

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 40 (1982)
Heft: 191

Rubrik: Fragen - Ideen - Kontakte

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: 25.01.2026

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

Astronomie befasste sich schon immer mit dem Anvisieren von Gestirnen und dem Bestimmen deren Positionen. Häufig wurden solche Ortsbestimmungen beim Aufgang oder Untergang gemacht, bietet doch der Horizont mit seinen Geländemarken eine gut verwendbare natürliche «Skala» an.

Durch Zufall haben wir fast gleichzeitig drei Beiträge erhalten, welche sich alle mit dem eingangs erwähnten Thema befassen, jedoch auf recht unterschiedliche Art. Wir publizieren diese Artikel hier im Zusammenhang. Zuerst wird die Frage beantwortet, wie man den Ort des Sonnenuntergangs für verschiedene Orte und Daten angenähert berechnen könne.

Der zweite Beitrag zeigt, welche Erfahrungen ein ausdauernder Beobachter von Sonnen- und Planetenuntergängen während eines Jahres sammeln kann. – Wie soll man diese Datenmenge auswerten?

Der dritte Abschnitt gibt eine mögliche Antwort auf diese Frage. Es geht um die Umrechnung von Koordinaten des festen Horizon-Systems in solche des bewegten Äquator-Systems und umgekehrt.

L'astronomie s'est depuis toujours occupée de la visée des astres et de la détermination de leur position. Souvent, ces relevés se font au lever ou au coucher, car l'horizon offre, avec ses repères fixes, une échelle naturelle très bien utilisable.

Par hasard, nous avons reçu presque en même temps trois articles qui tous se rapportent à ce thème, bien que de façon toute différente. Nous les publions ici en liaison l'un avec l'autre:

Premièrement, nous répondons à la question:

«Comment peut-on calculer approximativement le lieu du coucher du soleil pour plusieurs endroits et dates?»

Le deuxième article montre les expériences que peut faire et enregistrer un observateur persévérant des couchers du soleil et des planètes pendant une année. Comment peut-on mettre cette moisson de dates en valeur?

La troisième partie donne une réponse possible à cette question. Il s'agit de la conversion des coordonnées du système de l'horizon fixe en celles du système équatorial mouvant et vice-versa.

FRAGEN · QUESTIONS

Azimut des Sonnenaufgangs am kürzesten und am längsten Tag

- Um welchen Winkel weichen die Solstitialpunkte am mathematischen Horizont von der östlichen, bzw. westlichen Himmelsrichtung am längsten und am kürzesten Tag ab, wenn sich der Beobachter auf 47°21'30" nördlicher Breite befindet?
- Gibt es Zahlentabellen oder Kurven, welche die Abhängigkeit dieses Winkels von der geographischen Breite zeigen?

Antwort:

Mit Solstitialien (Einzahl: Solstitialium) bezeichnet man die beiden Zeitpunkte im Jahr, an denen die Sonne die grösste nördliche oder südliche Deklination erreicht, also ein Zeitpunkt am längsten und am kürzesten Tag. Die Solstitialpunk-

te sind die Punkte auf der Ekliptik, in denen die Sonne im Solstitial steht.

Der Fragesteller möchte wissen, in welcher Richtung diese Punkte zu sehen sind, wenn sie sich gerade am mathematischen Horizont befinden. Diese Richtung – Azimut genannt – gibt dann auch ungefähr den Ort für Sonnenaufgang und -Untergang zur Zeit der Sonnen- und Wintersonnenwenden an.

Die Berechnung des gesuchten Azimuts ist mit Hilfe der folgenden Formel auf einfache Art möglich:

$$\cos a = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

- a ist das Azimut von Süden aus gezählt, für die Aufgänge nach Osten, für die Untergänge nach Westen.
- δ ist die Deklination der Sonne. Zur Zeit der Solstitionen ist diese gleich der Schiefe der Ekliptik = 23,446 Grad (positiv oder negativ).
- φ ist die geographische Breite des Beobachtungsortes.

Berechnungen mit dieser Formel liefern die folgenden gerundeten Zahlenwerte:

| φ | Azimut Sommer | Azimut Winter |
|-----------|---------------|---------------|
| 0 | 113,4° | 66,6° |
| 5 | 113,5° | 66,5° |
| 10 | 113,8° | 66,2° |
| 15 | 114,3° | 65,7° |
| 20 | 115,1° | 64,9° |
| 25 | 116,0° | 64,0° |
| 30 | 117,4° | 62,6° |
| 35 | 119,1° | 60,9° |
| 40 | 121,3° | 58,7° |
| 45 | 124,2° | 55,8° |
| 50 | 128,2° | 51,8° |
| 55 | 133,9° | 46,1° |
| 60 | 142,7° | 37,3° |
| 65 | 160,3° | 19,7° |
| 66,55 | 180,0° | 0,0° |

Über 66,55° haben wir an den Solstitionen weder Sonnenaufgang noch Sonnenuntergang.

Abb. 1 zeigt die grafische Auswertung dieser Zahlentabelle. Für die Südhalbkugel könnte die Figur spiegelbildlich ergänzt werden.

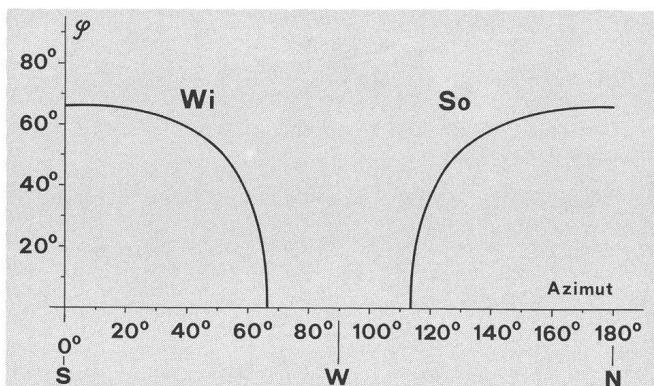


Abb. 1: Azimute der Solstitialpunkte am mathematischen Horizont für verschiedene geographische Breiten (φ). Wi: Wintersonnenwende, So: Sommersonnenwende. (Figur gezeichnet nach Angaben von Prof. M. Schürer, Bern).

Die Formel kann natürlich auch für andere Tage des Jahres verwendet werden – oder für andere Gestirne! Für das entsprechende Datum entnimmt man die Deklination der Sonne (des Planeten, des Sterns) einem Jahrbuch oder einer Sternkarte.

Rechnungsbeispiele:

a) Gefragter Fall:

$$\varphi = 47^\circ 21' 30'' = 47,35833^\circ$$

$$\cos \varphi = \cos 47,35833^\circ = 0,677411$$

$\delta = 23,446^\circ$ (Sonne in grösster nördl. Deklination)

$$\sin \delta = \sin 23,446^\circ = 0,397885$$

$$\cos a_1 = - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = - \frac{0,397885}{0,677411} = - 0,58736$$

$$a_1 = 125,9699^\circ = 125^\circ 58'$$

Für $\delta = -23,446^\circ$ wird $\cos a_2 = + 0,58736$

$$\text{und } a_2 = 54^\circ 02'$$

Man beachte:

$$a_1 + a_2 = 180^\circ$$

b) Gleiche geogr. Breite, Zeitpunkt 1 Monat nach dem längsten Tag.

Deklination der Sonne am 21. Juli ca. $20^\circ 30'$.

$$\cos a = - \frac{\sin 20,5^\circ}{\cos 47,36^\circ} = - 0,517$$

$$\text{somit } a = 121^\circ$$

Der Ort des Sonnenunterganges hat sich im Laufe eines Monats um rund 5 Grad am Horizont verschoben.

Ergänzung:

Die eben gezeigten Berechnungen gelten für den mathematischen Horizont ($\text{Höhe} = 0^\circ$), wobei die Refraktion (Strahlenbrechung in der Atmosphäre) nicht berücksichtigt ist. Sie sind für einen Stern oder für das Sonnenzentrum gültig. Bei Sonnenauf- oder -untergang befindet sich aber der obere Sonnenrand am Horizont, und das Sonnenzentrum liegt bereits um den Sonnenradius unter der Horizontlinie.

Um Resultate zu erhalten, die den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, müssen folgende Größen zusätzlich in die Rechnung einbezogen werden:

- Die wirkliche Höhe (h) des Horizontes am Ort des Auf- oder Untergangs. In der Regel ist $h > 0$.
- Der Refraktionswinkel (R), welcher von der scheinbaren Höhe des Sterns abhängt (Siehe dazu Abb. 2 und Anmerkung 1).
- Für die Sonne: Mittlerer Sonnenradius $r = 16$ Winkelminuten.

Das Azimut a berechnet sich dann nach der Formel

$$\cos a = \frac{\sin \varphi \cdot \sin (h-R-r) - \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos (h-R-r)}$$

Bei der Berechnung für Sterne ist $r = 0^\circ$.

Die folgenden Beispiele zeigen, wie sich die Korrekturen in verschiedenen geographischen Breiten φ auswirken. Die Unterschiede sind um so grösser, je weiter entfernt vom Äquator der Beobachtungsort liegt.

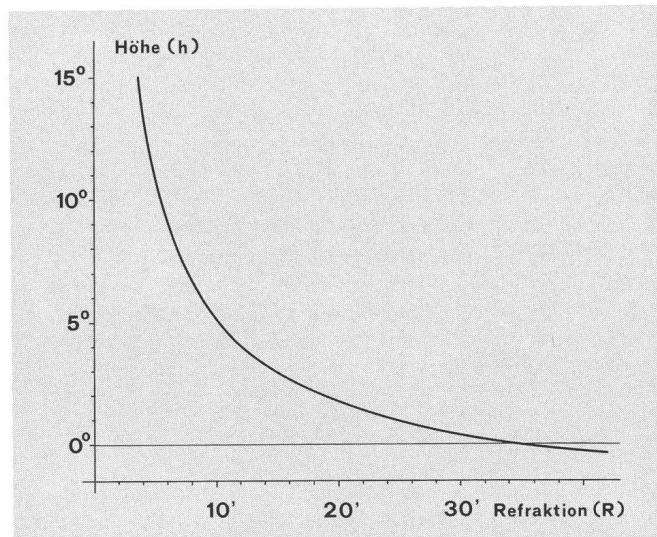


Abb. 2: Normalrefraktion (R) in Abhängigkeit von der beobachteten Höhe des Gestirns (h). Je nach Druck und Temperatur in den Lufschichten können diese Werte schwanken!

Die Tabelle enthält die Azimute der Untergangsorte (auf Winkelminuten gerundet) für die Sonne bei Tag-und-Nacht-Gleiche ($\delta = 0^\circ$), und zwar

1. Zeile: Berechnet für die Sonnenmitte am mathematischen Horizont ($h = 0^\circ$), ohne Berücksichtigung der Refraktion ($R = 0^\circ$).
2. Zeile: Sonnenmitte, Horizontlinie in 2° Höhe (h), $R = 0^\circ$.
3. Zeile: Sonnenmitte, $h = 2^\circ$, Refraktion $R = 19'07''$ berücksichtigt.
4. Zeile: Oberer Sonnenrand ($r = 16'$), $h = 2^\circ$, $R = 19'07''$; d.h. effektiv zu beobachtender Ort des Sonnenuntergangs.

| | $\varphi = 0^\circ$ | $\varphi = 47^\circ$ | $\varphi = 85^\circ$ | $\varphi = 88^\circ$ |
|----|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1. | 90° | 90° | 90° | 90° |
| 2. | 90° | 87°51' | 66°28' | 0° |
| 3. | 90° | 88°12' | 70°24' | 32°48' |
| 4. | 90° | 88°29' | 73°36' | 44°59' |

Anmerkungen:

- 1) Eine Tabelle mit präzisen Angaben zur Normalrefraktion findet man in «Ephémérides 1982», annuaire du bureau des longitudes (ISBN 2-04-011 368-1), S. 37. Wer die Refraktion selber rechnen will, findet Anleitungen dazu in:
 - G. ROTH: Handbuch für Sternfreunde (1981), S. 200, kleine Tabelle auf S. 604.
 - W. WEPNER: Mathematisches Hilfsbuch für Studierende und Freunde der Astronomie, S. 183.
 - WEIGERT/WENDKER: Astronomie und Astrophysik, S. 16.
 - ORION Nr. 165 (April 1978), S. 64; H. BEUCHAT: Zur numerischen Berechnung der Normalrefraktion.
- 2) In ORION Nr. 187 (Dezember 1981) findet man auf Seite 176 zur Lösung dieses Problems eine einfachere Formel:

$$\cos a = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} - \tan \varphi \cdot \sin (h-R)$$

(Hier wird das Azimut von Norden aus gezählt.)

Diese Gleichung gilt einigermassen genau nur für kleine Horizonthöhen. Bei $\varphi = 47^\circ$ und $\delta = 0^\circ$ ergeben sich beispielsweise bei der Benutzung der Näherungsformel folgende (gerundete) Differenzen (d) zwischen dem berechneten und dem richtigen Azimut:

| h | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 30° | 40° | 43° |
|-----|-----------|-----------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| d | 0° | $1'$ | $10'$ | $35'$ | $1^\circ 30'$ | $6'$ | $20'$ | $43'$ |

Die Näherungsformel liefert immer dann den Wert h als Azimut, wenn dieses 0° betragen sollte!

Bei höheren geogr. Breiten werden die Abweichungen noch grösser, so bekommt man etwa am Polarkreis bereits für $h = 15^\circ$ einen Fehler von $1,5^\circ$.

Beobachtungen am West-Horizont

Schon in Unterems, am Eingang zum Turtmanntal, wo ich vor zehn Jahren Pfarrer war, fiel mir auf, dass die Leute auf den Gang der Sonne achteten. Da war beispielsweise der 2. Februar, an dem die Sonne über das Emshorn zurückkam und dem auf der Schattenseite des Rhonetals gelegenen Dorf eine längere Sonneneinstrahlung bescherte. Ein älterer Mann aus Oberems wusste mir auch zu berichten, dass er in seiner

Jugend – Taschenuhren waren nichts für Hüterbuben – die Zeit an Schattenwürfen abschätzen gelernt habe. Lag die hoch aufsteigende Felswand über Inden/Leukerbad im Schatten, dann war Mittag, und so wurde die Felswand zur «Mittagsflüe»; fiel der Schatten eines grösseren Felsblocks in der Gegend von Erschmatt auf einen daneben stehenden kleineren Felsen, dann war es 16.00 Uhr, und der Stein wurde dementsprechend «Zabundbrotstei» (Vesperbrotstein) genannt¹⁾.

Hier in Visperterminen stellte ich erneut fest, dass ältere Leute den Sonnengang beobachteten, ja sich sogar über Untergangsstelle und Zeit Notizen machten. Oder sie wunderten sich über die grossen Hüpfer, die der Mond jeweils ausführt. Das bewog mich, der Sache genauer nachzugehen. Der ganze West-Horizont, eine einzige Berg- und Hügelkette, bot sich für eine solche Beobachtung geradezu an. Es begann damit, dass ich mir im Verlaufe eines Jahres ein paar Punkte merkte, an denen die Sonne unterging. Besonderes Interesse fanden die Gebiete um die Winter- und Sommersonnenwende; denn so wusste ich, wie weit das «Sonnenpendel» nach Süden und nach Norden ausschlug (Abb. 4). Dann fing ich am 22. 1. 1981 an, die Untergangszeit zu notieren und die Untergangsstelle zu skizzieren. Gemessen wurde jeweils nach dem völligen Untertauchen der Sonne. Zunächst beobachtete ich die

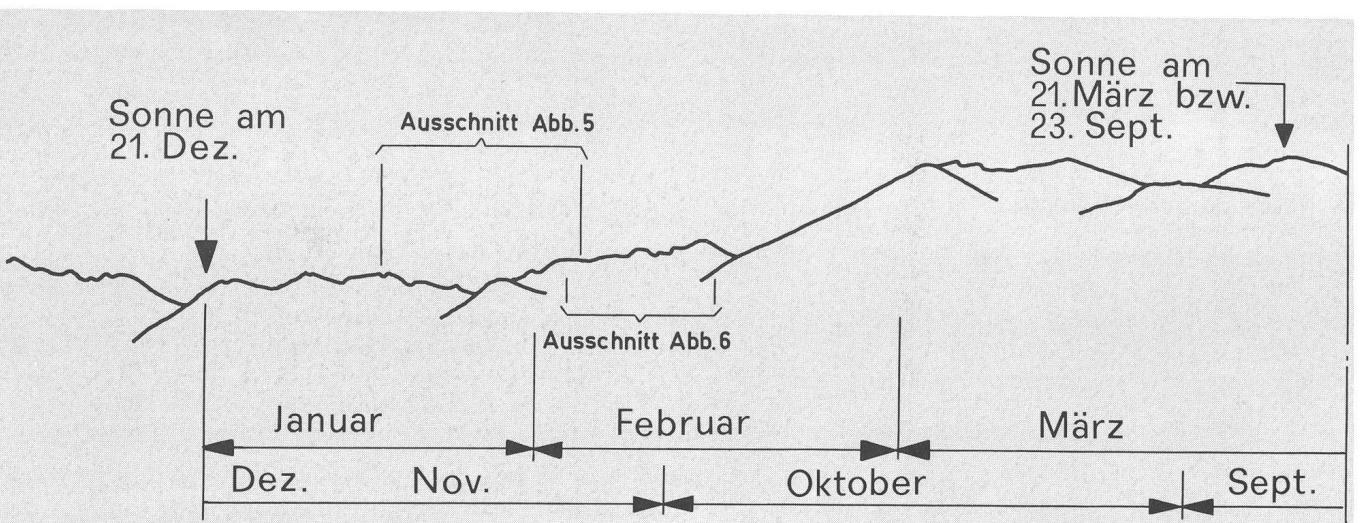
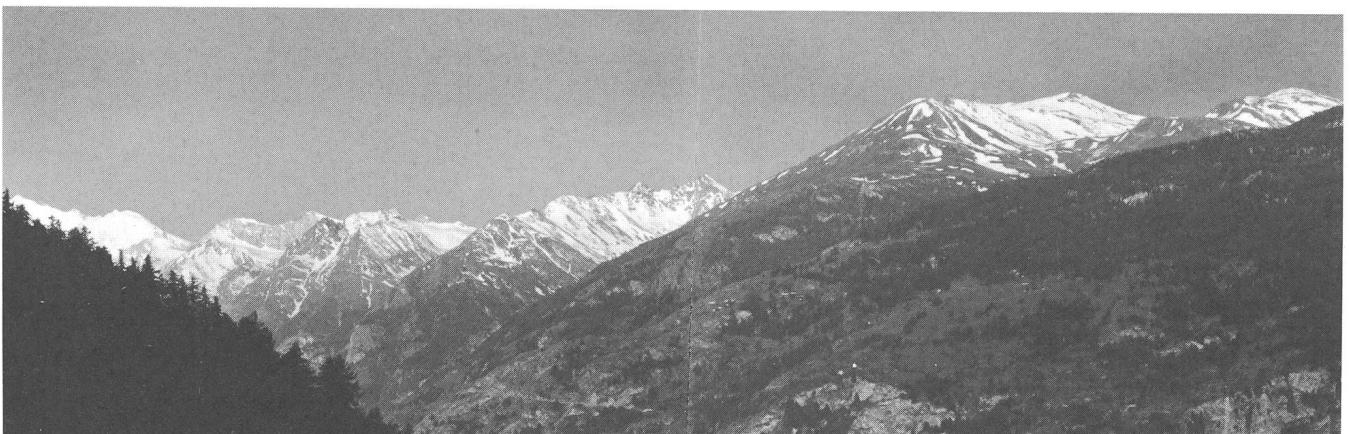


Abb. 3: Ausblick von Visperterminen (1330 m Höhe) gegen Westen. Ganz links ragt das Weisshorn in den Himmel, rechts geht der Blick über Zeneggen ins Wildstrubelgebiet. Der höchste Punkt ist das Augstbordhorn (2972 m) in etwa 8 km Entfernung. Dieses Panorama bietet ideale Bedingungen für die Beobachtung von Untergangszeiten und -Orten.

untergehende Sonne durch das dunkelblaue Glas einer Wappenscheibe. Später leistete mir das «Gucksonn» sehr gute Dienste, das ich mir nach den Angaben im «ORION»²⁾ zusammenbastelte. Auf diese Weise kamen bis zum 26.12.1981 66 Markierungen zusammen, die ich noch nicht voll ausgewertet habe. Eine Aussage von Dorfbewohnern hat sich erhärtet: Wenn die Sonne vom Wendepunkt zurückkommt, scheint sie etwas länger. Als Beispiel gelte der 8. Februar / 2. November 1981. An diesen Tagen sah ich die Sonne am gleichen Punkt untergehen. Die Zeiten: am 8. Februar um 16h 49m 56s, am 2. November um 16h 19m 20s (Abb. 5). Leider verfüge ich zur Zeit über zu wenig Vergleichsdaten, um weitere Schlüsse zu ziehen oder gar Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, aber ich setzte die Beobachtungen fort. Ebenso bin ich daran, eine Art graphische Darstellung der Sonnenuntergangszeiten im Jahresablauf zusammenzustellen.

Um nicht jedesmal eine eigene Skizze der Untergangsstelle anfertigen zu müssen, machte ich am 18.6.1981 um 7.00 Uhr (Sommerzeit) eine Panorama-Aufnahme (Linhof Color 6/9, Symmar 1:5,6/180; die technische Kamera erlaubt ein Verschieben des Objektivs in vertikaler Richtung bei waagrechter Einstellung, so dass die Berge nicht «auf den Rücken fallen».). Die vier, sich leicht überschneidenden Aufnahmen liess ich zusammen auf 1.60 m vergrössern und aufziehen

(Abb. 3). Mit Pauspapier kopierte ich sodann den gesamten Horizont und hatte damit einen recht guten «Notizblock», auf dem ich meine Eintragungen vornehmen konnte.

Bald machte ich aber nicht nur von den Sonnenuntergängen Aufzeichnungen, sondern ich bezog Mond- und Planetenuntergänge mit ein. Der Mond vollführt wahre Sprünge über Wälder und Berge (Ob der Ausdruck «Mondkalb» wohl daher röhrt??!). Auch hier sind extreme Untergangsorte interessant. Rückt die Untergangszeit nahe an den Mittag heran, verwendet man zur Beobachtung am besten einen Feldstecher, weil sich die blasse Mondscheibe bei stärkerer Vergrösserung im hellen Blau des Himmels auflöst. Für die Beobachtung von Planetenuntergängen benützte ich ein Celestron 8. Merkur kroch im Mai 1981 bis weit in den NW hinauf, so dass mein «Notizblock» nicht ausreichte und ich wieder zur Skizze zurückkehren musste. Venus verfolgte ich vom 18. Mai 81 bis zu ihrer nördlichen Wende, war dann erstaunt über ihr rasches Zurückkeilen nach dem Süden, bei dem sie Saturn einholte (nicht beobachtet), am 25./26. August Jupiter überspurtete (eine wunderschöne Beobachtung!) und soweit abtrudelte, dass sie wie im Norden auch über den südlichen Rand meines «Notizblocks» hinauspurzelte. Auf ihrem derzeitigen Weg nach Norden konnte ich eine «Schlaufe» beobachten (Abb. 6). Um genaue Aufzeichnungen machen zu

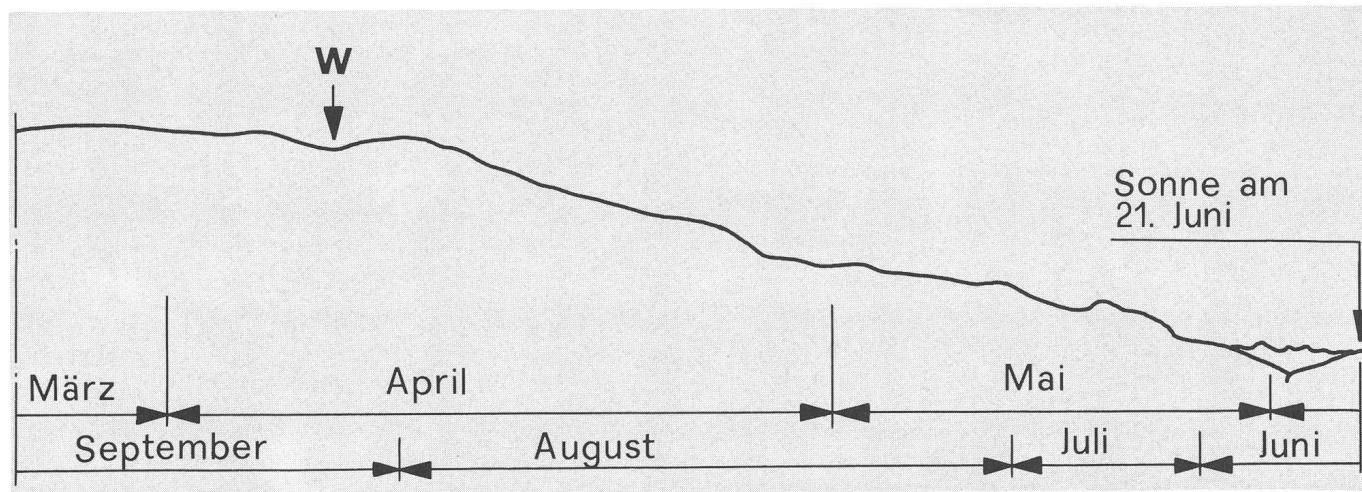
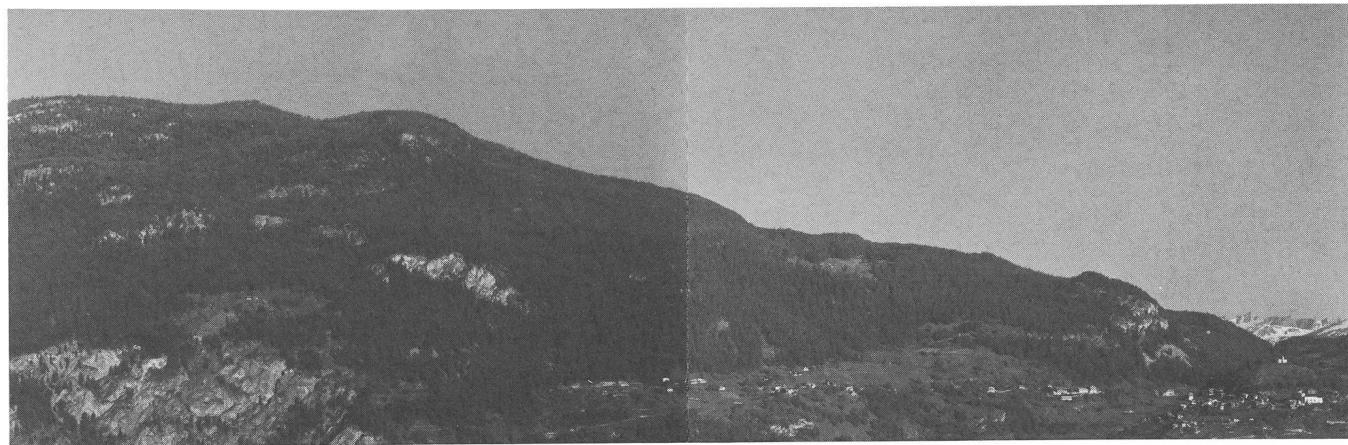


Abb. 4: Vereinfachte Zeichnung der Horizontlinie nach Abb. 3. Das Original misst 175x26 cm und enthält über hundert Einzelbeobachtungen. Auf Grund dieser Angaben kann man recht exakt angeben, in welchem Abschnitt des Horizonts die Sonne in welchem Monat steht. Diese sind am unteren Bildrand angegeben. Bei November/ Dezember/ Januar sind die Angaben lückenhaft, so dass keine genaue Begrenzung möglich war.

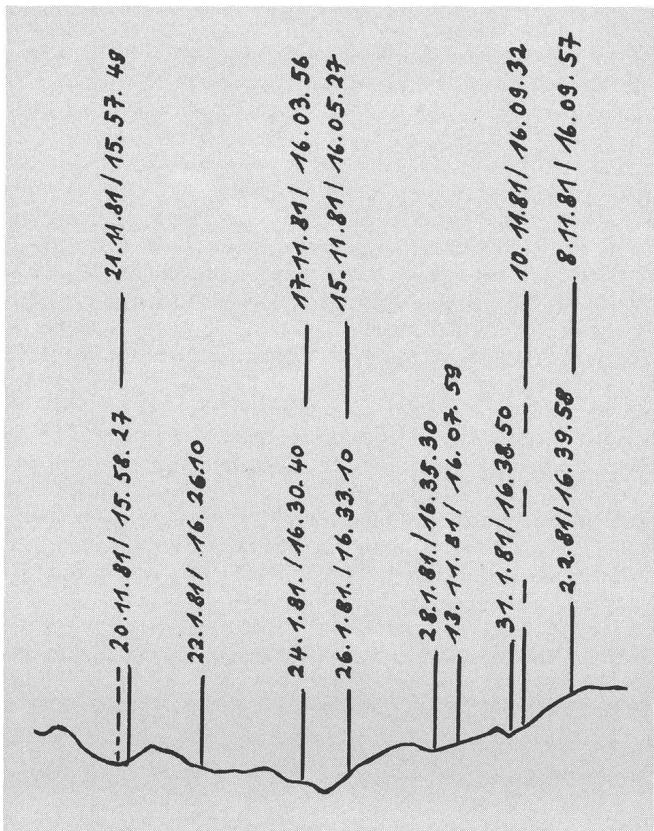


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Original-«Notizbuch». Im November ergeben sich wohl gleiche Untergangsorte wie im Januar/Februar, die Untergangszeiten stimmen aber nicht überein.

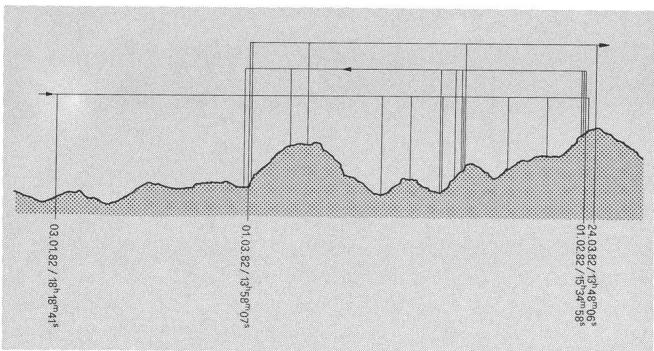


Abb. 6: Beobachtung der «Venus-Schlaufe» zwischen dem 3. Jan. 1982 und dem 24. März 1982. Die Wendepunkte sind mit Datum und Zeit angegeben, die übrigen beobachteten Untergangsorte sind durch Linien gekennzeichnet. Die Erklärung für das «Pendeln» der Untergangsorte gibt Abb. 7.

können, fotografierte ich den in ost-westlicher Richtung verlaufenden Steitalgrat, projizierte das Dia und zeichnete den Horizont bei einer genügend starken Vergrößerung nach, um auch die kleinen «Schritte» des Wendemanövers noch einzzeichnen zu können. Solche Beobachtungen sind geradezu aufregend, und man ist fast froh für den Planeten, wenn er beim zweiten Anlauf den Sprung über die letzte Hürde schafft!

Um einen besseren Überblick über meinen «Notizblock» zu bekommen, verwendete ich verschiedenfarbige, wasserfeste Filzstifte. Die Eintragungen wurden aber so dicht, dass es

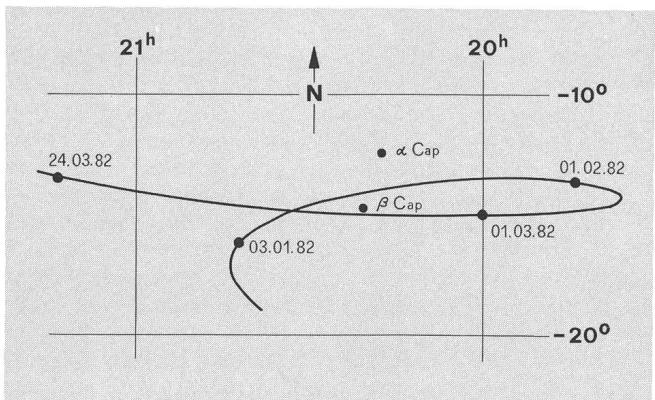


Abb. 7: Diese Schlaufe beschrieb die Venus am Himmel anfangs 1982. Wird die Figur nach rechts unten geneigt bis der Nordpfeil zum Himmelspol weist, erhält man die richtige Orientierung in bezug auf den waagrecht liegenden Westhorizont. Die scheinbare «Untergangsbewegung» erfolgt parallel zu den Deklinationslinien (-10° , -20°). Man erkennt nun, dass der Schnitt der Schlaufe mit der Horizontlinie sich im Laufe der Wochen seitlich verschiebt. Dies wurde beobachtet und in Abb. 6 gezeichnet.

besser ist, für jedes beobachtete Objekt eine eigene Aufzeichnung zu führen. Will man zudem Kopien anfertigen lassen, ergeben Markierungen mit schwarzen Stiften die besten Wiedergaben.

Die Beobachtungen am West-Horizont haben mir eine Fülle von Anregungen gebracht. Man lernt einmal eine Menge Geographie in der nächsten Umgebung, weil anvisierte Spalten, Kuppen und Senken meistens einen Namen haben. Dazu kommt, ich möchte fast sagen, ein plastischer Einblick in die Himmelsmechanik. Winkel in einem der beiden Koordinatensysteme werden auf einmal sehr wichtig, und Koordinatentabellen aus Jahrbüchern³⁾ werden fleißiger zur Nachrechnung herangezogen. Zur einfachen Winkelmessung baute ich den «Jakobsstab» entsprechend den Angaben im «ORION»⁴⁾ nach. Um den genauen Westpunkt und die Horizontlinie zu ermitteln, setzte ich mich mit Bekannten eines Vermessungsbüros in Visp in Verbindung. Durch Beobachtung von Sternen, die möglichst nahe am Himmelsäquator liegen, suchte ich mit einem Fadenkreuzokular den Schnittpunkt des Horizontes mit dem Himmelsäquator zu bestimmen und mit Hilfe von Sternen, deren Koordinaten bekannt sind, beziehungsweise nachgerechnet werden müssen, bin ich gegenwärtig bemüht, ein genaueres Gradnetz über den ganzen Horizont zu ziehen. Artikel über «Prähistorische Kalenderastronomie»⁵⁾ stiessen bei mir auf lebhaftes Interesse, weil man beim eigenen Visieren den Steinzeitastronomen über die Schulter zu schauen vermeint. Beobachtete Schlaufenbewegungen der Planeten liessen mich Ausschau halten nach Astronomen der Vergangenheit, die Theorien und Berechnungen über diese Erscheinungen aufgestellt haben. Alles in allem: durch diese Beobachtungsarbeit wurde ich mittendrin in die Astronomie hineinbüxiert. Dabei kann es ohne weiteres passieren, dass ich in der Unbeschwertheit des Amateurs die Dinge auch verkehrtherum anpacke, aber es macht Spass herauszuknöbeln, wie es eigentlich sein müsste, und die Entdeckerfreude entschädigt reichlich für alle Mühe!

Anmerkungen:

- 1) F. G. STEBLER beschreibt in «Die Vispertaler Sonnenberge» auf S. 77/78 eine Reihe von Punkten, die durch Erstbescheinigung der Sonne oder durch Schattenwürfe den Leuten von Törbel die Zeit

- anzeigten. Das 1901 erschienene Buch ist 1981 von der Neuen Buchdruckerei Visp AG als Faksimile-Nachdruck herausgegeben worden.
- 2) ORION, Sonderheft 1980.
 - 3) Der Sternenhimmel, PAUL WILD, Sauerländer, Aarau.
 - 4) ORION, 182/1981.
 - 5) ORION, 187/188, 1981/82.
Vergl. Der Himmel über dem Menschen der Steinzeit, ROLF MÜLLER, Springer-Verlag, Verständliche Wissenschaft 106.

Adresse des Verfassers:
JOSEF SARBACH, Pfarrer, CH-3931 Visperterminen.

Den vorstehenden Beitrag erhielt die Redaktion zusammen mit der abschliessenden Frage: Kann man diese Beobachtungsdaten irgendwie auswerten? Wie müsste man da vorgehen?

Wir meinen dazu:

1. Die Beobachtungstätigkeit über Monate hinweg und die dabei gesammelten Erfahrungen sind allein so wertvoll, dass sich eine derartige Arbeit auch ohne weitere «Bearbeitung» lohnt. – Ich erinnere mich hier an das, was ein erfahrener Berufastronom vor Jahren sagte, als über die Wünschbarkeit eines Planetariums in der Schweiz diskutiert wurde: «Ein Planetarium ist wohl ein wunderbares und sehr wertvolles Demonstrationsgerät, es kann aber nie die Erfahrung der eigenen Beobachtungen ersetzen. Die allmählichen Veränderungen am Sternenhimmel erfasst man eben erst durch ausdauernde Beobachtungen, die sich über Monate und Jahre hinweg erstrecken können. Und dies ist ein völlig anderes Erlebnis, als wenn man die Sternenläufe am künstlichen Planetariumshimmel im Zeitlupentempo herunterspult.» Vor uns liegt ein Musterbeispiel einer solchen Beobachtungsreihe. – Ich meine, wir sollten versuchen, unseren Kindern vermehrt derartigen elementaren Astronomie-Unterricht zu vermitteln!
2. Nebst den bereits im Text und in den Bildern gezeigten Auswertungen, resp. Einzelergebnissen könnte das Problem rechnerisch angepackt werden. Der vorangehende und der nachfolgende Artikel können dazu einige Möglichkeiten aufzeigen.

Um Verwirrungen zu vermeiden, sei noch auf eine Einzelheit verwiesen: Im ersten Beitrag wird das Azimut von Süden aus nach Osten oder Westen gezählt, im Artikel von TH. DÄHLER dagegen wird das Azimut von Norden aus über Osten – Süden – Westen gezählt. Bei einer gemeinsamen Verwendung beider Beiträge müsste eine entsprechende Umrechnung vorgenommen werden!

E. LAAGER

Umrechnung von Rektaszension und Deklination in Azimut und Höhe sowie umgekehrt

1. Sinn und Zweck

Bei Beobachtungsinstrumenten, deren Drehachse senkrecht zur Erdoberfläche steht (Vermessungstheodolite etc.), stellt sich zuweilen das Problem, Himmelskoordinaten (Rektaszension α und Deklination δ) in die geodätischen Koordinaten (Azimut und Höhe) umzurechnen. Andererseits können solche Geräte durch Beobachtung von astronomischen Objekten im Gelände orientiert (nach Norden ausgerichtet) werden.

Umgekehrt kann ein helles Objekt (insbesondere Planeten) erst identifiziert werden, wenn das gemessene Azimut und die Höhe in Rektaszension und Deklination umgerechnet sind.

Bis zu der vor wenigen Jahren erfolgten Einführung von Kreiselgeräten griff man gelegentlich bei Vermessungsarbeiten der Artillerie auf solche Methoden zurück. Dabei beschränkte man sich zumeist auf das Anzielen von α *Ursa minoris* (Polarstern), weil dieser Stern für solche Arbeiten geradezu prädestiniert ist:

- dauernd sichtbar in normalen Geländebedingungen;
- leicht auffindbar (vgl. Sternenhimmel 1980, S. 182);
- vereinfachte Berechnung dank grosser Polnähe.

Die Umrechnung eines beliebigen Objektes bietet dagegen meist Schwierigkeiten, weil die schnellere Bewegung am Himmel (linear zu $\cos \delta$) für hinreichende Genauigkeiten die Anwendung der sphärischen Trigonometrie und eine exakte Bestimmung der Sternzeit erfordert.

Diese Berechnungen sollten im Folgenden so dargestellt werden, so dass sie auch weniger geübten Anwendern zugänglich werden.

2. Ausgangsdaten

2.1 Standort des Beobachters

$$\lambda_0 = \text{Länge östl. Greenwich } [^\circ]$$

$$\beta_0 = \text{Breite nördl. Äquator } [^\circ]$$

2.2 Astronomisches Objekt

$$\delta = \text{Deklination } [^\circ] \quad \text{ev. h} = \text{Höhe } [^\circ]$$

$$\alpha = \text{Rektaszension } [^\circ] \quad \text{ev. } \varphi_g = \text{Azimut } [^\circ]$$

2.2 Zeit

$$t_0 = \text{Weltzeit (GMT) der Beobachtung } [^h]$$

Mitteleurop. Zeit = MEZ: $t_0 = \text{MEZ} - 1\text{h}$
 Sommerzeit = MESZ: $t_0 = \text{MESZ} - 2\text{h}$

$$d_0 = \text{Datum, auf welches sich } t_0 \text{ bezieht } [\text{DD.MM.YY}]$$

3. Rechenablauf für die Umrechnung $(\alpha, \delta) \rightarrow (\text{Azimut}, \text{Höhe})$

3.0 Normalisieren der Ausgangsdaten

λ_0 , β_0 und δ sind von der Darstellung [$g^\circ m'' s'$] in [$g, gggg$] [Grad dezimal] umzuwandeln. Da die meisten wissenschaftlichen Taschenrechner über derartige Funktionen verfügen, wird auf diesen Schritt nicht näher eingegangen.

α und t_0 sind ebenfalls wie oben umzuwandeln, aber noch zusätzlich mit 15 zu multiplizieren (einheitliche 360° -Teilung).

Anmerkung:

Rektaszension und Deklination werden heute zumeist im Äquinoktium 2000.0 tabelliert. Für genaue Berechnungen muss jedoch die Präzession berücksichtigt werden. Näheres hierzu im Sternenhimmel (Präzessionstafel).

3.1 Berechnung der Sternzeit t_d

Gesucht ist die Sternzeit t_d im Meridian von Greenwich um 0h GMT des Datums d_0 .

In verschiedenen astronomischen Jahrbüchern (siehe auch Sternenhimmel 1982, S. 18/19) sind die Sternzeiten tabelliert. P. WEBER hat im ORION 187 ein Verfahren für die Berechnung der Sternzeit publiziert.

Nachstehend ist eine einfache Methode skizziert.

Anmerkung:

(a div b) bedeutet: ganzzahliges Ergebnis der Division a/b; (a mod b): Rest dieser Division.

Datum d_O: DD.MM.YY (z.B. 17.03.82)

$$MJD = 15019 + DD + m^* + (YY \cdot 365) + [(YY-1) \text{ div } 4]$$

| Monat | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. | |
|-------|------|------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------------|
| m* = | 0 | 31 | 59 | 90 | 120 | 151 | 181 | 212 | 243 | 273 | 304 | 334 | Gemeinjahr |
| | 0 | 31 | 60 | 91 | 121 | 152 | 182 | 213 | 244 | 274 | 305 | 335 | Schaltjahr |

MJD ist das «modifizierte julianische Datum», eine fortlaufende Tageszählung (s. Sternenhimmel 1982, S. 60)

$$t_d = 360.0 \cdot \left[\left(0.15489 + \frac{MJD}{365.2422} \right) \text{ mod } 1.0 \right]$$

Beispiel: 17. März 1982

$$MJD = 15019 + 17 + 59 + 29930 + 20 = 45045$$

$$t_d = 360 \cdot (123.4840124 \text{ mod } 1.0) = 360.0 \cdot 0.4840124 = 174.2445$$

3.2 Stundenwinkel t

$$t = t_d + t_0 \left(1 + \frac{1}{365.24} \right) + \lambda_0 - \alpha$$

Bemerkung:

Besitzer einer drehbaren Sternkarte können den Stundenwinkel eines Gestirns (oder die Sternzeit) auch mit diesem Hilfsmittel bestimmen, wobei die Genauigkeit allerdings beschränkt ist. Man kann sich jedoch auf diese Art den Rechnungsvorgang wesentlich abkürzen und vereinfachen!

3.3 Höhe h

Unter der *Höhe h* versteht man den Winkel zwischen Horizont und Objekt (= Vertikalwinkel).

(Zenit = 90°, Horizont = 0°, Nadir = -90°).

$$h = \arcsin (\sin \beta_0 \cdot \sin \delta + \cos \beta_0 \cos \delta \cos t)$$

3.4 Azimut φ_g

Unter *Azimut φ_g* versteht man den Horizontalwinkel von der geographischen Nordrichtung im Uhrzeigersinn (über Osten - Süden - Westen) zum anvisierten Ziel.

$$\varphi_g = \arccos \left(\frac{\sin \delta \cdot \cos \beta_0 - \cos \delta \cdot \sin \beta_0 \cdot \cos t}{\cos h} \right)$$

Falls ($\sin t > 0$) → $\varphi_g := 360 - \varphi_g$

3.5 Kartenazimut

Da die Karten-Nordrichtung der schweizerischen Landeskarten nur im Meridian von Bern mit der geographischen Nordrichtung zusammenfällt, muss westlich und östlich von Bern eine Korrektur am Azimut erfolgen, die sogenannte Meridankonvergenz μ.

$$\text{Kartenazimut: } \varphi_k = \varphi_g + \frac{7.4396 - \lambda_0}{1.3684} [^\circ]$$

4. Rechenablauf für die Umrechnung

(Azimut, Höhe) → (α, δ)

Normalisieren der Ausgangsdaten wie bei 3.0 und Berechnung der Sternzeit t_d wie bei Punkt 3.1.

4.1 Deklination δ

$$\delta = \arcsin (\sin \beta_0 \cdot \sin h + \cos \beta_0 \cdot \cos h \cdot \cos \varphi_g)$$

4.2 Stundenwinkel t

$$t = \arccos \left(\frac{\sin h \cdot \cos \beta_0 - \cos h \cdot \sin \beta_0 \cdot \cos \varphi_g}{\cos \delta} \right)$$

falls $\sin(\varphi_g) > 0 \rightarrow t := 360 - t$

4.3 Rektaszension α

$$\alpha = t_d + t_0 \left(1 + \frac{1}{365.24} \right) + \lambda_0 - t$$

Die Rektaszension ist in Stunden umzurechnen und eventuell durch Addition (Subtraktion) von 24 Stunden in den Bereich [0 ... 24] zu bringen.

5. Zahlenbeispiel

Sonnenfinsternis vom 15. Dezember 1982 (Finsternis - Mitte)

$$\lambda_0 = 8^\circ 30' \quad \} \quad \text{Üetliberg}$$

$$\beta_0 = 47^\circ 21' \quad \}$$

$$\delta = -23^\circ 15' 34'' \quad \text{Deklination } \odot$$

$$\alpha = 17h 29m 48s \quad \text{Rektaszension}$$

$$t_0 = 9h 10m 56.3s \quad \text{GMT} (= 10.11 MEZ)$$

$$d_0 = 15.12.82 \quad \} \quad \text{Sternenhimmel 82}$$

5.0 Normalisieren

$$\lambda_0 = 8.5 \quad \delta = -23.2594 \quad t_0 = 137.7346$$

$$\beta_0 = 47.35 \quad \alpha = 262.4500$$

5.1 Sternzeit

$$MJD = 45318 \quad t_d = 83.3262$$

5.2 Stundenwinkel

$$t = -32.5121$$

5.3 Höhe und Azimut (Resultate)

$$h = 13.5594^\circ = 13^\circ 33'$$

$$\varphi_g = 149.4724^\circ = 149^\circ 28'$$

$$\varphi_k = 148.6975^\circ = 148^\circ 41'$$

6. Schlussbemerkung

Der ganze Rechenablauf ist geeignet für die Programmierung auf wissenschaftlichen Taschenrechnern. Eventuell muss die Sternzeit-Berechnung gesondert erfolgen, da die m*-Tabelle relativ viel Platz benötigt.

Adresse des Verfassers:

THOMAS DÄHLER, Luggwegstrasse 126, 8048 Zürich.