

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 78 (2020)
Heft: 5

Artikel: Rätsellösung Sonnenaufgänge
Autor: Laager, Erich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1007105>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wann ist Sonnenaufgang im Osten?

Rätsellösung Sonnenaufgänge

Der Beitrag im ORION 2/2020 S. 30 bis 34 enthält in Abb. 2 zehn Fotos von Sonnenaufgängen. Wir zeigen hier, wie diese ausgewertet werden können. Beim Beschreiten des Lösungswegs gelangen wir auch auf Abzweigungen: Grafische Darstellungen zeigen die Auswirkungen der Schaltjahr-Regeln. Sodann brauchen wir die Erklärung des mathematischen Horizontes und die Definition des Sonnenaufgangs.

Sofern nicht etwas anderes vermerkt ist, gilt für alle Beobachtungen und Berechnungen mein Standort in Schwarzenburg mit den Landeskoordinaten $x = 592\ 810$, $y = 185\ 630$ oder die geographische Länge $= 7.3444^\circ = 7^\circ 20' 40''$ und die geographische Breite $= 46.8218 = 46^\circ 49' 19''$ auf einer Höhe von 810 m ü. M.

ERSTE AUSWERTUNG DER BILDSERIE OHNE SPEZIELLE HILFSMITTEL

In diesem Abschnitt beziehen wir uns auf den realen Horizont, wie ihn die Fotos in Abbildung 1 zeigen.

Vertraut ist die Tatsache, dass sich der Aufgang der Sonne im Frühling von Tag zu Tag recht schnell nach links verschiebt. Weil bei unserem Beobachtungsort der Osthorizont ziemlich gleichmässig – d.h. ohne störende Berggipfel – verläuft, sind auch die Tages-schritte von einem Aufgangsort zum nächsten recht regelmässig.

Dann kommt unerwartet ein «Sprung rückwärts», den wir beim 21. März der Jahre 2019 und 2020 feststellen. Um das zu zeigen, hätte man auch ein anderes Paar mit gleichem Datum auswählen können.

Abbildung 1: Dies ist eine Kopie von Abbildung 2 aus ORION 3/2020, Seite 31 mit Ergänzungen. Oben ist ein Foto des Morgenhimmels vor Sonnenaufgang hinzugefügt. Der dort abgebildete Horizontabschnitt stimmt mit den unteren Bildern überein. Die gelben Kreise entsprechen der scheinbaren Sonnengrösse; sie sind möglichst genau passend zu den Sonnenbildern eingefügt. Von den Zentren dieser Kreise aus laufen Linien senkrecht bis oben. Sie markieren dort die zehn Sonnenazimute. Die grünen waagrechten Strecken entsprechen sinnvoll ausgewählten Azimutdifferenzen. Diese (in Grad) ergeben zusammen mit den Streckenlängen (in mm) den Massstab für die weiteren Arbeiten.

Fotos: Erich Laager



ERSTE RÄTSELFRAGE

Im Rätsel stand die Frage: «Welches ist die Ursache für diese Unstetigkeit in der Bildreihe?».

Eine mögliche Antwort fällt einem wohl bald ein. Schuld ist der Schalttag, der 29. Februar 2020. Dieser zusätzliche Tag schiebt den Kalender ab März 2020 «nach hinten». Ohne Schalttag wäre am 21. März 2020 schon der 22. März nach Kalender 2019. Transparenter wird die Situation, wenn wir die Tage in beiden Jahren ab dem 1. Januar nummerieren. Tag Nummer 60 ist im Jahr 2019 der 1. März, im Jahr 2020 der 29. Februar. Ich habe die Bilder aus unserer Fotosammlung nach Tagesnummern geordnet und die nicht benötigten entfernt. So ergeben sich einigermaßen gleichmässige Schritte ohne «Sprung» für die Sonnenaufgangsorte der Tage 76 bis 83 (Abbildung 2).

DER MATHEMATISCHE HORIZONT ALS GRUNDLAGE FÜR WEITERE UNTERSUCHUNGEN

Die nachfolgend dargelegten Zusammenhänge beziehen sich auf den Sonnenaufgang am mathematischen Horizont. Was heisst das?

(Zu) einfach gesagt: Wir denken uns alle Hügel und Berge weg und untersuchen die Verschiebung der Sonnenaufgänge in einer absolut flachen Landschaft. Dieser Einheits-Horizont vereinfacht die Situation und ermöglicht vergleichbare Resultate. (Genaueres dazu unten im Abschnitt «Erklärungen zum mathematischen Horizont».)

DER MASSSTAB FÜR DIE FOTOS

Grundlage sind die recht genau bekannten Orte und Zeiten für die Sonnenaufgänge. Zu diesen bestimmt man rechnerisch die Azimute der Sonnenmitte.

- Grundlage sind die recht genau bekannten Orte und Zeiten für die Sonnenaufgänge. Zu diesen bestimmt man rechnerisch die Azimute der Sonnenmitte.
- In allen Fotos werden Sonnenkreise in massstäblich richtiger Grösse eingepasst.
- Die gelben senkrechten Justier-Linien übertragen die Sonnenpositionen ins oberste Feld. Dieses dient als Zeichenfläche.
- Zwischen je zwei willkürlich ausgewählten Linien bestimmt man in der Figur den Abstand in Millimetern (grüne Strecken) und berechnet dazu die Differenz der beiden Azimute.
- Streckenlänge geteilt durch Azimutdifferenz ergibt den Massstab: Wie viele Millimeter entsprechen 1° im Azimut? Der Durchschnitt der etwas streuenden Resultate dient mir als Massstab für die nächsten Arbeiten.

ZWEITE RÄTSELFRAGE: WO IST OSTEN?

Die Differenz eines berechneten Sonnenazimuts zu 90° ist der Abstand der Sonne von der Ostrichtung. Diese Anzahl Grad wird mit unserem Massstab in Millimeter umgerechnet. Die entsprechenden Strecken sind blau im unteren Teil von Abbildung 4 eingezeichnet.

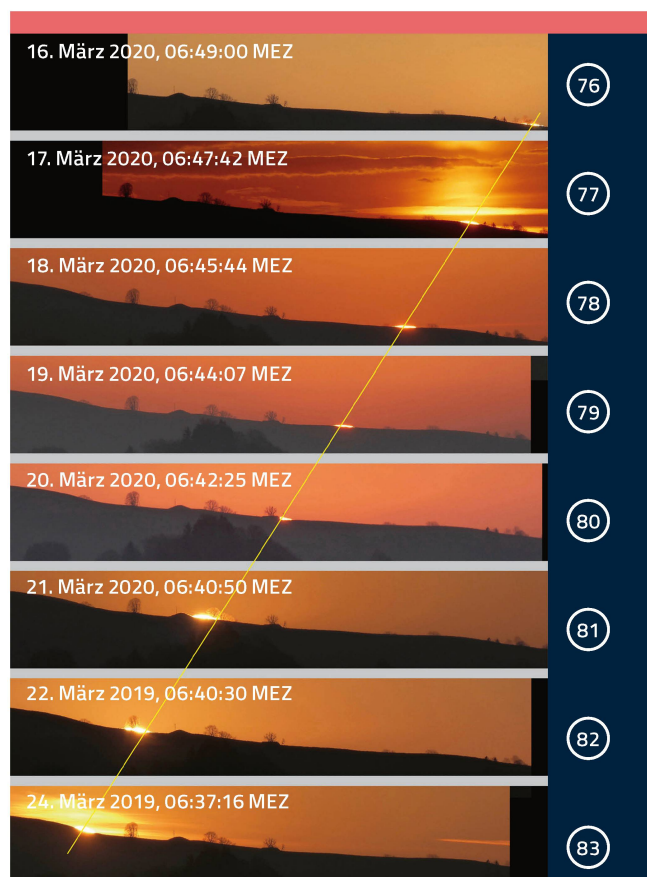


Abbildung 2: Fotos aus Abbildung 1 neu geordnet. Die Zahlen am rechten Rand sind die Tagesnummern. Zu Tag 81 gab es 3 Fotos (welche?); die überzähligen wurden entfernt. Mit dieser Darstellung wird der «Schaltjahr-Sprung» vermieden.

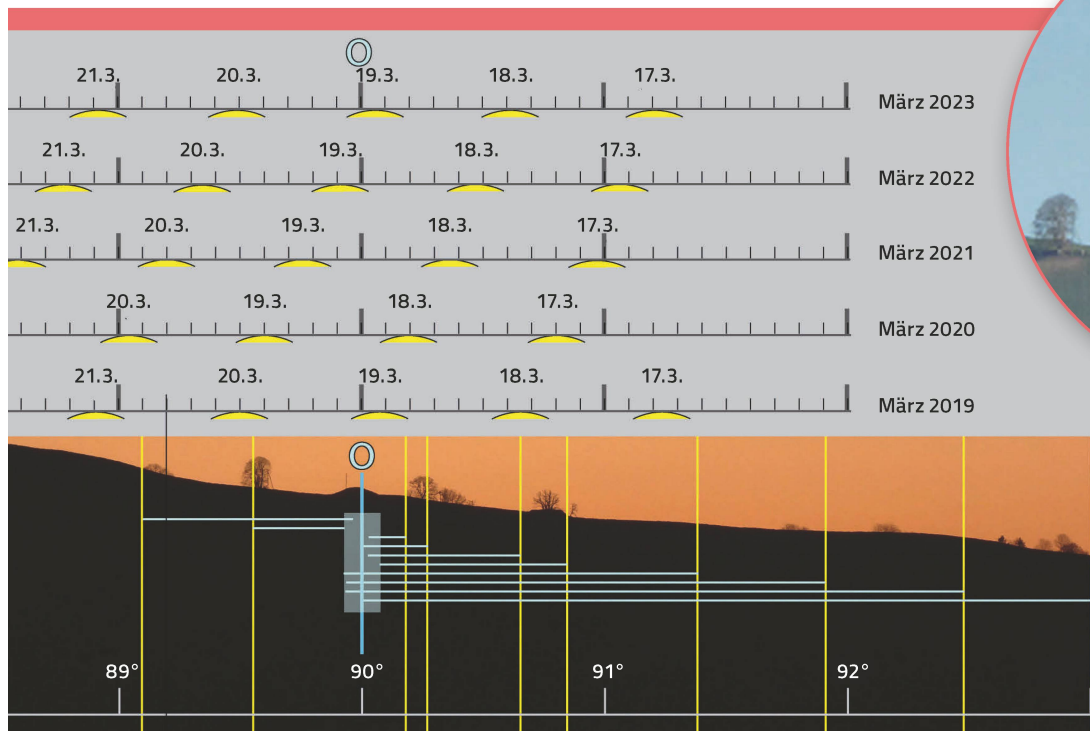
Fotos: Erich Laager

Die Enden der Strecken zeigen die so bestimmten Ostrichtungen. Wegen verschiedener Ungenauigkeiten im bisherigen Prozedere stimmen diese Richtungen nicht genau überein. Der mögliche Bereich für Osten ist mit einem blauen Streifen markiert. Dessen Symmetrieachse nehme ich als «einigermaßen plausible» Ostrichtung an.

Kontrollen geben Sicherheit: In meinem Beitrag in ORION 1/2018 (Bild auf Seite 11) wurde beschrieben, wie ich in einem grossen Panorama eine Azimutskala mit Hilfe von berechneten Richtungen zu Berggipfeln bestimmt habe. Abbildung 3 ist ein Ausschnitt aus diesem Bild. Die jetzt gefundene Ostrichtung stimmt mit der früher bestimmten erfreulich gut überein!

DIE AZIMUT-SKALA

Mit dem Massstab «Millimeter pro Grad» kann ein Lineal mit angepassten Unterteilungen gezeichnet, dieser dann passend zur Ostrichtung verschoben und beschriftet werden. Diese Skala befindet sich in Abbildung 4 zuunterst. Das graue Feld oben enthält dieselbe Skala mit Zehntelgrad-Teilung mehrfach.



Abbildungen 3 (oben rechts) und 4 (links): In einem grossen Panorama für den Sonnenlauf während des ganzen Jahres wurde die Azimutskala mit Hilfe von berechneten Richtungen zu Berggipfeln erstellt (ein Artikel dazu findet man in ORION 1/2018). Das Bild mit der Ostrichtung ist ein Ausschnitt daraus (runder Ausschnitt). Man vergleiche mit Abbildung 4. Hier ist der oberste Teil aus Abbildung 1 mit Ergänzungen abgebildet. Von den gelben Azimutmarken aus sind Strecken von berechneter Länge bis zur Ostrichtung eingetragen. Diese Strecken müssten eigentlich alle beim selben Azimut 90° enden. Das blaue Rechteck markiert den möglichen Bereich für die Ostrichtung, dessen Achse ist der beste Wert für Osten, den wir mit dieser Methode erhalten können. Mit diesen Grundlagen kann die Azimutskala berechnet werden. Man findet sie zuunterst in der Figur. Im grauen Feld sind berechnete Sonnenaufgänge am mathematischen Horizont für einige März Tage von 2019 bis 2022 eingetragen. Diese Übersicht dient als Muster für einen Zeitabschnitt von 4 Jahre Dauer. Alle Azimutskalen in der Abbildung stimmen überein.

Foto und Grafik: Erich Laager

GESETZMÄSSIGKEITEN BEIM SONNENAUFGANG

Abbildung 4 zeigt im grauen Feld oben für einige März Tage in 5 Jahren, wo die Sonne aufgeht. Von dieser ist jeweils nur das oberste Segment gezeichnet, den Horizont von unten berührend, wie beim Sonnenaufgang. Die Figur zeigt drei Dinge:

- Der Aufgangsort der Sonne verschiebt sich jeden Tag um etwa gleich viel nach links.
- Die Orte mit gleichem Datum verschieben sich von Jahr zu Jahr etwas nach rechts.
- Nach 4 Jahren sind die Orte wieder (fast) am selben Ort. Der Schalttag im Jahr 2020 hat sie «zurecht gerückt».

WANN GEHT DIE SONNE IM OSTEN AUF?

Die Aufgangsorte am natürlichen Horizont für meinen Beobachtungsort in Schwarzenburg zeigt Abbildung 1. Am besten stimmt dies am 22. März 2019 und am 21. März 2020. Wie wäre das in späteren Jahren? Um dies besser beurteilen zu können, wechseln wir zu

Untersuchungen am mathematischen Horizont. Dazu ist Abbildung 4 geeignet. Im Jahr 2019 ist der 19. März der beste «Treffer». Das sind 3 Tage vor dem beobachteten Aufgang (drittunterste Foto in Abbildung 1). Wenn wir in Abbildung 4 zu allen Daten 3 Tage addieren, erhalten wir angenähert eine brauchbare Übersicht für die realen Aufgänge. So zeigt sich: Der Sonnenaufgang ist für meinen Beobachtungsort entweder am 21. oder am 22. März am nächsten bei der Ostrichtung. Am besten stimmt es für den 22. März in den Jahren 2019, 2023, 2027, 2031 usw.

Die Situation ändert sich natürlich drastisch, sobald wir einen anderen Standort wählen, vor allem in gebirgigem Gelände, wo an vielen Orten Sonnenaufgänge sehr spät im Tageslauf oder überhaupt nicht stattfinden. Um «Aufgangs-Prognosen» zu erstellen, gibt es da viel zu berücksichtigen! – Ich wurde vor Jahren mit folgendem Anliegen beglückt: *«Am nächsten Samstag wird von Meteo ein wolkenloser Morgenhimmel versprochen. Wir möchten auf dem Gantrisch den Sonnenaufgang erleben. Kannst du uns bitte sagen, wann wir oben sein müssen.»*

Für den mathematischen Horizont dagegen sind die Berechnungen einfach zu erledigen, was mich zu einigen mathematischen Spielereien (allerdings gänzlich ohne praktischen Wert) verlockte. Der 19. März 2019 ist geeignet als Startdatum. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen: Der Aufgang an diesem Tag ist sehr nahe bei 90° (genau gerechnet bei 90.0796° , bei einer Sonnenhöhe von -13 Bogenminuten). In Abbildung 4 sieht man, dass nach 4 Jahren die Situation «praktisch gleich» ist. Die Rechnung ergibt: Aufgangs-Azimet für den 19. März 2023 = 90.0675° , Der Aufgangsort ist jetzt 0.0121° näher bei 90° . Abbildung 5 zeigt, wie diese Orte in 4 Jahres-Schritten immer weiter nach links (Norden) wandern und sich dem «Ziel Osten» immer mehr nähern. Im Jahr 2039 wird dieses mit einem Azimet von 89.998° ganz knapp überschritten. – Einen besseren Wert werden wir kaum je erhalten!

Für den Blick in die ferne Zukunft orientiere man sich im Kapitel «Berechnete Sonnenaufgangsorte veranschaulichen die Auswirkung der Schaltjahr-Regeln» weiter unten.

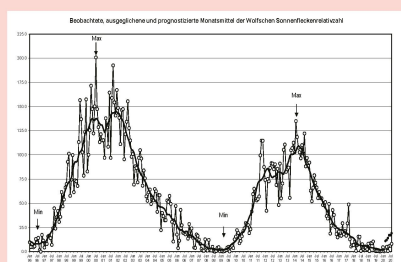
ERKLÄRUNGEN ZUM MATHEMATISCHEN HORIZONT

Man denke sich eine Ebene, welche die Erdkugel dort berührt, wo der Beobachter steht. Der Schnittkreis dieser Horizontebene mit der Himmelskugel ist der mathematische Horizont. Er gilt genau genommen nur für diesen Beobachtungsort.

Über dem Meer wird die Sonne am Horizont zu einem liegenden «Oval» verformt und nach rot verfärbt. An beidem ist die Erdatmosphäre schuld. Das Sonnenlicht wird in der Lufthülle auf dem Weg zum Beobachter gebrochen, nach unten abgelenkt. Die Sonne erscheint dem Beobachter deshalb angehoben, also zu hoch. Beim

Swiss Wolf Numbers 2020

Marcel Bissegger, Gasse 52, CH-2553 Safnern



Beobachtete, ausgeglichene und prognostizierte Monatsmittel der Wolf'schen Sonnenfleckenzahl

Juli 2020

Mittel: 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	3	0	6	4	4	12	0	0	7
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2	11	11	11	11	12	11	15	21	23

August 2020

Mittel: 9.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	19	0	12	13	16	19	12	13	13
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
13	16	15	5	2	0	2	14	19	14
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

07/2020	Name	Instrument	Beob.
	Barnes H.	Refr 76	12
	Bissegger M.	Refr 100	6
	Ekatodramis S.	Refr 120	2
	Enderli P.	Refr 102	8
	Erzinger T.	Refr 90	19
	Friedli T.	Refr 40	20
	Friedli T.	Refr 80	20
	Früh M.	Refr 300	12
	Käser J.	Refr 100	26
	Meister S.	Refr 125	15
	Menet M.	Refr 102	3
	Mutti M.	Refr 80	3
	Niklaus K.	Refr 126	2
	Schenker J.	Refr 120	13
	SIDC S.	SIDC 1	1
	Trefzger C.	Refr 125	5
	Weiss P.	Refr 82	22
	Zutter U.	Refr 90	27

08/2020	Name	Instrument	Beob.
	Barnes H.	Refr 76	13
	Bissegger M.	Refr 100	6
	Ekatodramis S.	Refr 120	8
	Enderli P.	Refr 102	4
	Erzinger T.	Refr 90	21
	Friedli T.	Refr 40	17
	Friedli T.	Refr 80	17
	Früh M.	Refr 300	26
	Käser J.	Refr 100	19
	Meister S.	Refr 125	8
	Meister S.	Refr 140	3
	Menet M.	Refr 102	5
	Schenker J.	Refr 120	12
	SIDC S.	SIDC 1	1
	Trefzger C.	Refr 125	3
	Weiss P.	Refr 82	19
	Zutter U.	Refr 90	21

Swiss Occultation Numbers 2020

Fachgruppe Sternbedeckungen SOTAS (www.occultations.ch)

Mai & Juni 2020			05/20		06/20		Positive Ereignisse			
Beobachter	Lage	ID	+	-	+	-	Asteroiden	Datum	Bed. Stern	Obs.
Sposetti St.	Arbedo	ARB	0	0	0	0	(95) Arethusa	17.05.	UCAC4 401-052016	
Meister / Schweizer	Bülach	BUE	1	2	2	1	(2) Pallas	22.06.	UCAC4 561-089839	O+
Manna A.	Cugnasco	CUG	0	0	2	1	(121) Hermione	24.06.	UCAC4 312-236048	
Kohl M.	Dürnten	DUE	0	0	0	0	(2) Pallas	22.06.	UCAC4 561-089839	O+
Sposetti St.	Gnosca	GNO	0	5	2	9	(336) Lacadiera	27.06.	TYC 5745-1897-1	
Sposetti St.	Locarno	LOC	0	0	0	1	(2) Pallas	22.06.	UCAC4 561-089839	O+
Ossola A.	Muzzano	MUZ	1	1	1	0	(264) Libussa	01.05.	UCAC4 413-059258	O+
Schenker / Käser	Schafmatt	MUZ	0	3	1	0	(2) Pallas	22.06.	UCAC4 561-089839	O+
Schweizer A.	Engelberg	ENG	0	1	0	0				
alle SOTAS Stat.			2	12	8	12				O+

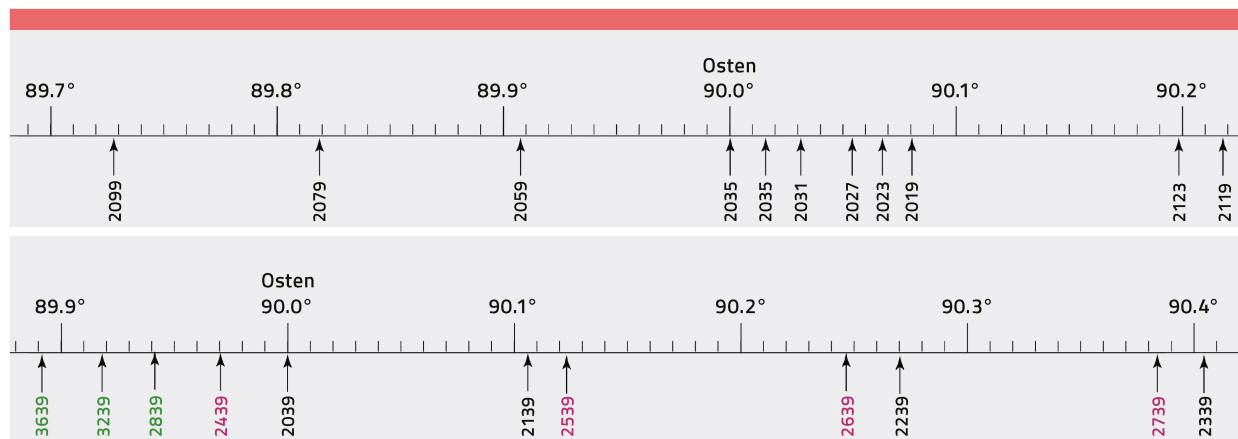


Abbildung 5 (oben): Sonnenaufgangsorte am mathematischen Horizont für Schwarzenburg jeweils am 19. März. Zeitabschnitte 4 Jahre und 100 Jahre. Die 4 Jahres-Zyklen verschieben sich nach links (2019 bis 2099), der fehlende Schalttag im 100. Jahr rückt den Kalender nach rechts (von 2019 nach 2119).

Abbildung 6 (unten): Sonnenaufgangsorte am mathematischen Horizont für Schwarzenburg jeweils am 19. März. Zeitabschnitte 100 Jahre und 400 Jahre. Die 100-Jahres-Zyklen verschieben sich nach rechts (2039 bis 2339), der zusätzliche Schalttag im 400. Jahr rückt den Kalender nach links (von 2039 nach 2439) und dann alle 400 Jahre weiter nach links (grüne Zahlen).

Grafiken: Erich Laager

«beobachteten» Sonnenaufgang am mathematischen Horizont ist die wahre Höhe des Sonnenmittelpunktes –50 Bogenminuten. Die Refraktion für diese Höhe ist 37.1', damit beträgt die scheinbare Höhe 12.9'.

ZEITPUNKT DES SONNENAUFGANGS BERECHNET

Wenn mein Astronomie-Programm angibt «Sonnenaufgang ist um 6:36:40 Uhr MEZ», dann ist in der zugehörigen Sternkarte (mit Horizont-Koordinaten) der obere Sonnenrand genau auf der Horizontlinie. Im Datenfenster zur Sonne finden wir u. a. das Azimut und den Höhenwinkel der Sonne (beide auf Zehntel-Bogensekunden genau). Die Sonnenhöhe wird für den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs mit –13 Bogenminuten (+/– wenige Bogensekunden) angegeben. Die 13 Bogenminuten entsprechen der halben Höhe der durch die Refraktion deformierten Sonne (eigentlich dem Radius der Sonnenscheibe). Für den so definierten Zeitpunkt des Sonnenaufgangs wird also der wahre Ort der Sonne verwendet, nicht der scheinbare. Für alle Grafiken mit Azimuten (Abbildungen 4 bis 6) beziehen wir uns auf diese Orte und Zeiten.

DIE SCHALTJAHR-REGELN

Die Erdrotation bestimmt die Tageslänge, der Erdumlauf um die Sonne die Jahreslänge. Beide astronomische Zyklen laufen unabhängig voneinander ab, es gibt kein gemeinsames Vielfaches der beiden Zeitdauern. Mit den drei Schaltjahr-Regeln hat man die Situation mit einer sehr guten Annäherung im Griff: 1. Ein Jahr ist ein Schaltjahr, wenn es restlos durch 4 teilbar ist. 2. Falls sich die Jahrzahl durch 100 restlos teilen lässt, ist es kein Schaltjahr. 3. Falls auch eine Teilung durch 400 ganzzahlig möglich ist, dann ist es ein Schaltjahr.

Dieses Verfahren verhindert über sehr lange Zeit, dass der Kalender durch die Jahreszeiten wandert. Erst nach 3'200 Jahren ergibt sich eine Abweichung von 1 Tag.

SCHALTJAHR-REGELN NACHGERECHNET

Die Sonne braucht für einen Umlauf bezogen auf den Frühlingspunkt 365.24219 Tage. Dies ist die Länge des tropischen Jahres.

Zur 1. Regel: 4 tropische Jahre = 1460.96876 Tage. 3 Normaljahre + 1 Schaltjahr = 1461.0 Tage. 4 Jahre im Kalender sind somit 0.03124 Tage zu lang gegenüber dem Sonnenlauf.

Zur 2. Regel: In 100 Jahren ist die Differenz 25-mal so gross, sie beträgt dann $25 \cdot 0.03124 \text{ Tage} = 0.781 \text{ Tage}$. Im 100er-Jahr wird der Schalttag weggelassen. $0.781 - 1 = -0.219$, d. h. nach 100 Jahren ist der Kalender 0.219 Tage im Rückstand.

Zur 3. Regel: In 1 Jahrhundert haben wir eine Differenz von –0.219 Tagen, in 4 Jahrhunderten ergibt das –0.876 Tage. Im 400er-Jahr wird der Schalttag nicht weggelassen, dadurch werden die 400 Jahre einen Tag länger. Die neue Differenz wird dadurch wieder positiv ($-0.876 + 1 = 0.124 \text{ Tage}$).

Nach 400 Jahren ist der Kalender dem Sonnenlauf um rund 3 Stunden voraus, das macht pro Jahr im Durchschnitt 27 Sekunden. Nach 3'200 Jahren müsste man dann irgendwann 1 Schalttag weglassen, um auch diesen Fehler noch zu beseitigen.

BERECHNETE SONNENAUFGANGSORTE VERANSCHAULICHEN DIE AUSWIRKUNG DER SCHALTJAHR-REGELN

Zu Abbildung 4 oben: Der Sonnenaufgang verschiebt sich von Tag zu Tag um etwa 0.6 Grad nach links (Norden). Der Sonnenaufgang verschiebt sich von Jahr zu Jahr um etwa 0.15 Grad

nach rechts (Süden). Nach 4 Jahren ist der «Kalender» um etwa 0,6 Grad verschoben, was ungefähr einem Tag entspricht. Der Schalttag rückt ihn zurück, ungefähr auf den Platz, wo er vor 4 Jahren war. **Zu Abbildung 5:** Die Schaltjahr-Korrektur ist ein wenig zu gross. Nach jeweils 4 Jahren (eines davon ein Schaltjahr) am selben Datum hat sich der Sonnenaufgang um etwa 1 Bogenminute nach links verschoben. Der fehlende Schalttag im Jahr 2100 lässt den «Kalender» nach rechts springen (von 2099 nach 2119). **Zu Abbildung 6:** Weil alle 100 Jahre auf den Schalttag verzichtet wird, läuft die Sonne zu weit nach rechts. In 400 Jahren wäre sie rund 0,5 Grad gewandert. Der zusätzliche Schalttag im Jahr 2400 bewirkt, dass der «Kalender» nach links springt (von 2339 auf 2439). Man vergleiche die schwarzen mit den roten Jahreszahlen. Hinweis: In Abbildung 4 und 5 sind die Abstände ungleichmässig. Dafür gibt es himmelsmechanisch keine Begründung. Meine Vermutung: Ursache sind Rundungsfehler in diesen doch recht komplexen Berechnungen. Bei den kleinsten Zeitschritten von 1 Sekunde wird das Azimut auf Zehntel-Bogensekunden genau angegeben. Da werden die letzten Ziffern nicht verlässlich sein und eine nicht vorhandene Genauigkeit vortäuschen.

SONNENAUFGANG AUF DEM SCHIFF

Naheliegende Idee: Beim ungestörten Blick auf das Meer hinaus hat man einen mathematischen Horizont. Aber auch das stimmt nicht genau: Je höher sich das Auge des Beobachters über dem Wasser befindet, desto mehr sieht er «über die Erdwölbung hinunter», desto früher kann er die Sonne erblicken.

Ich bemühe als Beispiel dazu ein riesiges Kreuzfahrtschiff (Abbildung 7). Die Bullaugen der untersten Kabinen seien 8 m, die obersten 40 m über Wasser. Der obere Teil der Grafik zeigt schematisch und massstäblich arg verzerrt die Situation für 2 Passagiere. Von oben auf dem Schiff sieht man 22 km aufs Meer hinaus (bis zum Berührungspunkt der Tangente). Die Blickrichtung ist dabei von der Horizontalen 0,2 Grad leicht abwärts gerichtet (dieser Winkel heisst Kimmtiefe). Für einen Passagier unten auf dem Schiff ist die Kimmtiefe nur 0,09 Grad.

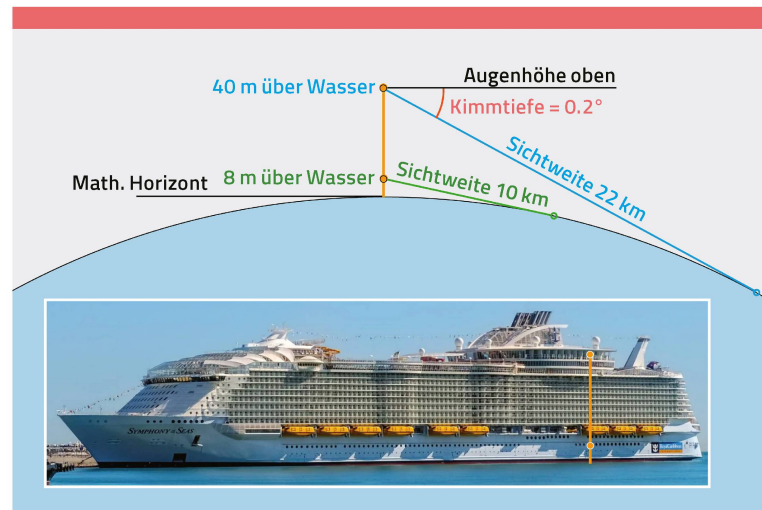


Abbildung 7: Schematische, nicht massstäbliche Darstellung zur Erklärung der Kimmtiefe. Als Zahlenbeispiel wurden zwei Höhen auf einem Schiff gewählt. Die Vorlage zu dieser Abbildung stammt aus: *Hans Roth, «Der Sternenhimmel 2014», Seite 314.* Im dortigen «Thema des Jahres» findet man viele weitere Einzelheiten zu Sonnenlauf und Jahreszeiten, welche den vorliegenden Beitrag ergänzen können.

Grafik: Erich Laager

Auswirkung: Der Passagier oben hat 33 Sekunden früher Sonnenaufgang als der Passagier unten. Und bis die Sonne die Wasseroberfläche direkt beim mathematischen Horizont bescheint, dauert es nochmals 26 Sekunden. Dies gilt auf dem Äquator am 19. März, wo die Sonne am Horizont senkrecht aufsteigt. Wäre das Schiff weiter im Norden, hätte man eine flachere Sonnenbahn im Osten, die Sonne bräucht also länger, um eine bestimmte Höhendifferenz zu überwinden.

Beispiele: Auf 65° geografischer Breite erblickt der obere Passagier die Sonne 1 min 21 s früher als der untere.

Zum Glück sind erlebnisreiche Sonnenaufgänge – verbunden mit schönen und bleibenden Erinnerungen – auch ohne lange Reisen möglich. Ich ermuntere zum frühen Aufstehen für Ausflüge zu lohnenden Aussichtspunkten. Und nehmen Sie dazu eine Finsternisbrille und eine Funkuhr oder das Handy mit... <

LARROSA

Precision Optics

Prüfung, Reinigung und Justierung von Astro-Optik
 Al-Verspiegelungs-Service bis Ø 460 mm
 Sonderanfertigungen nach Maksutov, Dilworth, u.a.
 Eigene Optikfabrikation, 100% Made in Switzerland
www.larrosa.ch