Die Berechnung von Ephemeriden

Andreas Barchfeld

Abstract: *How to calculate the time of observation with respect to the (O-C)*

„Wie berechnet man denn überhaupt die Minima und Maxima von veränderlichen Sternen?“ Diese, für alteingesessene Beobachter einfache Frage, wurde mir in letzter Zeit das eine oder andere Mal gestellt. Daher habe ich mich entschlossen, eine kleine Einführung (in mehreren Teilen) mit Beispielen und Programmen zu schreiben.

Da jede Beobachtung damit beginnt, fest zu stellen, wann man denn ein Objekt am besten beobachten kann, beginne ich mit der Berechnung von Ephemeriden. Es darf aber nicht vergessen werden, dass die Beobachtung zwischen den Extrema durchaus sinnvoll sein kann.

Um in Erfahrung zu bringen, wann demnächst ein Objekt ein Extremum erreicht, welches wir beobachten können, benötigen wir mehrere Angaben. Um überhaupt ein Extremum zu bekommen, brauchen wir ein Startdatum, sozusagen das erste Extremum, und die Periode. Wenn man vom Startdatum aus die Periode so lange addiert, bis man auf einen Zeitpunkt in der Zukunft kommt, hat man den nächsten Zeitpunkt. Klingt einfach, ist auch so, wenn man einmal weiß, wie es geht.

Nennt man den Startzeitpunkt E_0 (Epoche 0), die Periode P, so ergibt sich der Zeitpunkt der Beobachtung zu

$$R = E_0 + n * P$$

Manchmal schreibt man statt „B“ auch „E_n“. Aber wie groß muss ich „n“ wählen? Also, wie oft muss ich die Periode zur Epoche addieren? Wenn ich den zukünftigen Zeitpunkt „R“ kenne, so kann man die obige Gleichung umformen zu

$$(R – E_0) / P = n$$

Typischerweise wird „n“ eine Zahl mit Nachkommastellen sein. Wir benötigen also die nächste, größere ganze Zahl. Schauen wir uns das mal an einem Beispiel an. Die Zeiten für B und E_0 werden als Julianisches Datum (JD) angegeben. Damit lässt sich bekannterweise einfacher rechnen als mit den geläufigen bürgerlichen Zeitangaben.

Wo bekommt man die Werte für E_0 und P her? Nun, da gibt es mehrere Quellen. Zum einen aus dem Heft 1 des BAV Circulars. Zum anderen aus dem Internet. Dort gibt es mehrere Quellen. Die beiden Websites, die von vielen anderen als Quelle benutzt werden, sind „der Kreiner“ [1] und der Galactic Catalogue of Variable Stars (GCVS) [2].

Schauen wir uns dies an einem konkreten Beispiel an – Algol [3]:
Es handelt sich um den „Klassiker“ der Bedeckungsveränderlichen. Seine Veränderlichkeit ist seit über 3000 Jahren bekannt. Seit man die Periode genauer

bestimmt, sind Änderungen bekannt. So hatte er in der Zeit von 1784 bis 1835 eine Periode von 2.8673442 Tage. Diese ging herrunter bis auf 2.8672506 Tagen im Zeitraum 1913 bis 1915 und ist aktuell wieder bei 2.8673043 Tagen [2].
Seine Startepoche liegt bei JD 2445641.5135 [2]. Das ist am 03.11.1983. Damit haben wir

$$E_0 = 2445641.5135$$
$$P = 2.8673043$$

Wann wäre das erste Minimum nach dem 01.06.2019? Nun, der 01.06.2019, 00:00 Uhr UT ist JD 2458635.500000. Damit haben wir

$$(2458635.500000 - 2445641.5135) / 2.8673043 = n$$

Das kann man schnell mit einem Taschenrechner ausrechnen. Mit Excel (oder OpenOffice) geht dies auch:

	A	B
1	nächste Beobachtung ab	2458635,5000
2	Startepoche	2445641,5135
3	Periode	2,8673043
4		
5	Anzahl vergangener Perioden	4531,7780
6	nächstes ganze Zahl	4532,0000
7		
8	Minimum	2458636,1366
9		

	A	B
1	nächste Beobachtung ab	2458635,5
2	Startepoche	2445641,5135
3	Periode	2,8673043
4		
5	Anzahl vergangener Perioden	=(B1-B2)/B3
6	nächstes ganze Zahl	=AUFRUNDEN(B5;0)
7		
8	Minimum	=B6*B3+B2
9		

Auf der linken Seite sieht man die reinen Zahlen, auf der rechten Seite die Formeln für Excel.

Von der Startepoche bis zum nächsten Minimum, welches wir berechnen wollen, liegen also 4532 Perioden. Mit diesem Wert für „n" geht man nun in die erste Formel für „B". Das nächste Minimum nach dem 01.06.2019 ist also bei JD 2458636,1366. Das ist am 01.06.2019, 15:17 Uhr UT (Universal Time). Das wäre also 16:17 Uhr MEZ oder 17:17 Uhr MESZ.

Sind wir damit fertig? Leider nein! Die Frage ist – kann man den Daten, die wir hier für die Berechnung genommen haben, trauen? Was sagt denn das „Kosmos Himmeljahr 2019" zum Beispiel zum Minimum am 01.06.2019? Auf Seite 146 findet man zwar auch den 01.06.2019, aber als Uhrzeit ist 20:28 Uhr MESZ aufgeführt! Das sind immerhin gut 3 Stunden Unterschied zu unserer Berechnung! Leider findet sich im Kosmos Himmelsjahr 2019 keinerlei Angabe darüber, mit welchen Werten denn gerechnet wurde.

Aber wir können zum Test einmal Kreiner, GCVS und AAVSO miteinander vergleichen. Dazu kann man die Formeln von Excel nehmen und die 3 Quellen neben einander stellen. Das sieht dann so aus:

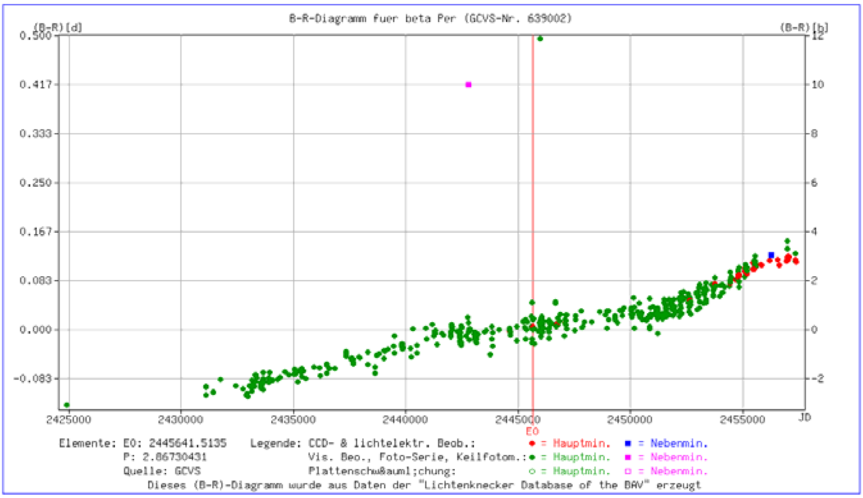
	A	B	C	D
1		**GCVS**	**Kreiner**	**AAVSO**
2	nächste Beobachtung ab	2458635,5000	2458635,5000	2458635,5000
3	Startepoche	2445641,5135	2440953,4657	2456181,8400
4	Periode	2,8673043	2,8673075	2,8673600
5				
6	Anzahl vergangener Peric	4531,7780	6166,7729	855,7209
7	nächstes ganze Zahl	4532,0000	6167,0000	856,0000
8				
9	Minimum (JD)	2458636,1366	2458636,1511	2458636,3002
10	Minimum (bürgerlich)	15:16	15:40	19:12

Wir sehen, dass GCVS und Kreiner recht nahe bei einander sind, die Berechnung auf Grund der Daten der AAVSO aber schon abweichen. Alle Uhrzeiten sind in UT.

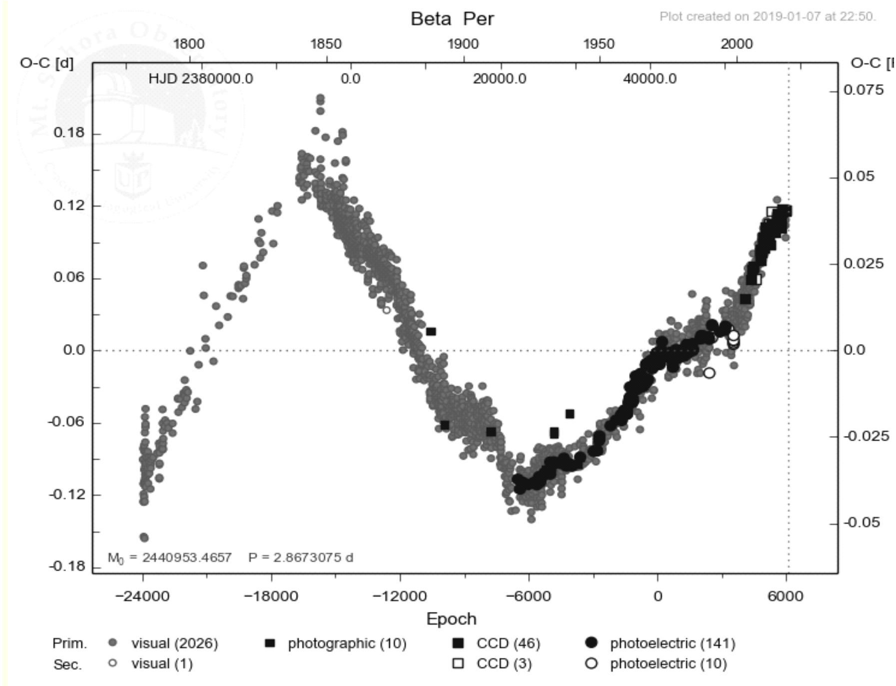
Wie kann man feststellen, wer recht hat? Nun, dass kann man nur mittels Beobachtung und damit der realen Bestimmung des Minimums. Hat man diese Daten, kann man eine Abweichung berechnen. Dies kann man für alle jemals gemachten Beobachtungen machen. Die Werte werden dann über die Formel

$$\Delta = \text{(B-R)} = \text{Beobachtung} - \text{Rechnung}$$

Die BAV betreibt auf seiner Website einen entsprechenden (B-R)–Generator [5]. Suchen wir dort Algol (beta Per), so bekommen wir diese Abbildung:



Auch der Kreiner [6] hat eine (B-R)–Darstellung:



Im Englischen wird (B-R) als (O-C) abgekürzt: Observation – Calculation.

Man sieht in beiden Grafiken sehr schön, dass es mittlerweile zwischen Berechnung und Beobachtung eine Differenz von gut 3 Stunden gibt!

Die entsprechende Datenbank, die hinter dieser Berechnung steckt, ist die Lichtenknecker Database (LkDB) der BAV.

Also muss die Formel eigentlich komplett heißen:

$$R = E_0 + n * P + (B\text{-}R)$$

Wenn wir also zu unserem Wert von 17:17 Uhr MESZ drei Stunden hinzurechnen, kommen wir auf 20:17 Uhr MESZ. Das stimmt dann wieder gut mit den Angaben im Himmelsjahr überein.

Konsequenz: wenn man eine Beobachtung plant, immer nach dem (B-R) schauen. Sollte dies nicht zur Verfügung stehen, immer etwas Zeit vor und nach dem berechneten Extremum einplanen.

Und wie würde so etwas in einer Programmiersprache aussehen?

```
! FORTRAN
program beta_per
  implicit none
  real(kind=8) :: e0 = 2445641.5135
  real(kind=8) :: p  = 2.8673043
  real(kind=8) :: observation_planed_after = 2458635.5000
  real(kind=8) :: observation_calculated
  integer :: count_periods

  count_periods = int(((observation_planed_after - e0) / p) + 0.5)
  observation_calculated = real(count_periods) * p + e0

  write (*,*) e0
  write (*,*) p
  write (*,*) observation_planed_after
  write (*,*) count_periods
  write (*,*) observation_calculated
end
```

```
// C++
using namespace std;
int main()
{
  double e0 = 2445641.5135;
  double p  = 2.8673043;
  double observation_planed_after = 2458635.5000;
  double observation_calculated;
  int count_periods;

  count_periods = static_cast<int>(((observation_planed_after - e0) / p) + 0.5);
  observation_calculated = static_cast<double>((count_periods) * p + e0);

  cout.precision(5);
  cout << fixed;
  cout << e0 << endl;
  cout <<  p << endl;
  cout <<  observation_planed_after << endl;
  cout <<  count_periods << endl;
  cout <<  observation_calculated << endl;

  return 0;
}
```


[1] http://www.as.up.krakow.pl/ephem/ephem.txt
[2] http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/gcvs5/htm/
[3] https://en.m.wikipedia.org/wiki/Algol
[4] https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=26202
[5] https://www.bav-astro.eu/index.php/veroeffentlichungen/lichtenknecker-database/lkdb-b-r
[6] J.M. Kreiner, 2004, Acta Astronomica, vol. 54, pp 207-210
http://www.as.up.krakow.pl/minicalc/PERBETA.HTM