

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 51 (1993)
Heft: 256

Artikel: Der natürliche Horizont, Hilfe und Hindernis bei astronomischen Beobachtungen
Autor: Laager, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898192>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

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



Der natürliche Horizont, Hilfe und Hindernis bei astronomischen Beobachtungen¹

E. LAAGER

Vorbemerkung:

Der Vortrag lebt zum Teil stark von den projizierten Dias. Für diejenigen Abschnitte, in welchen die Bilder für die Informationsvermittlung das Wichtigste sind, wird der Text in dieser Zusammenfassung knapp gehalten.

Der Titel des Vortrags ist eine Verlegenheitslösung. – Als ich von den Organisatoren der Generalversammlung angefragt wurde, ob ich bereit sei, einen Kurzvortrag zu halten, hatte ich zwar einige Einzelthemen im Kopf, von denen ich denke, dass sie interessieren dürften, aber keine «runde, einheitliche Sache». Hinter dem gewählten Thema verbergen sich eine Reihe von eigenen Beobachtungs- und Fotoserien, die zum Teil mit Hilfe des Computers ausgewertet wurden.

Die einzelnen Themen:

- Der abgehende Mond
- Die rechtläufige Venus
- Die störenden Bäume
- Die problematische Refraktion
- Die aufgehende Sonne

Der abgehende Mond

Angeregt zu dieser Bilderreihe wurde ich durch Aufnahmen, welche vor einigen Jahren im ORION publiziert wurden. Sie zeigen den Mond an drei aufeinanderfolgenden Tagen (bei gleichem Azimut) über dem Horizont im Gebirge.

Meine Bilderserie entstand in Südfrankreich an fünf aufeinanderfolgenden mussevollen Ferientagen. Ich hatte Zeit, zu warten, bis der Mond jeweils genau über einem Mast der elektrischen Freileitung stand. Von Tag zu Tag erfolgte dieser «Durchgang» in einer immer kleineren Höhe. Die Zusammenfassung der einzelnen Mondpositionen in einem Bild macht deutlich, was mit dem Begriff «abgehender Mond» gemeint ist.

Ein kleines astronomisches Rätsel dazu: Die Bilder entstanden zuerst am Morgen, dann am Vormittag. Die Blickrichtung war zwischen Süden und Südwesten. Der Mond war abgehend. In welcher Jahreszeit ist dies möglich?

Die rückläufige Venus

Vom gleichen Beobachtungsort aus gesehen läuft die Sonne am kürzesten Tag ziemlich genau einer Hügelflanke entlang nach unten ihrem Untergangspunkt entgegen. Im Herbst 1989 stand die Venus in der Abenddämmerung etwas oberhalb dieser Horizontlinie. Ich habe den Planeten zusammen mit dem Horizont innerhalb zweier Wochen an zwölf Abenden zur gleichen Sternzeit vom gleichen Ort aus aufgenommen, d.h. jeden Abend 3 Minuten 56 Sekunden früher. Den Zeitpunkt wählte ich so, dass bei der ersten Aufnahme der Horizont in der späten Dämmerung noch gerade sichtbar war, bei der letzten Aufnahme der Himmel jedoch bereits dunkel genug war, um die Venus zu erkennen.

Die Auswertung:

- Die Bilder wurden der Reihe nach auf ein Zeichnungspapier projiziert und die Position der Venus in Bezug auf den Horizont aufgezeichnet. Die Verbindungslinie zeigt einen Teil der rechtläufigen Bahn der Venus.
- Durch das Vergleichen der Untergangsorte (von Tag zu Tag immer weiter links am Horizont) konnte ich weiter feststellen, dass die Venus nicht nur rechtläufig, sondern zugleich «abgehend» war, d.h. ihre Deklination hat von Tag zu Tag abgenommen.
- Ein Stück der Horizontlinie läuft recht genau parallel zu den Deklinationskreisen des himmlischen Äquator-Koordinatensystems. Dies wusste ich aus der winterlichen Sonnenbeobachtung und aus Beobachtungen des Mondlaufes. So war es mir möglich, die richtige Schräglage des Koordinatennetzes für das Gebiet um die Venus anzuordnen zu finden.
- Schliesslich verriet mir die Brennweite des verwendeten Teleobjektivs, wieviele Grad auf dem Dia abgebildet werden. So konnte ich ein einigermaßen richtig eingeteiltes Koordinaten-Gitternetz richtig orientiert auf meine Zeichnung legen und darauf ablesen, um wieviel sich die Venus in Rektaszension und Deklination verschoben hatte. Der Vergleich mit einer Ephemeridentabelle zeigt eine recht gute Übereinstimmung.

Die störenden Bäume

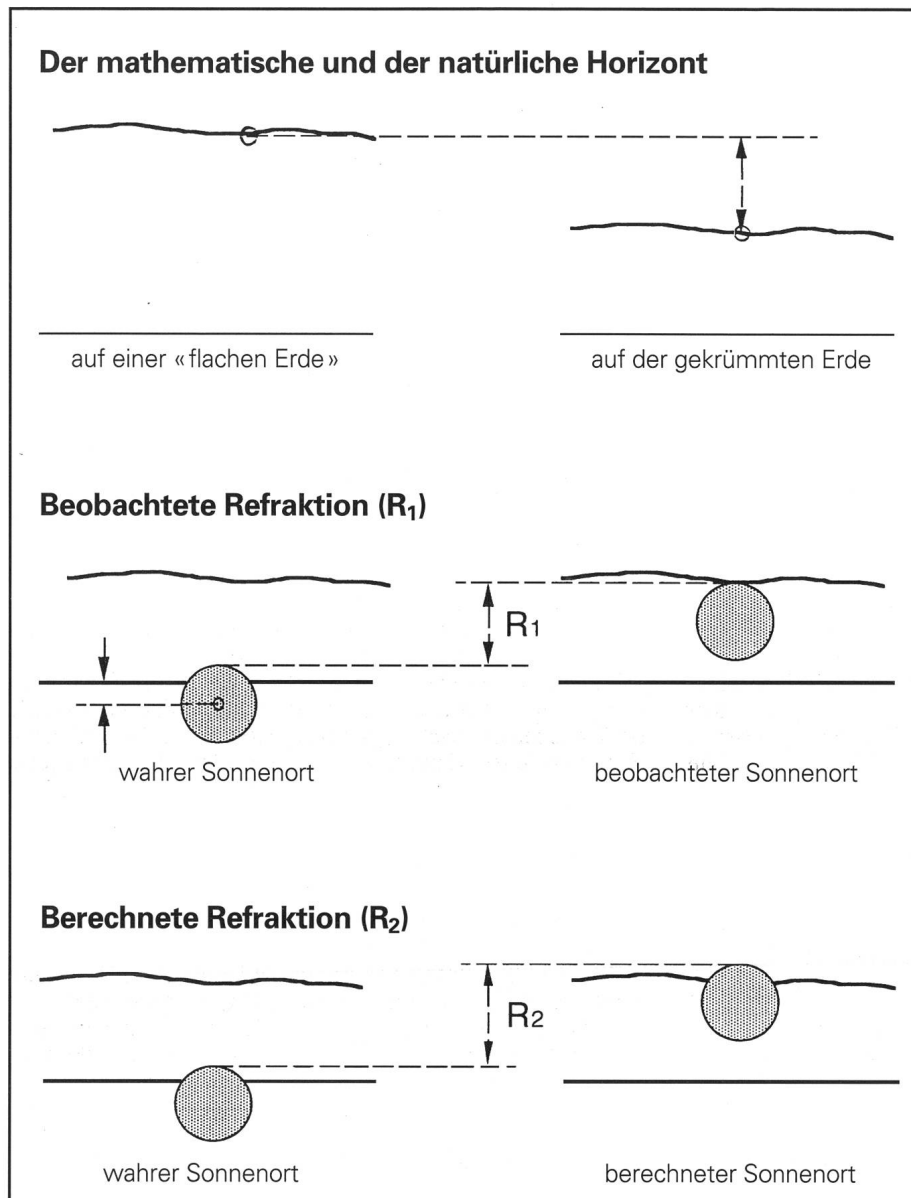
Damit sind die Bäume rund um unsere neue Schulsternwarte in Schwarzenburg gemeint. Der natürliche Horizont ist dort zwar recht niedrig, aber doch nicht ganz ideal. Es ist praktisch, wenn man den tatsächlich sichtbaren Himmelsausschnitt für einen bestimmten Beobachtungszeitpunkt zu Hause ermitteln kann. Zu diesem Zweck habe ich vor der Montage des Teleskops von dessen Fundamentsockel aus mit Hilfe eines Theodoliten den Horizont vermessen (62 Zahlenpaare für Azimut und Höhe).

Auf dieser Grundlage kann die Linie des natürlichen Horizontes ermittelt werden. Diese habe ich einerseits (nach traditioneller Methode) auf die drehbare Sternkarte übertragen, andererseits aber auch in ein Astronomieprogramm («Voyager» für Macintosh-Computer) übertragen. Mit einigen Bildern will ich zeigen, wie ich dieses Programm anwende. (Hinweis: Von diesem sehr leistungsfähigen und vielfältigen Programm kann damit nur ein ganz kleiner Teilaspekt vorgeführt werden!)

Die problematische Refraktion

Ein Kollege plant für seine Neuntklässler einen Maibummel, und zwar zum Schulabschluss etwas Besonderes: Bei Sonnenaufgang auf dem Guggershorn! (Dies ist ein bekannter Aussichtspunkt im Schwarzenburgerland). «Wann wird übermorgen dort die Sonne aufgehen?» Mit dieser Frage gelangt er an mich, und ich bemühe dazu mein «handgestricktes» (in BASIC selber geschriebenes) Astronomieprogramm. Der Arbeitsaufwand ist trotz Computer noch beträchtlich.

¹ Kurzvortrag an der GV 1993



Abbildungen zum Abschnitt «Die problematische Refraktion». Die ausgezogene, gerade waagrechte Linie stellt in allen Figuren den mathematischen Horizont dar, die gewellte, dickere Linie symbolisiert den natürlichen Horizont.

Oberstes Bildpaar. Durch die Erdkrümmung rutscht der wirkliche, natürliche Horizont scheinbar nach unten. Alle folgenden Überlegungen beziehen sich auf diesen «abgesenkten Horizont».

Mittleres Bildpaar. Links: Für die Beobachtungen am Jurahorizont liegt die Mitte der wahren (berechneten) Sonne zum Zeitpunkt des beobachteten Sonnenuntergangs jeweils etwas unterhalb des mathematischen Horizontes (dargestellt durch die Masspfeile links), der obere Sonnenrand liegt jedoch etwas darüber. Rechts: Bei Sonnenuntergang ist die scheinbare Horizonthöhe gleich dem beobachteten oberen Sonnenrand.

Unteres Bildpaar. Links: Gleiche Situation wie in der Mitte links. Rechts: Der berechnete Sonnenort liegt um die berechnete Refraktion höher als der wahre Sonnenort. R_2 ist für alle Beobachtungen grösser als R_1 . – Weshalb?

Der Reihe nach ist folgendes zu tun:

- Standort des Beobachters (Guggershorn) in der Karte ermitteln, geogr. Länge und Breite, Höhe über Meer notieren.
- Für diesen Ort und für eine vermutete Sonnenaufgangszeit das Azimut und die Höhe der Sonnenmitte berechnen.
- Die Höhe des oberen Sonnenrandes rechnen (Höhe der Sonnenmitte + scheinbarer Sonnenradius + «Anhebung der Sonne» durch die Refraktion).
- Das Azimut in eine Landkarte übertragen, die höchste Erhebung in dieser Richtung (also den Horizont) in Meter über Meer und die Entfernung vom Beobachter zu diesem Punkt aus der Karte herauslesen.
- Aus dieser Entfernung und der Höhendifferenz (Beobachter-Horizont) unter Berücksichtigung der Erdkrümmung die scheinbare Höhe des Horizontes (in Grad) berechnen.
- Die scheinbare Horizonthöhe mit der berechneten Höhe des oberen Sonnenrandes vergleichen. (Würden diese beiden übereinstimmen, hätten wir zufällig im ersten Anlauf den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs gefunden. In der Regel wird dies nicht so sein).
- Eine neue, verbesserte Zeit für den Sonnenaufgang wählen, den ganzen Vorgang von vorne nochmals durchspielen. Man muss also mit einem neuen Azimut in der Karte neue Werte suchen, eine neue Horizonthöhe mit einer neuen Sonnenrandhöhe vergleichen usw., bis die gewünschte Genauigkeit erreicht ist. Dabei ändert auch – je nach Höhe – die Refraktion, welcher die Sonnenstrahlen unterworfen sind.

Der Kollege erhielt von mir die berechnete Sonnenaufgangszeit 06.03.39, er notierte beim tatsächlichen Sonnenaufgang 06.03.55. Andere Beobachtungen zeigen ähnliche, zum Teil noch grössere Abweichungen.

In einem Artikel mit dem Titel «Refraktion zeigt unerwartete Schwankungen» (Sterne und Weltraum 2/1991, S. 80) beschreibt der Autor Gerhard A. Hirth, wie durch genaue Messungen am Meereshorizont die Refraktion bestimmt wurde. Man erhielt Werte zwischen 0.234° und 1.678° . «Der Mittelwert aller Beobachtungen liegt bei 0.551° und kommt den Standardwerten von 0.590° (Allen, Astrophysical Quantities) und 0.567° (Astronomical Almanac) recht nahe. Dass aber die Abweichungen davon im Einzelfall so gross sein könnten, hatte niemand erwartet. Bemerkenswert sind die Konsequenzen, die sich aus dieser Beobachtung ergeben: die Auf- und Untergangszeiten der Sonne können nur auf wenige Minuten genau bestimmt werden.»



Ich plante, mit **eigenen Beobachtungen** Untersuchungen in dieser Richtung anzustellen. Von Schwarzenburg aus habe ich zwar keinen Blick aufs Meer (höchstens gelegentlich aufs Nebelmeer), im Sommer geht jedoch die Sonne hinter den Jurahöhen mit einer scheinbaren Höhe von etwa einem halben Grad in einer Distanz von rund 45 km unter.

Mein Beobachtungs- und Auswertungsprogramm umfasst folgende Schritte:

- Sekundengenaue Bestimmung der Sonnenuntergangszeit.
- Messen von Temperatur und Luftdruck für diesen Zeitpunkt.
- Berechnung von Azimut und Höhe der Sonnenmitte für diesen Zeitpunkt (Computerprogramm).
- Höhe Sonnenmitte + scheinbarer Sonnenradius = **wahre Höhe des oberen Sonnenrandes**
- Arbeit mit der Landeskarte: Bestimmen der Horizonthöhe und der Distanz (in Metern).
- Berechnung der **scheinbaren Horizonthöhe** (in Grad).¹⁾
- **Scheinbare Horizonthöhe = beobachtete Höhe des oberen Sonnenrandes** (zum Zeitpunkt des Sonnenuntergangs).
- **Beobachtete Höhe des oberen Sonnenrandes – wahre Höhe des oberen Sonnenrandes = beobachtete Refraktion (R₁).**
- Berechnung der Refraktion für den beobachteten oberen Sonnenrand. In der verwendeten Formel aus dem «Almanac for Computers 1983» (U.S. Naval Observatory, Washington D.C.) werden die beobachtete Höhe, der Luftdruck am Beobachtungsort und die Lufttemperatur als Parameter verwendet.²⁾ (**Berechnete Refraktion = R₂**).
- **Der Vergleich von R₁ mit R₂** beantwortet die Frage «Wie gut stimmt die berechnete mit der beobachteten Refraktion überein?» Damit kann letztlich auch abgeschätzt werden, wie genau die Refraktion überhaupt berechnet werden kann.

Die Beobachtungen:

An 14 Abenden vom 20. Mai bis 29. Juli 1991 wurde der Sonnenuntergang beobachtet. Der Beobachter ist 813 m über Meer.

Die Auswertung:

Die Azimute (ab Süden gezählt) liegen zwischen 118.14° und 125.68°. Auf die Landeskarte 1:500000 übertragen, gelangt man damit in die Jurakette südlich La-Chaux-de-Fonds in die Gegend von Mont Racine und Tête de Ran. Für genauere Ermittlungen verwende ich jetzt die Landeskarte 1:25000 Blatt Val de Ruz. Die Visierlinien werden gerechnet und mit Hilfe der Landeskoordinaten in die Karten eingezeichnet. Die Genauigkeit entspricht der Zeichnungs- und Messgenauigkeit, also etwa 10 bis 20 Meter horizontal. Ein Problem bieten die Höhen: Oft ist der Höhenzug, welcher den Horizont bildet, auf der Nordseite bewaldet. Ich rechne mit maximal 20 m Höhe für die Bäume. Für jede Beobachtung rechne ich mit einer minimalen und einer maximalen Horizonthöhe (Meter über Meer), um diese Unsicherheit erfassen zu können.

Die Ergebnisse:

Für sämtliche Beobachtungen ist die **Differenz R₁ – R₂ negativ**, d.h. die berechnete Refraktion ist durchwegs etwas grösser als die beobachtete Refraktion. Für die minimalen Horizonthöhen liegen die Differenzen zwischen 1.95 und 3.96 Bogenminuten. Im Durchschnitt sind es **3.03 Bogenminuten**. Für die maximalen Horizonthöhen liegen die Differenzen zwischen 0.75 und 3.70 Bogenminuten. Im Durchschnitt sind

es **2.27 Bogenminuten**. Das Auffällige ist, dass es bei den Differenzen keine Streuung um einen Mittelwert bei Null gibt, sondern eine Abweichung nach einer Seite.

Die Interpretation des Ergebnisses:

Diese fällt mir schwer. Beim Niederschreiben dieser Zeilen habe ich noch keine klare Vorstellung, wie die vorliegenden Ergebnisse zu deuten sind. Ich suchte nach einem systematischen Fehler in meinen Berechnungen, bisher jedoch erfolglos. Immerhin kann man sich die Frage stellen, welche Auswirkungen ungenaue Daten auf das Ergebnis haben. Dies sei hier noch getan:

- Eine Differenz in der tatsächlichen Horizonthöhe von 20 m (Unsicherheit wegen Bewaldung) bewirkt in meinen Beobachtungen eine Differenz von 1.5 Bogenminuten bei der scheinbaren Horizonthöhe.
- Untersuchungen im Zusammenhang mit der Refraktionsformel (die Beispiele beziehen sich auf die Messbereiche, in denen die Beobachtungen vorliegen):
 - a) Wird die scheinbare Horizonthöhe um 9 Bogenminuten vergrössert, nimmt die Refraktion um 1 Bogenminute ab.
 - b) Wird die Temperatur um 11 Grad erhöht, nimmt die Refraktion um 1 Bogenminute ab.
 - c) Wird der Luftdruck um 30 mm Hg gesenkt, nimmt die Refraktion um 1 Bogenminute ab.

Derart grosse Fehler gingen bestimmt nicht in die Berechnung der Refraktion ein. Man kann leicht abschätzen, dass die tatsächlichen Beobachtungs- und Messfehler insgesamt keinen Fehler erzeugen können, der so gross wäre wie die zunächst noch unerklärliche Differenz von knapp 3 Bogenminuten. Sollte es (zumindest für diese Beobachtungsserie) möglich sein, die Refraktion auf etwa 3 Bogenminuten genau zu berechnen, dann könnte man die Sonnenuntergangszeit auf rund 20 Zeitekunden genau vorhersagen. Diese Grössenordnung würde mit früheren Erfahrungen ganz grob übereinstimmen.

Die verwendeten Formeln:

(* ist ein Multiplikationszeichen, / ist ein Divisionsstrich; gemäss der üblichen Schreibweise in Computerformeln).

- 1) Formel zur Berechnung der scheinbaren Horizonthöhe (h in Grad) aus dem Erdradius (R), der Distanz zum Horizont (s) und der Höhendifferenz (d) zwischen Beobachter und dem Horizont. (Alle Längen in Meter).

$$d = s \cdot \tan(h) + (s \cdot s / (2 \cdot R)) \cdot (1 + 2 \cdot \tan^2(h))$$

- 2) Formel zur Berechnung der atmosphärischen Refraktion (R in Bogenminuten) aus der Zenitdistanz des Gestirns (z in Grad), der Temperatur (T in °C) und dem Luftdruck (p in Millibar). Zenitdistanz = 90° – beobachtete Höhe des Gestirns.

$$R = (p / (273 + T)) \cdot (3.430289 \cdot (z - \arcsin(0.9986047)) \cdot \sin(0.9967614 \cdot z)) - 0.01115929 \cdot z$$

Die aufgehende Sonne:

Von meinem Wohnort Schwarzenburg aus habe ich einen günstigen, d.h. recht niedrigen Osthorizont. Er lädt geradezu ein zur Beobachtung des Sonnenaufgangs. Im Laufe der Jahre entstanden dazu etwa 300 Dias, jedes versehen mit der Zeit des Sonnenaufgangs. Mit einigen wenigen Bildern möchte ich zeigen, welche Dinge sich aus derart elementaren Beobachtungen herleiten lassen.

E. LAAGER
Schlächtern 9, 3150 Schwarzenburg