

Anleitung zu SatCal Version 11.1

Gerhard HOLTKAMP

7-JAN-2011

•

SatCal kann dazu benutzt werden, Zeiten von Satelliten-Sichtbarkeiten zu berechnen. Ebenfalls möglich ist das Eintragen oder Ändern von Bahnelementen der Satelliten, einfache Delta-V Manöver, kontinuierlicher Ionenantrieb, das Berechnen einer Startbahn bei bekanntem Startort, Startzeit, Bahnhöhe und Inklination sowie eine einfache Bahnbestimmung eines beobachteten Satelliten. Auch können die relativen Sichtbarkeiten zwischen zwei Satelliten berechnet werden. Die Orte, von denen aus ein Transit des Satelliten vor der Sonne oder dem Mond oder einem anderen Punkt am Himmel aus beobachtet werden können, kann SatCal auch darstellen. Berechnungen von Satelliten-"Flares" können ebenfalls mit SatCal durchgeführt werden. Listen von "Iridium-Flares" können berechnet werden.

Bilder von Satellitenspuren können geladen und mit einer einfachen Astrometrie-Funktion analysiert werden.

SatCal arbeitet mit drei unterschiedlichen Bahnmodellen: Einem einfachem analytischen Kepler Modell mit geringer Präzision und dem Spacetrack SGP4 Modell, welches eine höhere Präzision besitzt, sowie einer numerischen Bahnintegration.

Diese Anleitung gibt wichtige Tips für die öfter benutzten Funktionen von SatCal. Eine detaillierte englisch-sprachige Beschreibung, die auch auf exotische Fälle eingeht und alle Details erklärt, befindet sich im `SatCal.pdf`. Eine Online-Kurzbeschreibung erhält man beim Menü `Help`, `Help` oder durch `What's This?` Context Hilfe.

SatCal ist freie Open Source Software. Es kann weiterverteilt oder modifiziert werden gemäss den Bedingungen der GNU General Public License.

Installation:

SatCal läuft unter Windows und Linux (eine Version unter Mac OS X ist auch möglich). Zum manuellen Installieren muss die Datei `SatCal_11.1_Win.zip` (für Windows) oder die Datei `SatCal_11.1_linux.tar.gz` (für Linux) entpackt werden.

Beim ersten Start von SatCal werden Default-Werte benutzt. Die Eingabe des Beobachtungsorts geschieht über das Menü **Input, Location**. Eine TLE-Datei wird ausgewählt mit **File, Open TLE File**. Typischerweise ist dies die Datei `visual.txt` in SatCal. Der Standard Output von SatCal wird in denselben Order gelegt wie die aktuelle TLE-Datei. Eigentlich ist das schon alles, aber unter Windows ist es besser die linke Maustaste zur Auswahl der Pass-Details zu benutzen. Dies geschieht via **View, Enable Left Button**. Wenn jetzt SatCal mit **File, Exit** verlassen wird, werden diese Einstellungen gespeichert. Fertig.

Starten von SatCal:

Zum Starten von SatCal einfach wie gewohnt das entsprechende Icon im `bin` Unterverzeichnis von SatCal anklicken. Falls SatCal zum ersten Mal gestartet und noch keine Konfigurationsdatei vorhanden ist, erscheinen Default-Werte für die Koordinaten des Beobachters usw.

Zum Verlassen von SatCal das Menü **File** wählen, dann **Exit**. Die zuletzt benutzten Koordinaten, Datei- und Satellitennamen usw. werden dann gespeichert und erscheinen beim nächsten Start automatisch. Falls SatCal durch Klicken des in der rechten oberen Ecke des Fensters stehenden Kreuzes verlassen wird, werden die Koordinaten usw. nicht gesichert.

Sinnbilder und Hotkeys:

Zum Kennenlernen der Icons der Sinnbildleiste kann man den Cursor über das entsprechende Icon bewegen und erhält dann, wie bei vielen anderen Programmen auch, eine Kurzerklärung. Für die meisten Befehle stehen auch Hotkeys zur Verfügung. Eine Liste der Hotkeys steht z.B. in der Online **Help** Kurzbeschreibung.

Die Hotkeys sollten eigentlich in der Tasten-Kombination `<strg> + Hotkey` gegeben werden. SatCal erlaubt aber auch das einfache Drücken der Hotkey-Taste. Sollte es einmal vorkommen, dass SatCal nicht auf das Drücken einer solchen Taste reagiert (was typischerweise nach bestimmten Mausoperationen vorkommt), einfach die Taste `<strg>` drücken um das Problem zu beseitigen.

Satelliten Bahn-Element Dateien:

SatCal erlaubt die manuelle Eingabe von Satelliten-Bahndaten oder auch die Berechnung von Satellitenstarts oder eigene Bahnbestimmungen, oder auch die Generation von Bahndaten für geostationäre Satelliten. Meist wird man aber Berechnungen aufgrund von sogenannten Two-Line-Element (TLE) Dateien durchführen, in denen die Daten für im Orbit befindliche Satelliten stehen.

Solche Dateien sind an verschiedenen Stellen im Internet zu finden, z.B.

<http://www.celestrak.com>

Hier ist dann Current zu wählen, dann z.B. 100 or so Brightest (für die Datei VISUAL.TXT in der helle, oft mit freiem Auge sichtbare Satelliten wie etwa die ISS oder das HST verzeichnet sind) oder IRIDIUM.TXT für Iridium Satelliten.

<http://www.tle.info>

Dies ist ebenfalls eine nach Kategorien geordnete Quelle von TLE's. Hier gibt es eine Masterliste aller (nicht-geheimen) Satelliten:

http://www.tle.info/data/ALL_TLE.zip

Die Daten kommen ebenso wie bei Celestrak von SpaceTrack.

<http://spaceflight.nasa.gov/realdata/elements>

Hier gibt es Bahnelemente in verschiedenen Formaten (unter anderem auch im benötigten TLE-Format und als State Vector) für die ISS und Shuttle Flüge. Vorrangsausgabe Bahnelemente bis zu etwa einer Woche sind dort verfügbar, die auch geplante Manöver abdecken. (Meist sind aber die aktuell verfügbaren ISS TLE's genauer.)

<http://www.satobs.org/satintro.html>

Hier gibt es Tips und Links für Satellitenbeobachter.

TLE's von geheimen Satelliten findet man auf:

<http://www.io.com/~mmccants/tles/classifd.zip>

Die gewünschte(n) Datei(n) downloaden (am besten in das SatCal Verzeichnis). Falls keine Bahnmanöver durchgeführt wurden, sind die Satellitendaten meist zwei bis vier Wochen (bei niedrigen Satelliten; bei höheren Satelliten oft auch länger) brauchbar, bis sie durch ein neues Download erneuert werden müssen. SatCal bietet einen Mechanismus, um bestimmte Satellitendaten auch über längere Zeiträume benutzen zu können (siehe weiter unten).

Beim Start von SatCal wird angezeigt, welche TLE-Datei erwartet wird. Zum Auswählen einer anderen Datei: Menü File, dann Open. Es erscheint die übliche Open File Dialog Box. Die TLE-Dateien besitzen als Extensions meistens .TLE oder .TXT. SatCal akzeptiert aber auch andere Dateinamen. (Beim allerersten Start nach der Installation stimmt das erwartete Verzeichnis der Default TLE-Datei nicht unbedingt mit dem aktuellen Verzeichnis überein. In diesem Fall muss die Datei noch einmal mit Menü File, dann Open neu eröffnet werden. Verlässt man danach das Programm mit File, Exit bleibt die Einstellung dann erhalten.)

Die gerade gewählte TLE Datei kann auch direkt von SatCal aus upgedated werden: Menü File, dann Online TLE Update. Die Web-Adresse der Datei muss dann angegeben werden. Der Update erfolgt asynchron. Nachdem der Update erledigt ist kommt eine entsprechende Meldung. Bereits ausgewählte

Satelliten werden aber nicht automatisch erfrischt. Sie müssen nach dem Update noch einmal neu selektiert werden. (Falls für den Zugang zum Internet ein Proxy-Server benutzt wird kann dieser TLE Update unter Umständen blockiert sein.)

Auswahl von Satelliten:

Menü Input, dann **Select Satellite**. Es erscheint die Select Satellite Dialog Box. Den Namen des gewünschten Satelliten eingeben (z.B. ISS oder HST), dann auf **Find** klicken. Wenn ein Match in der Bahndaten-Datei gefunden wurde, zeigt SatCal die entsprechenden Bahnelemente an. Um den betreffenden Satelliten auszuwählen, auf **Select** klicken. (Falls noch mehr passende Einträge existieren, erscheint **More** und man kann dann diese weiteren Einträge anzeigen.) Nachdem ein Satellit ausgewählt wurde, können noch bis zu neun weitere Satelliten hinzugefügt werden.

Wenn man dieses Menü erneut wählt, erscheint eine Taste **New Set**. Wird diese Taste angeklickt, werden alle derzeit gewählten Satelliten gelöscht und man kann mit einem neuen Satelliten Set anfangen. Anderenfalls werden neue Satelliten dem bisherigen Set hinzugefügt (bis zu insgesamt 10 Satelliten; danach wird der zehnte Satellit überschrieben.)

WICHTIG: Satelliten müssen durch Klicken von **Select** ausgewählt werden. Falls man das vergessen hat (kann am Anfang ein paarmal passieren!) erscheinen die entsprechenden Satelliten nicht in den Berechnungen!

Eingabe von Datum und Zeit:

Beim Start von SatCal werden zunächst aktuelles Datum und Zeit als Startzeit für die Berechnungen eingetragen. Falls ein anderer Zeitpunkt gewünscht ist, Menü Input, dann **Date/Time** wählen.

Die Zeitzone kann durch markieren von **Use System Timezone** automatisch auf die System-Zeitzone gesetzt werden oder kann anderenfalls manuell gesetzt werden (MEZ = +1, MESZ = +2). Die Zeitzone wird beim Verlassen von SatCal via Exit gespeichert und steht beim nächsten Start wieder zur Verfügung. (SatCal verwendet die am PC eingestellte Systemzeit als Echtzeit, die Zeitangaben erfolgen aber immer in der Zeitzone die in diesem SatCal-Menü eingestellt wurde, unabhängig von der im System eingestellten Zeitzone.)

Mit dem Parameter **Duration** wird spezifiziert, für welchen Zeitraum (in Tagen) die Berechnungen durchgeführt werden sollen. Die Dauer der einzelnen Zeitschritte (für die Weltkarte und auch für die Pass Details) wird eingestellt durch **View, Time Step** oder durch Drücken der Taste **T**.

Unter Windows kann es unter Umständen passieren, dass die Zeitzone während der Sommerzeit nicht richtig erkannt wird. In diesem Fall muss die Zeitzone manuell gesetzt werden. Um in diesem Fall die Zeit im Real-time Modus korrekt angezeigt zu bekommen, muss man noch den Parameter

R/T Offset auf -1 setzen, um die Echtzeit korrekt darzustellen (dieser Parameter wird aber beim Verlassen von SatCal nicht gespeichert). Unter Linux funktioniert die Echtzeit stets korrekt.

Eingabe des Beobachtungsortes:

Menü Input, dann Location. Zur Eingabe der geographischen Breite und Länge in Dezimalgrad Decimal Degrees markieren. Für Winkelangaben in Grad, Minuten, Sekunden DD.MMSS markieren (z.B. 48 deg, 28 min, 45 sec als 48.2845 eingeben). Entsprechend des hier eingestellten Modus werden auch die geographischen Koordinaten auf der Weltkarte angegeben.

Norden ist positiv, Süden negativ, Osten positiv und Westen negativ. Die Höhenangabe ist in Meter.

Berechnung von Sichtbarkeiten:

Um eine Liste von Sichtbarkeiten des gewählten Satelliten zu bekommen, Menü Calculate, dann AOS wählen. Es erscheint eine Liste mit Start-, Maximum- und Endzeiten der Sichtbarkeit. In Klammern hinter den Zeiten stehen die zugehörigen Azimuth und Elevationswinkel. Detailliertere Listen der einzelnen Passagen können durch Klicken der rechten Maustaste auf die entsprechende Zeile erhalten werden (oder auch der linken Maustaste, falls diese mit View, Enable Left Button aktiviert wurde. Hier wird auch am Ende der Liste die scheinbare Position des Pols der Satellitenbahn in Azimuth / Elevation sowie in Rektaszension / Deklination angegeben. Richtet man ein Teleskop entlang dieser Position aus, so kann man den Satelliten im wesentlichen durch Bewegen der Rektaszensionsachse verfolgen und braucht nur kleine Korrekturen in der Deklinationsachse durchzuführen (um die Erdrotation während des Satellitenpasses auszugleichen).

Die Kriterien für die Sichtbarkeit sind im Menü View, Visibility festgelegt. Dies sind die minimale Elevation des Satelliten, maximale Sonnenelation, sowie Visible Passes Only (Satellit von der Sonne beleuchtet).

SatCal bietet auch die Möglichkeit, Sichtbarkeiten unter Mondbeleuchtung auszurechnen. Dazu muss Moon Visibility zusätzlich zu Visible Passes Only markiert werden. In diesem Fall gilt ein Satellit als "Mond-"sichtig wenn der Mond den Satelliten beleuchtet, der Satellit aber nicht gleichzeitig im Sonnenschein ist. (Diese Option macht aber nur bei extrem hellen Satelliten, d.h. der ISS oder Shuttle Sinn, da die scheinbare Helligkeit bei Mondbeleuchtung sehr gering ist.)

Falls mehr als ein Satellit ausgewählt war, kann zwischen den einzelnen Satelliten umgeschaltet werden mit Menü View, Switch Sats oder durch Drücken der Tasten 1, 2 etc.

Eine Liste der Sichtbarkeiten aller Satelliten der ausgewählten TLE-Datei kann mit Calculate, All Satellite Passes erzeugt werden. Diese Liste er-

scheint nicht am Bildschirm sondern wird als Textdatei auf SATSAVE.TXT geschrieben (diese Datei wird in den selben Ordner geschrieben wie die gewählte TLE-Datei). Das kann beim Planen einer Beobachtungsnacht helfen.

Waren im Visibility Dialog die Occultation/Transit oder Flare Optionen ausgewählt (siehe weiter unten), so erscheint eine Dialogbox, in der eine maximale Entfernung (in km) angegeben wird und es werden statt der üblichen Sichtbarkeitszeiten die Zeiten entsprechender Ereignisse zusammen mit Azimuth, Elevation und der minimalen Entfernung vom Beobachtungsort (von wo aus das Ereignis optimal zu sehen wäre) ausgegeben.

Plotten der Weltkarte / Himmelskarte:

Die Positionen der Satelliten können auf einer Weltkarte angezeigt werden. Diese Karte kann auf verschiedene Weisen aktiviert werden. Die Echtzeit-Positionen werden angezeigt durch das Menü Plot, Real Time. Den augenblicklichen Stand erhält man durch Current Step. Um die nächste Passage über dem Beobachtungsort (im Rahmen der festgelegten Sichtbarkeitsbedingungen) zu erhalten wählt man Plot, Next Pass oder drückt die Bild nach unten Taste. Mit den Tasten Pfeil nach rechts oder Pfeil nach links kann man die Positionen um einen Zeitschritt vor oder zurück zu setzen. Dabei kann der Zeitschritt von zunächst 15 sec mit dem Menü View, Time Step auf beliebige Werte gesetzt werden. Um die Karte zu erneuern kann man View, Refresh geben oder die <Entfernen> Taste drücken. Um zwischen Weltkarte und Text zu schalten kann man X drücken.

Die Karte zeigt die Positionen der ausgewählten Satelliten sowie die zugehörigen Gebiete in denen die Satelliten über dem Horizont stehen. Ebenfalls angezeigt ist der Beobachtungsort (als grün-blauer Kreis) sowie der Ort, an dem die Sonne im Zenith steht (als gelber Stern). Für einen der Satelliten (dem "Prime Satellite") sind unterhalb der Karte die geographischen Positionsdaten sowie die relative Position des Satelliten in Bezug auf den eingestellten Beobachtungsort (sowohl in scheinbarer Rektaszension und Deklination als auch in Azimuth und Elevation) und auch die Elevation der Sonne vom Satelliten aus und am Beobachtungsort angegeben. Teile der Daten erscheinen in Schwarz falls der Satellite nicht von der Sonne beleuchtet ist oder falls er unter dem Beobachter-Horizont steht. Um den Satelliten zu sehen, müssen alle Daten weiss sein. (Im Sonderfall der Mondsichtbarkeit, falls diese gewählt wurde, erscheint die dritte Spalte in Gelb.) Durch vor- oder zurückschreiten mit kleiner Schrittweite (z.B. 1 sec) kann man leicht sehen, ob der Satellit an einem leicht zu findenden Stern vorbeifliegt, der dann beim Auffinden behilflich sein kann.

Mit View, MapView / SkyMap oder durch Klicken des Map Settings / SkyMap Icons erscheint eine Dialogbox mit der man das Aussehen der Karte beeinflussen kann. Zur Verfügung stehen eine normale Weltkarte (entweder als physikalische Karte oder als einfache Skizze) und stereographische Projektionen der nördlichen bzw. der südlichen Hemisphäre, die man unter Map Projection

markieren kann. Bei Markieren der Show Day/Night - No Trail Checkbox wird auf der Weltkarte die nächtliche Hemisphäre schattiert. In diesem Fall erscheinen lediglich die Satelliten an ihren Positionen, aber nicht deren Spuren (dies gilt auch für die Himmelskarten). Auch wird die Karte dann alle 14 Minuten erneuert. Koordinaten können bei der Weltkarte angezeigt werden und die Hintergrundfarbe kann gewählt werden. Bei Markieren der Sky Map Checkbox wird auf die Himmelskarte umgeschaltet. Zur Verfügung steht eine stereographische Projektion der sichtbaren Hemisphäre zentriert auf den Zenith (Zenith) oder Mollweide Projektionen in verschiedene azimuthale Richtungen (North, East, South, West oder Azimuth/Auto). Die Himmelskarten werden je nach Fall nach 1 bis 6 Minuten erneuert, um der Himmelsbewegung gerecht zu werden. Angezeigt werden Sterne bis mag 4.5, sowie Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Die Farbkodierung der Planeten ist neben der Zenith-Karte angegeben. Satelliten werden nur angezeigt, wenn sie sich innerhalb des Blickfeldes befinden. Falls im Visibility Dialog (Menü View, Visibility) die Checkbox Visible Passes Only markiert wurde, erscheinen Satelliten nur dann auf der Himmelskarte, falls sie beleuchtet sind.

Normalerweise werden die geographischen Positionsdaten mit zwei Dezimalstellen hinter dem Punkt ausgegeben. Mit View, MapView / SkyMap kann man die Checkbox RA/Dec with 4 digits markieren. Dann werden 3 oder 4 Dezimalstellen dargestellt. Falls decimal degrees bei Input, Location gewählt wurde bedeuten die 3 Ziffern nach dem Punkt Dezimalgrad und das ° Zeichen folgt der Zahl. Falls DD.MMSS gewählt wurde bedeuten die 4 Dezimalziffern Minuten und Sekunden und das ° Zeichen ersetzt den Dezimalpunkt. (Beispiel: -45.76° oder -45.761° oder -45°36 oder -45°3539 bezeichnen alle dieselbe Position je nach den Einstellungen.)

Mit View, Switch Sat's und klicken der entsprechenden Taste kann man den "Prime Satellite" wählen. Alternativ kann man zwischen den Satelliten auch durch Drücken der Tasten 1 bis 0 umschalten.

Mit View, Show Names (oder Drücken der Taste N) werden die Namen der Satelliten auf der Karte an den entsprechenden Positionen angegeben.

Um eine Schätzung der scheinbaren Helligkeit des Satelliten zu erhalten, kann man mit View, Magnitude einen entsprechenden Parameter angeben. Wenn die Characteristic length ungleich Null ist, wird die Magnitude anstelle der relativen Geschwindigkeit (Rate, in der rechten unteren Ecke) angezeigt. Werte von 10 bis 15 für diesen Parameter geben meist brauchbare Werte für Shuttle und ISS an. Für andere Satelliten werden meist Werte zwischen 0.5 und 3.0 sinnvoll sein. Hier muss man einfach probieren.

Beim Klicken der rechten Maustaste auf einen bestimmten Punkt der Weltkarte erhält man die relativen Positionen aller gewählten Satelliten in Bezug auf diesen geographischen Ort. Bei den Himmelskarten werden in diesem Fall die Koordinaten des entsprechenden Punktes (in Azimuth, Elevation sowie in Rektaszension, Deklination) sowie die Winkeldistanz zum "Prime Satellite" angezeigt und zusätzlich der Kurs des Satelliten über die Himmelskoordinaten.

TIPP: Um einen schnellen Überblick zu bekommen, wie ein Satellit vom Beobachter aus gesehen über den Himmel fliegt, kann man Sky Map, Azimuth/Auto

einstellen. Der Zeitschritt sollte z.B. bei 5 sec liegen. Wenn man nun die Bild nach unten Taste drückt (oder das Next Pass Icon klickt) springt der Satellit zu der maximalen Höhe des nächsten Passes und die Himmelskarte wird automatisch optimal auf diesen Fall eingestellt, so dass man dann sofort mit der Pfeil nach rechts" oder Pfeil nach links Taste die Bewegung über den Himmel verfolgen kann.

Berechnen und Plotten von Transit-Orten:

Um Herauszufinden, wann und wo ein ausgewählter Satellit vor der Sonnen- oder Mondscheibe (oder einem anderen spezifizierten Punkt am Himmel) vorbeizieht, wählt man Menü View, dann Visibility. Hier ist dann die Checkbox Occultation/Transit zu markieren. Für die Sonnenscheibe Sun Transit oder für den Mond Moon Transit anklicken. Wählt man R.A./Dec., so erscheinen zusätzlich zwei Felder in die beliebige Himmelskoordinaten (In Rektaszension und Deklination) eingetragen werden können. In diesem Fall wird SatCal die Orte des Transits (oder der Bedeckung) dieser Koordinaten ausrechnen. (Die Epoche der Koordinaten kann in Year of Epoch angegeben werden.)

Statt der gewohnten Positionen der Satelliten auf der Weltkarte erscheinen nun die Orte, von denen man aus (zu den betreffenden Zeiten) den gewählten Satellitentransit beobachten kann. Die dritte Datenspalte unterhalb der Weltkarte zeigt jetzt nicht die relativen Himmelskoordinaten des Satelliten sondern die geographischen Koordinaten des betreffenden (Transit-Beobachtungs-) Ortes. Die Entfernung dieses Ortes zum eingestellten Beobachtungsort wird in der rechten Spalte anstelle der Rate oder Mag Angabe unter dst: in km angezeigt. Falls zu dem betreffenden Zeitpunkt kein entsprechender Transit beobachtet werden kann erscheint die Meldung No Intersection.

Die Berechnung bezieht sich auf die Fläche, deren Höhe über NN der Höhe des eingestellten Beobachtungsortes entspricht.

Um schnell herauszubekommen, wann z.B. ein Transit vor der Sonnenscheibe in der Nähe des Beobachtungsortes zu sehen ist, kann man, nachdem Sun Transit markiert worden ist mit Menü Calculate, dann AOS eine Liste entsprechender Ereignisse bekommen (es wird vor Ausführung der Rechnung noch nach der maximalen Entfernung vom Beobachtungsort gefragt - im speziellen Fall von Transits vor der Sonne oder dem Mond werden, falls diese Entfernung 0 ist, nur solche Ereignisse ausgegeben, die direkt vom eingestellten Beobachtungsort aus sichtbar sind.). Diese Liste enthält neben dem exakten Zeitpunkt des Transits (vor dem Zentrum der Sonne), Azimut und Elevation und minimaler Entfernung vom eingestellten Beobachtungsort auch die maximale Entfernung von der Zentrallinie bis zu der das Ereignis noch (am äussersten Sonnenrand) sichtbar ist (diese Angabe ist approximativ), die Dauer des Durchgangs (in Sekunden) sowie die Richtung des Durchgangs (z.B. 90° von links nach rechts, 225° von rechts oben nach links unten). Um eine Liste der Koordinaten der Zentrallinie, von der aus der Transit sichtbar ist,

zu bekommen, kann man (mit der rechten Maustaste) auf die entsprechende Zeile der AOS-Liste klicken. Dann erscheint die `Pass Details Information`. Diese kann mit `Save` auf die aktuelle `Save Datei` kopiert werden und steht dann als normale Textdatei für andere Applikationen zur Verfügung. Damit lassen sich dann zum Beispiel (bei entsprechender Software) Overlays für detaillierte topographische Karten erzeugen. (Ein einfaches Programm, `ovlmap`, steht zur Verfügung, um die Daten von der Datei `satsave.txt` in eine Datei namens `satovl.ovl` zu wandeln, die von dem Program `TOP50` als Overlay für topographische Karten der Bundesrepublik Deutschland verwendet werden kann. Dieses Programm ist der Windows-Version von `SatCal` im Unterverzeichnis `overlay` beigelegt.)

Die scheinbare Grösse eines Satelliten vor der Sonnenscheibe kann man nach folgender Formel abschätzen: Sei d die lineare Ausdehnung des Satelliten in Metern, r die Entfernung (Range wie von `SatCal` angezeigt) in km, dann ergibt sich die scheinbare Grösse des Satelliten in Bogensekunden als $206 \times \frac{d}{r}$.

Wählt man `Sun Transit` oder `Moon Transit` erscheint im `Visibility Dialog` noch eine Checkbox mit Label `Sun/Moon Plot`. Wird dies markiert, so erscheint statt der Weltkarte nun die Sonnen- oder Mondscheibe. Für die jeweils gerade eingestellte Zeit wird jetzt die scheinbare Position des Satelliten in Bezug auf Sonne oder Mond, wie vom Beobachter aus gesehen, dargestellt. Man kann dann mit der linken oder rechten Pfeil-Taste wie gehabt den Satelliten über die Scheibe wandern lassen. Da so ein Ereignis nur etwa 1 Sekunde oder so dauert, sollte man einen Zeitschritt von z.B. 0.1 sec gewählt haben. Der Zeitpunkt sollte mit der zuvor berechneten Zeit genau übereinstimmen. Ausserdem muss der Beobachtungsort nahe genug an der Zentrallinie liegen. Diese Darstellung ist im Horizontalsystem, also so wie man es durch ein aufrechtes Spektiv sieht. Je nach Teleskop muss also dieses Bild auf den Kopf gedreht oder links und rechts vertauscht werden. Wird ein Teleskop parallaktisch aufgestellt, kann es sein dass z.B. eine angeschlossene Videokamera etc. gemäss dem Äquatorialsystem ausgerichtet ist. Um hier die Orientierung zu erleichtern, zeigt `SatCal` in der Mitte der (Sonnen- oder Mond-) Scheibe noch die Richtung zum Himmelsnordpol an (dies jedoch nur, falls für die Weltkarte eine Koordinatennetz angezeigt wird - `View, MapView / SkyMap, Grid`).

Um die Beobachtung von Satellitentransit zu planen wird man also am besten so vorgehen: Zunächst wird eine Liste von solchen Ereignissen innerhalb von z.B. 50km von Beobachtungsort und für die nächsten zwei Wochen oder so erstellt. Für solche Ereignisse, an denen man besonders interessiert ist, sieht man dann via der Weltkarte den Verlauf der Zentrallinie an und entscheidet sich für einen möglichen Beobachtungsort. Für diesen Beobachtungsort und den zugehörigen Zeitpunkt wird dann noch der Transit im `Sun/Moon Plot` dargestellt. Diese Rechnung sollte innerhalb von 24 Stunden vor der geplanten Beobachtung noch einmal mit neuesten Bahndaten wiederholt werden, um letzte Korrekturen am Beobachtungsort vorzunehmen. Die Chancen für eine erfolgreiche Beobachtung werden verbessert, wenn man einen Alarm auf etwa ein oder zwei Sekunden vor dem berechneten Ereignis einstellt.

Man kann auch eine Liste von Transits aller Satelliten einer Datei bekommen, indem man (nachdem Sun Transit oder Moon Transit im Visibility Dialog eingestellt wurde) Calculate, All Satellite Passes gibt. In diesem Fall wird man wohl meistens als maximale Entfernung 0 eingeben, um nur solche Passagen zu erhalten, die direkt vom Beobachtungsplatz aus sichtbar sind. Für diesen speziellen Fall werden Satelliten, die gefunden wurden, der Satellitenliste beigelegt, sofern noch Platz vorhanden ist (bis zu 10 Satelliten). Dies erlaubt, die Details der entsprechenden Transits sofort mit Hilfe der Sun/Moon Plots zu untersuchen.

Bemerkung: Um die Bedeckung eines kleinen Zieles, etwa eines Planeten, zu beobachten, muss man innerhalb von wenigen hundert Metern am richtigen Ort sein und auch die Satellitenposition entsprechen genau berechnen. Diese Genauigkeit wird von den analytischen Bahnmodellen nicht erreicht, bestenfalls von dem numerischen Modell, falls genügend genaue Anfangsdaten vorhanden sind. Bei grösseren Zielen, wie etwa der Sonne oder dem Mond oder grösseren Sternhaufen, hat man mehr Spielraum und die Chancen stehen besser. In jedem Fall sollte man ganz frische Bahnelemente benutzen, die nicht älter als ein oder zwei Tage sind.

Berechnen von Satelliten-Flares:

SatCal erlaubt die Berechnung von "Flares" (durch Spiegelreflexionen an einer speziellen Fläche des Satelliten hervorgerufenen helles Aufleuchten). Dazu wählt man Menü View, dann Visibility. Hier ist dann die Checkbox Flares zu markieren. Entweder kennt man die Lage der Fläche und möchte wissen, wann und wo man ein Flare von dieser Fläche beobachten kann; alternativ hat man an seinem Beobachtungsort ein Flare gesehen und möchte wissen, welche Fläche dafür verantwortlich ist.

Die Richtung der Fläche wird als Flächen-Normale angegeben, entweder lokal oder inertial. Viele Satelliten (besonders Erdbeobachtungssatelliten) halten ihre Lage lokal in Bezug auf die augenblickliche Richtung des Zentrums der Erde und ihrer Flugrichtung. Andere Satelliten (etwa Astronomie-Satelliten) werden oft auf eine bestimmte Stelle des Himmels gerichtet sein. Ist die Local Attitude Checkbox markiert wird eine lokale Lage mit Yaw und Pitch Winkel angenommen, anderenfalls eine Inertial-Lage mit den Himmelskoordinaten (in Rektaszension und Deklination). Die lokale Lage ist folgendermassen definiert: Man stelle sich den Satelliten wie ein Flugzeug vor, welches mit der Nase in Flugrichtung und dem Boden zur Erde zeigt. Nun dreht man zunächst die Nase nach links oder rechts (Yaw; positiv nach rechts) dann dreht man das Flugzeug nach oben oder unten (Pitch; positiv nach oben), um zu der gewünschten Richtung zu gelangen (in die dann die Nase des Flugzeuges zeigt). Z.B. hat die linke hintere Antenne der Iridium Satelliten ein Yaw von 240° und ein Pitch von -40° . (Alternativ kann man sich das als Azimuth/Elevation vorstellen mit Yaw als Azimuth (0° in Flugrichtung) und Pitch als Elevation).

Falls die Known Surface Checkbox markiert ist, sind die der Spiegel-Fläche

entsprechenden Yaw/Pitch bzw. R.A./Dec. Winkel in die entsprechenden Felder einzutragen. Die geographische Position des (durch diese Fläche verursachten) Flares wird nun mit der Bemerkung Flare Position analog zum oben beschriebenen Sonnen-Transit dargestellt. Anderenfalls werden die Winkel der Fläche, welche einen Flare am Beobachtungsort erzeugen, als Yaw/Pitch oder als R.A./Dec. in der dritten Spalte zusammen mit der Bemerkung Flare Angle angezeigt.

Einige Erdbeobachtungs-Satelliten mit besonders hohen Genauigkeitsanforderungen (wie etwa Envisat und Metop) benutzen eine besondere lokale Lage, die ständig korrigiert wird, um stets in Richtung der Bewegung entlang des Groundtracks zu zeigen, was zu "Yaw"-Abweichungen von bis zu etwa 4° führen kann. In diesem speziellen Fall kann man die Yaw Steering Mode Checkbox markieren damit SatCal diesen Effekt berücksichtigt. Normalerweise sollte aber diese Checkbox unmarkiert bleiben. (Anweisungen zum Berechnen von Metop-Flares finden sich in der Dokumentation unter `metop_flare_DE.txt`.)

SatCal erlaubt das spezielle Prüfen von Flares, die durch die Solarpanele erzeugt werden. Diese sollten normalerweise immer zur Sonne zeigen. Die Known Surface und die Local Attitude Checkboxes müssen UNMARKIERT sein. Dann erscheint eine weitere Checkbox, die Solar Panel Flares Checkbox. Wird diese markiert, zeigt SatCal in der mittleren Spalte des Map-Displays den Winkel zwischen der Sonnenrichtung und der für Flares idealen Richtung an. Falls dieser Winkel klein genug ist (z.B. 1°) kann es zu Flares kommen.

Berechnen von Iridium-Flares:

Um eine Liste von "Iridium-Flares" zu erhalten, gibt es zwei Alternativen. Wählt man Menü Calculate, dann Iridium Flares (die Iridium Flares-Option bei Visibility braucht in diesem Fall nicht markiert zu werden) wird SatCal automatisch die Datei IRIDIUM.TXT als TLE-Datei nehmen und der Output der Liste erfolgt sowohl am Bildschirm als auch auf der Datei IRIDIUMF.DOC (und diese wird bei jedem neuen Aufruf überschrieben). Im Anschluss and die Berechnung kehrt SatCal zu der zuvor eingestellten TLE- und Output-Datei zurück. Alternativ kann man Menü View, dann Visibility wählen und die Iridium Flares Checkbox markieren. In diesem Fall muss die entsprechende Iridium TLE-Datei zuvor als aktive TLE-Datei eingestellt worden sein, kann aber hier jeden beliebigen Namen haben. Als Output-Datei (falls der Output auf File erfolgen soll) wird die zur Zeit eingestellte Datei genommen und der neue Output hinzugefügt. Um die Berechnung zu aktivieren muss hier dann Calculate, AOS (Output nur am Bildschirm) oder File, Save (Output auf der Datei) gegeben werden.

In beiden Fällen erscheint eine Dialogbox in der die minimale (scheinbare) Helligkeit der Flares eingetragen ist (typischerweise mag 1.0). Falls (was zu empfehlen ist) die Operational Orbits Only Checkbox markiert ist, werden nur solche Satelliten berücksichtigt, die sich auf einer operationellen Bahn befinden, da andere Satelliten oft nicht (mehr) die korrekte Lage einhalten. Falls die

Include Solar Panel Flare Checkbox markiert ist, werden auch die (selteneren, recht ungleich über das Jahr verteilten) Flares von den Solarpanelen berechnet (was mehr Zeit kostet - die Panel-Flares zeigen grössere Schwankungen von den berechneten Werten, da für die Solarpaneele die Toleranzen weiter sind). OK klicken. Eine Liste entsprechender Iridium-Flares erscheint am Bildschirm und/oder auf der eingestellten Save-Datei. Die Zeiten der Flares, sowie die entsprechenden Angaben zu Azimuth, Elevation, reflektierende Antenne (Front, Left, Right; oder Solar bei Solar Panel Flares), Bewegungsrichtung des Satelliten (->N nach Norden, ->S nach Süden) und die erwartete scheinbare Helligkeit werden ausgegeben (falls Satelliten auf nicht-operationellen Bahnen berücksichtigt wurden, erscheint hinter der Helligkeit bei solchen Satelliten ein Fragezeichen ?). Gefundene Satelliten werden, soweit noch Platz vorhanden, zu der Liste der ausgewählten Satelliten hinzugefügt, so dass deren Ground-track etc. auf der Weltkarte verfolgt werden kann. Die mit Visibility festgelegten Parameter (minimale Elevation des Satelliten, maximale Sonnenel-elevation, sowie Visible Passes Only) werden auch hier berücksichtigt. Da Iridium Flares sehr hell werden können, empfiehlt sich als minimum Elevation 10°. Falls der Moon Visibility-Parameter markiert worden ist, werden die Iridium-Flares bezüglich des Mondes ausgerechnet. (Dies funktioniert nur im Winterhalbjahr. Im Sommer sind die Iridiumsattelliten meist ständig von der Sonne beleuchtet. Auch sollte der Termin innerhalb weniger Tage um den Vollmond liegen, da nur dann Helligkeiten von mag +6 bis +8 erreicht werden können. SatCal berechnet die entsprechenden Mondhelligkeiten.) Sat-Cal berücksichtigt eine Standard-Korrektur zur atmosphärischen Extinktion bei der Helligkeitsberechnung.

Um die Lichtkurve eines individuellen Flares zu verfolgen, muss der entsprechende Satellit ausgewählt und die Iridium Flares-Option in der Visibility Dialog-box markiert werden und ausserdem der Parameter Characteristic length im Magnitude dialog (View, dann Magnitude) zu etwa 0.3 gesetzt werden. SatCal wird dann prüfen, ob eine der Antennen des ausgewählten Satelliten eine Reflexion erzeugt, welche heller ist als der augenblickliche Wert der Helligkeit ohne Flare und die entsprechende Helligkeit unter Mag rechts unten in der Weltkarte anzeigen.

Identifizieren beobachteter Satelliten:

SatCal bietet die Möglichkeit, die TLE Datei nach Satelliten zu durchsuchen, welche zu einer Beobachtung passen (man hat etwa beim Beobachten eines Himmelsobjektes durch ein Fernglas einen Satelliten durch das Blickfeld ziehen sehen und möchte wissen, welcher es gewesen sein könnte).

Dazu wählt man das Menü Calculate, dann Find Matching Sats. Zuerst erscheint dann die bekannte Datums/Zeit Dialogbox zum Eintragen des Zeitpunktes der Beobachtung. Nachdem man OK geklickt hat erscheint als nächstes die Search Matching Satellites Dialogbox. Die Beobachtungsrichtung kann entweder als Rektaszension (in HH.MMSS) und Deklination (in DD.MMSS) angegeben

werden (dazu muss die `Position as RA/Dec` Checkbox markiert sein) oder als `Azimuth / Elevation` (in dezimalen Grad). Der Radius um diese Richtung der das Suchgebiet eingrenzt wird unter `Max.Distance` (in Grad) angegeben. Das Zeitintervall um den in der `Datums/Zeit` Dialogbox eingestellten Zeitpunkt wird unter `Time Interval` in Minuten angegeben. (Meist reichen ein oder zwei Minuten aus, falls die TLE-Datei nicht zu alt ist und man die Beobachtungszeit genau gemessen hat.) Optional kann man auch noch die Bewegungsrichtung des Satelliten bei der Suche berücksichtigen. Dazu muss die `Direction Search` Checkbox markiert sein und die Richtung unter `Direction` eingetragen sein. (Dabei bedeutet 90° "Bewegung nach rechts", -45° "Bewegung nach links oben" usw.)

Nachdem die Einträge in der Dialogbox beendet sind OK klicken. Satelliten, welche die Sichtbarkeitsbedingungen erfüllen, werden dann in einer Liste mit ihrer NORAD Nummer, International Launch Designation, Name, Inclination, Perigäum und Apogäum ausgegeben. Ausserdem werden, soweit Platz vorhanden ist, gefundene Satelliten der aktuellen Auswahl von Satelliten hinzugefügt und können dann auf der Weltkarte verfolgt werden.

Für die Zwecke dieser Suche ist die Datei `VISUAL.TXT` nur bedingt geeignet, da sie c.a. 150 relativ helle Satelliten enthält. Die Datei `ALL_TLE` enthält viele Tausend Objekte und führt meist zum Erfolg.

Editieren von Bahnelementen:

Die Bahnelemente des "Prime Satellite" können editiert werden. Dazu wählt man das Menü `Maneuver`, dann `Edit Orbit Elements`. Es erscheint der "Edit Orbit Elements" Dialog und die entsprechenden Elemente können editiert werden. Falls die `Perigee/Apogee` Checkbox markiert ist, werden statt Grosser Halbachse und Exentrität die Perigäums- und Apogäums-Höhen angegeben. Statt der Grossen Halbachse `Semi-major Axis` kann die `Mean Motion` in Umläufen pro Tag angegeben werden. Welches der beiden Felder zuletzt geändert wurde, wird dann bei der Berechnung genommen und das jeweils andere Feld wird entsprechend angepasst. In der nächsten Zeile kann man ebenfalls entweder die tägliche Veränderung der `Mean Motion` `ndot` oder die tägliche Veränderung der Halbachse `adot` angeben. `n2dot` ist die zweite Ableitung der `Mean Motion` (meist wird sie 0 gesetzt).

Werden TLE-Dateien gelesen, setzt SatCal meist automatisch das genauere SGP4 Modell für die Berechnung an. In diesem Fall können die Parameter `ndot`, `adot` und `n2dot` nicht editiert werden, wohl aber der von diesem Modell benötigte Parameter `BSTAR`. Ist die `SGP4 Model` Checkbox nicht markiert, wird das einfache Bahnmodell benutzt und nun können `ndot`, `adot` und `n2dot` editiert werden, nicht jedoch `BSTAR`.

SatCal erlaubt die Angabe von hyperbolischen Bahnen um die Erde. Falls die Exentrität ≥ 1 ist, wird die Epoche als Zeitpunkt des Perigäums angenommen. Das Perigäum `q` ist dann im Feld der `Mean Motion` anzugeben (alternativ kann eine negative Halbachse als `Semi-major Axis` angegeben werden). Der

Wert der Mean Anomaly wird ignoriert. Da SatCal hyperbolische Bahnen als ungestörte Kepler-Bahnen berechnet, sollten nur solche Positionen berechnet werden, bei denen die Entfernung zur Erde höchstens einige 100000 km beträgt. (Besser ist es allerdings in diesem Fall die numerische Bahnberechnung zu verwenden, bei der Sonne und Mond mit berücksichtigt werden - siehe unten.)

Die Bahnelemente können auch als State-Vector angegeben werden. Dazu muss die State Vec. Taste gedrückt werden. Ist die Checkbox Numeric Prop markiert wird die Bahn numerisch integriert mit einem entsprechenden Kräftemodell.

Durch Klicken von GEO und Eingabe der geographischen Länge können entsprechende Bahndaten von Geostationären Satelliten erzeugt werden.

Durch Klicken von New kann man einen neuen Satelliten definieren.

Durch Klicken von Refresh werden die voneinander abhängigen Bahnelemente entsprechend angepasst. Das geschieht auch automatisch bei Verlassen dieses Dialogs.

Auffrischen alter TLE-Dateien:

Die in TLE-Dateien stehenden Bahnelemente werden meist nach einigen Wochen zu ungenau für weitere Beobachtungen. SatCal bietet hier aber einen Mechanismus, zumindest einige dieser Dateien auch erheblich länger zu benutzen. Dies scheint recht gut für Konstellationen wie etwa die Iridium-Satelliten zu funktionieren, deren relative Positionen ja beibehalten müssen. Bei Satelliten mit schnell zerfallender Bahn oder mit Bahnmaneuvern funktioniert das Auffrischen allerdings nicht.

Innerhalb des "Edit Orbit Elements" Dialogs Adjust klicken. Im nun erscheinenden Dialog Activate Adjustment markieren. Oft reicht bereits das aus, die älteren Bahndaten zu verbessern. Bei Satelliten-Konstellationen kann man darüber hinaus noch bessere Resultate erzielen, wenn man einen typischen Wert für die Mean Motion angibt. Bei den Iridium-Satelliten ist ein Wert von $n_0 = 14.342173$ brauchbar. (Damit wird ein Divergieren der einzelnen Satelliten der Konstellation verhindert - im Fall der Iridium-Flare Berechnung muss dann aber unbedingt die Operational Orbits Only Option verwendet werden). Wenn bei der Beobachtung von bestimmten Satelliten der Konstellation im Durchschnitt eine Verspätung oder Verfrühung gegenüber der Berechnung stattfindet, kann man durch Adjust Epoch dieses ausgleichen. Im Falle der Datei IRIDIUM.TXT kann man auf diese Weise typischerweise noch über ein Jahr hinweg mit einiger Genauigkeit Iridium-Flares vorhersagen. Für sehr alte Bahnelemente kann man auch noch die Rektaszension des aufsteigenden Knotens korrigieren, aber dieser Wert sollte normalerweise bei 0 belassen werden. (Nach genügend langer Zeit sind durch neue Starts oder Ausfälle Änderungen in der Konstellation aufgetreten. Irgendwann kommt man um die Beschaffung neuer Bahndaten nicht herum.)

WICHTIG: Alle die hier beschriebenen Massnahmen gelten erst für danach geladene Satelliten. Bereits geladene Satellitendaten bleiben unverändert. Man

muss diese Aktionen also zuerst durchführen, bevor man z.B. Iridium-Flares von einer älteren Datei aus berechnet.

Bahnbestimmung beobachteter Satelliten:

SatCal bietet eine einfache Bahnbestimmung welche zu einer Beobachtung von zwei Positionen während eines Durchgangs passt unter der Annahme, dass es sich um eine Kreisbahn handelt (was oft - aber nicht immer - stimmt).

Dazu wählt man das Menü **Maneuver**, dann **Orbit Determination**. Zuerst erscheint dann die bekannte **Datums/Zeit** Dialogbox zum Eintragen des Zeitpunktes der Beobachtung (der ersten Position). Nachdem man **OK** geklickt hat erscheint als nächstes die **Orbit Determination** Dialogbox. **Azimuth** und **Elevation** der beiden Positionen kann man entweder als **Rektaszension** (in HH.MMSS) und **Deklination** (in DD.MMSS) angegeben werden (dazu muss die entsprechende **Obs as RA/Dec** Checkbox markiert sein) oder als **Azimuth / Elevation** (in dezimalen Grad). Das Zeitintervall zwischen den beiden Beobachtungen wird unter **Delta Time** in Sekunden angegeben.

Nachdem die Einträge in der Dialogbox beendet sind **OK** klicken. Es erscheint jetzt die "Edit Orbit Elements" Dialogbox. Als Default Satellitenname wurde **New** eingesetzt. Die berechneten Bahndaten können nun angesehen oder auch editiert werden.

Astrometrie von Satellitenspuren:

SatCal bietet eine einfache Astrometrie-Funktion für Bilder von Satellitenspuren. Zum Laden eines solchen Bilder wählt man **File**, dann **Picture** um die betreffende Bilddatei auszuwählen. (Falls es bei einigen Windows-Systemen dabei zu Problemen mit dem JPG-Format kommt, sollte das Bild vorher in ein PNG-Format umgewandelt werden.) Um zum Standard-Display zurückzukehren, wählt man **View**, dann de-markiert man die **Show Picture** Checkbox.

Das Bild kann auch in 50% oder 25% der Originalgrösse angezeigt werden durch **View**, dann **Set Picture Size 50%** oder **Set Picture Size 25%**.

Nachdem ein Bild geladen ist, muss es initialisiert werden, indem drei bekannte Sterne angeklickt werden und die entsprechenden Koordinaten in **Rektaszension** (in HH.MMSS) und **Deklination** (in DD.MMSS) angegeben werden. Beim Anklicken weiterer Punkte werden nun die entsprechenden Koordinaten angezeigt und die letzten beiden Punkte gespeichert.

Nachdem man die beiden Endpunkte einer Satellitenspur angeklickt hat, kann man via **Maneuver**, dann **Orbit Determination** eine passende (Kreis-) Bahn berechnen. Die zuletzt markierten Endpunkte können dazu einfach durch Anklicken von **Picture** geladen werden (im **Orbit-Determination** Dialog). Durch Markieren der **Match Satellite** Checkbox kann ausserdem nach passenden Satelliten in der gerade gewählten TLE-Datei gesucht werden. (Das

muss unter Umständen zweimal durchgeführt werden mit vertauschten Positionen, falls unbekannt ist, in welcher Richtung der Satellit gezogen ist.)

Durch Drücken der rechten oder linken Pfeiltaste bewegen sich nun die ausgewählten Satelliten vorwärts oder rückwärts über das Bild, genauso wie das bei der normalen Welt- oder Himmelskarte der Fall ist. Auf diese Weise lassen sich die betreffenden Satelliten besser mit der Spur auf dem Bild vergleichen. Bei bereits bekannten Satelliten kann man auf diese Weise auch gut Flares analysieren.

Berechnung einer Startbahn:

Bei Kenntnis des Starttermins, des Startplatzes, sowie der geplanten Bahnhöhe und Inklination kann SatCal eine Startbahn bestimmen. Diese ist bei der einfachen hier durchgeführten Rechnung zwar nicht sehr exakt, kann aber dazu dienen, in den ersten Stunden (oder vielleicht auch noch am folgenden Tag) den Satelliten aufzufinden bis dann später genauere Bahnelemente über das Internet verfügbar sind.

Dazu wählt man das Menü Maneuver, dann Launch. Zuerst erscheint dann die bekannte Datums/Zeit Dialogbox zum Eintragen des Start-Zeitpunktes. Nachdem man OK geklickt hat erscheint als nächstes die "Edit Orbit Elements" Dialogbox. Hier kann man nun den Namen des Satelliten angeben, sowie die Exentrität, Inklination und Halbachse (oder alternativ die Perigäums- und Apogäums-Höhe). Die Epoche, die Rektaszension des aufsteigenden Knotens, Argument des Perigäums und Mittlere Anomalie können hier nicht verändert werden, da sie von SatCal entsprechend der Startdaten ausgerechnet werden.

Nachdem die Einträge in der Dialogbox beendet sind OK klicken. Es erscheint jetzt die Launch Data Dialogbox. Hier kann man entweder einen der vordefinierten Startplätze auswählen oder als User die Koordinaten des Startplatzes direkt eingeben. Als `t cutoff` ist die ungefähre Brenndauer der Rakete (in Minuten) anzugeben. Das ist 8.8 für Shuttle und Soyus Starts, 34 min für Ariane Starts etc. (diese Werte müssen nicht unbedingt mit den tatsächlichen Zeiten übereinstimmen - man sollte möglichst anhand von früheren ähnlichen Starts schauen, welche Werte die besten Resultate liefern.) Ausserdem muss SatCal noch wissen, ob der Start in nördliche oder in südliche Richtung erfolgt.

Nachdem der Launch-Dialog verlassen ist, erscheint noch eine Meldung des Start-Azimuths (also der Richtung in die die Rakete starten muss). Die Bahn ist jetzt ausgerechnet und kann jetzt wie bei allen anderen Satelliten auf der Weltkarte dargestellt werden oder es können auch Sichtbarkeiten ausgerechnet werden etc. Die Bahnelemente können auch wie üblich editiert werden.

Für Flüge zur ISS (oder ähnliche Rendezvous-Flüge) braucht man lediglich das Datum zu wissen. SatCal kann die Startzeit auf wenige Minuten (oft sogar auf eine Minute) genau nach der folgenden Prozedur bestimmen:

Mit `Select Satellite` das Ziel (etwa ISS) auswählen (die Bahnelemente können auch einige Wochen alt sein). Jetzt Maneuver, Rendezvous wählen. Als erstes wird nun die ungefähre Zeit der Annäherung erfragt. Der Default von

1.30 ist brauchbar für ISS-Flüge (zwar dauert es c.a. zwei Tage bis das Rendezvous fertig ist, davon sind aber die letzten Stunden für die Feinabstimmung des Rendezvous auf fast schon erreichter Bahn vorgesehen). Jetzt erfolgt die normale Startbahnberechnung wie eben schon beschrieben. Allerdings braucht nur das Datum, nicht jedoch der genaue Zeitpunkt angegeben werden (das besorgt SatCal). Die Bahnelemente des Ziels sind kopiert worden und können übernommen werden, mit Ausnahme des Namens und der (Perigäums- und Apogäums-) Höhe. Der Satellit wird typischerweise auf einer niedrigen Bahn gestartet um das Ziel einholen zu können. (Typische Werte bei Shuttle oder Soyus-Flügen zur ISS sind 200 - 250 km). Zum Abschluss wird der Zeitpunkt des Starts angegeben.

Sonnenfinsternisse bei Satelliten:

Mit View, Visibility den Visibility Dialog zeigen. Die Solar Eclipse Check Box markieren. SatCal zeigt dann in der mittleren Spalte des Map-Displays die scheinbare Distanz zwischen Sonne und Mond von der Position des Satelliten aus gesehen an. Falls es dort zu einer Sonnenfinsternis kommt, wird die entsprechende Grösse und die Art der Finsternis (partiell, ringförmig oder total) zu dem entsprechenden Zeitpunkt angezeigt. Falls die scheinbare Helligkeit des Satelliten mit View, Magnitude eingestellt war, wird die Finsternis bei der betreffenden Angabe berücksichtigt und in diesem Fall auch das relative Sonnenlicht als Prozentsatz der nicht-verfinsterten Sonne angezeigt (dies entspricht der Energie, die noch von den Solarpanelen erzeugt wird).

Hardcopies:

Eine Liste der Kontaktzeiten kann durch File, Save auf der ausgewählten Save-Datei gespeichert werden. (Default-Name dieser Datei ist SATSAVE.TXT. Diese Datei kann dann mit einem Text-Editor normal bearbeitet oder ausgedruckt werden. (Um die Spaltenabstände beizubehalten, empfiehlt es sich, hier einen entsprechenden Font wie etwa COURIER NEW zu wählen.) Der Inhalt des Pass Details Windows kann durch anklicken mit der rechten Maustaste, dann alles markieren, kopieren in die Zwischenablage kopiert und von dort in einen Texteditor kopiert werden.

Zum Kopieren der Weltkarte kann man eins in dem jeweiligen System vorhandenes ScreenShot Programm benutzen, um den ganzen Bildschirm zu kopieren.

Numerische Bahnberechnung:

SatCal erlaubt die numerische Berechnung von Satellitenbahnen. Bei genau bekanntem State-Vector und den zusätzlich benötigten Parametern kann man dann die Bahn genauer berechnen als das mit den analytischen Modellen möglich

ist. Eine andere Anwendung im Rahmen von SatCal ist die Berechnung von Bahnen mit kontinuierlichem Ionenantrieb oder auch der Wiedereintritt von Satelliten.

Alle SatCal-Funktionen funktionieren genau so beim numerischen Modell wie bei den analytischen Modellen. Um die numerische Bahnberechnung zu wählen, muss man im Edit Orbit Elements Dialog die Checkbox `Numeric Prop` markieren. Ein Satellit, für den bisher die Kepler Elemente angegeben waren, wird nun numerisch weiter gerechnet. Oft wird man aber den State-Vector eingeben wollen. Dazu die Taste `State Vec` klicken. Die Daten können in verschiedenen Bezugssystemen angegeben werden (meist sind die Daten in J2000 vorhanden). Neben dem eigentlichen State-Vector und der Epoche sind noch sechs weitere Parameter für eine genaue numerische Berechnung innerhalb des SatCal Modells erforderlich: Der F10.7 Radiofluss der Sonne (3-Monats Durchschnitt und täglicher Wert - falls nur der Durchschnitt bekannt ist, kann man diesen Wert auch für den Tagesparameter verwenden), der geomagnetische Kp-Index, der Luftwiderstands-Parameter Cd, der Sonnedruck-Parameter Cr, sowie das Fläche/Masse-Verhältnis. Einer von vielen Internetsites, wo die Sonnenfluss und geomagnetischen Daten verfügbar sind ist:

www.sec.noaa.gov/ftplib/latest/RSGA.txt

Die F10.7-Werte sind dort direkt verfügbar. Aber statt des Kp Index ist dort der geomagnetische Ap Index angegeben. Die folgende Tabelle zeigt die Umrechnung zwischen den beiden Parametern:

Ap:	0	4	7	15	27	48	80	132	207	400
Kp:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Für eine genauere Berechnung können auch die Parameter UTC-TAI, UT1-UTC, sowie die Polar Motion Parameter des International Earth Rotation Service eingegeben werden (Input, IERS Parameters). Diese Parameter sind verfügbar in Bulletin A, B und C des IERS auf:

<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>

In vielen Fällen kann man hier aber auch die Default-Werte nehmen.

Um einen kontinuierlichen Ionenantrieb einzuschalten, wählt man `Maneuver`, `Delta-V`. Dann muss man im Delta-V Dialog die Checkbox `Continuous Thrust` markieren. Falls der Ionenantrieb nur bei Sonnenschein laufen soll (da dann die nötige Energie von Solarzellen kommen kann) markiert man die `Sunshine required` Checkbox. Der Wert der Beschleunigung muss in mm/s^2 angegeben werden.

SatCal verwendet eine Integration mit variabler Schrittweite. Normalerweise wird versucht, die im Delta-Time Dialog angegebene Schrittweite zu benutzen. Falls aber die Genauigkeit es erfordert, wird die Schrittweite entsprechend angepasst. Dies ist aber für den Benutzer transparent. Bei grossen Schrittwerten kann es zu einer merkbaren Verzögerung kommen; normalerweise sind aber die Rechner heutzutage so schnell, dass man kaum merkt, ob die Rechnung analytisch oder numerisch durchgeführt wird. Anders als bei der analytischen Rechnung wird die Integration aber angehalten, falls ein Satellit

den Erdboden erreicht (er bleibt dann unverändert auf der Stelle liegen).