

## Bestimmung von Berghöhen auf dem Mond

Die Bestimmung von Berghöhen ist ein interessantes Beschäftigungsfeld für Amateure und eine Möglichkeit, auswertbare Ergebnisse mit relativ einfachen Mitteln zu bekommen. Gerade in dichten Besiedlungen stört oft helles Licht die astronomische Beobachtung, doch den Mond wird man gut beobachten können. Hier zählt nur klare und ruhige Luft.

Bei der folgenden Bestimmung von Berghöhen werden Höhenunterschiede zwischen Bergspitzen und Umgebung ermittelt. Die Messung von absoluten Höhen bezogen auf ein Referenzsystem wird hier nicht behandelt..

Diese Höhenunterschiede werden aus gemessenen Schattenlängen und bekannter Sonnenhöhe errechnet. Die Schattenlängen selbst können wie folgt gewonnen werden: bei einem feststehenden Fernrohr als Durchgangszeit, mit einem Okularmikrometer oder durch Ausmessen von Fotos. Günstig sind mehrere Messungen, aus denen Mittelwerte gebildet werden.

Zu deren Bestimmung der Sonnenhöhe gibt es zwei Methoden. Welche Methode geeigneter ist, hängt im wesentlichen davon ab, ob die genauen selenografischen Koordinaten von dem schattenwerfenden Berg bekannt sind. Für diese Ermittlung nimmt man eine Mondkarte, auf der die betreffende Mondformation erkennbar ist. Oft ist aber eine genaue Festlegung nicht einfach. In diesem Fall ist es besser, die zweite Methode zu wählen.

1. Methode: Die Sonnenhöhe wird aus den selenografischen Koordinaten des Berges mittels physischer Ephemeriden errechnet.

2. Methode: Die Sonnenhöhe wird aus dem Abstand zwischen Berg und Lichtgrenze errechnet. Schwierig kann es werden, an einem gebirgigen Gebiet die Lichtgrenze festzulegen. Dieses Verfahren wird von Dr. Ahnert beschrieben und wird im Anhang wiedergegeben.

Die Genauigkeit der Messung hängt von der Abbildungsgüte des Instrumentes und von weiteren Faktoren ab. Der Einfluß der Sonnenhöhe wird weiter unten beschrieben. Liegt das Schattenende in einer sehr unebenen Umgebung, wird man verschiedene Höhen erhalten, da es sich immer um Höhenunterschiede zwischen dem Punkt der Schattenentstehung und des Schattenendes handelt. Mit zunehmenden Abstand des Objektes von der Mondmitte werden auch perspektivische Verkürzungen spürbar. In der Rechnung wird diese Verkürzung erfaßt, aber die Genauigkeit nimmt ab. Ungünstig sind erfahrungsgemäß Objekte mit selenografischen Längen und Breiten von mehr als  $45^\circ$ , zumindest ist die Genauigkeit der Ergebnisse abzuwägen.

Folgende Überlegungen sind über das Schattenende notwendig: Der Mond hat keine merkliche Atmosphäre. Deshalb kann Steuilight nur durch Reflexe an steilen Berghängen hervorgerufen werden - durch Beobachtung nicht feststellbar. Und trotzdem ist der Schatten nicht scharf begrenzt. Die Licht wird nämlich von der Sonnenscheibe abgestrahlt und dieser Lichtkegel hat einen Öffnungswinkel von  $0,5^\circ$  entsprechend des Sonnendurchmessers. In diesem Bereich entsteht ein Halbschatten, der bei flacher Sonneneinstrahlung perspektivisch verländert wird und zu Meßunsicherheiten führt.

Die Sonnenhöhe soll zwischen  $5^\circ$  und  $15^\circ$  liegen. Bei niedrigerem Sonnenstand werden die Schatten sehr lang und durch den Halbschatten ist das Schattenende nicht genau erfaßbar. Bei höherem Sonnenstand als  $15^\circ$  werden die Schatten kurz und die Meßfehler würden sich bei den Berghöhen zu stark auswirken.

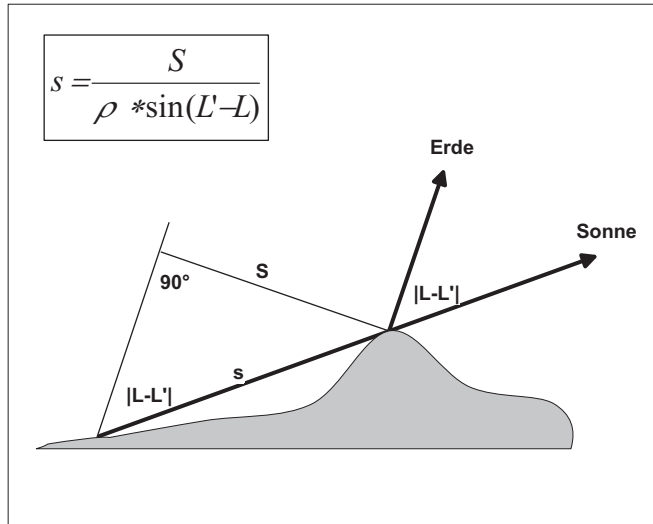
Für die Rechnung sind einige physische Ephemeriden des Mondes erforderlich:

- die scheinbare topozentrische Mondmitte, also topozentrische Länge und Breite der Libration,
- der subsolare Punkt, über dem die Sonne steht
- und der topozentrische Halbmesser des Mondes.

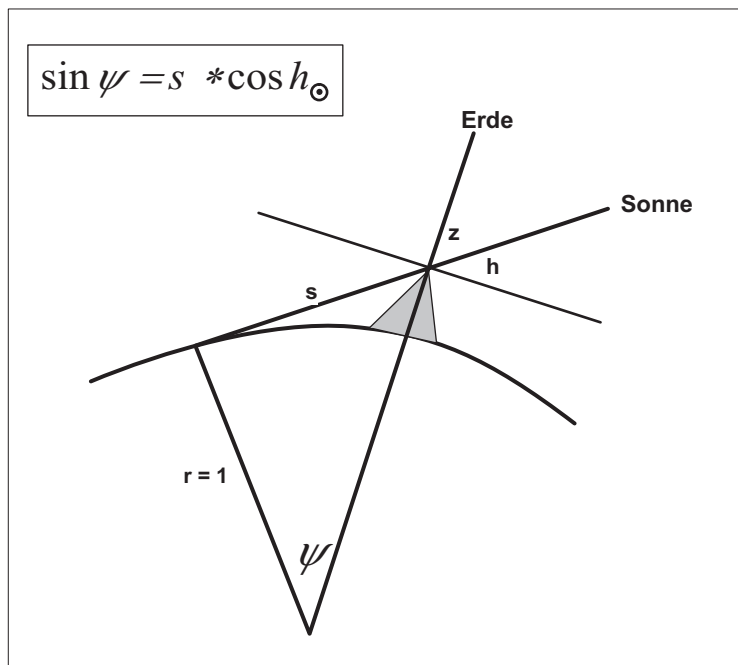
Diese Werte können mit der Tabellenkalkulation berechnet werden.

Die Berechnung der Berghöhen erfolgt in drei Schritten:

1. Bergschatten in Teilen des Mondhalbmessers  $\rho$ :



2. Winkel am Mondzentrum zwischen den Richtungen zum Berggipfel und zur Schattenspitze:



Diese Formel erhält man aus:  $\frac{1}{\sin z_{\odot}} = \frac{s}{\sin \psi}$

Die Zenitdistanz wird durch die Höhe ersetzt:  $\sin z_{\odot} = \cos h_{\odot}$

Die Sonnenhöhe wird mit der Formel gerechnet, die auch im Horizontsystem der Erde gilt:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

Für  $\varphi$  setzen wir die Breite des Objektes, für  $\delta$  die Breite der Sonne  $B'$ , für den Stundenwinkel  $t$  den Winkel zwischen  $L'$  und der Länge des Objektes

3. Die Berghöhe  $H$ :

$$H = \left( \frac{\cos(h_{\odot} - \psi)}{\cosh_{\odot}} - 1 \right) \cdot 1738000 \text{ m}$$

Beispiel:

Am 18. April 1994 wird um 20.45 UT in Hamburg ( $-10^{\circ}$  geografische Länge und  $53,6^{\circ}$  geografische Breite) der Mond beobachtet.

Am Ringgebirge Werner wird ein Schatten mit der Länge  $17''$  gemessen. Werner hat die selenografischen Koordinaten  $+ 4,6^{\circ}$  in Länge und  $- 28,0^{\circ}$  in Breite. Mit der Tabellenkalkulation erhält man eine Berghöhe von  $4537 \text{ m}$ . Zum Vergleich ist aus der Literatur eine Höhe von  $4560 \text{ m}$  bekannt.

Am Ringgebirge Aliacensis wurde ein Schatten von  $11,8''$  gemessen. Alicensis hat die selenografischen Koordinaten  $+ 7,0^{\circ}$  in Länge und  $-30,5^{\circ}$  in Breite. Mit der Tabellenkalkulation erhält man eine Berghöhe von  $3930 \text{ m}$ . Zum Vergleich ist aus der Literatur eine Höhe von  $3920 \text{ m}$  bekannt.