerhalb des Tierkreisbandes entdeckte. Offen bleibt die Frage, wie sie diese Linie als die aus heutiger Sicht „scheinbare“ Bahn der Sonne vor dem Fixsternhintergrund identifizierte.

Da ich kein Naturwissenschaftshistoriker bin, möchte ich mich an dieser Stelle mit eigenen Spekulationen zu Entdeckungsmöglichkeiten zurückhalten¹⁷, wohl aber im Folgenden darüber nachdenken, wie man mit SuS die Ekliptik *nachentdecken* kann, unabhängig davon, ob es in der Geschichte der Astronomie so gewesen ist.

⁸ Anders als heute, wo uns der *Himmelsäquator* als Bezugspunkt für *Rektaszension* und *Deklination* dient.

⁹ Hamel, S. 24.

¹⁰ Vgl. Pichot, S.105.

¹¹ So ist man sich heute sicher, dass die Bahn des Mondes und ihre Variationen schon sehr früh in der Geschichte Gegenstand sehr konkreter Beobachtungen war und auch im Detail erforscht wurde.

¹² Der Abschnitt IX des babylonischen Textes ^{mul}APIN stellt ausdrücklich fest, „dass nicht nur der Mond, sondern auch die Sonne und die Planeten längs desselben Weges wandern“ (v.d.Waerden, S. 78).

¹³ Von daher ist es zwar *fachlich* korrekt, den Tierkreis als Streifen beiderseits der Ekliptik zu definieren (vgl. z.B.: Künzl, S. 12.), *historisch* ist diese Definition aber problematisch. Denn der Tierkreis ist augenfällig, die Ekliptik ist es nicht; sie musste mühsam entdeckt werden und das, wie gesagt, auf indirektem Wege. Von daher kennt die Menschheit das Tierkreisband sehr viel länger als die Ekliptik und die Definition müsste – historisch korrekter – lauten: Die Ekliptik ist eine *Linie* inmitten des Tierkreisbandes.

¹⁴ Vgl. Wikipedia: Artikel *Ekliptik*.

¹⁵ Die Linie der Ekliptik wurde lange als Wirkungskreis eines Drachen aufgefasst, der bei den Finsternisereignissen den Mond bzw. die Sonne verschlingt.

¹⁶ Vgl. Wikipedia: Artikel *Ekliptik*.

¹⁷ Denkbar wären z.B. Rekonstruktionsversuche über die Beobachtung von Sternphasen, also das gemeinsame Auf- bzw. Untergehen bestimmter Sterne mit der Sonne. Diese führen aber durch große Unsicherheiten hinsichtlich Beobachtungsbedingungen (Refraktion, Seeing) zu keinem sehr genauen Ergebnis.



Nabonid auf einem Relief bei der Anbetung der Gestirns-
gottheiten Sin, Šamaš und Ištar
(© Jona lendering (Eigenes Werk), [CC BY 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/),
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2629946>)

3. Didaktisch-methodische Vorüberlegungen: Nachentdecken

„Die Faszination der Physik kommt nicht dadurch zustande, dass sie Geheimnisse verschwinden lässt (und alte Rätsel mit Schlagworten löst), sondern dadurch, dass sie Geheimnisse vertieft (und neue Rätsel ohne Schlagworte stellt).“¹⁸

Wie wichtig Faszination für das Verständnis der Physik ist, wissen wir Physiklehrer(innen) schon lange. Und sicherlich hätten wir diesen Beruf gar nicht ergriffen, wenn in uns nicht wenigstens ein Minimum an Leidenschaft für diese Wissenschaft brennen würde. Man muss sich aber immer wieder klar machen, dass die eigene Begeisterung sicherlich hilfreich, vielleicht sogar notwendig ist, um andere damit anzustecken, sie aber eben nicht automatisch zum Ziel führt. Das Fach Physik steht auf der Liste der unbeliebtesten Schulfächer seit vielen Jahren recht unangefochten ganz oben.

In diesem Zusammenhang könnte das oben genannte Zitat von E.P. Fischer aus SuW 8/2016 einen wesentlichen Anstoß liefern. Wir sollten in unserem Unterricht Rätsel und Merkwürdigkeiten nicht vorschnell mit Schlagworten, Formeln, Denkmodellen „abschießen“, sondern im Gegenteil: Merkwürdigkeiten kultivieren, hervorheben, verstärken, anstatt sie „weg zu erklären“. Das gilt gleichermaßen für Naturphänomene wie für Erkenntnisse und Erklärungsmuster.

Es ist für Menschen jeden Alters in der Regel motivierend zu erleben, dass sich bislang für selbstverständlich gehaltene Erklärungen und Begründungen als unbrauchbar erweisen. Konfrontiert man Schüler(innen) mit Experimenten und/oder Phänomenen, die zu ihren Fehlkonzepten nicht passen, löst dies u.U. einen sehr förderlichen Denkprozess aus.¹⁹ Vor dem Verstehen kommt eben immer das eigene Denken, und das wird besonders effektiv durch ein sich Wundern, ein „hä?“, angeschoben.²⁰

¹⁸ Fischer, E.P. SuW 8 (2016); S. 47.

¹⁹ Viele SuS sind z.B. davon überzeugt, dass Metall grundsätzlich kälter ist als Plastik. Eine Messung mit dem Thermometer widerlegt diese These und hat in meinem Unterricht oft erstaunliche Denkprozesse ausgelöst.

²⁰ Pädagogische Psychologen sprechen hier von einer *kognitiven Dissonanz*.

Im vorliegenden Fall fordert die Frage, wie die Menschheit die Ekliptik entdeckte, obwohl man sie am Himmel gar nicht sehen kann, zum Denken heraus, erzeugt eine themenimmanente Sogwirkung. Fragen stellt dann nicht die Lehrkraft, sie stellen sich von selbst, aus der Sache heraus. Man muss als Lehrer(in) womöglich gar nicht künstlich motivieren, die Frage selbst schiebt das Denken an, besser: zieht Hirne in ihren Bann, erzeugt eine Sogwirkung, die vorantreibt. Man sollte im Unterricht möglichst viele Chancen nutzen, bei denen durch ein sich Wundern auch emotional Anlass zum Nachdenken gegeben wird.

Es reicht eben längst nicht aus, Sätze, Sachverhalte, Modellvorstellungen, Zusammenhänge etc. didaktisch hochgerüstet zu lehren und sie trickreich zu veranschaulichen (auch wenn das schon nicht wenig ist). „Wir müssen *verstehen* lehren. Das heißt nicht: es den Kindern nachweisen, so daß sie es zugeben müssen, ob sie es nun glauben oder nicht. Es heißt: sie einsehen lassen, wie die Menschheit auf den Gedanken kommen konnte (und *kann*), so etwas nachzuweisen, weil die Natur es ihr *anbot* (und weiter anbietet). Und wie es dann gelang und je neu gelingt.“²¹ Und genau hier haben wir diese Gelegenheit: Vertrautes wie die Ekliptik wird unvertraut, wenn man hinter die Kulisse schaut. Und das wirkt herausfordernd.

„Wiederentdecken unter Anleitung“ könnte das Motto des hier vorgeschlagenen Unterrichts sein; irgendwo angesiedelt zwischen den Extremen eines reinen Instruktivismus auf Lehrer(innen)seite, also einem zur Kenntnisnehmen (Tafelanschrieb: Unter der Ekliptik versteht man ...) auf Lernendenseite und eines radikal konstruktivistischen Ansatzes des völlig selbstständigen Entdeckenlassens (ohne Hilfen der Lehrkraft), was u.U. zum Gegenteil von Faszination und Begeisterung führt, weil oft völlig ohne Erfolgserlebnis auf Schüler(innen)seite.

So wird hier vorgeschlagen, dass die Rolle der Lehrkraft darin besteht, den merkwürdigen Sachverhalt, dass man die Ekliptik entdecken kann, ohne sie zu sehen, als Problem freizulegen und zu explorieren, um dann eine geeignete Lernumgebung zu schaffen, innerhalb derer die SuS dann weitestgehend „von der Kette gelassen“ werden, um ihnen wesentliche Erkenntnisse zu ermöglichen.²²

II. Rekonstruktion der Sonnenbahn mit Schüler(inne)n der Sek I

1. Nötiges Vorwissen der SuS

Beide nachfolgend dargestellten Methoden der Ekliptikrekonstruktion lassen sich bereits mit Grundkenntnissen der elementaren Himmelskunde realisieren. Es reicht aus, zu wissen, dass wir von einer Fixsternsphäre (mit den Sternbildern) umgeben sind, die sich – geozentrisch gesprochen – um uns herumdreht (heliozentrisch betrachtet: innerhalb derer sich die Erde dreht). Während die Fixsterne relativ zueinander fest (fixiert) sind, führen Sonne, Mond und Planeten ein „Eigenleben“. Sie sind nicht „fixiert“, sondern wandern auf einem breiten Band durch die scheinbare Umhimmelskugel. Die Sonne benötigt für eine Runde durch die Himmelskugel gerade ein Jahr.

Mehr als dieses grundlegende Wissen ist hinsichtlich der nun vorgeschlagenen Rekonstruktionsversuche der Ekliptik nicht nötig. Sind weitergehende Kenntnisse (wie z.B. Himmelskoordinaten) vorhanden, lässt sich – wie weiter unten beschrieben – bei beiden Methoden auch andere, zum Teil anspruchsvollere Wege beschreiten.

²¹ Wagenschein, S. 311.

²² Im konstruktivistischen Jargon würde man von der *Dekonstruktion* des zunächst noch selbstverständlichen Begriffes „Ekliptik“ sprechen, den es anschließend unter Zuhilfenahme von vorbereiteten Materialien nachzuentdecken, also zu *rekonstruieren* gilt.

2. Methode A: Messung/Beobachtung im Halbjahrestakt

a) Idee

Ein gelegentlich im Astronomieunterricht von Schüler(inne)n gemachter Vorschlag zur Verortung der Sonne vor dem Fixsternhimmel soll hier als erste von zwei Möglichkeiten zur Darstellung kommen. Ihr Grundgedanke lautet: Man beobachtet an einem bestimmten Tag im Jahr die Kulmination der Sonne und misst dabei sowohl ihre Höhe über dem Horizont als auch die Uhrzeit der Kulmination. Dann schaut man genau ein halbes Jahr später, wenn die Sonne sich exakt gegenüber auf der scheinbaren Himmelskugel befindet, um Mitternacht nach Süden. In der seinerzeit gemessenen Höhe blickt man dann auf *die* Stelle, an der die Sonne seinerzeit im Tierkreis stand. Das klingt in der Tat schlüssig, ist aber in der Praxis schwerer umzusetzen, als man im ersten Moment denkt. Aber genau deswegen lohnt es sich ja! Eine der Schwierigkeiten (dass die zusammen gehörenden Messungen ein halbes Jahr auseinander liegen und man ein ganzes Jahr benötigt, um die Ekliptik zu rekonstruieren) lässt sich mit dem Tool *stellarium*²³ umgehen. Mit Hilfe dieser frei erhältlichen Planetariumssoftware ist es kein Problem, sich den Himmelsanblick zu jeder gewünschten Tages- bzw. Nachtzeit und an jedem beliebigen Tag im Jahr anzeigen zu lassen. Zwar beobachten die SuS so nicht selbst am Himmel, sondern erhalten ihre Informationen aus zweiter Hand, die realitätsnahe Darstellung von *stellarium* ist aber als „Plan B“ nicht sehr weit vom echten Beobachten entfernt. Zusätzlich kann man viele hilfreiche Elemente dieser Simulation nutzen, z.B. kann man sich die azimutalen Koordinaten des angeklickten Objektes anzeigen lassen, kann also dafür sorgen, dass die Sonne tatsächlich *genau* im Süden steht (Azimut = 180°). Im Regelfalle wird das übrigens nicht um 12:00 Uhr MEZ (bzw. 13:00 Uhr MESZ) sein²⁴, was gegebenenfalls willkommener Anlass für ein sich Wundern sein könnte.²⁵

Als Beispiel diene hier der völlig willkürlich gewählte 26.02.2016 (Standort Marburg/Lahn), an dem laut *stellarium* die Sonne um 12:38 Uhr kulminiert und zwar in einer Höhe von etwa 30,5°.



Sonnenkulmination am 26.02.2016, 12:38 Uhr (© stellarium)

²³ www.stellarium.org/de/

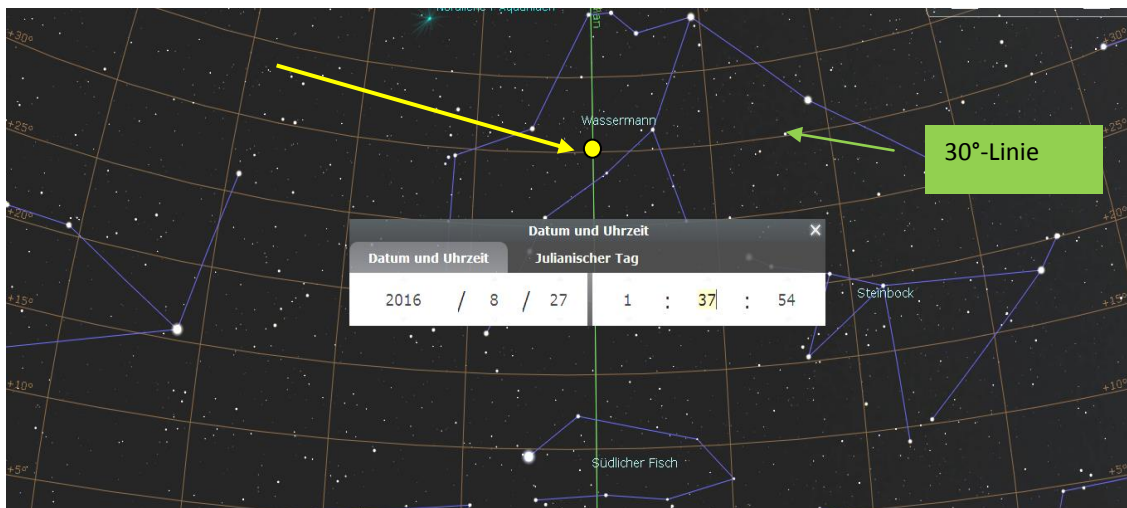
²⁴ Es sei denn, an diesem Tag heben sich die Zeitdifferenz zwischen Orts- und Zonenzeit und der Wert der Zeitgleichung gerade auf.

²⁵ Sollten die Schüler(innen) den Unterschied zwischen *Ortszeit* und *Zonenzeit* noch nicht kennen, ist diese Stelle des Unterrichts ein geschickter Moment zum Einstieg in diese Problematik. Schließlich fragt man sich, warum die Menschheit auf die Idee kam, die Mitte des Tages nicht um 12:00 Uhr, sondern zu einer sehr „schrägen“ Zeit stattfinden zu lassen. Und wieder gibt man dem sich Wundern die Chance, eine Sogwirkung zu entfalten.

Nun muss man herausfinden, an welchem Tag die Sonne genau gegenüber auf der Fixsternsphäre steht, wann also genau ein halbes Jahr vergangen ist. Die Jahreslänge von $365\frac{1}{4}$ Tagen durch 2 geteilt ergibt 182,6. Wenn man nach genau 182 Tagen im Kalender an den Himmel schaut, ist es wieder Mittag. Da man aber um Mitternacht beobachten will, muss man einen halben Tag (=12 Stunden) hinzuzählen und hat somit einen Abstand von 182,5 Tagen erreicht, was einem halben Jahr (mit 182,6 Tagen) ja schon sehr nahe kommt. Da *stellarium* um Mitternacht nicht 24:00 Uhr, sondern 0:00 Uhr notiert, muss man einen Tag weiter gehen, also den 183. Tag nach der Sonnenbeobachtung einstellen.

In unserem Beispiel gelangt man so zum 27.08.2016. Statt jetzt aber einfach um 00:00 Uhr nach Süden zu blicken, gilt es zu bedenken, dass die Sonne am 26.02. ja nicht um 12:00 Uhr, sondern 38 Minuten später kulminierte. Jetzt hängt es vom Vorwissen der SuS ab, wie man mit dieser Differenz umgeht. Um sie richtig zu interpretieren, muss man den Unterschied zwischen Zonen- und Ortszeit sowie die Zeitgleichung kennen. In Marburg ($8^{\circ}46'$ östl. Länge) beträgt der Unterschied zwischen Orts- und Zonenzeit 24,9 min; die Zeitgleichung hat am 26.02. einen Wert von 13,1 min, was sich zu einer Gesamtzeitdifferenz von 38 min addiert.

In der einfachsten Variante nimmt man die 38 min einfach zur Kenntnis und blickt am 27.08. eben nicht um Mitternacht, sondern 38 min später, also um 00:38 Uhr mit Hilfe von *stellarium* nach Süden. Dort, $30,5^{\circ}$ über dem Horizont, stand die Sonne also am 26.02., so die These. Aber Achtung: Was ist mit der Sommerzeit? Die muss ebenfalls berücksichtigt werden. Hier kann man nun trefflich mit den SuS darüber diskutieren, welches denn eigentlich die „richtige“ Zeit ist und ob man nun zur Armbanduhrzeit eine Stunde abziehen oder aber hinzuzählen muss. Wichtig: Standardmäßig ist bei *stellarium* unter „Konfiguration / Erweiterungen / Zeitzone / Konfigurieren“ die Einstellung „Systemeinstellungen benutzen“ aktiviert, so dass im Winter MEZ und im Sommer MESZ angezeigt wird. Da unsere Uhren im Sommer eine Stunde vorgestellt sind, müssen wir für den 27.08. also 01:38 Uhr MESZ einstellen, um den Himmel so zu sehen, wie er um 0:38 Uhr MEZ aussieht. Das führt nun mit Hilfe von *stellarium* zu folgendem Ergebnis hinsichtlich der Position der Sonne an der Himmelskugel für den 26.02.



Dort (gelber Punkt) müsste sich die Sonne also vor einem halben Jahr (26.02.) befunden haben (© *stellarium*)

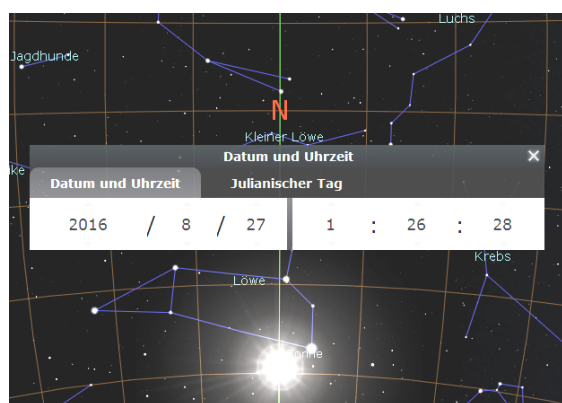
Ein anderer Vorschlag könnte (sofern die SuS die beiden Anteile der o.g. 38 min kennen) lauten, die 13,1 min durch den Zeitgleichungswert am 27.08. von nur 9,8 min zu ersetzen. Man würde jetzt also bereits um 01:35 nach Süden blicken. Und noch eine Variante ist denkbar: Womöglich werden einzel-

ne SuS mit Hilfe von *stellarium* (unter Benutzung der Taste <G>) den Boden durchsichtig machen²⁶ und beim Blick nach Norden bemerken, dass die Sonne weder um 01:38 Uhr MEZ noch um 01:35 Uhr MESZ exakt im Norden steht.²⁷ Gehen wir aber davon aus, dass wir diejenige Stelle suchen, die an der scheinbaren Himmelskugel gerade gegenüber der Sonne liegt, müssen wir die Sonne zunächst genau nach Norden bringen; so jedenfalls könnte die Argumentation lauten.



Blick nach N unter die Erdoberfläche:
die Sonne steht nicht im N (© stellarium)

Auch hier lässt man sich von *stellarium* am besten den jeweils aktuellen Azimutwert der Sonne und den Meridian anzeigen, um so die Sonne – durch Veränderung der Uhrzeit – wirklich exakt in den Norden (Azimut = 0°) zu bekommen. Das ist für die Uhrzeit 01:26 Uhr MESZ der Fall. Der Blick unter dem seinerzeit gemessenen Höhenwinkel von etwa 30° wäre aus Sicht dieser Methode der Ort der Sonne an der Himmelskugel vor genau einem halben Jahr.



Blick nach N: Jetzt ist auch die Sonne im N
(© stellarium)



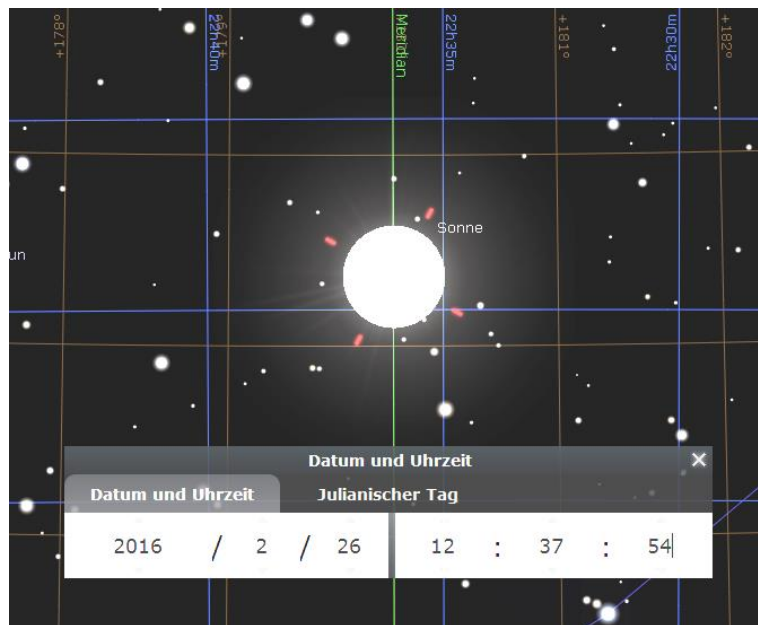
Hier (gelber Punkt) müsste die Sonne also vor einem
halben Jahr gewesen sein (© stellarium)

²⁶ In dieser Situation gehen die Möglichkeiten der Simulationssoftware offensichtlich über die des wirklichen Beobachtens hinaus, eine Chance, die es didaktisch zu nutzen gilt.

²⁷ Und dies hat nichts mit dem zehntel Tag zu tun, den wir oben zwischen 182,6 und 182,5 nicht berücksichtigt hatten. Einmal mehr könnte ein sich Wundern und deutliches „hä?“ Ausgangspunkt für Denkprozesse sein.

b) Auswertung

Unabhängig von der Vorgehensweise sollen die SuS nun den gefundenen Ort der Sonne am 26.02. in eine Sternkarte (der natürlich die Ekliptik fehlt) einzeichnen.²⁸ Das kann bei echten Anfänger(inne)n durch Lokalisierung über benachbarte Sterne erfolgen oder bei etwas fortgeschrittenen SuS über die äquatorialen Koordinaten *Rektaszension* und *Deklination*. Um diese zu erhalten, blendet man bei *stellarium* sinnvollerweise beide Koordinatensysteme ein, zoomt das Bild recht groß und liest den Wert für die Rektaszension des Meridians ab²⁹. Man bemerkt schnell, dass die auf unterschiedliche Weisen (s.o.) erhaltenen Orte für die Sonne am 26.02. zwar ungefähr, aber eben nicht exakt übereinstimmen. Das ist aber auch kein Wunder, hat man ja zu leicht unterschiedlichen Zeiten nach Süden geblickt. Dabei ergibt sich alle 4 Minuten eine Differenz von 4 min bei der Rektaszension (was 1° entspricht). Übrigens: Ermittelt man den tatsächlichen Ort der Sonne am 26.02. per *stellarium*, stellt man fest, dass dieser Wert von allen selbst ermittelten Werten (s.o.) abweicht.



Hier befand sich die Sonne tatsächlich am 26.02.2016 um 12:38 Uhr MEZ (© *stellarium*)

Wurde der Ort der Sonne für diesen einen Tag ermittelt, geht es im Folgenden in mehr oder weniger großen Schritten durch das Jahr. Man könnte die Klasse/den Kurs in 2er- oder 3er-Gruppen unterteilen und jeweils zwei Monate untersuchen lassen. Dabei reicht es aus, wenn jede Gruppe für ihren Monat die „Beobachtung“ für jeden fünften Tag (also insgesamt 12 Messungen) durchführt und einen vorbereiteten Sternkartenausschnitt einträgt.

Abschließend werden die Gruppenergebnisse zusammengeführt: Man klebt gemeinsam die 6 Sternkarten zu einer Gesamtkarte zusammen, in der sich nun auch die vermeintlich korrekte Bahn der Sonne innerhalb des Tierkreises befindet. Alternativ kann man auch mit dem Beamer eine Gesamtkarte³⁰ auf ein langes Plakat projizieren, auf das dann die SuS ihre Sonnenörter aufkleben oder aufzeichnen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass man nach Fertigstellung des Plakats (auf dem sich ja nur Punkte

²⁸ Es stehen unterschiedliche Sternkartenausschnitte zum Download zur Verfügung: einmal mit und einmal ohne Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien.

²⁹ Dabei ist wichtig, dass man bei *stellarium* die Gitternetzlinien und die Angabe der Koordinaten auf das gleiche Bezugssystem bezieht. Entweder man orientiert sich am Gradnetz für das Äquinoktium J2000 oder am Äquinoktium des jeweiligen Tages. Es ist weniger wichtig, welches man nimmt; wichtig ist aber, dass man bei beiden das gleiche System zugrunde legt!

³⁰ Steht ebenfalls zum Download bereit.

befinden, per Beamer die gleiche Sternkarte projizieren kann, jetzt aber *mit* der Ekliptik.³¹ So sieht man sehr eindrücklich, wie gut der Rekonstruktionsversuch eigentlich ist bzw. wie stark er an einzelnen Stellen von der Realität abweicht.

Arbeitet man mit Rektaszensions- und Deklinationswerten, könnten die SuS ihre „beobachteten“ Werte in eine Excel-Tabelle eintragen und sich dann mit dem frei erhältlichen Excel-Add-In *Astro-VBA*³² recht leicht in weiteren Spalten die korrekten Werte für Rektaszension und Deklination der Sonne und daraus dann die jeweiligen Differenzen zwischen beobachteten und korrekten Werten errechnen lassen.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Datum	JulDat	RA Sonne gemessen	RA Sonne berechnet	Differenz RA	DEK Sonne gemessen	DEK Sonne berechnet	Differenz DEK
3	01.01.2016	2457388,96		18:45:28			-23,0	
4	02.01.2016	2457389,96		18:49:52			-22,9	
5	03.01.2016	2457390,96		18:54:17			-22,8	
6	04.01.2016	2457391,96		18:58:41			-22,7	
7	05.01.2016	2457392,96		19:03:05			-22,6	
8	06.01.2016	2457393,96		19:07:28			-22,5	
9	07.01.2016	2457394,96		19:11:51			-22,4	
10	08.01.2016	2457395,96		19:16:14			-22,3	
11	09.01.2016	2457396,96		19:20:36			-22,1	
12	10.01.2016	2457397,96		19:24:57			-22,0	
13	11.01.2016	2457398,96		19:29:18			-21,8	
14	12.01.2016	2457399,96		19:33:38			-21,7	
15	13.01.2016	2457400,96		19:37:58			-21,5	
16	14.01.2016	2457401,96		19:42:17			-21,4	
17	15.01.2016	2457402,96		19:46:35			-21,2	
18	16.01.2016	2457403,96		19:50:53			-21,0	
19	17.01.2016	2457404,96		19:55:10			-20,8	

Excel-Sheet zur Speicherung und Weiterverarbeitung der gemessenen Werte

Von *Astro-VBA* nutzen wir hier die Funktionen *jd* (berechnet das Julianische Datum des jeweiligen Tages, was als Zwischenschritt nötig ist), *rasonne* (berechnet die Rektaszension der Sonne), *deksonne* (berechnet die Deklination der Sonne) und *WinkelformatRA* (rechnet die Rektaszension der Sonne vom Gradmaß ins Stundenmaß um). Die Rechenvorschriften für die einzelnen Spalten lauten:

B: =jd(JAHR(A3);MONAT(A3);TAG(A3);12;0;0;1)

D: =WinkelformatRA(rasonne(B3))

G: =deksonne(B3)

Die letzte Ziffer in der Funktion *jd* gibt die Zeitzone an. 1 steht dabei für MEZ, 2 für MESZ. Man muss also manuell am richtigen Tag die entsprechende Umstellung auf Sommer- bzw. Winterzeit vornehmen. Spalte D muss (benutzerdefiniert) als hh:mm:ss formatiert sein.

Weiterführend könnte man nun, z.B. durch grafische Darstellung der Differenzen zwischen gemessenen und errechneten Werten, die Fehler der einzelnen Methoden genauer untersuchen (und viel dabei lernen). Offensichtlich ist die Sonne genau ein halbes Jahr später gar nicht genau gegenüber auf der scheinbaren Himmelskugel. Für die Hälfte einer Strecke benötigt man aber doch normalerweise die halbe Zeit; zumindest, wenn man sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Tut das die Sonne (bzw. heliozentrisch gesprochen: die Erde) etwa nicht?³³ Ausgangspunkt für spannend-lehrreiche „Entdeckungsreisen“.³⁴

³¹ Steht ebenfalls zum Download bereit.

³² <http://www.astroexcel.de/vbexcel.htm>.

³³ Z.B. legt die Methode, um 01:38 Uhr an den Himmel zu schauen, die *mittlere Sonne* zugrunde (die genau 24 Std. zwischen zwei Kulminationen benötigt), geht also davon aus, dass die Sonne nach 183 Tagen auch genau

3. Methode B: Beobachtung von totalen Finsternissen

a) Idee

Der Grundgedanke der zweiten Rekonstruktionsidee setzt bei der *Benennung* der Ekliptik an. Der Begriff weist ja darauf hin, dass diese Linie etwas mit Eklipsen, also Verfinsterungen, zu tun hat.³⁵ Um die Ekliptik zu rekonstruieren, genügt es, möglichst viele Sonnen- bzw. Mondfinsternisse zu beobachten und jeweils die Orte an der Fixsternsphäre zu vermerken, an denen sie stattfinden. Da Finsternisse nur relativ selten stattfinden, ist es wenig praktikabel, selbst zu beobachten. Erneut kommt die Planetariumssoftware *stellarium* zum Einsatz. Außerdem werden nicht alle Finsternisse genutzt: Von den vier „Finsternisorten“ (den partiellen und totalen Mond- bzw. Sonnenfinsternissen) wird nur mit den totalen Mondfinsternissen gearbeitet. Das hat damit zu tun, dass *partielle Mondfinsternisse* (anders als die partiellen Sonnenfinsternisse) erstens recht weit von der Ekliptik stattfinden (der Erdschatten ist sehr viel größer als der Mond), so dass man mit dieser Finsternisorte ziemlich ungenaue Werte erhält. Im Übrigen sind partielle Mondfinsternisse in der Regel gar nicht beobachtbar, weil der Helligkeitsunterschied zwischen unbeschattetem und dem im Halbschatten der Erde befindlichen Mond für das Auge fast nicht auszumachen ist. Gegen die beide Formen der *Sonnenfinsternisse* spricht, dass ihre Beobachtung nur auf einen sehr schmalen Streifen der Erdoberfläche beschränkt ist, während Mondfinsternisse von der ganzen Erde aus zu sehen sind (vorausgesetzt, der Mond befindet sich über dem Horizont). Lassen wir für unsere Zwecke also nur totale Mondfinsternisse zu, schlagen wir zwei Fliegen mit einer Klappe. Da diese Finsternisse auch tatsächlich beobachtbar sind (und zwar unabhängig vom Beobachtungsort), nutzen wir eine Methode, die in Wirklichkeit so tatsächlich umgesetzt werden kann bzw. vor langer Zeit von einem bestimmten Observatorium aus so stattgefunden haben könnte. Durch Ausschluss der *partiellen* Mondfinsternisse werden zusätzlich unsere Ergebnisse genauer. Wenn man das Prinzip / die Idee dieser Methode verstanden hat, ist es über die Praktikabilität hinaus auch didaktisch verantwortbar, statt Beobachtungen am Himmel (es würde viele Jahrzehnte dauern) auf Listen von Finsternissen zurückzugreifen. Die NASA bietet auf ihrer *Eclipse Web Site*³⁶ eine Vielzahl von Informationen zu Finsternisereignissen der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft an.

Catalog of Lunar Eclipses: 1901 to 2000 (1901 CE to 2000 CE)

Cat Num	Calendar Date	TD of Greatest Eclipse	ΔT s	Luna Num	Saros Num	Ecl. Type	QSE	Gamma	Pen. Mag.	Um. Mag.	Phase Durations			Greatest in Zenit	
											Pen. m	Par. m	Total m	Lat.	Lr
09422	1901 May 03	18:30:38	-1	-1221	110	Nx	-t	-1.0101	1.0431	-0.0334	288.2	-	-	175	ε
09423	1901 Oct 27	15:15:18	-0	-1215	115	P	-a	0.9021	1.1841	0.2208	259.6	99.4	-	14N	1z
09424	1902 Apr 22	18:52:40	0	-1209	120	T-	pp	-0.2680	2.4002	1.3327	364.3	224.6	84.6	12S	7
09425	1902 Oct 17	06:03:26	1	-1203	125	T+	-p	0.2201	2.4514	1.4566	330.4	212.3	88.8	9N	ε
09426	1903 Apr 12	00:12:59	2	-1197	130	P	a-	0.4798	1.9877	0.9677	330.1	196.5	-	8S	
09427	1903 Oct 06	15:17:33	2	-1191	135	P	t-	-0.5280	1.9133	0.8654	337.5	193.7	-	4N	1z
09428	1904 Mar 02	03:02:34	3	-1186	102	N	-a	-1.4528	0.1748	-0.7910	110.5	-	-	6N	4
09429	1904 Mar 31	12:32:28	3	-1185	140	N	a-	1.1665	0.7036	-0.2688	214.2	-	-	3S	17
09430	1904 Sep 24	17:34:44	3	-1179	145	N	t-	-1.2837	0.5440	-0.5384	219.1	-	-	1S	ε
09431	1905 Feb 19	19:00:02	4	-1174	112	P	-a	-0.7984	1.3809	0.4049	277.2	132.1	-	11N	7
09432	1905 Aug 15	03:40:59	5	-1168	117	P	-t	0.8456	1.3259	0.2871	302.3	123.1	-	14S	ε
09433	1906 Feb 09	07:46:58	5	-1162	122	T-	-p	-0.1199	2.6507	1.6254	342.8	219.4	97.8	15N	11

Daten und Fakten zu allen Mondfinsternissen zwischen 1901 und 2000 (© Eclipse Web Site der NASA)

Nach ausführlichem Studium der Legende dieser Tabelle (*Key to Catalog of Lunar Eclipses*), lassen sich die relevanten Informationen extrahieren. Bereits dieser Prozess ist sehr lehrreich.

183 mal kulminiert hat, was aus zwei Gründen nicht stimmt: Zum einen wandert die *wahre Sonne* nicht mit konstanter Geschwindigkeit auf der Ekliptik (Grund: die elliptische Form der Erdbahn), zum anderen ist für die Tageslänge nur ihr Fortschreiten relativ zum Himmelsäquator relevant, nicht aber die auf der Ekliptik (Projektionseffekt). Die beiden Effekte haben eine unterschiedliche Periode und addieren sich phasenverschoben zur sogenannten *Zeitgleichung*, die mit ambitionierten SuS der Sek I durchaus erarbeitet werden kann. Hier bietet sich also ein themenimmanenter(!) Einstieg in diese Thematik an.

³⁴ Siehe Kapitel III: Weiterführung/Ausblick: Thematische Landkarte

³⁵ Wie bereits erwähnt, war die Ekliptik dem vor- bzw. frühgeschichtlichen Menschen höchst wahrscheinlich als Linie bekannt, auf der es zu Verfinsterungen von Sonne und Mond kommen kann, bevor dieser wusste, dass es sich auch gleichzeitig um die Jahresbahn der Sonne handelt.

³⁶ <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

b) Auswertung

Hinsichtlich der Auswertung stehen jetzt, je nach Anspruch der Lehrkraft und Vorwissen der SuS, unterschiedliche Wege offen. Man entnimmt der Tabelle das entsprechende Datum und die Uhrzeit der Finsternis und rekapituliert mit Hilfe von *stellarium* den Ort auf der scheinbaren Himmelskugel, der dann auf eine Sternkarte ohne Ekliptik eingetragen wird. Dies geschieht entweder durch Verortung der Sonne über benachbarte Sterne oder durch Übernahme der äquatorialen Koordinaten Rektaszension und Deklination der Sonne aus *stellarium*.³⁷ Man kann auch die SuS mit Hilfe von *Astro-VBA* (s.o.) die entsprechenden Himmelskoordinaten der Finsternisstellen errechnen lassen.³⁸ Die Variante über *stellarium* hat aber gerade für jüngere SuS den Vorteil, dass sie die Finsternis auch optisch „erleben“.

Letztlich wird man jedenfalls die Klasse / den Kurs in Kleingruppen einteilen und jede Gruppe für bestimmte Jahre bzw. Jahrzehnte die Orte von totalen Mondfinsternissen auf der Himmelskugel finden und diese dann auf eine große Sternkarte, der die Ekliptik fehlt, eintragen lassen. Je mehr Finsternisse vermerkt sind, desto mehr wird die *Finsternislinie*, die Linie der Eklipsen, auf der Himmelskarte deutlich.

Die dabei erreichte Genauigkeit ist etwas besser als bei der weiter oben beschriebenen Methode. Totale Mondfinsternisse spielen sich im Kernschatten der Erde ab, der mit 82,4 Bogenminuten im Mittel 2,65 mal so groß ist wie der Mond³⁹, also etwa eine (mittlere) Größe von 1,35° am Himmel einnimmt. Somit kann eine totale Mondfinsternis nicht weiter als etwa ein halbes Grad von der Ekliptik entfernt stattfinden, was etwa einem Vollmonddurchmesser entspricht.⁴⁰

Wir müssen bei dieser Methode natürlich selbstkritisch einräumen, dass wir in Wirklichkeit nur die Linie der Eklipsen, also die Ekliptik, gefunden, nicht aber bewiesen haben, dass es sich dabei auch tatsächlich um die jährliche Sonnenbahn handelt!

Eine lohnenswerte Weiterführung (z.B. im Rahmen von Hausaufgabe oder Referat) könnte darin bestehen, mit Hilfe der NASA-Daten herauszufinden, wie lange die vorgeschichtlichen Menschen wohl (totale) Mondfinsternisse beobachten mussten, bis sich ein einigermaßen geschlossenes Bild der Ekliptiklinie ergab. Dabei muss man einen bestimmten geografischen Ort zugrunde legen (sinnvollerweise einen, an dem vermutlich solche Beobachtungen auch stattgefunden haben, also z.B. Stonehenge oder die Kreisgrabenanlage in Goseck) und dann eben berücksichtigen, dass längst nicht alle totalen Mondfinsternisse auch von diesem Ort aus beobachtbar sind (die Finsternis muss ja nachts stattfinden, sonst ist sie von dem zu Grunde gelegten Ort aus nicht beobachtbar).

III. Weiterführung / Ausblick: Thematische Landkarte

Der vorliegende Unterrichtsvorschlag setzt ganz bewusst mit einer merkwürdigen und hoffentlich herausfordernden Frage ein (Wo genau befindet sich die Ekliptik im Tierkreisband?), zu deren vollständigen Beantwortung die SuS längst nicht alle nötigen Vorkenntnisse mitbringen (Himmelskoordinaten, Unterscheidung zwischen wahrer und mittlerer Sonne, Zeitgleichung, Zustandekommen von Finsternissen etc.). Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, von dem Erreichten aus in benachbarte, sich organisch anschließende Themengebiete vorzudringen. SuS machen die Erfahrung, dass ihnen grundlegendes Wissen fehlt. Nicht Lehrpläne und/oder die Lehrperson schlagen neuen Stoff vor, sondern das Thema selbst deutet es an, drängt dazu. Nur ein paar wenige Beispiele:

³⁷ Die angegebenen Werte passen nicht 100%ig zu *stellarium*; man wird also ein klein wenig herumprobieren und sich dann einigen müssen, ob man die Werte der Tabelle oder die des Finsternisanblicks bei *stellarium* zu Grunde legen will.

³⁸ Die NASA-Tabelle gibt zunächst nur die Zeitpunkte der Finsternisse an und nicht deren Koordinaten; mit ein wenig „Klickerei“ lassen sich aber auch die Koordinaten auf der NASA-Homepage eruieren.

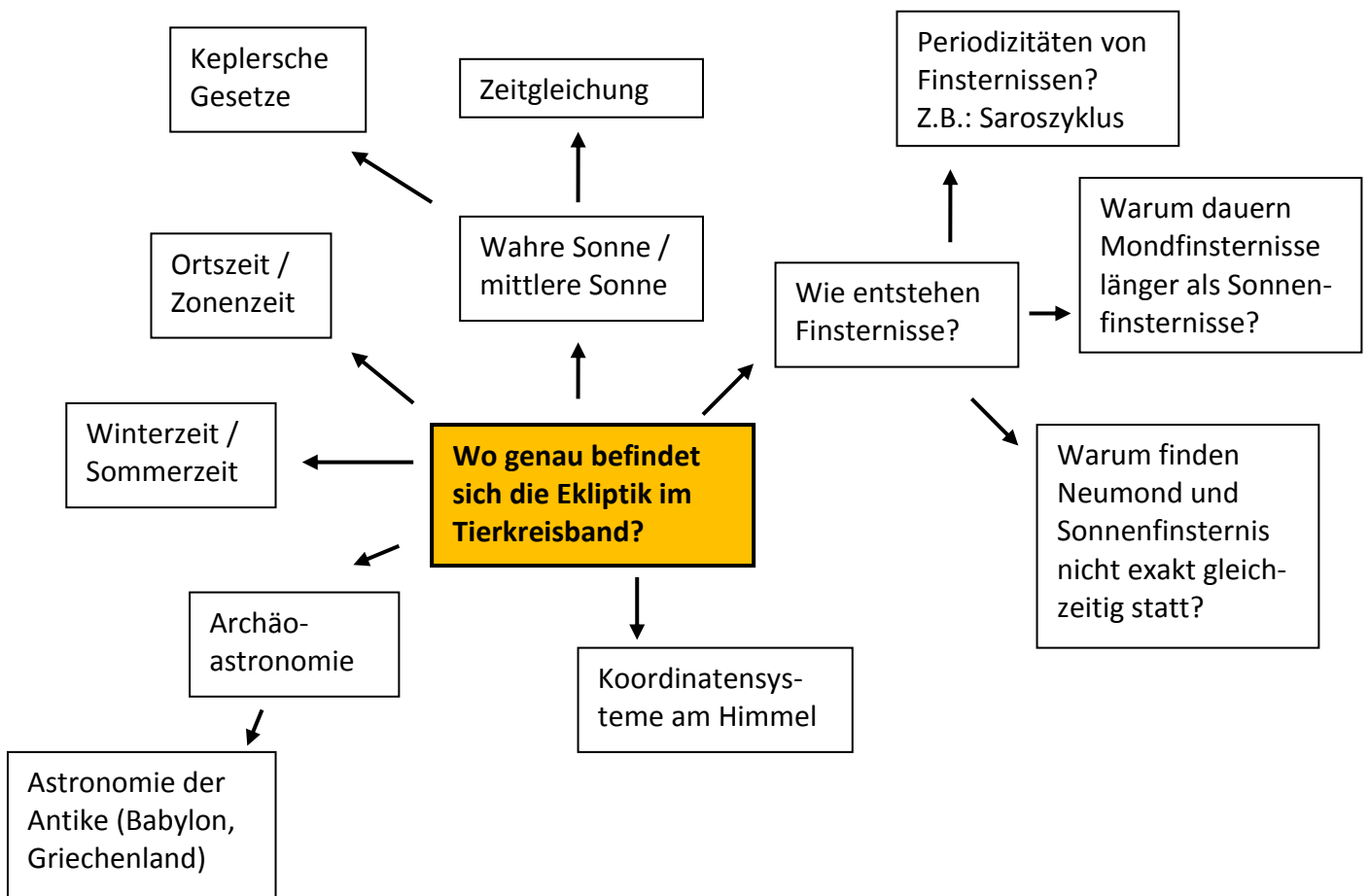
³⁹ Vgl.: Kuphal, S. 172.

⁴⁰ Da die Mondbahn aber sehr deutlich elliptisch ist, variieren scheinbare Mondgröße sowie Größe des Erdschattens in Mondentfernung recht stark.

- Wenn man gemerkt hat, dass es sehr schwer ist, den Ort der Sonne relativ zu benachbarten Fixster-
nen *genau* anzugeben, spricht vieles dafür, ein exaktes Koordinatensystem einzuführen.
- Hat man realisiert, dass die Sonne nach einem halben Jahr in der Regel nicht gegenüber auf der
Ekliptik steht, führt dies zu grundlegenden Fragen nach der exakten Dauer von Tag und Jahr und
den Gesetzmäßigkeiten des Sonnenganges.
- Wenn man über lange Zeiträume Finsternisse recherchiert, stößt man auf Periodizitäten (wie z.B.
den Saroszyklus). Wie kommen diese zustande?
- SuS könnten auch auf das den Autor faszinierende Beobachtung stoßen, dass der in Tabellenwer-
ken genannte Zeitpunkt für Voll- bzw. Neumond in der Regel nicht genau mit den Zeitpunkten der
maximalen Verfinsterung zusammenfällt. Haben wir aber nicht alle gelernt, dass Sonnenfinsternis
genau dann stattfindet, wenn der Mond sich exakt vor die Sonne geschoben hat, also Neumond ist?

Im Folgenden habe ich denkbare Anschlussmöglichkeiten zu einer thematischen Landkarte zusam-
mengestellt. Sie verschafft einen Überblick über benachbarte Fragestellungen, Themen, Phänomene
etc.

Thematische Landkarte:



VI. Literaturhinweise / Materialien

Fischer, E.P.: Über die Faszination. In: SuW 8 (2016), S. 47.

Hamel, J. (1998): Geschichte der Astronomie. Basel u.a.: Birkhäuser.

Künzl, E. (2005): Himmelsgloben und Sternkarten. Astronomie und Astrologie in Vorzeit und Altertum. Stuttgart: Theiss.

Kuphal, E. (2013): Den Mond neu entdecken. Berlin & Heidelberg: Springer.

Pichot, A. (2000): Die Geburt der Wissenschaft. Von den Babyloniern zu den frühen Griechen. Köln: Parkland.

Simonyi, K. (1990): Kulturgeschichte der Physik. Thun & Frankfurt a.M.: Harri Deutsch.

Van der Waerden, B.L. (²1980): Erwachende Wissenschaft, Bd. 2: Die Anfänge der Astronomie. Basel u.a.: Birkhäuser.

Wagenschein, M.: Die Erfahrung des Erdballs. In: Wagenschein, M. (1980): Naturphänomene sehen und verstehen – Genetische Lehrgänge. Stuttgart: Klett.

Passend zu diesem Unterrichtsvorschlag stehen als Arbeitsmaterialien für die SuS unterschiedliche Sternkarten zum Download zur Verfügung. Sie sind mit Hilfe von *stellarium* erstellt und farblich in-vertiert, so dass sie sich zum Ausdruck eignen.

- Ausschnitte mit jeweils 4h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (**ohne** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **ohne** Ekliptik)
- Ausschnitte mit jeweils 4h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (**mit** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **ohne** Ekliptik)
- Ausschnitte mit jeweils 4h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (**ohne** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **mit** Ekliptik als Lösung)
- Ausschnitte mit jeweils 4h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (**mit** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **mit** Ekliptik als Lösung)
- Ausschnitt für Beamer mit 12h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (Sommer) (**mit** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **ohne** Ekliptik)
- Ausschnitt für Beamer mit 12h Rektaszension und $\pm 30^\circ$ Deklination (Sommer) (**mit** Rektaszensions- bzw. Deklinationslinien und **mit** Ekliptik als Lösung)