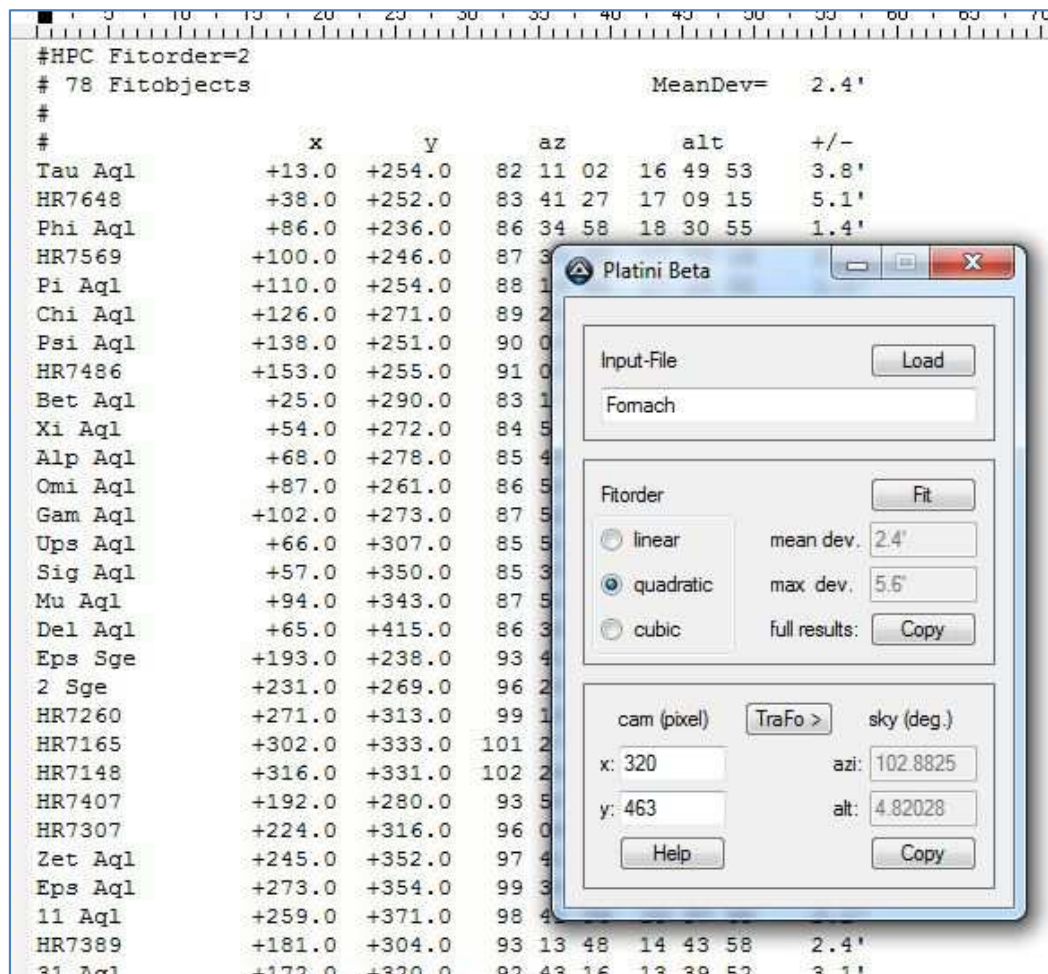


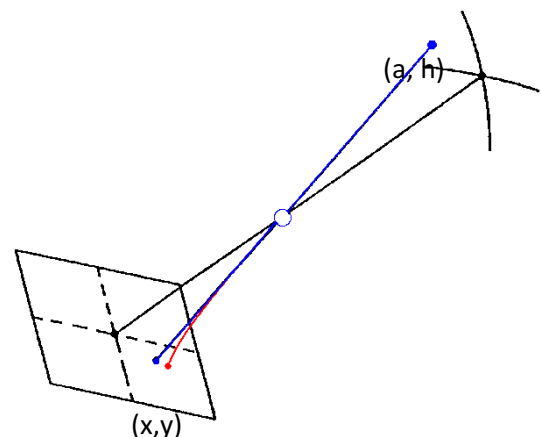
Platini 0.1

Programm zur Bestimmung von Plattenkonstanten für fest ausgerichtete Kameras



Bei einer fotografischen Aufnahme wird das gekrümmte Himmelsgewölbe auf einen ebenen Film abgebildet und zudem noch durch die Linse mehr oder weniger verzerrt. Auf in der Regel unbekannte Weise werden die realen Himmelskoordinaten so in Bildkoordinaten transformiert.

Diese Transformation ist natürlich für jede Kamera unterschiedlich und abhängig von Linsenverzerrungen, Standort und Ausrichtung.



Die **Plattenkonstanten** sind nun die Parameter, nach denen sich diese feste Beziehung von Bildpunkten der Kamera zu realen Positionen am Himmel berechnen lässt. Kennt man diese, so kann man zu beliebigen Pixelkoordinaten der Aufnahme die realen Himmelskoordinaten errechnen und umgekehrt.

Die Plattenkonstanten lassen sich ermitteln, indem man auf einer Aufnahme bekannte Sterne identifiziert und deren Himmelskoordinaten den entsprechenden Bildkoordinaten zuordnet. Dann wird mit all diesen Paaren eine Ausgleichsrechnung durchgeführt und daraus eine Zuordnungsvorschrift ermittelt.

Man kann die Bildpunkte mit den Himmelspunkten wahlweise im äquatorialen oder horizontalen Koordinatensystem verknüpfen. Die Verwendung von äquatorialen Koordinaten macht jedoch nur für eine nachgeführte Kamera Sinn, da die resultierende Zuordnung bei einer fest ausgerichteten Kamera zeitabhängig wäre und man dann die Plattenkonstanten für jedes Bild neu bestimmen müsste.

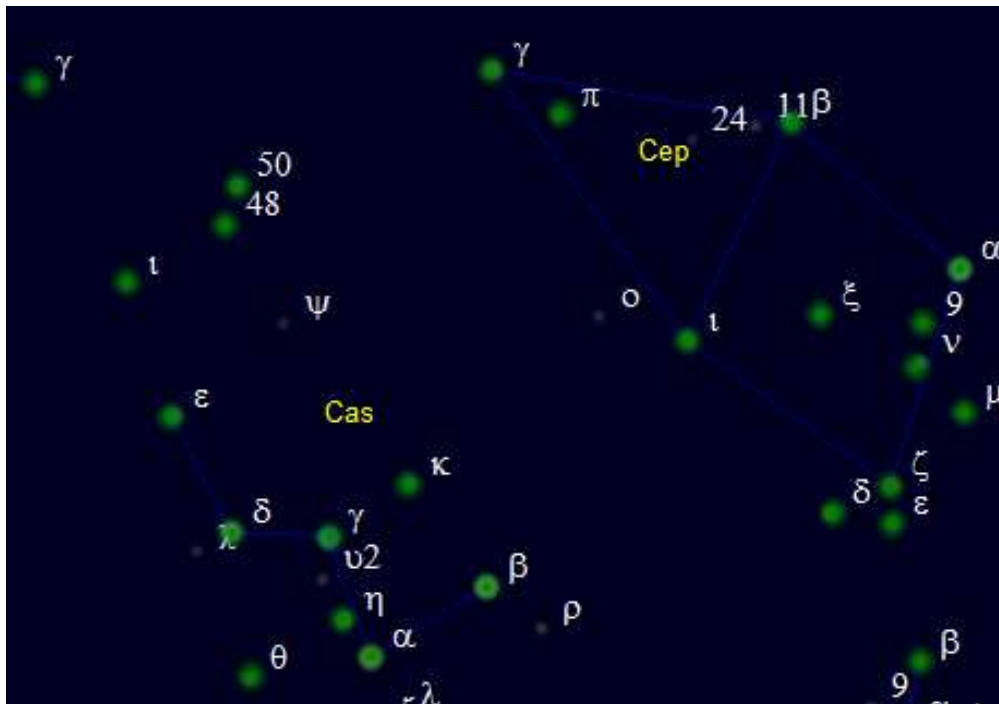
Für Kameras, die immer auf den gleichen Himmelsabschnitt ausgerichtet sind, ist also das Horizontalsystem die geeignete Wahl. Man muss dann die Bestimmung der Plattenkonstanten nur ein einziges Mal ausführen und hat danach für diese Kamera und ihre Ausrichtung eine feste, konstante Zuordnung von Bildpunkten (x, y) zu Himmelspunkten (a, h) bestimmt. Die Kameraausrichtung muss allerdings für alle Bilder exakt die gleiche sein. Schon bei leichten Verschiebungen zwischen den Aufnahmen muss ein neuer Fit durchgeführt werden.

Zuerst müssen auf den Aufnahmen die sichtbaren Sterne identifiziert werden:



Ein geübtes Auge erkennt hier schnell Kassiopeia, Kepheus, Perseus und den Fuhrmann.

Um die Sterne auf den Fotos zu identifizieren kann man einen gedruckten Katalog, einen Online-Katalog oder ein astronomisches Programm verwenden. Hier ein Ausschnitt eines Screenshots des Astronomie-Programms „SkyChart“, auf dem die Sterne grün markiert sind, zu denen eine Entsprechung auf der obigen Aufnahme gefunden wurde:



Es reicht nun völlig aus die Sterne nur zu *benennen*; um die Koordinaten kümmert sich das Programm dann selbst. Man braucht also während des ganzen Prozesses keine einzige Himmelskoordinate selbst zu kennen. Dies gelingt aber nur, wenn man die Bezeichner des „Bright Star“ Sternenkatalogs verwendet! Nur dann kann das Programm die Sternkoordinaten aus der integrierten Datenbank hinzufügen. Möchte man Bezeichner eines anderen Kataloges verwenden, so ist dies mit diesem Programm leider nicht möglich. Man muss dann stattdessen zum Kommandozeilenprogramm „HPC“ (s.u.) greifen und die Koordinaten selbst einfügen, was ungleich aufwändiger ist.

Akzeptiert werden die allgemein üblichen Bezeichner dieses Katalogs. Folgende Möglichkeiten gibt es:

- Die **Yale Bright Star Catalog ID** entweder als reine Zahl oder (wie oft üblich) mit vorangestelltem "HR" ("Harvard Revised Number")
z.B. HR6455 oder auch nur 6455
Viele der Sterne haben ja sowieso gar keinen eigenen Namen, sondern nur diese Nummer.
- Die **Bayer-Notation**: griechischer Prefix + dreibuchstabiges Sternzeichenkürzel
z.B. Alp Cen (für Alpha Centauri) oder Eps Sge (Epsilon Sagittae)
- Die **Flamsted-Notation**: Zahl + dreibuchstabiges Sternzeichenkürzel
z.B. 4 Sge (statt Eps Sge)
Manche Sterne haben keine griechische Vorsilbe, sondern nur diese Flamsted-Zahl

Man kann auch Flamsted und Bayer kombinieren (z.B. 17 Zet Aql) aber das ist nicht nötig.

Nun muss man jedem Stern die entsprechende Pixelkoordinate des Bildes zuordnen. Das hört sich zwar alles nach ein wenig Arbeit an, aber es lohnt sich und man sollte immer bedenken, dass man diese Prozedur für eine fest ausgerichtete Observationskamera in der Regel nur ein einziges Mal nach deren Installation durchführen muss.

Die Eingabedatei hat dann drei Spalten:

x-Koordinate; y-Koordinate; Objektname

Die Spalten können durch Komma, Semikolon oder Tabulator getrennt sein. Leerzeichen sind als Spaltentrenner nicht erlaubt. Kommata sind allerdings möglich, denn:

Für Dezimalzahlen wird durchweg der Dezimalpunkt verwendet!

Auskommentieren einzelner Zeilen wird durch Voranstellen einer Raute '#' bewerkstelligt.

Die äquatorialen Koordinaten der identifizierten Sterne müssen vom Programm zunächst noch in horizontale transformiert werden, weshalb die Angabe von Ort und Zeit unbedingt nötig ist!

Die erste (unkommentierte) Zeile der Datei muss (mit einem vorangestellten @) diese Angaben enthalten:

@ Datum; Uhrzeit; geogr. Länge; geogr. Breite

Das Format ist sehr flexibel:

z.B: @ 09.01.2011; 02:11:51; 9°39'12; 47°22'48
oder @ 09/01/11; 2h11m51s; 9 39 12; 47 22 48

Das Datum muss allerdings die Reihenfolge Tag - Monat - Jahr haben.

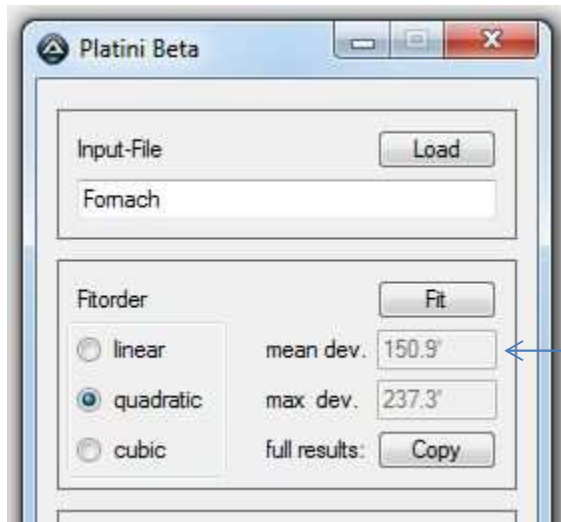
Wenn das Gradzeichen wegen verschiedener Zeichensätze Probleme bereitet, sollte man darauf verzichten.

Eine Eingabedatei könnte also z.B. so aussehen:

```
#Fornach
@ 8.1.2011; 16:51:17; 13 25 07; 48 02 38
#Stars:
13; 254; Tau Aql
38; 252; HR7648
86; 236; Phi Aql
100; 246; HR7569
110; 254; Pi Aql
126; 271; Chi Aql
138; 251; Psi Aql
153; 255; HR7486
25; 290; Bet Aql
...
```

Über die Namen werden nun vom Programm allen Bildpunkten die entsprechenden Himmelskoordinaten aus der Datenbank zugeordnet und es wird eine Ausgleichsrechnung durchgeführt. Je mehr Sterne man identifizieren konnte, desto genauer wird diese sein.

Mit der daraus erhaltenen Zuordnung werden nun zunächst „zur Probe“ rückwärts aus den Pixeldaten die entsprechenden Himmelskoordinaten berechnet und mit den exakten Werten verglichen.



Die Abweichungen sind dann ein Maß für die Güte des Fits.

Hier sind diese unverhältnismäßig hoch.



In der Regel sind mittlere Abweichungen kleiner 10' ohne Probleme zu erreichen.

Was ist hier schiefgelaufen?

Um das zu überprüfen, lassen wir uns über den Button „Copy“ (full results) die Details der Ausgleichsrechnung in die Zwischenablage ausgeben. Auszug:

```
#HPC Fitorder=2
# 78 Fitobjects
#
#
#          x          y          az          alt          +/-
Tau Aql      +13.0    +254.0    83 08 33    17 55 29    89.3'
HR7648       +38.0    +252.0    84 04 54    17 35 31    34.0'
Phi Aql      +86.0    +236.0    85 58 07    17 51 03    53.8'
HR7569       +100.0   +246.0    86 44 02    17 06 15    69.2'
...
9 Vul        +238.0   +212.0    94 28 01    18 50 25    177.9'
HR7392       +259.0   +232.0    95 53 47    17 31 08    >900.0'
5 Vul        +262.0   +231.0    96 06 08    17 35 59    185.8'
...
101 Her      +462.0   +424.0   113 18 27     8 27 59   104.8'
102 Her      +470.0   +415.0   113 45 45     8 57 47    98.8'
98 Her       +491.0   +406.0   115 17 55     9 40 05   106.7'
95 Her       +498.0   +423.0   116 09 42     9 00 19   148.1'
```

Zu allen Punkten wird neben dem Namen und den Pixelkoordinaten auch noch (in den Spalten *az* und *alt*) die aus dem Fit berechneten horizontalen Koordinaten Azimut und Höhenwinkel ausgegeben. (Die Azimutzählung beginnt im Süden.)

In der Spalte +/- ist zusätzlich die Abweichung der exakten Sternkoordinaten von der Vorhersage des Fits angegeben. Diese sind hier allesamt ungewöhnlich hoch.

Auffällig ist die extreme Abweichung bei HR7392 (>900'). Das lässt darauf schließen, dass dieser Stern falsch identifiziert wurde. Allein durch diesen einen falschen Punkt fällt der Fit sehr viel schlechter aus als nötig.

Prüft man nach, so stellt sich heraus, dass es ein Tippfehler war. Der gefundene Stern war nicht HR7392, sondern HR7391. Korrigiert man dies und führt den Fit erneut durch, verbessert sich das Ergebnis enorm:

```
#HPC Fitorder=2
# 78 Fitobjects
```

#	x	y	az	alt	MeanDev=	+/-
Tau Aql	+13.0	+254.0	82 11 02	16 49 53	2.4'	3.8'
HR7648	+38.0	+252.0	83 41 27	17 09 15		5.1'
Phi Aql	+86.0	+236.0	86 34 58	18 30 55		1.4'
HR7569	+100.0	+246.0	87 33 32	17 59 16		2.7'
...						
9 Vul	+238.0	+212.0	96 40 31	20 56 58		2.9'
HR7391	+259.0	+232.0	98 13 11	19 43 15		3.7'
5 Vul	+262.0	+231.0	98 25 32	19 47 45		2.1'
...						
101 Her	+462.0	+424.0	112 02 13	7 18 58		2.8'
102 Her	+470.0	+415.0	112 33 53	7 52 57		3.2'
98 Her	+491.0	+406.0	113 55 16	8 26 05		3.7'
95 Her	+498.0	+423.0	114 19 10	7 21 00		3.7'

Wie man sieht, kann ein schon einziger falsch zugeordneter Stern oder ein Zahlendreher den ganzen Fit verheuen. Also nicht zu früh die Flinte ins Korn werfen, sondern zunächst die Koordinaten und Zuordnungen überprüfen.

Manchmal hat man allerdings trotz exakter Eingabedatei zunächst eine recht hohe Abweichung. Dies liegt dann meist an der starken Verzerrung des Kameraobjektives. Für ein Objektiv, welches nicht, oder kaum verzerrt reicht u.U. schon ein linear Fit aus, wenn eine ausreichende Menge an Sternen identifiziert wurde. In den meisten Fällen wird man aber in 2. Ordnung arbeiten müssen. Dies ist auch die Voreinstellung.



Hier ergibt sich, trotz 85 Referenzsternen und zweiter Ordnung nur ein vergleichsweise mäßiges Ergebnis.

Dies liegt in diesem Fall am starken Weitwinkelobjektiv der Kamera. Ein quadratischer Fit reicht für dessen starke Verzerrung nicht mehr aus.

Hier muss man also in noch höherer Ordnung arbeiten, erhält dann aber ein gutes Ergebnis:



Es wären auch noch höhere Ordnungsparameter möglich, denn theoretisch ist diesbezüglich nach oben keine Grenze gesetzt, praktisch aber sehr wohl, da die Anzahl der benötigten Sterne mit der Anzahl der Fitparameter wächst.

Außerdem kann man auch in eine böse Falle tappen, wenn man den Ordnungsparameter zu hoch schraubt. Siehe dazu das Extra-PDF „Fallstricke beim Fitten“

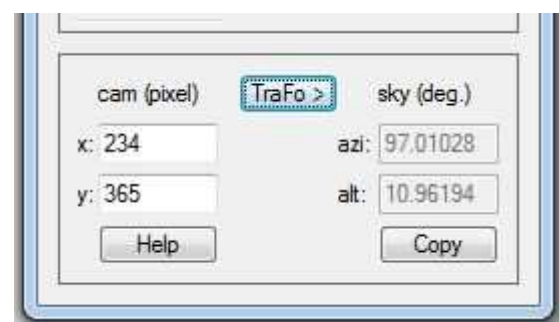
Grundsätzlich sollte man die Ordnung immer nur so hoch wählen, wie nötig. Die Anzahl der Datenpunkte sollte sinnvollerweise *mindestens* doppelt so hoch sein wie die Anzahl der internen Fitparameter:

Ordnung	Sterne
linear	6
quadratisch	12
kubisch	20

Theoretisch geht es auch darunter, aber das Programm ist so eingestellt, dass es keine kleineren Werte akzeptiert. Die Resultate wären dann nämlich nicht mehr aussagekräftig, was im oben erwähnten PDF näher erläutert wird.

Hat man alle Fehlerquellen beseitigt und eine saubere Eingabedatei, so ist die ganze Arbeit erledigt. Man kann diese Datei bei einer fest ausgerichteten Kamera nun immer wieder verwenden, da man durch sie eine zeitunabhängige, feste Zuordnung von Bildpunkten zu Himmelspunkten bestimmt hat

Man kann nun zu jedem Bildpunkt (x, y) einer Aufnahme mit hoher Genauigkeit seine realen Himmelskoordinaten (az, alt) errechnen:



Kombination mehrerer Bilder

Die Verknüpfung der Bildpunkte mit Himmelpunkten im horizontalen (statt äquatorialen) Koordinatensystem hat bei einer fest ausgerichteten Kamera entscheidende Vorteile. Bei Verwendung von äquatorialen Koordinaten wäre die resultierende Zuordnung zeitabhängig und man müsste die Plattenkonstanten für jedes Bild neu bestimmen. Im Horizontalsystem muss man die Bestimmung der Plattenkonstanten nur ein einziges Mal ausführen und hat dann *für diese Kamera und ihre Ausrichtung* eine feste, konstante Zuordnung (Plattenkonstanten) von Bildpunkten zu Himmelpunkten bestimmt.

Hat man ein Objekt (z.B. einen Meteor) tagsüber fotografiert, so sind ja auf der Aufnahme keine Sterne zu finden. In diesem Fall kein unlösbares Problem, weil man eine fest ausgerichtete Kamera hat, die immer den gleichen Himmelsabschnitt zeigt. Man kann dann die Pixeldaten der gesuchten Objekte aus diesem „Tagbild“ entnehmen und die Pixeldaten der Sterne aus einem Bild, das zu einem anderen Zeitpunkt (Nachts) gemacht wurde!

Selbst die Sterne zweier Bilder, die zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen wurden, kann man kombinieren. Da die äquatorialen Koordinaten der Datenbank vom Programm aber zunächst in horizontale transformiert werden, ist es unbedingt nötig die genaue Zeit der einzelnen Aufnahmen zu kennen. Wenn man diese Information hat, dann kann man eine Serie von Bildern zusammen auswerten.

Man muss dazu vor dem entsprechenden Datensatz die korrekte Zeit angeben. Wieder mit einem vorangestellten @. (Die Angabe von Länge und Breite erfolgt nur einmal, ganz am Anfang der Datei)

```
@ 02.02.11; 01:58:37; 9 39 12; 47 22 48
550; 336; Bet Cas
478; 317; Del Cas
463; 278; Eps Cas
700; 249; Alp Cep
...
@ 09.01.11; 02:11:51
473; 322; Bet Cas
436; 328; Alp Cas
436; 290; Gam Cas
411; 278; Del Cas
...
```

Durch diese Vorgehensweise lässt sich die Anzahl der Punkte, die in einen Fit eingehen u.U. deutlich erhöhen, was die Genauigkeit vergrößert.

Man sollte dieses Verfahren aber nur dann anwenden, wenn man sich absolut sicher ist, dass die angegebenen Aufnahmezeiten exakt stimmen und dass sich die Ausrichtung der Kamera zwischen den Aufnahmen nicht geändert hat, da das Ergebnis sonst eher schlechter als besser wird!

Refraktion

Die Refraktion (Anhebung der Sichtlinie durch Lichtbrechung in der Atmosphäre) wird bei Bestimmungen von Plattenkonstanten immer implizit mitberücksichtigt.

Da die Ausgleichsrechnung die Bildpunkte mit exakten Sternenpositionen verknüpft, transformiert das Programm die Bildkoordinaten auch danach auf exakte Koordinaten zurück, wie sie sich ohne Atmosphäre ergeben würden. Der Fit beinhaltet jegliche Verzerrung der Koordinaten, unabhängig wovon sie herrühren.

Was allerdings dadurch nicht berücksichtigt werden kann, ist die unterschiedliche Refraktion eines nahen Objektes (z.B. Meteor) im Vergleich zu den Referenzsternen, deren Licht ja einen längeren Weg durch die Atmosphäre hat.

Wer die Koordinaten eines nahen Objektes (innerhalb der Atmosphäre) durch dieses Programm ermittelt hat und sie z.B. als Eingangsparameter für eine Triangulation verwenden möchte, muss dies entsprechend berücksichtigen. Das Triangulationsprogramm „TriangBeta“ kann den Effekt automatisch herausrechnen.

Mehr mit HPC.exe

Einige Dinge lassen sich mit dem hier beschriebenen Programm nicht durchführen.

Dies sind im Wesentlichen:

- Fits in höherer als kubischer Ordnung
- Identifizierung der Sterne über alternative Bezeichner aus anderen Sternenkatalogen als dem „Bright-Star-Catalogue“
- Ausgabe der Abweichung in Vektorform (Residuen)

Hierzu muss auf das Kommandozeilenprogramm HPC.exe zurückgegriffen werden.

(Siehe dazu die Doku HPC.pdf)