

Beobachtung geostationärer Satelliten

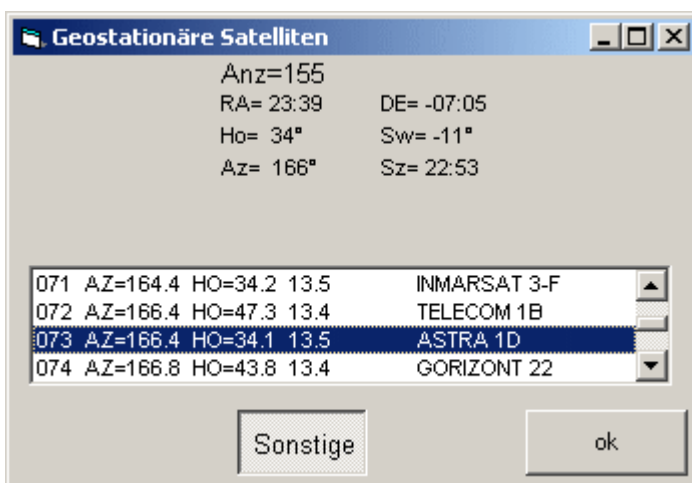
Geostationäre Satelliten befinden sich auf einer Kreisbahn über dem Äquator der Erde. Sie sind meist die ganze Nacht von der Sonne beschienen und mit Helligkeiten zwischen 10 und 14 mag mit mittelgroßen Teleskopen auch visuell durchaus erreichbar. Eindrucksvoll ist die Beobachtung von Satellitenclustern, die sich im Teleskop wie ein kleiner offener Sternhaufen ausmachen, welcher sich hinsichtlich seiner Konstellation und bisweilen auch hinsichtlich der Helligkeiten seiner Mitglieder im Laufe der Beobachtungsnacht langsam verändert. Darauf wird weiter unten noch näher eingegangen.



Das Auffinden der Satelliten

Infolge der Parallaxe sind sie von unseren Breiten aus nicht bei Null Grad Deklination aufzufinden. Zum Auffinden geostationärer Satelliten verwendet man ein Planetariumsprogramm wie z.B. Guide8. Man bestimmt die Position des Satelliten, ausgehend von den Elementen seiner Bahn bezüglich dem Standort des Beobachters und der geplanten Uhrzeit der Beobachtung. Dazu benötigt man die TLE-Daten des Satelliten aus dem Internet. TLE steht für "two line elements" und kann von Seiten www.heavens-above.com oder www.space-track.com heruntergeladen werden. Hat man ein Teleskop mit Goto-Funktion, so positioniert man das Teleskop schon vor dem geplanten Beobachtungszeitpunkt auf die vom Planetariumsprogramm ausgerechneten Himmelskoordinaten RA/DE und schaltet genau zum gerechneten Beobachtungszeitpunkt die Nachführung ab. Die Satelliten sollten jetzt im Okular fix stehen, während die Hintergrundsterne entsprechend der Erddrehung vorbeiziehen.

Wie man von den TLE-Elementen zur Ephemeride des Satelliten kommt, sei an Hand des Planetariumsprogramms GUIDE8 skizziert: Die TLE-Daten müssen dazu in einem ASCII-Textfile aufgelistet sein. Zusammen mit einer Header-Zeile die mit dem Namen des Satelliten beginnt, werden 3 Textzeilen pro Satellit verwendet (in dieser Form sind sie von www.space-track.com direkt runterladbar). Dieses Textfile kann nun in Guide eingelesen werden. Dazu findet man im Menü "Einstellen" den Menüpunkt "TLE=..." Mit "Click here to select a TLE file from your hard drive" kann man nun das Textfile einlesen. Nun wählt man im Menü "Finden" den Menüpunkt "Satellit". Es öffnet sich ein Eingabefenster für den Satellitennamen. Wird das Fenster ohne Texteingabe mit OK quittiert, kann man den Satellit mit seinem Namen auch aus einer Liste auswählen. Die Liste muss jenen Satelliten entsprechen, die im Textfile enthalten sind. Guide stellt nun eine Sternkarte dar, in welcher der Satellit genau in Bildmitte mit einem kleinen Dreieck eingezeichnet ist. Sobald man dieses im Kontext-Menü also mit der rechten Maustaste angeklickt hat, kann die Ephemeride des Satelliten ausgerechnet (Menü "Animation" Menüpunkt "Ephemeride erstellen") und seine Bahn in der Sternkarte eingezeichnet werden (Menü "Animation" Menüpunkt "Spur hinzufügen"). Die gezeichnete Bahn entspricht der Erdrotation. Die Skalierung entspricht dem Beobachtungszeitpunkt.



Wir haben es mit unserem 50cm-RC freilich noch einfacher. Wir können auf das Planetariumsprogramm und die Bahnberechnung verzichten und müssen nur den gewünschten Satelliten aus einer Liste geostationärer Satelliten in unserem selbstentwickelten Sternwarten-Leitsystem mit der Maus auswählen, den Rest erledigt das Leitsystem im Zusammenspiel mit der Stoll'schen Teleskopsteuerung vollautomatisch. Die Liste selbst ist mittels www.calsky.de bei Bedarf sofort updatebar und enthält die Werte für Azimut und Höhe der Satelliten bezogen auf den eigenen Beobachtungsstandort. Kollegen mit Goto-Teleskopen welche die Zielkoordinaten bei

abgeschalteter Nachführung in Azimut und Höhe eingeben können, können ebenfalls mit dieser Methode arbeiten (wenn es so etwas überhaupt gibt).

Aber auch mit Teleskopen ohne Goto, sogar mit Dobsonteleסקopen ist die Beobachtung von geostationären Satelliten möglich. Letztere eignen sich sogar besonders gut dazu, da nicht Nachgeführt werden muss. Nur die

Vorgangsweise mit dem Planetariumsprogramm ist jetzt leicht zu modifizieren. Auch hier bestimmt man die Position des Satelliten, ausgehend von den Elementen seiner Bahn (TLE) bezüglich dem Standort des Beobachters und der geplanten Uhrzeit der Beobachtung. Nur lässt man sich jetzt die scheinbare Bahn des Satelliten vor dem fixen Sternhintergrund in einem Zeitintervall um den geplanten Beobachtungszeitpunkt in die Sternkarte einzeichnen. Man prüft nun die Bahnlinie auf Annäherungen an helle Sterne die zusammen mit der Satellitenbahn innerhalb des eigenen Okular Gesichtsfeldes zu liegen kommen. Sterne welche man durch Star-Hopping manuell im Teleskop einstellen kann. Hat man einen derartigen Stern am Rechnerbildschirm gefunden, notiert man den vom Planetariumsprogramm berechneten Zeitpunkt der Annäherung (dazu ist die eingezeichnete Satellitenbahn an dieser Stelle anzuklicken). Ist der helle Stern im Teleskop eingestellt, so sollte der geostationäre Satellit genau zu diesem Zeitpunkt im Okular auftauchen. Beim Dobson ist bis zu diesem Zeitpunkt der helle Stern entsprechend nachzurückeln. Dieses Verfahren wurde von uns mittels Guide8 auf Praxistauglichkeit überprüft.

Beobachtung der Örter

Beobachtet man einen Cluster geostationärer Satelliten wie z.B. Astra G oder Hotbird längere Zeit, dann fällt auf, dass sich die gegenseitige Lage der Satelliten des Clusters oft schon im Lauf weniger Minuten leicht verändert. Im Folgenden wird versucht, eine plausible Erklärung für diese Bewegungen zu geben.

Damit ein Satellit von der Erdoberfläche aus gesehen am Himmel stillsteht, muss er eine geostationäre Umlaufbahn einnehmen. Dazu müssen 3 Voraussetzungen erfüllt sein.

1. Eine Umlaufzeit von einem siderischen Tag, also 23 Stunden, 56 Minuten 4.09 Sekunden. Das entspricht genau der Erdrotation. Eine derartige Bahn nennt man geosynchron.
2. Erst wenn die Bahn darüberhinaus exakt kreisförmig ist (Bahnradius $\sim 42157\text{km}$ das sind ca. 36000km über der Erdoberfläche) und genau in der vom Äquator aufgespannten Ebene verläuft, ist sie auch geostationär.

Diese Voraussetzungen lassen sich in der Praxis nicht ganz perfekt erfüllen. Abweichungen bei Punkt 2 führen zu den scheinbaren täglichen Pendelbewegungen der Satelliten:

- Eine restliche Exzentrizität der Bahn führt zu einer täglichen Pendelbewegung in Ost-West-Richtung. Die Exzentrizität ist der fünfte Zahlenwert in der zweiten Zeile der TLE. Die mathematisch zugrundegelegte elliptische Form der Bahn ist jedoch nur eine Näherung.
- Eine restliche Bahnneigung (Inklination) gegenüber der Äquatorebene führt zu einer täglichen Pendelbewegung in Nord-Süd-Richtung. Die Inklination ist der dritte Zahlenwert in der zweiten Zeile der TLE

Beide Bewegungen zusammen ergeben die im Teleskop beobachteten Achterschleifen, mit denen sich die Satelliten eines Clusters scheinbar einmal am Tag gegenseitig umkreisen. Wenn aktuelle TLE-Daten für mehrere Mitglieder des Clusters im Internet auffindbar sind, lassen sich diese Bewegungen auch im Planetariumsprogramm nachvollziehen. Durch Vergleich mit den Beobachtungen kann man die Bahnelemente überprüfen.

Darüber hinaus gibt es Restfehler höherer Ordnung und Einflüsse auf die Satellitenbahn: Änderung der Bahnhöhe und der damit verbundenen Abweichungen von der siderischen Umlaufzeit, Mikrometeoriteneinschläge und Sonnenwind, Lichtdruck der Sonne auf die Solarpanele, Gravitative Einflüsse von Sonne und Mond sowie gegenseitige gravitative Beeinflussung der Satelliten eines Clusters untereinander. Derartige Restfehler werden durch aktive Korrekturmanöver mittels der Antriebsaggregate des Satelliten üblicherweise in längeren Zeitabständen kompensiert, sodass sich die Satelliten immer innerhalb eines definierten Zielgebietes (z.B. ein Würfel vom 120km Kantenlänge) aufhalten.

Um diese Restfehler zu beobachten, muss man Aufnahmen des Satellitenclusters vergleichen, die an verschiedenen Tagen genau zur gleichen Sternzeit aufgenommen worden sind. Die Aufnahmen weisen dann die gleichen Hintergrundsternstrichspuren auf und man kann die Aufnahmen an Hand der Hintergrundsterne rückzentrieren. Das wäre dann ein Langzeitbeobachtungsprogramm für geostationäre Satelliten.

Beobachtung der Helligkeiten

Bei einem Satellitencluster sind Änderungen der Helligkeiten untereinander in Zeitrafferaufnahmen besonders auffällig. Sie sind durch den wechselnden Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit der Satelliten bedingt. Es ergeben sich tageszeitliche und jahreszeitliche Perioden in der Helligkeit. Satelliten mit östlicher Elongation zeigen im Lauf der Nacht eine abnehmende Helligkeit (zu sehen in unserem Video von Astra-G), bei westlicher Elongation wird der Satellit in den Morgenstunden heller. Im Sommer sind geostationäre Satelliten heller als im Winter.

Das Eintauchen des Satelliten in den Erdschatten oder die Morgendämmerung am Ort des Satelliten bilden mit großen Teleskopen ebenso reizvolle Beobachtungsziele. Wegen der großen Höhe der geostationären Bahn sind derartige Ereignisse eher selten zu beobachten. Der Satellit geht nur wenige Wochen um den Frühlings- oder Herbstbeginn überhaupt in den Erdschatten, bei östlich stehenden Satelliten vor Mitternacht und bei westlich stehenden Satelliten nach Mitternacht. Die Dauer der Verfinsterung ist maximal 70 Minuten. Manche Planetariumsprogramme bieten die Möglichkeit diese Zeitpunkte zu bestimmen. Die Dämmerungsphase selbst kann mit Video dokumentiert werden. Der mehr oder weniger stark ausgeprägte Farbumschlag lässt Rückschlüsse auf das lokale Wetter am Ort des Sonnenauf- oder Untergangs auf der Erde zu.