

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 76 (2018)
Heft: 1

Artikel: Es tagt, der Sonne Morgenstrahl weckt alle Kreatur : ein fotografisches Panorama für den Sonnenlauf
Autor: Laager, Erich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914006>

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: 20.07.2025

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

Es tagt, der Sonne Morgenstrahl weckt alle Kreatur

Ein fotografisches Panorama für den Sonnenlauf

■ Von Erich Laager

Ein niedriger Osthorizont beim Wohnort des Verfassers verlockt zum Fotografieren der Sonnenaufgänge über einen langen Zeitraum. Mit Hilfe der vielen Bilder werden die Sonnenpositionen in einem Panorama des nötigen Horizontabschnittes eingetragen. Es wird sodann nach Auswertungsmöglichkeiten gesucht. Dabei tauchen Fragen auf: Wie erstelle ich ein fotografisches Panorama ohne Verzerrungen? Wie finde ich den mathematischen Horizont? Wie konstruiere ich eine Gradskala für Azimut und Höhe? Wie erfasse ich die Sonnenbewegung am Horizont mathematisch?



BILD: ERICH LAAGER

Abbildung 1: Sonnenaufgang am 5. Mai 2017 um 06:20 Uhr MESZ. Die hell leuchtende Wolke verrät, wo die Sonne erscheinen wird, dann taucht sie aus dem Wald auf! Aufnahme mit Tele 400 mm, wie alle andern Fotos auch.

Der erste Sonnenstrahl ist allerdings meist zu spät, um den Verfasser wecken zu können. Dieser wartet nämlich bereits aufnahmebereit mit der Kamera vor dem Haus. Ein erster Blick aus dem Fenster Richtung Osthimmel kann unterschiedliche Situationen zeigen: Einmal lassen dicke Wolken und Regen jede Hoffnung auf einen beobachtbaren Sonnenaufgang schwinden. Anderntags zeigt sich ein klarer Himmel mit «abziehender Restbewölkung im Osten» – wie weit ist sie abgezogen bis zum Sonnenaufgang? Ab und zu hilft eine spezielle, halb durchsichtige Dunst- oder Wolken-schicht, durch welche man die

Sonne von Anfang an orange verfärbt erblickt und deren Lauf man ohne Schutz für die Augen einige Minuten lang verfolgen kann. Schliesslich die Top-Verhältnisse ohne ein Wölklein bis zum Horizont: Da wartet der Fotograf «schussbereit» – er kennt den ungefähren Aufgangsort – bis völlig unangemeldet und überraschend der erste leuchtende Punkt erscheint, der rasch anwächst und nach wenigen Sekunden bereits gleissend hell blendet. Manchmal ist jedoch der sehr helle Glanz am Horizont noch nicht die Sonne, sondern es ist Streulicht im Schneestaub über einer Bergkante oder feiner Wolkendunst.

Spezialfälle sind Sonnenaufgänge hinter einem lockeren Wald, durch dessen Unterholz hindurch man die Sonne erspähen kann (siehe Abbildung 1).

So sind meine Fotos sehr unterschiedlich ausgefallen. Ich habe diejenigen aufbewahrt, auf denen man den Sonnenaufgangsort einigermaßen sicher festlegen kann. Es sind insgesamt etwa 40 brauchbare Bilder zusammengekommen, die ich irgendwie auswerten möchte. Schon vor dreissig Jahren habe ich eine umfangreiche Serie von Sonnenaufgang-Dias gemacht und seither zum Auswerten und Zusammenstellen aufbewahrt.

GRAFIK: ERICH LAAGER

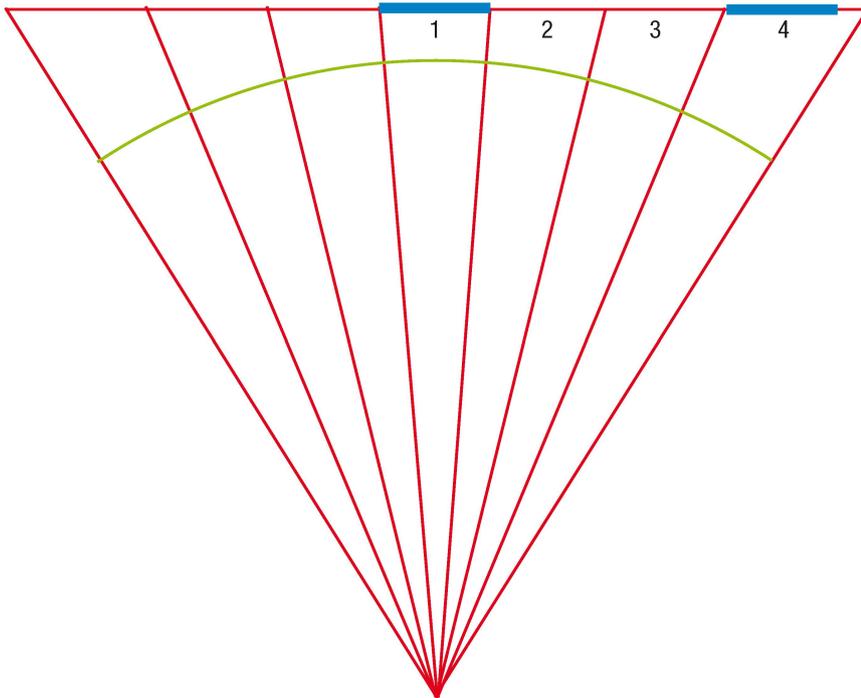


Abbildung 2: Mit einem Objektiv von 28 mm Brennweite (bezogen auf das Kleinbildformat) erfassen wir einen Winkel von etwa 63 Grad. Der grüne Bogen stellt den derart abgebildeten Geländeabschnitt dar. Dieser sei in sieben gleiche Abschnitte von je 9 Grad Breite unterteilt. Auf der Linie oben im Bild ist dargestellt, wie diese sieben Abschnitte auf der Foto abgebildet werden: Je weiter man von der Bildmitte wegrutscht, desto breiter werden die Abschnitte, welche eigentlich alle gleich gross sein sollten. Die Länge von Abschnitt 1 (blau) ist zum Vergleich in den Abschnitt 4 eingezeichnet. Dieser ist 26% länger als Abschnitt 1.

Die Dias warten noch immer auf eine Erweckung...

Nun bieten Computer-Programme wie Powerpoint und Illustrator verlockende Möglichkeiten, um Fotosammlungen zu ansprechenden Dokumenten zu verarbeiten. Unter anderem diese neuen Chancen haben mich zum Frühaufstehen und zum Geniessen «der besten Zeit des Tages» veranlasst.

Ein Panorama als «Sammelkiste»

Im Laufe der Wochen und Monate erleben wir, wie die Sonne «dem Horizont entlang wandert». Viele Bewohner im Schwarzenburgerland mit Abend-Sitzplatz wissen, bis wie weit am Jura die Sonne im Sommer gelangt und wohin sie sich in den Wintermonaten zurückzieht. Ich bin in der glücklichen Lage, von zu

Hause aus einen fast ungehinderten Blick auf den Osthorizont zu geniessen. Diesen Horizontabschnitt will ich fotografisch erfassen und hier die Wanderung der Sonne während einiger Monate dokumentieren.

Den Horizont fotografieren

Ein Panorama fotografisch abzubilden hat seine Tücken! Geländeabschnitte, die wir unter dem gleichen Winkel (waagrecht gemessen) sehen, sollten auf dem Bild auch alle gleich breit abgebildet werden. – Gelingt dies?

Es wäre verlockend, ein Weitwinkel-Objektiv zu verwenden, um von der Rundumsicht möglichst viel auf ein Bild zu bannen. Dabei hätten wir uns jedoch schon Bildverzerrungen eingehandelt: Abbildung 2 zeigt, wie stark die Bildteile am Rand verbreitert werden, wenn man ein 28 mm Weitwinkel-Okular verwendet. Beim Zusammenfügen solcher Fotos sind Schwierigkeiten unvermeidlich.

Abhilfe schafft die Verwendung eines Teleobjektivs. Es müssen dann eben wesentlich mehr Bilder aneinandergefügt werden, aber die Verzerrungen werden so vernachlässigbar klein. Dies zeigte das praktische Beispiel: Ich verwendete ein Tele mit Brennweite 400 mm (bezogen auf das Kleinbildformat 24 x 36 mm). Der erfasste Winkel beträgt in Breite 5.15° , die Breite eines der sieben Abschnitte misst 0.74° . Der 2. Abschnitt ist 0.16 Promille grösser als der 1. Abschnitt, der 4. Abschnitt nur 1.5 Promille grösser. Die Verzerrungen verschwinden nicht, sind aber für unsere Zwecke unmerkbar klein geworden.

KOMPOSIT ERICH LAAGER

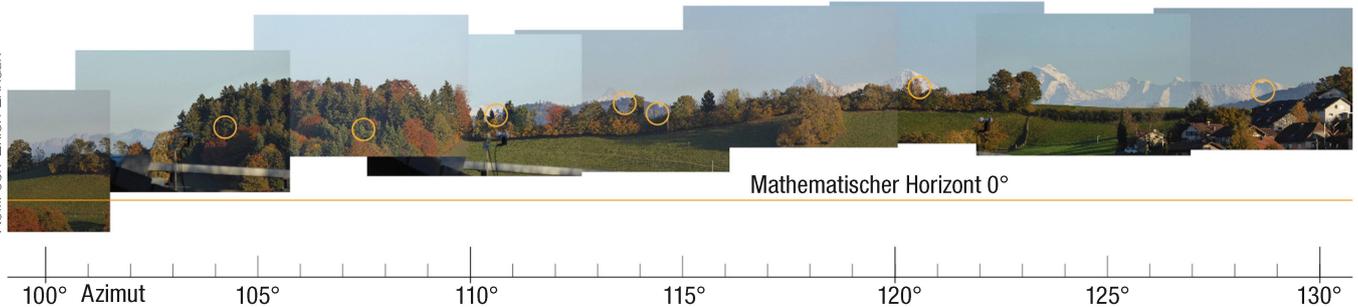


Abbildung 3: Westlicher Ausschnitt aus dem Panorama mit eingefügter Azimut-Skala (ab Norden gezählt). Eingezeichnet sind beobachtete Sonnenaufgangsorte der Monate Oktober bis Dezember, letzte Position rechts vom 20. Dezember. Die orange Linie ist der mathematische Horizont (Höhe 0°). Das ganze Panorama ist aus 30 Einzelbildern von je 15 cm Breite zusammengesetzt, es umfasst den Bereich von Azimut 45° bis 160° .

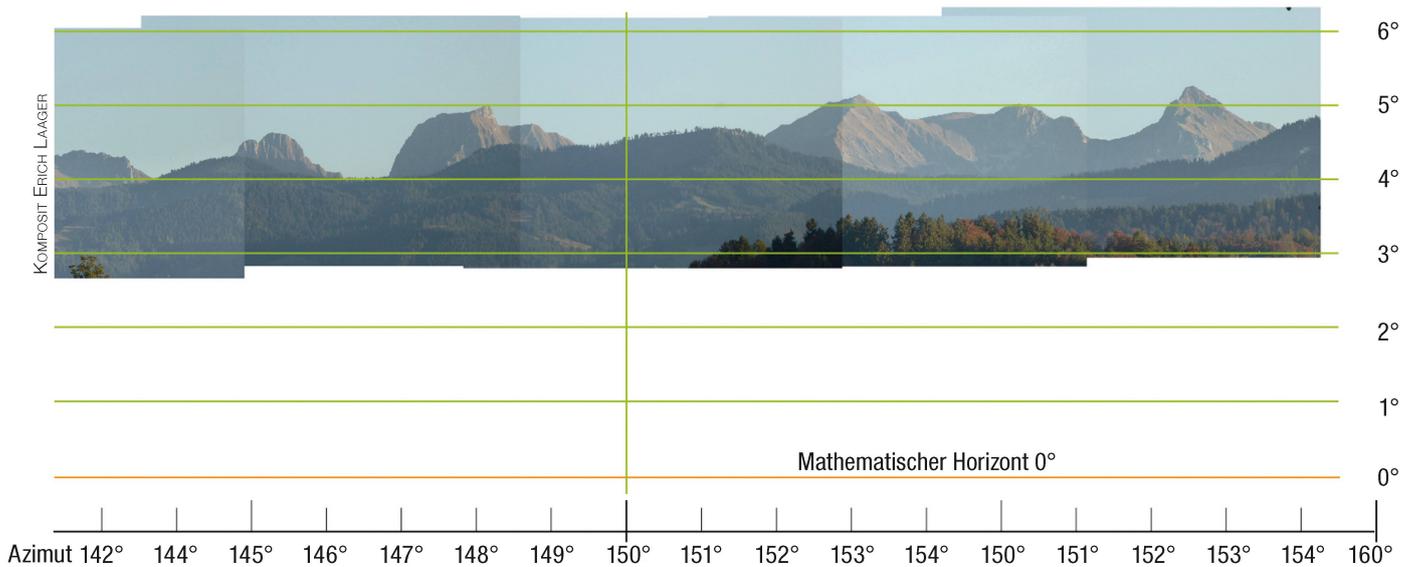


Abbildung 4: Die Gantrischkette. Dieser westlichste Teil meines Panoramas liegt ausserhalb des Sonnenaufgang-Bereichs. Von rechts nach links die Gipfel von Ochsen, Bürglen, Gantrisch (der mit der «Nase»).

Horizont und Einzelbilder sollen kompatibel sein

Um ein möglichst verzerrungsfreies Bild des ganzen benötigten Horizontes zu erhalten, mache ich eine Bildserie mit dem 400 mm-Teleobjektiv. Ich achte auf eine waagrechte Position der Kamera (seitlich, nicht in der Höhe). Die Bilder überlappen sich etwas, so dass sie korrekt aneinander/übereinander zusammengefügt werden können.

Die Originalfotos werden nicht beschnitten, aber im «Photoshop» auf eine einheitliche Breite von 15 cm kalibriert. Im Panorama entspricht dies 5.15° . Dies gilt auch für die Bilder der Sonnenaufgänge.

Dreissig Bilder ergeben meinen «Sammel-Horizont». Der ganze Horizont ist 130° breit, davon werden 80° zum Eintragen der Sonnenaufgänge verwendet.

Abbildung 3 zeigt den westlichen Abschnitt des für Sonnenaufgänge benötigten Teils. Ich habe das Panorama nach Westen erweitert, es umfasst auch die nahen Gipfel der Gantrischkette, dem Markenzeichen unseres Naturparks. Diese Berge brauche ich zum Berechnen der Azimutskala, wie weiter unten beschrieben (Abbildung 4).

Wo geht die Sonne auf?

Ich möchte die fotografierten Sonnenaufgangsorte in mein Panorama

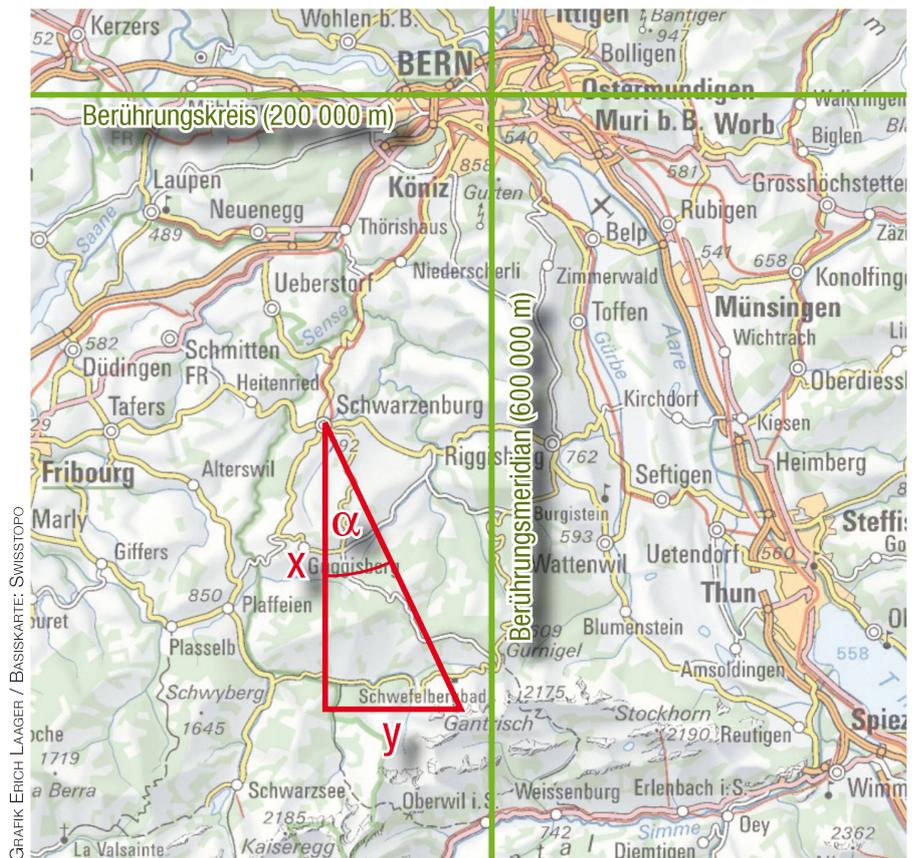


Abbildung 5: In welcher Richtung sieht man den Gantrisch von Schwarzenburg aus? Das rote Dreieck zeigt, wie man dieses Azimut mit Hilfe der Landeskoordinaten finden kann. Das Verhältnis $y : x$ ist der Tangens des gesuchten Winkels α .

Die Achsen $200\,000 / 600\,000$ des verwendeten Koordinatensystems gehen durch die ehemalige Sternwarte (resp. deren Teleskop) auf der grossen Schanze in Bern. Dort steht heute das Institut für exakte Wissenschaften u. a. mit dem Astronomischen Institut der Universität Bern.

Berührungskreis und Berührungsmidian beziehen sich auf den schräg liegenden Zylinder, auf welchen die Schweiz abgebildet wurde.

eintragen. Die einzelnen Bilder werden nach folgendem Vorgehen verwendet:

- Ein Sonnenaufgangs-Foto wird in das Panorama importiert und verschoben, bis es deckungsgleich zu den Hintergrund-Bildern liegt.
- Ein Sonnen-Kreis wird so eingefügt, dass er zur aufgehenden Sonne in das Foto passt. Dieser Sonnendurchmesser (1.58 cm) hat den gleichen Massstab wie die Bilder.
- Im Ebenen-Verzeichnis werden Foto und Sonnenkreis mit dem Datum angeschrieben.
- Das Einzelfoto wird ausgeblendet, zurück bleibt die Marke der Sonne in der Landschaft.

Auf diese Art entsteht eine übersichtliche Sammlung von Sonnenpositionen. Diese sind naturgemäss ungleich verteilt, an manchen Stellen klaffen grosse «Schlechtwetter-Lücken». (Beispiele: Die orangen Ringlein am Horizont in den Abbildungen 12, 13, 14).

Erste einfache Auswertungen

Auffällig ist, wie die Sonne zur Zeit des längsten und des kürzesten Tages fast am selben Ort verharret, im Herbst und Frühling dagegen die grössten «Tagesprünge» macht. Entsprechend erleben wir im Alltag die ungleich starken Veränderungen der Tageslängen in den verschiedenen Jahreszeiten.

Weiter möchte ich die Sonnenpositionen auch zahlenmässig erfassen können.

Dazu muss ich zunächst wissen, wie viele cm in meinen Bildern einem Winkelgrad entsprechen. Mit diesem Massstab kann ich sodann eine Skala für die Seite (Azimut) und für die Höhe erstellen.

In meinem Horizont befinden sich markante Berggipfel (Abbildung 4). Wenn ich deren Azimut kenne, habe ich erste Fixpunkte für eine waagrechte Skala im Panorama.

Das Anvisieren eines Berges mit dem Kompass liefert zwar ein angenähertes, aber für meine Zwecke zu wenig genaues Resultat. Ich möchte rechnen, jedoch wie?

Auf digitalen Karten von Swisstopo im Internet kann ich meine Beobachtungsposition und den Gipfel des Gantrichs mit Hilfe der eingblendeten Landeskoordinaten (y, x) auf wenige Meter genau finden.

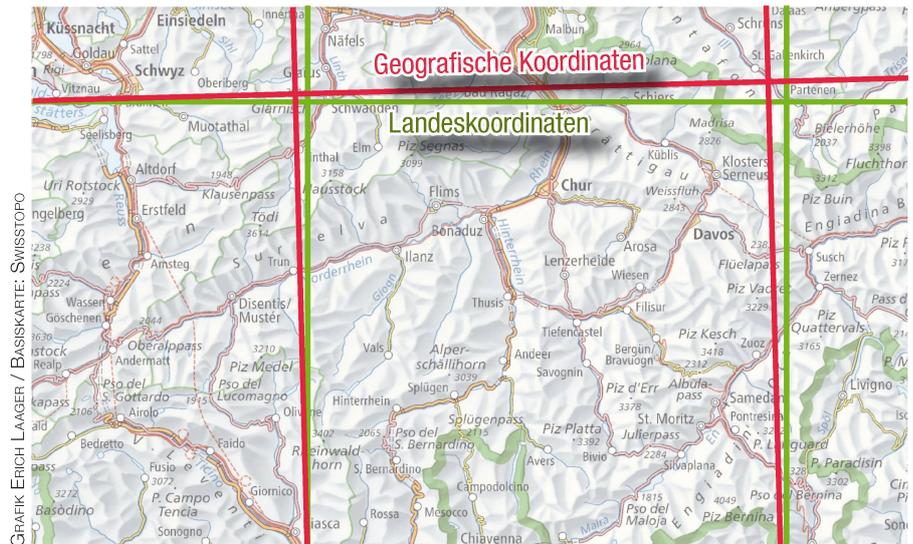


Abbildung 6: Im Osten der Schweiz zeigt sich die Differenz zwischen dem Netz der Landeskoordinaten (grün) und dem geografischen Netz mit Länge und Breite (rot) am deutlichsten. Wenn man ein Azimut bezogen auf geografisch Nord berechnen will, muss man das rot gezeichnete Netz als Grundlage benutzen.

Die Differenzen der Koordinatenwerte sind die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks, in welchem der Winkel mit Hilfe der Tangensfunktion berechnet wird. So erhält man auf recht einfache Art das Azimut (Abbildung 5). – Nun ist jedoch Vorsicht angesagt!

Das so berechnete Azimut bezieht sich auf Karten-Nord. Ist dieses auch geografisch Nord? Nein, nicht immer, nämlich nur dann, wenn die Nordrichtung im Netz der Landeskoordinaten mit der geografischen Nordrichtung (im globalen Netz von geografischer Länge und Breite) übereinstimmt. Dies gilt – ganz genau – nur für Orte mit den Landeskoordinaten $y = 600\,000$ (siehe Abbildung 5.) Je weiter man von diesem Meridian nach Westen oder Osten wegrückt, desto grösser werden die Differenzen der beiden Nordrichtungen, weil die Linien der geografischen Längengrade gegen Norden zusammen laufen (siehe Abbildung 6).

Schwarzenburg und der Gantrisch liegen recht nahe bei der 600 000er-Linie, weshalb der «eingehandelte» Fehler vernachlässigbar ist.

Ich will es jedoch genau wissen und suche nach einem generell (z. B. auch ausserhalb der Schweiz) anwendbaren mathematischen Verfahren. Dazu muss ich die sphärische Trigonometrie bemühen.

Unentbehrliche Hilfen bei Google sind der «Koordinatenumrechner (Schweiz/International)» sowie der

«Rechner für sphärische Dreiecke arndt-bruenner.de».

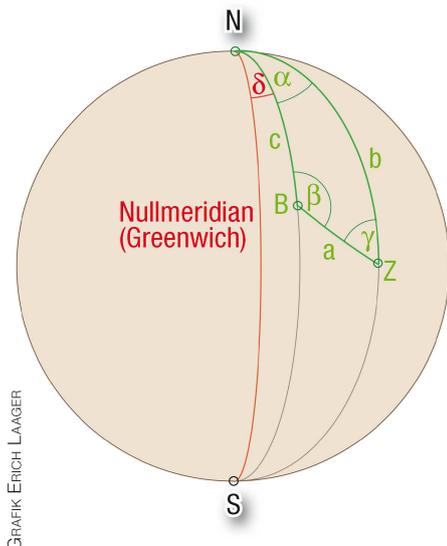
Das macht die Arbeit fast mühelos! Abbildung 7 zeigt schematisch (nicht massstäblich) das verwendete Kugeldreieck.

Rechnungen dazu in Tabelle 1. Für ein Gebiet im Oberengadin ergibt sich mit der einfachen y–x-Methode bereits ein Azimut-Fehler von 1.8°, während man in Schwarzenburg mit dieser Berechnung nur 0.0016° falsch liegt.

Dazwischen wieder eine Kontrolle: Mit dem «Atlas der Schweiz» von Swisstopo erstelle ich ein «Tele-Panorama» mit Standort Piz Kesch und Blickrichtung 166° (gemäss dem berechneten Azimut). Der Gipfel des Piz Palü erscheint wenig rechts von der Bildmitte. – Meine Azimutberechnung hat funktioniert!

Nun bestimme ich die Azimute der Gipfel von Ochsen (157.6°), Gantrisch (148.1°), Eiger (118.1°) und Schreckhorn (113.3°). Zu den verschiedenen Azimutdifferenzen (d. h. den seitlichen scheinbaren Abständen der Berggipfel) gehören im Panorama die entsprechenden Längen in cm.

Daraus kann ich je den Massstab berechnen. Die Ergebnisse liegen recht genau beieinander. Deren Durchschnittswert ist 2.92 cm/Grad oder 0.342 Grad/cm. Mit diesem Wert erstelle ich die Azimut-Skala im Panorama. Mein Panorama von 130° wird somit 380 cm lang. Der



Azimutberechnung auf zwei Arten

Tabelle 1

Beobachtungsort	Schwarzenburg	Piz Kesch	Mass
Schweizer-Koordinaten y	592'817	786'412	Meter
Schweizer-Koordinaten x	185'647	166'228	Meter
Geografische Länge	7.3445	9.8728	Grad dezimal
Geografische Breite	46.8219	46.6213	Grad dezimal
Zielort	Gantrisch	Piz Palü	
Schweizer-Koordinaten y	600'928	793'974	Meter
Schweizer-Koordinaten x	172'600	139'798	Meter
Geografische Länge	7.45	9.96	Grad dezimal
Geografische Breite	46.70	46.38	Grad dezimal
Azimutberechnung mit Landeskoordinaten			
Differenz y-Werte	8'111	7'562	Meter
Differenz x-Werte	13'047	26'430	Meter
Winkel α im Dreieck (vgl. Abbildung 5)	31.87	15.97	Grad dezimal
Azimut A	148.1318	164.03	Grad dezimal
Azimutberechnung mit sphärischem Dreieck			
α	0.11	0.09	Grad dezimal
b	43.30	43.62	Grad dezimal
c	43.18	43.38	Grad dezimal
β berechnet = Azimut B	148.1302	165.86	Grad dezimal
Differenz Azimut A – Azimut B	0.0016	-1.82	Grad dezimal

Abbildung 7: Das sphärische Dreieck auf der Erdoberfläche dient zum Berechnen des Azimuts β . N ist der Nordpol auf der Erde, B der Ort des Beobachters und Z der Zielort. Die Differenz der geografischen Längen ist der Winkel δ , die Seiten c und b sind die Winkelabstände vom Pol ($90^\circ - \text{geografische Breite}$). Die Rechnungsergebnisse dazu findet man in Tabelle 1 oben. Sie zeigt, wie man das Azimut auf zwei verschiedene Arten berechnen kann.

«Adobe-Illustrator» bietet eine entsprechend grosse Zeichenfläche, was meinem Unterfangen sehr entgegen kommt!

Ostrichtung und Azimutskala

Mit dem gefundenen Masstab kann ich rechnen, wie viele cm die Ostrichtung von den Berggipfeln entfernt ist. Ich messe vom Eiger und vom Schreckhorn aus und ermittle so die Ostrichtung im Panorama auf etwa 1 bis 2 mm genau. Von der Ost-Marke aus konstruiere ich nun die Skala und kontrolliere am Schluss, ob die Berge «am richtigen Ort stehen». Dies stimmt auf etwa 0.1 Grad genau. Ich bin damit sehr zufrieden.

Höhen

Wo wäre in unserem Voralpenge-lände der mathematische Horizont für meinen Beobachtungsort auf 800 m über Meer?
Ich besorge mir im Baugeschäft ein «klassisches» Nivellierinstrument mit einer recht stark vergrössernden Optik. Mit dem Fadenkreuz finde ich markante Punkte auf der waagrechten Visierlinie. Mehrere solche Merkpunkte übertrage ich in das Panorama und ziehe durch diese eine waagrechte Linie für den mathematischen Horizont. Dabei muss ich einen Kompromiss einge-

hen: Marken und Linie stimmen nicht alle genau überein. Die Ursache dafür mag sein, dass einzelne Bilder etwas verkippt sind, wodurch beim Montieren Höhenfehler entstanden sind.
Im Bereich der Nulllinie entsteht kein merkbarer Fehler, wenn für die Höhenwinkel eine Gradteilung mit demselben Masstab verwendet wird wie beim Azimut. So entsteht ein «Quadratgradnetz», in welchem die Positionen der Sonne oder auch die scheinbare Höhe eines Berggipfels abgelesen werden können.

Als Einschub ein Erlebnisbericht

Vom Sonnenaufgang am 3. November hatte ich noch eine Foto und dazu die Position im Panorama eingetragen. Danach kam eine Schlechtwetterperiode.

Erst am 15. November zeigte sich am Morgen ein wolkenloser Himmel.
Wo wird heute die Sonne erscheinen? Für diese Voraussage brauchte ich mein Panorama und das Programm Voyager. Dieses lieferte mir die Azimute für die Sonnenaufgänge vom 3. und 15. November, welche ich beide in das Panorama eintrug (oberster Punkt der Sonnenkreise auf dem mathematischen Horizont). Für den 3. November zog ich eine Gerade durch die Sonnenmitten bei deren Aufgang und am beobachteten Ort.
Die Sonne läuft zwar nicht genau auf einer geraden Bahn, für meine Absicht genügt die Näherung voll-auf. Mit der Annahme, dass sich die Schräglage der Sonnenbahn innerhalb 12 Tagen nicht wesentlich ändere, verschiebe ich die Gerade durch die Sonne vom 15. November.

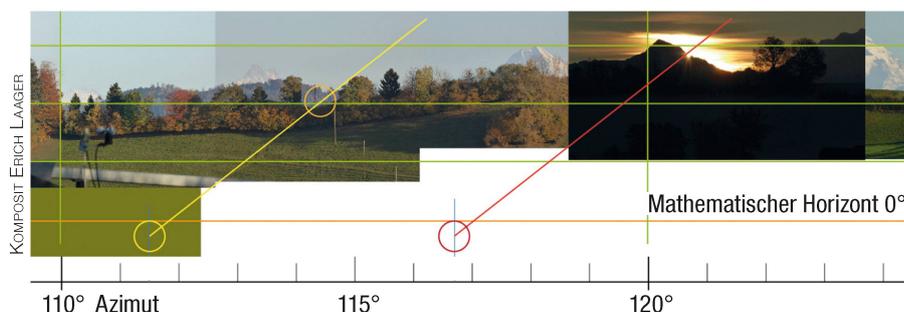


Abbildung 8: Unterhalb des mathematischen Horizontes (orange Linie) liegen die berechneten Positionen der aufgehenden Sonne gemäss Azimut-Skala. Links oben die beobachtete Sonnenposition am 3. November, rechts die vorausgesagte Bahn (rot) und die eingefügte Foto vom 15. November.

BILDQUELLE: [HTTPS://STERNENHIMMEL-FOTOGRAFIEREN.DE](https://sternenhimmel-fotografieren.de)



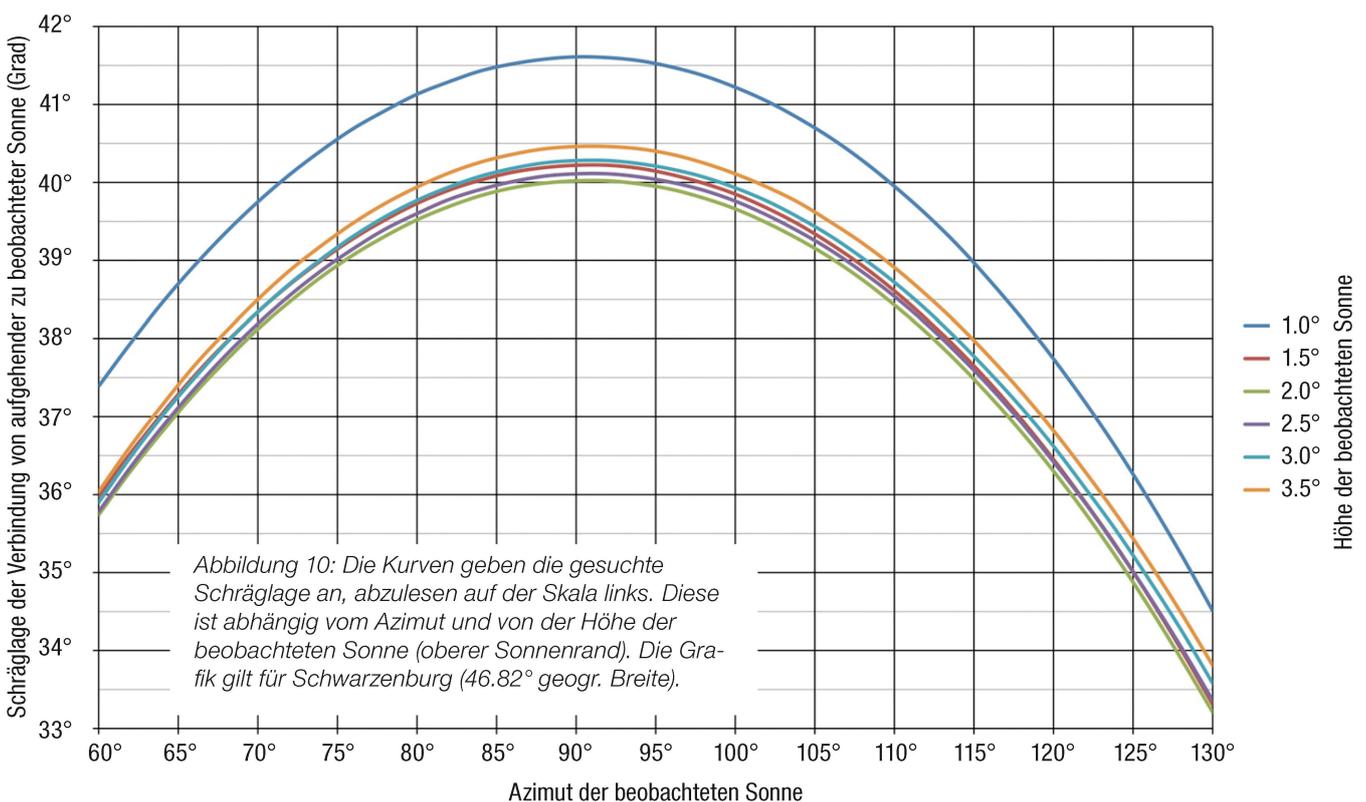
Abbildung 9: Strichspuren von Sternen auf einer Langzeit-Aufnahme. Gerade Spuren stammen von Sternen mit Deklination 0° (entsprechend der Sonne auf dem Himmelsäquator bei Tagundnachtgleiche). Für alle andern Positionen sind die Spuren gekrümmt. Im Sommer und im Winter steigt also die Sonne in Horizonznähe in einer flacher liegenden Bahn auf.

Die Linie durchstösst den Horizont an der westlichen Flanke des Mönchs (Abbildung 8). – Und dort erscheint kurz vor 8 Uhr tatsächlich die Sonne, klar mit einem gleissenden ersten Strahl. – Nach dem Fotografieren erreiche ich übrigens

noch den Zug für eine Schönwetter-Reise. Das war für mich die Bestätigung, dass meine Skalen in Breite und Höhe (im Rahmen der benötigten Genauigkeit) richtig eingezeichnet sind.

Die beobachtete und die berechnete Sonne

Meine bisherige Auswertung zeigt die Sonnenpositionen am Horizont. Wie kann ich – nur mit dieser einen Beobachtung am Tag – herausfin-



den, wo und wann am mathematischen Horizont die Sonne aufgegangen wäre?

Eine erste Idee: Ich ziehe von der aufgehenden Sonne eine «Linie schräg nach unten» bis zur Höhe Null und lese auf der Azimutskala den Wert ab. Nur: Wie schräg verläuft diese Linie? Läuft sie immer gleich schräg? – Schwierig zu beantwortende Fragen!

Eine gute Anschauung dazu bietet ein Langzeit-Foto von Sternstrichspuren. Im Internet habe ich aus Dutzenden solcher Bilder eine ausgewählt (Abbildung 9). Sterne mit geraden Spuren liegen auf dem Himmelsäquator. Dort befindet sich auch die Sonne bei Tagundnachtgleiche (Deklination 0°). In allen anderen Stellungen laufen die Gestirne auf gekrümmten Bahnen, die den Horizont unter einem flacheren Winkel schneiden, so auch die Sonne im Sommer und im Winter. – Man sollte diese Verhältnisse berechnen können.

Aber das gelingt nicht auf einfache Art! Ich fragte wieder einmal bei HANS ROTH nach und der lieferte mir mathematische Formeln (zum Teil nach MEEUS), mit denen aus dem beobachteten Sonnenort (Azimut und Höhe des obersten Sonnenpunktes) und aus der geografischen Breite des Beobachtungsortes der Aufgangsort am mathematischen Horizont berechnet werden kann, und zwar mit Berücksichtigung der Refraktion durch die Erdatmosphäre. So stimmen die Berechnungen mit den Beobachtungen überein!

Von zwei Sonnenpositionen (beim Aufgang und etwas später beobachtet und fotografiert) kennt man nun Azimut und Höhe. Eine Verbindungsstrecke der beiden Sonnenmittelpunkte zeigt – in recht guter Näherung – ein kurzes Stück der Sonnenbahn. Von dieser Strecke ist die Neigung (d. h. der Winkel zwischen Horizontale und Sonnenbahn) leicht zu berechnen.

Jetzt kann es losgehen: Eine Excel-Tabelle, in welche die Rechnungsvorschriften übertragen wurden, liefert mir die Resultate serienweise. Mit diesen entstand die Übersichts-Grafik in Abbildung 10.

Ablesebeispiel: Der beobachtete obere Sonnenrand steht 2° hoch (unterste Kurve) und bei Azimut 80° (auf der waagrechten Achse abzulesen). Der zugehörige Winkel ist $39,5^\circ$. Wenn ich also den obersten Punkt der beobachteten Sonne in dieser Schräge

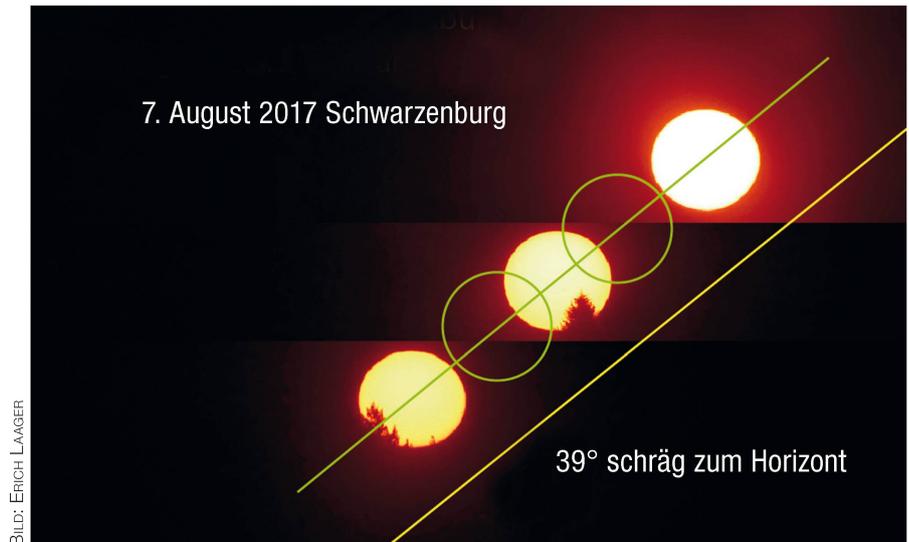


Abbildung 11: Tele-Aufnahmen der aufgehenden Sonne mit unverrückter Kamera auf dem Stativ. Bei der Auswertung wird von jedem Bild die Stellung der Sonne mit einem Kreis markiert. Die Verbindung der Sonnenzentren ergibt die Aufstiegs-Bahn. Sie stimmt gut mit der berechneten Schräglage überein. Von allen Bildern wurden drei ausgewählt, in der Höhe beschnitten und zusammengesetzt.

nach links unten verschiebe bis zur Höhe Null, finde ich den Ort des mathematischen Sonnenaufgangs.

Am 7. August fotografierte ich die Sonne mit gut fixierter Kamera durch eine Finsternisbrille mehrmals nach dem Aufgang. Abbildung 11 zeigt das Ergebnis der Bildvergleiche, die Bahn der Sonne. Drei Aufnahmen habe ich ausgewählt, etwas beschnitten und zusammenmontiert. Die für diesen Tag berechnete Bahnlage von 39° ist zum Vergleich eingezeichnet. Auch diese Kontrolle kann beruhigen...

Wanderung der Sonne am Horizont im Laufe der Tage

Die fotografisch dokumentierten Sonnenorte können nun auf die Nulllinie (auf den mathematischen Horizont) übertragen werden. Dies ergibt sozusagen eine «geeichte

Norm-Skala» zum Vergleich der Veränderungen im Jahreslauf.

Abbildung 12 zeigt: Vom 4. bis zum 28. September (24 Tage) wächst das Azimut der Sonne um $14,26^\circ$. Diese verschiebt sich also durchschnittlich um $0,59^\circ$ (etwa 1.1 scheinbare Sonnendurchmesser) pro Tag.

Ein Merkspruch für Unterschüler lautet: «Im Osten geht die Sonne auf, im Süden steigt sie hoch hinauf, im Westen wird sie untergehen, im Norden ist sie nie zu sehen.» Der Astronom wir jedoch sofort präzisieren: «Nur bei Tagundnachtgleiche geht die Sonne genau im Osten auf. An den übrigen Tagen irgendwo am östlichen Himmel!»

Nun haben wir in Abbildung 12 «den Beweis» dafür. Haben wir ihn?

Die Sonne hatte am 23. September 2017 um 22:02 Uhr die Deklination 0° . Ungefähr in der Mitte zwischen den Sonnenaufgängen vom 23. und 24. September wäre also Osten. Auf

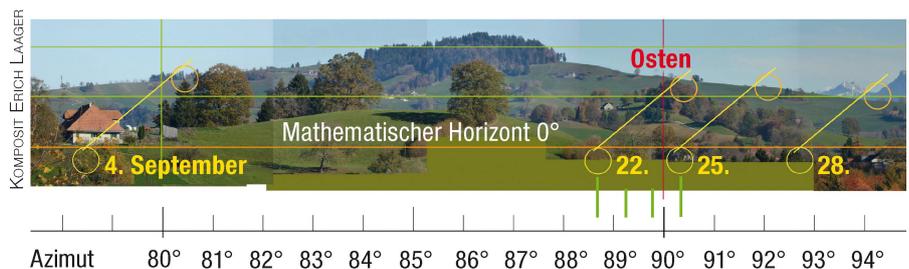


Abbildung 12: Ausgewählte Sonnenaufgänge im September 2017. Die übertragenen gelben Kreise (Sonne beim Aufgang) zeigen: Innerhalb von 24 Tagen wächst das Azimut um $14,3^\circ$, dies sind durchschnittlich $0,595$ Grad pro Tag.

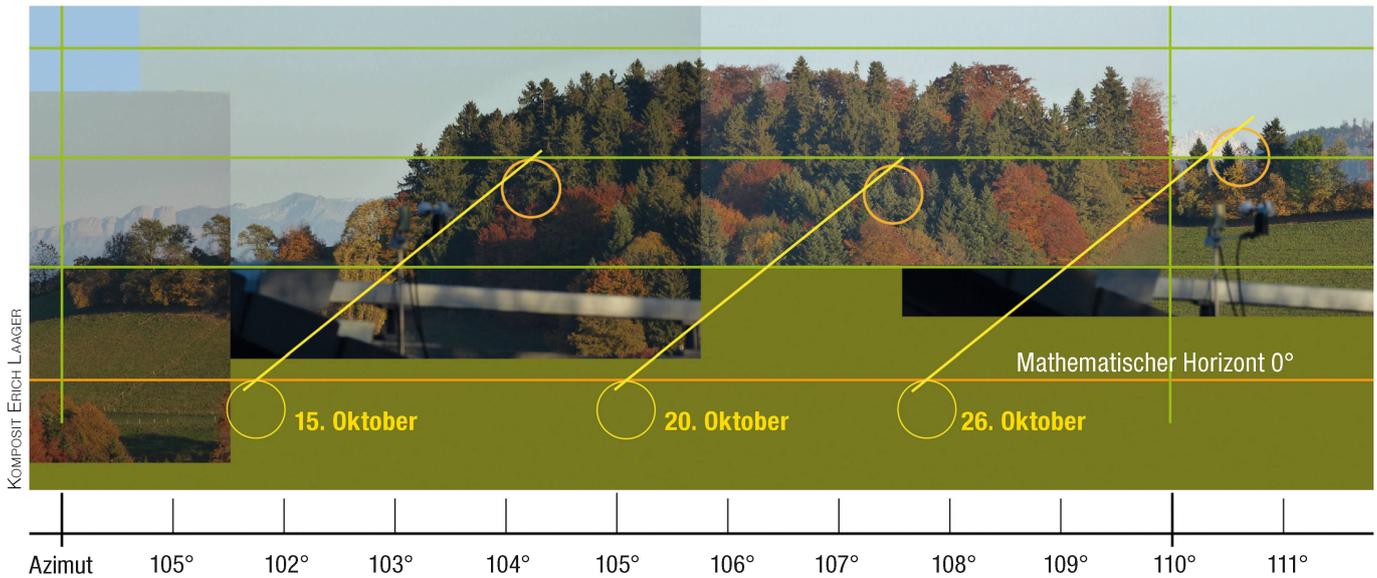


Abbildung 13: Auswertung wie Abbildung 12 für einige Oktobertage. Innerhalb von 11 Tagen wächst das Azimut um 6.09° , dies sind durchschnittlich 0.553 Grad pro Tag.

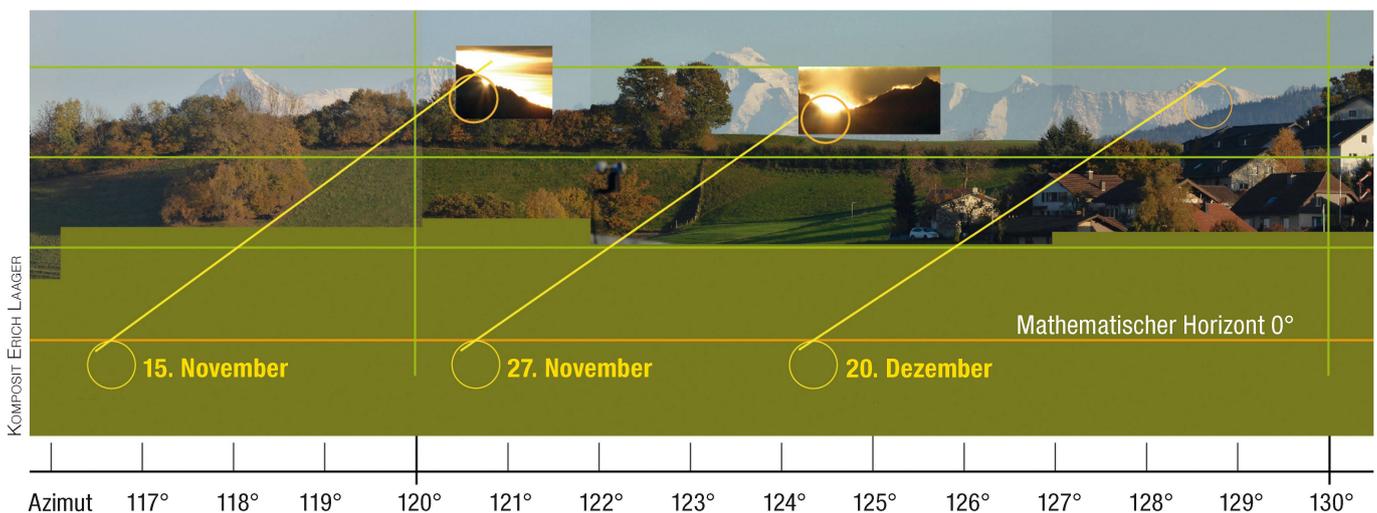


Abbildung 14: Gegen das Jahresende zu wird die schräge Verbindung immer flacher. Die Positionen auf der Nulllinie zeigen eine Verschiebung von 7.74° in 35 Tagen, dies sind durchschnittlich 0.221 Grad pro Tag.

der Azimutskala sind die Tagesmarken grün eingezeichnet. Danach wäre der Ost-Aufgang erst nach dem 24. September. Die Abweichung beträgt nur etwa ein halbes Grad! Genauere Informationen zu diesem Thema findet man im «Sternenhimmel 2014» von HANS ROTH auf Seite 314. Ob da auch die Begründung für unsere kleine Differenz steht? Oder sind unsere Unterlagen für diesen Zweck zu wenig genau? Zum Vergleich drei Beobachtungen vom Oktober (Abbildung 13). Da schien die Sonne zum Teil zwischen den Tannen hindurch. Vom 15. bis zum 26. Oktober (11 Tage) wächst das Azimut der Sonne um 6.06° .

Diese verschiebt sich also durchschnittlich um 0.50° (etwa 1 scheinbarer Sonnendurchmesser) pro Tag, etwas weniger als im September, aber immer noch um recht viel. Mit Abbildung 14 gelangen wir schliesslich ans Jahresende. Da bleiben die Tage während längerer Zeit immer kurz. Das letzte Teilstück der Sonnenwanderung am Horizont ist entsprechend kurz. Vom 15. November bis zum kürzesten Tag (35 Tage) wandert die Sonne 7.74° , dies sind durchschnittlich nur noch 0.22° pro Tag. Unmittelbar vor und nach dem kürzesten Tag sind die Tages-Differenzen noch deutlich kleiner.

Astronomie sollte wenn immer möglich nach dem Prinzip vermittelt werden: «Zuerst das Erlebnis und die Anschauung im Freien, erst danach Auswertungen, Erklärungen und Wissensvermittlung.» Diesen Weg sind wir in diesem Beitrag ein Stück weit gegangen. Die Erklärung, weshalb die Sonne im Jahreslauf am Horizont ungleich schnell läuft gehört zum Wissen. Davon war jetzt hier nicht die Rede. ■

Bestimmung des Sonnenaufgangspunkts am mathematischen Horizont und der Schräglage der Sonnenbahn

Formelsammlung von HANS ROTH:

Gegeben: Geogr. Breite $\varphi = 46.82^\circ$, Höhe oberer Sonnenrand $h = 4^\circ$, Azimut Nord = 110° oder Azimut Süd = 290° .
 Gesucht: Azimut A_0 der Sonne, wenn der obere Sonnenrand den mathematischen Horizont erreicht.

Zunächst muss man die gemessene Höhe h um die Refraktion reduzieren.

■ Formel 1 (nach MEEUS): $R = 1 / \tan [h + 7.31 / (h + 4.4)]$ mit R in Bogenminuten. Das ergibt $R = 11.7361'$. Damit rechnen wir die «geometrische» Höhe der Sonne zum Beobachtungszeitpunkt h_1 .

■ Formel 2: $h_1 = h - R - 16' = 3.5377^\circ$. Damit hat man alle Werte, um A_0 ausrechnen zu können.

■ Formel 3: $\sin \varphi \sin h_0 - \cos \varphi \cos h_0 \cos A_0 = \sin \varphi \sin h_1 - \cos \varphi \cos h_1 \cos A$

■ Formel 3 umgestellt
 $\cos A_0 = (\sin \varphi \sin h_0 - \sin \varphi \sin h_1 + \cos \varphi \cos h_1 \cos A) / (\cos \varphi \cos h_0)$

Man erhält $\cos A_0 = 0.2601$. Der Taschenrechner gibt für A_0 nur 74.9218° an, nämlich nur die Lösung zwischen 0° und 180° . Die zweite Lösung ist $360^\circ - 74.9218^\circ = 285.0785^\circ$ und daher A_0 Nord = 105.0785°

Berechnung der Sonnendeklination

■ Formel 4: $\sin \delta = \sin \varphi \sin h_1 - \cos \varphi \cos h_1 \cos A$

Das Resultat ist $\delta = -10.8711^\circ$. Diese Deklination erreichte die Sonne z. B. am 20. Februar 2017.

Schräglage α der Verbindungsstrecke zwischen den obersten Punkten der Sonne beim Aufgang und bei der Beobachtung

■ Formel 5: $\tan \alpha / (\text{Azimut Nord} - A_0 \text{ Nord})$

Die Verbindungsstrecke liegt in Bezug auf die Waagrechte 39.1° schräg.

À propos Sonnenaufgang: Die Sonne scheint durchs Elmer Martinsloch

An wenigen Tagen im März und September scheint die Sonne jeweils etwa zwei Minuten lang durch das Felsenloch auf den Elmer Kirchturm. Die Sonne verschwindet danach für knapp eine Viertelstunde wieder hinter den Bergen, bevor sie endgültig über der Bergflanke aufgeht. Das Sonnenlicht bildet dann bei dunstigem Wetter, gleich einem Scheinwerfer, einen deutlich erkennbaren 4.7 km langen Lichtkegel, der einen etwa 50 m grossen, mehr oder weniger runden Lichtfleck auf das Gelände um Elm

wirft. Hinter dem Dorf bewegt sich eine Lichtellipse von 105 m auf 50 m über die Landschaft, die durch den 44 Meter hohen Sattel über dem Martinsloch nur durch ein Schattenband von gut 10 bis 15 Meter getrennt ist. Der Lichtfleck kriecht von oben links nach unten rechts mit etwa 32 cm pro Sekunde (je nach Einfallswinkel) den westlichen Hang hinunter. Dieses Phänomen ereignet sich jedes Jahr am 12. oder 13. März gegen 08:52 Uhr MEZ im Bereich der Elmer Kirche und wiederholt sich im Herbst am 30. September

und 1. Oktober um 09:33 Uhr MESZ. Weil die beiden Tagundnachtgleichen jeweils infolge der Schalttage um einen Tag variieren, fällt das maximale Ereignis auch auf einen Tag früher oder später. Die KEPLERSCHEN Gesetze haben auf das Geschehen einen Einfluss und bewirken den zeitlichen Unterschied zwischen den März- und Oktober-Ereignissen von 19 Minuten, der sich aus der Differenz der «wahren» und der «mittleren» Sonnenzeit ergibt (Zeitgleichung). ■

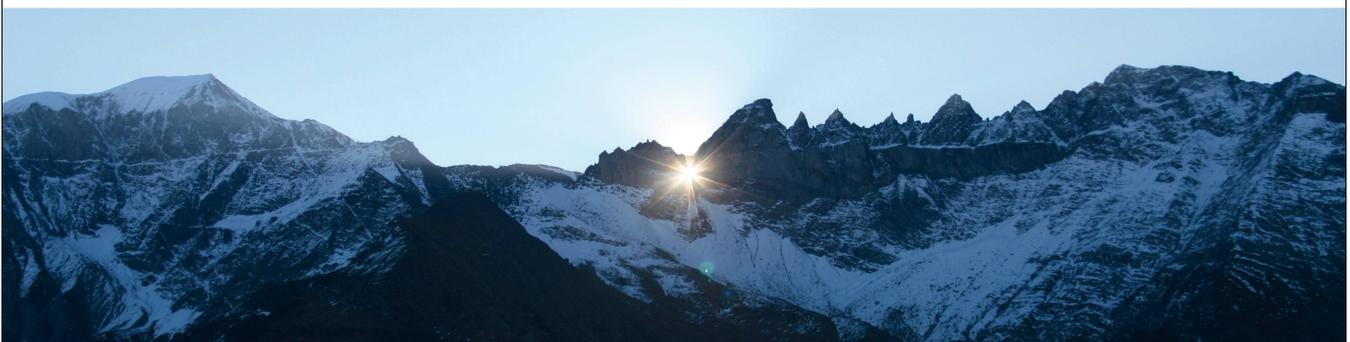


BILD: THOMAS BAER