

13. S T E R N F R E U N D E S E M I N A R , 1 9 8 5

Planetarium der Stadt Wien - Zeiss Planetarium
und Österreichischer Astronomischer Verein.

H I M M E L S K U N D E U N D K L E I N R E C H N E R

- 1 Titelseite und Inhaltsverzeichnis.
- 2 - 13 Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und
der Informationsverarbeitung. Mit zugehöriger Ausstellung
im Foyer des Planetariums (Univ.-Prof.Dipl.Ing.DDr.h.c.
Heinz Zemanek, TU Wien, ÖAW).
- 14 - 51 Astronomie und Heimcomputer (Univ.-Ass.Dipl.Ing.Alexander
Pikhard, Institut für Praktische Informatik der TU Wien).
Dazu für spezielle Interessenten ein gleichnamiges Prak-
tikum im Planetarium.
- 52 - 85 Astrometrie an Sternen (Univ-Ass.Dipl.Ing.Robert Weber,
Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, Abtei-
lung Geodäsie, der TU Wien). Dazu für spezielle Interessen-
ten ein Beobachtungspraktikum am Passageninstrument der
Wiener Urania Sternwarte.
- 86 - 92 Die Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne. Anbei
Raummodell zur Bewegung des Kometen P/Halley und Darstel-
lung des Ablaufes seiner Wiederkehren +1910, +1986, +2061.
- 93 - 122 Die Planetentheorie VSOP 82 - Darstellung der gestörten
Raumbewegung der Planeten Merkur bis Neptun (Jean Meeus,
Erps-Kwerps, Belgien und Hermann Mucke, Wien). Telepho-
nische Begrüßung der Hörer im Planetarium durch J.Meeus aus
Belgien.
- 123-124 Computergesteuerte Amateur-Montierung. Mit Ausstellung und
Vorführung der "Superpolaris-Montierung mit Sky-Sensor"
der Fa.Vixen (Erich Daltabuit, Wien).
- 125-133 Computergesteuerte Teleskope - mit spezieller Berücksich-
tigung des 60cm RC - Teleskops des Instituts für Astronomie
der Universität Wien. Univ.-Prof.Dr.Alois Purgathofer †
gewidmet (Wiss.Oberrat Dr.Manfred Stoll, Institut für
Astronomie der Universität Wien).

SEMINARLEITER: Hermann Mucke (nicht gezeichnete Beiträge). SEMINAR-
PAPIERE als Kurs-Adskript herausgegeben vom Österreichischen Astro-
nomischen Verein. Bestellungen: Astronomisches Büro, Hasenwartg.32,
A-1238 Wien. Wiedergabe - auch von Teilen - ist nicht gestattet.

Wertvolle Literatur zur Ergänzung dieses Seminars:

Jean Meeus:

ASTRONOMICAL FORMULAE FOR CALCULATORS
2., durchgesehene Auflage, 1980.

Sorgfältig erläuterte und an Beispielen illustrierte Formeln, meist zur astronomischen Phänomenologie: Koordinatensysteme, Zeitrechnung, Positionen von Sonne und Planeten (Newcomb) sowie Mond (Brown-Eckert), Präzession und Nutation, Parallaxe, Finsternisse, Jupitermonde, Doppelsterne, u.a.m.

VOLKSSTERRENWACHT URANIA, Mattheessenstraat 62
B-2540 Hove, Belgien. BF 200.-

Jean Meeus:

ASTRONOMICAL TABLES OF THE SUN, MOON
AND PLANETS

Vorwort von Robert C. Victor, S&T. 1983.

Planetary Phenomena, 1976-2005: Untere und obere Konjunktionen von Merkur und Venus mit der Sonne, Oppositionen von Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto sowie deren Konjunktionen mit der Sonne, Planeten im Aphel und Perihel sowie im auf- und absteigenden Knoten, Extrema der heliozentrischen Breite und der Deklination der Planeten, Konjunktionen der Planeten untereinander, Durchgänge der Erde und Sonne durch die Ebene der Saturnringe.

Marsoppositionen 0-3000, Äquinoktien und Solstitien -3000 - +6000, Mondphasen 1951-2050, Tafeln dazu für Bereich -1500 und +2999, Bedeckungen von Planeten und hellen Sternen durch den Mond, Programme dazu, Daten 1980-2000, Sonnenaktivität, Zeitrechnung, Ostern 1583-2179, Erleuchteter Mondteil, Tafeln -900 bis +2999, Untere und obere Konjunktionen der Venus, Oppositionen von Jupiter und Saturn mit der Sonne 0-2500, Merkurdurchgänge 1600-2300, Venusdurchgänge 1300-4100, Sonnen- und Mondfinsternisse 1951-2050, Äquinoktien und Solstitien auf Mars 1646-2060, Örter von 48 hellen Zodiakalsternen -1600 - +2800, Konjunktionen von 12 hellen Sternen mit der Sonne -1000 - +2399, Bibliographie und Index.

WILLMANN-BELL, P.O.Box 3125, Richmond, VA, USA
US \$ 19,95

Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

Der Computer fiel nach dem Zweiten Weltkrieg nicht vom Himmel wie ein Meteorstein. Vielmehr hat er zahlreiche Wurzeln und eine lange Vorgeschichte, die nun einleitend durch eine Art Stichwortsammlung zusammengefaßt werden soll, während im Anhang zwei Zeittafeln reproduziert werden.

Der Computer ist elektronische Rechenanlage
programmierter Automat und
Textverarbeitungsmaschine in einem.

Der Computer hat das Wähltelefon,
die Funkmeßtechnik und
die digitale Nachrichtenübertragungstechnik
als unmittelbare
Ahnen.

Die Wurzeln der Informationsverarbeitung gehen tief in die Geschichte der Menschheit zurück. Die Betrachtung müßte beginnen

mit dem Rechnen
mit dem Algorithmus
mit der Algebra
mit der Mechanik und dem Relais
mit der Röhre
mit der Halbleitertechnik
mit den Uhren, mit den Musik- und Theaterautomaten
mit dem Webstuhl und der Lochkarte
mit dem Buchdruck und mit der Telegraphie
mit der Schaltalgebra (logische oder Boolesche Algebra)
mit der Metamathematik
mit den Formalen Sprachen
mit dem Lochstreifen
mit der magnetischen Aufzeichnung
mit Rundfunk und Fernsehen

Die Informationsverarbeitung ist nicht nur ebenso umfassend wie die menschliche Sprache, sondern sie hat auch ihre Hauptparameter, nämlich

1. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

Verarbeitungsgeschwindigkeit (Schaltzeit)
Bauteilgröße
Bauteilkosten
Speichergröße
Verläßlichkeit

bereits zweimal hintereinander innerhalb von 20 Jahren um einen Faktor 1000 verbessert und sie ist dabei, dieses unerhörte und von keiner anderen Technik nachvollziehbare Kunststück ein drittes Mal auszuführen. Das wird übrigens nicht unbeschränkt weitergehen; wenn nicht eine andere Technik zum Tragen kommt, wird die dritte Wiederholung die letzte sein: bei der Femtosekunde (10^{-15} sec) ist die absolute Grenze der Elektronik. Aber es könnte eine Lichttechnik weiterführen, denn physikalisch stehen noch weitere acht oder neun Zehnerpotenzen zur Verfügung (und die Schaltzeit treibt auch die anderen oben angeführten Parameter mit.

Je schwindelerregender diese Züge des Computers verbessert werden, umso merklicher und schwieriger werden die Brücken zwischen Automat und Mensch, umso fragwürdiger und kostspieliger werden

Planung der Anlagen
Programmierung der Systeme und Anwendungen
Folgen für Individuum, Mentalität und Gesellschaft.

Man muß sich überlegen, daß die Informationsverarbeitungstechnik eine Technik ist, deren Gegenstand nicht meßbar ist: Information läßt sich zwar in Bits oder Bits/sec ausdrücken, aber dieses Maß bezieht sich auf die Informationsträger und nicht auf die Information selbst. Diese dürfte grundsätzlich unmeßbar sein. Damit reicht die Informationsverarbeitung in die Geisteswissenschaften hinein und in der Folge wird sie das Gemeinsame von Natur- und Geisteswissenschaften herausarbeiten und hoffentlich wieder zur Einheit führen.

Eine umfassende Geschichte all dieser Aspekte des Computers und der Informationsverarbeitung wäre ein Kompendium von zahlreichen Folianten. Ein einzelner Vortrag kann nichts tun als einzelne Fakten oder Kapitel herausgreifen und illustrativ darstellen. Mehr kann und will der heutige Vortrag nicht tun.

2. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

Das erste Rechenhilfsmittel sind die Finger. Das dekadische System kommt von ihnen (aber nicht nur von ihnen: fünf ist in der Biologie weit verbreitet und zwei ist der Faktor für jede Symmetrie); man kann mit den Fingern auch im 12er und im 2er System zählen. Die Finger durch Steine oder Kugeln zu ersetzen ist naheliegend: man kommt zum Abakus, der von der griechisch-römischen Form zur russischen, chinesischen und japanischen entwickelt wurde.

Hinter der Hardware des Abakus steht die Software des Algorithmus: der formalen Rechenregeln, die mit Sicherheit zum Resultat führt. Der Name Algorithmus kommt von dem arabischen Mathematiker, Astronomen, Geographen und Historiker Muchammad ibn Musa al Chorezmi, und Chorezmien ist die Oase am Unterlauf des Amu Darja in Usbekistan. Muchammad lebte von 783 bis 850 und schrieb mindestens 15 Bücher, und alles, was es an Europäischer Mathematik gibt, wurde von seinen Büchern vorbereitet. Die gesamte Griechische Mathematik kam über den Umweg durch Arabien und das Maurische Spanien zu uns. Das gleiche gilt für die Automaten; die Araber gelten als die Erfinder des halb-stabilen Multivibrators in Form der heutigen Klosettspülung. Von den arabischen Automaten führt der Weg zu den mittelalterlichen Automaten, zur Renaissance und zum Barock; das 18. Jahrhundert ist der technische und künstlerische Höhepunkt der mechanischen Automa-tentechnik.

Vom Abakus führt eine Linien über die Rechenstäbchen zu den mechanischen Rechenmaschinen: Schickardt, Pascal und Leibniz sind zu nennen, dann geht die Entwicklung bis zur industriellen Fertigung weiter. Auch der Computer wird in Form der Differenzenmaschine und der Analytischen Maschine von Charles Babbage zuerst mechanisch realisiert, mit 50 Dezimalen und dampfbetrieben - aber unvollendet.

Babbage verwendet auch Lochkarten - und das ist eine uralte Wurzel, von der Bröselmaschine in Haslach (OO) aus dem Jahr 1740, aber vielleicht schon 1680 oder 1690 erfunden, über Vaucanson und Jacquard zu Hollerith und Schäffler. Die österreichische Volkszählung von 1890 wird nur Monate nach der amerikanischen mit Hollerithmaschinen

3. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

ausgewertet und Schöffler meldet 1895 das erste Patent für Programmierung an: mit Stöpseln und Kabeln, dem Vermittlungsschrank nachgebildet.

Zur Lochkartentechnik trägt auch der österreichische Erfinder Gustav Tauschek bei, von dessen fast 200 Patenten die Firma IBM einen Großteil angekauft hat. Noch im 19. Jahrhundert ist Professor Petzval zu erwähnen und die Berechnung des ersten Photoobjektivs, zwar nicht mit einem technischen Computer, aber mit den Computer "simulierenden" Artilleriemathematikern (1843).

Mechanisch beginnt auch der deutsche Erfinder Konrad Zuse den programmgesteuerten Computer - Zuse wird am 22. Juni 1935 seinen 75. Geburtstag feiern - als Student des Bauingenieurwesens. Zwar ist ihm klar, daß die Relais-technik geeigneter wäre, sie aber zu teuer und noch zu voluminös; also denkt er sich eine Rückwandlung der Kontaktschaltungen in mechanische Speicher- und Logikkreise aus und kommt bis zu einer funktionsfähigen Lösung, die ihm aber der Krieg zerstört. Mit der Z4 erst gelingt ihm der Erfolg; er rettet sie 1945 nach dem Allgäu und sie geht schließlich auf zehn Jahre nach Zürich und Basel. In der Wartezeit im Allgäu entwickelt Zuse auch den Plankalkül bis zu einem Vorläufer eines Software-Werkzeugs. Später gründet Zuse eine Firma, erzeugt Relais, Röhren und Transistor-Computer, bis diese Firma in Siemens-Deutschland untergeht.

Die wirklich revolutionären Ereignisse aber finden in Amerika statt, denn dort erwächst aus der Kriegsanstrengung die Technik, welche den Computer in den Siegeszug weist. Auch der amerikanische Computer hat viele Wurzeln, fast völlig nebeneinander sind die Namen Stibitz, Atanasoff, Eckert, Mauchly, Aiken und John von Neumann zu nennen; der Letztere kann kraft seines mathematischen Wissens und seiner Position das Computerwesen fördern wie kein anderer und außerdem trägt er das Konzept des als Information gespeicherten Programms bei, die Äquivalenz zwischen Daten und Programm - beides läßt sich auf gleiche Weise speichern und verarbeiten. Damit liegt eine Architektur des Computers fest, die bis heute die Arbeitsweise bestimmt. Nicht-John-von-Neumann-Architekturen bringen heute nicht viel mehr als Verstärkungen von Zügen,

4. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

die in von Neumanns Struktur mindestens grundsätzlich auch vorhanden sind.

Es sind aber nicht nur die großen Wissenschaftler und Universitäten, welche den Triumph des Computers in Amerika hervorbringen, sondern auch das dichte Netz der industriellen Unternehmungen, von denen IBM lediglich das größte und auffälligste Beispiel ist. Die Geschichte dieser Firma - es ist so gut wie unmöglich, eine umfassende und den Tatsachen gerecht werdende Geschichte der IBM zu schreiben - allein wäre schon ein Spiegel der Computergeschichte, in welchem nur wenig vom Guten und Schlechten der Gesamtgeschichte fehlt. Sie beginnt bei Hermann Hollerith und wird durch den einzigartigen Thomas J. Watson Sr. fortgeführt, der aus einem kleinen Unternehmen den Weltkonzern macht. Mit dem System/360 kommt ein neuer Zug zum Tragen: die Computerfamilie statt dem einzelnen System, und damit der Begriff der Computer-Architektur, von den Entwerfern des Systems/360 eingeführt und angewendet. Die Vielfalt der großen und vor allem der kleinen Computerfirmen in Amerika gehört zur Computergeschichte ganz entscheidend dazu; diese Vielfalt und ihre Mächtigkeit bringt auch die Menge verlässlicher und ausgebildeter Fachleute der mittleren Ebenen und damit die "Computer-Atmosphäre", die erst ganz deutlich wird, wenn man die Entwicklung von Ländern studiert, wo diese Atmosphäre fehlt. Japan hingegen ist das Beispiel eines Landes, wo diese Atmosphäre bewußt geschaffen wurde und der Erfolg nicht ausblieb.

Gehen wir nun zum österreichischen Anteil an der Computergeschichte über, so zeigt sich wieder einmal, daß österreichische Anteile an technischen Entwicklungen oft weit über den proportionellen Anteil hinausgehen, den etwa die Bevölkerungszahlen implizieren würden. Nur Österreich zog mit Amerika bei den Volkszählungen mit Hollerithmaschinen zwischen 1890 und 1910 gleich; Namen wie Schäffler, Petzval, Tauschek und Piesch (eine Pionierin der Schaltalgebra) sind kaum bekannt und von keiner Briefmarke geehrt. Und wer weiß schon, daß John von Neumann einen Franz-Joseph-Adel weltberühmt gemacht hat (sein Vater bekam ihn in Ungarn)? Ein besonderes, ebenso "geheim" Kapitel wäre der österreichische Anteil an der Entwicklung Amerikas und seiner Technik; es gibt darüber nur ein und so gut wie unbekanntes Buch.

5. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

Ogleich über andere Linien Vieles zu berichten wäre - über die Anfänge der Professoren Inzinger und Adam, über die Schaltalgebra in Österreich und über die ersten importierten Großcomputer - wende ich mich nun meinen Arbeiten zu, einfach weil ich darüber am leichtesten berichten kann. Wieder liegen die Wurzeln zurück in der Vergangenheit, in meiner Forschungstätigkeit in der Radar-Technik (ich erzeugte wahrscheinlich den ersten Mikrosekunden-Impuls in Mitteleuropa), in meinen Arbeiten über Kybernetik, Informationstheorie und Schaltalgebra, im Aufbau der Beziehungen zur Industrie und zur österreichischen Postverwaltung und vielen anderen größeren und kleineren Vorbereitungsarbeiten, die teils bewußt und teils zufällig den Hintergrund für die eigentlichen Entwicklungen hervorbrachten.

Das erste wirkliche digitale Computermodell war eine Relaismaschine URR1, ab 1951 in Bau und niemals bis zum echten Betrieb fertiggestellt, aber eine Quelle der Einsicht und Erfahrung. Dann kam das Mailüfterl, dessen Geschichte nun schon mehrfach erzählt wurde und leicht nachgelesen werden kann.

Sobald die Anlage lief und ihre ersten Programme absolvierte - ein 60-Stunden-Programm für die Bestimmung eines Problems der Musiktheorie - der All-Intervall-Reihe der Zwölftontechnik - und ein 30-Stunden-Programm zur Lösung eines Problems der Hochfrequenztechnik - Optimale Ankopplung der Hochfrequenztelephonie an eine Hochspannungsleitung, so daß die antennenartige Abstrahlung möglichst gering wird, um den Telephonieverkehr im Flugwesen nicht zu stören - wandte sich das Mailüfterl-Team der Software zu und wurde so zu einer der ersten Software-Gruppen in Europa. Wir studierten Programmiersprachen und Compiler und kamen sehr bald auf das Problem der Definition, der formalen Definition beider. Daraus erwuchs das zweite globale Unternehmen: die Formale Definition von Syntax und Semantik der IBM Programmiersprache PL/I mit dem Verfahren, das als "Vienna Definition Language" einen Markstein der Geschichte der Programmiersprachen darstellt. Es wurde später zur "Vienna Definition Method" erweitert, und wenn es auch keine weltweite Anwendung fand, so war es doch ein Pionierunternehmen, das zum Ruf Österreichs als Computernation Wesentliches beitrug.

6. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

Komprimierte Geschichte des Automaten

- 1100 vor Chr. Verwendung von Rechenstäbchen in China nachweisbar.
- 1000 vor Chr. Phöniker erfinden die Buchstabenschrift.
- 100 Heron schreibt das erste Handbuch der Automatisierung und baut zahlreiche Automaten.
- 700 Übergang vom Rechenstäbchen zum Rechenbrett in Ostasien.
- 1200 Suan-Pan erreicht in Ostasien seine heutige Gestalt (Abb. 62).
- 1270 Logische Maschine von Lullus.
- 1350 Turmuhren und in Verbindung damit Glockenspiele.
- 1509 Leonardo da Vinci baut angeblich einen automatischen Löwen, der bei einem Fest vor König Ludwig XII von Frankreich seine Brust öffnet und ein Lilienwappen zeigt.
- 1510 Taschenuhren.
- 1555 Uhr des Imsser, heute im Technischen Museum in Wien.
- 1600 Tischautomaten, Musikautomaten.
- 1623 Schickart baut die erste urkundlich nachweisbare Rechenmaschine der Welt und beschreibt sie in einem Brief an Kepler. Es handelt sich bereits um eine Vierspezies-Rechenmaschine, die aber noch nicht vollautomatisch arbeitet.
- 1641 Pascal baut eine Addiermaschine.
- 1673 Leibniz erfindet die Staffelwalze und die erste Vierspezies-Rechenmaschine mit Stellenverschiebung und Quotientenwerk. Die Zehnerübertragung im Ergebniswerk funktionierte nur unzureichend.
- 1709 Poleni veröffentlicht eine Beschreibung seiner Sprossenradmaschine in *Machinae arithmeticae*.
- 1726 Swift macht sich in *Gullivers Reisen* über die Denkmaschine lustig.
- 1727 Braun widmet Kaiser Karl VI. eine Vierspezies-Rechenmaschine in Dosenform mit zentralem Schaltwerk, die bis heute und sehr verlässlich arbeitet.
- 1728 Falcon erfindet die Lochkartensteuerung von Webstühlen.
- 1738 Vaucanson hat drei Automaten fertiggestellt, darunter den künstlichen Enterich; er verbessert die Lochkartensteuerung von Webstühlen.
- 1748 La Mettrie schreibt sein Buch *L'homme machine*.
- 1756 Knaus beginnt mit der Entwicklung der ersten Schreibautomaten. Er baut insgesamt 4 Modelle in Analog-Digitaltechnik, welche Texte bis zu 68 Buchstaben schreiben können. Aus seinem Nachlaß erwerben die Habsburger die Ritterspieluhr.
- 1769 Kempelen baut eine Sprechmaschine und den Schachspiel-Automaten, den er nie für echt ausgibt, dessen Geheimnis er aber hütet.
- 1774 Jaquet-Droz, Vater und Sohn, bauen einen Schreiber, einen Zeichner und eine Orgelspielerin.
- 1783 Jean Paul schreibt den *Maschinenmann*.
- 1784 Evans baut in der Nähe von Philadelphia eine vollautomatische Getreidemühle.
- 1792 Hahn entwickelt die erste Vierspezies-Rechenmaschine, die zur Serienfertigung geeignet ist.
- 1808 Jacquard macht die Lochkartensteuerung des Webstuhls industriereif.
- 1833 Die Schiffszwiebackerzeugung des Britischen Marineversorgungsamtes läuft vollautomatisch.

7. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

- 1868 Maxwell gibt die Gleichungen für den Fliehkraftregler an.
- 1912 Torres y Quevedo baut den ersten echten Schachautomaten (Turm und König gegen König).
- 1947 Wiener schreibt das Buch *Kybernetik*.
- 1948 In Pasadena (California) findet das Hixon Symposium statt.
- 1949 6. Kybernetik-Konferenz der J. Macy Stiftung in New York; die Beiträge erscheinen erstmals in Buchform. Die zehnte Konferenz ist die letzte.
- 1950 Die kybernetischen Modelle werden gebaut, in England der Automat für den Bedingten Reflex (die *künstliche Schildkröte* und der Automat für die Ultrastabilität und Homöostase (der *Homöostat*), in Amerika der Automat für die künstliche Orientierung im Labyrinth (die *künstliche Maus*).
- 1954 Die VDI/VDE Tagung *Regelungsvorgänge in der Biologie* (Darmstadt) eröffnet eine Folge deutscher Kybernetiktagungen.

Komprimierte Geschichte des Computers

- 1822 Babbage beginnt mit dem Bau der Differenzenmaschine.
- 1833 Babbage beginnt mit dem Bau der Analytischen Maschine; die Idee des programmgesteuerten Rechenautomaten ist geboren.
- 1841 Lady Lovelace, die Tochter Lord Byrons, interessiert sich für die Maschinen von Babbage; sie wird zur ersten Programmiererin.
- 1847 Boole veröffentlicht ein Buch über die Abbildung von logischen Beziehungen auf gewöhnliche algebraische Formeln (*The Mathematical Analysis of Logic*).
- 1871 Babbage stirbt verbittert; seine Idee war der Zeit zu weit voraus.
- 1879 Frege analysiert in seinem Buch über *Begriffsschrift* logische Schlussmethoden in der Mathematik.
- 1882 Hollerith beginnt seine Arbeiten; die Lochkartenmaschine wird geboren.
- 1890 Holleriths Maschinen werden für die Auswertung der amerikanischen Volkszählung von 1890 benutzt. Auch das Wiener Statistische Zentralamt beschließt, Lochkartenmaschinen anzuwenden. Schäffler führt Hollerithmaschinen nach Österreich ein und die Volkszählung von 1890 wird erfolgreich damit ausgewertet.
- 1895 Schäffler erhält ein Patent auf das Programmieren mit Hilfe von Telefonschnüren; die russische Volkszählung wird mit seinen Maschinen ausgewertet.
- 1903 Russel und Whitehead untersuchen die logischen Grundlagen der Mathematik (*Principia Mathematica*).
- 1907 Torres y Quevedo schlägt eine formale Sprache für die Beschreibung von Rechenmaschinen vor.
- 1914 Watson tritt in die Hollerithmaschinen-Firma ein.
- 1919 Eccles und Jordan erfinden den Multivibrator.
- 1920 Torres y Quevedo koppelt eine Schreibmaschine, eine Rechenmaschine und einen mechanischen Speicher zusammen und schlägt einen Teilnehmer-Betrieb vor.

8. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationsverarbeitung.

- 1924 Watson ändert den Namen seiner Firma auf International Business Machines (IBM) um.
- 1928 Comrie verwendet kommerzielle Lochkartenmaschinen für eine wissenschaftliche Berechnung (die Monddaten für den Nautischen Almanach).
- 1928 Hilbert und Ackermann veröffentlichen das Buch *Grundzüge der theoretischen Logik*.
- 1928 Pfelemer (Dresden) erhält Patent über Magnetbandspeicher.
- 1931 Voltat schlägt die Verwendung des Binärsystems für Rechenmaschinen vor.
- 1933 Tauschek meldet ein Patent über zylindrische elektromagnetische Speicher an.
- 1935 Die Ideen von Babbage werden — im Zeitalter der Elektrotechnik — wieder aufgenommen, zum Beispiel durch Zuse in Berlin.
- 1936 Couffignal weist auf die Vorteile der Dualtechnik für ein einfaches Rechenwerk hin.
- 1936 Turing untersucht die Berechenbarkeit von Zahlen mit Hilfe eines abstrakten Automaten (Turing-Maschine).
- 1937 Aiken beginnt seinen ersten Relais-Computer.
- 1938 Shannon veröffentlicht eine Arbeit über Schaltalgebra. (*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits.*)
- 1938 Zuse stellt ein funktionsfähiges Modell mit einem mechanischen Speicherwerk fertig.
- 1940 Stibitz baut ein Relais-Rechenggerät für komplexe Zahlen.
- 1941 Zuse stellt die erste voll arbeitsfähige programmgesteuerte Rechenanlage fertig, die Z3.
- 1943 Vater und Sohn Dirks entwickeln den Magnettrommelspeicher.
- 1944 Die IBM baut eine Relais-Rechenmaschine.
Aiken vollendet seine Mark I.
- 1945 Zuse stellt die universelle Rechenanlage Z4 fertig, die von 1950 bis 1955 an der ETH in Zürich und dann bis 1959 in St. Louis bei Basel arbeitet.
Eckert, Mauchly und von Neumann entwickeln das bis heute gültige Konzept des Computers; das Programm wird im Hauptspeicher untergebracht und dadurch zur bearbeitbaren Information.
- 1946 Eckert und Mauchly stellen den ersten Röhren-Computer fertig, die ENIAC, eine Art Nachbildung einer Zahnrad-Rechenmaschine, mit über 18 000 Röhren und 200 kW Energieverbrauch; sie arbeitet bis 1955.
- 1947 Bardeen und Brattain entwickeln den Transistor.
- 1947 In USA beginnt die Entwicklung des Computers WHIRLWIND. Gruppen in Manchester und in Oxford sowie am National Physical Laboratory bei London arbeiten an Computern.
- 1948 IBM baut den Computer SSEC mit 12 500 Röhren und 21 400 Relais; sie liefert den elektronischen Rechenlocher IBM 604.
- 1949 Anfang der Computerentwicklung an Hochschulen in Deutschland (Göttingen, Darmstadt, München, Dresden).
- 1950 Aiken verwendet zum ersten Mal Magnetbandspeicher (Computer Mark III).
- 1951 Der erste industriell gefertigte Computer UNIVAC wird von der Firma Remington-Rand ausgeliefert.

9. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationstechnik.

- 1951 Forrester publiziert über Ferritkernspeicher und das Koinzidenzstrom-Prinzip.
- 1952 IBM baut den Defense Calculator, der als IBM 701 zum Stammvater der Reihe 700 wird.
- 1955 NORC, die schnellste Rechenmaschine dieser Zeit, wird fertiggestellt.
In Wien beginnt die Planung für den Transistor-Rechenautomaten Mailüfterl.
Erste internationale Rechenmaschinentagung der GAMM in Darmstadt.
- 1957 Die Programmierungssprache FORTRAN wird auf einer amerikanischen Tagung vorgestellt.
- 1958 Siemens liefert serienmäßig den Transistor-Computer 2002 aus.
IBM bringt den Transistor-Computer 7070 heraus.
Das ACM-GAMM-Komitee für die Programmierungssprache ALGOL tritt das erste Mal zusammen.
- 1959 Die amerikanische Regierung initiiert ein Komitee für die Entwicklung der kommerziellen Programmierungssprache COBOL.
Angeregt von der UNESCO findet in Paris der erste internationale Computer-Kongreß (ICIP) statt.
- 1960 IFIP (International Federation for Information Processing) wird als Dachvereinigung der Computer-Gesellschaften gegründet.
- 1962 Der erste IFIP Kongreß findet in München statt.
- 1964 IBM stellt das System /360 vor, und die Programmierungssprache PL/I wird entworfen.
- 1966 In Wien wird die erste Fassung einer formalen Definition der Programmierungssprache PL/I fertiggestellt.
- 1968 Eine Arbeitsgruppe der IFIP schließt die Programmierungssprache ALGOL 68 ab.

AUSSTELLUNGSSTÜCKE ZUM VORTRAG (Foyer Planetarium, 11.-14. Apr. 1985):

- 1 Chinesischer Abacus. Vorführmodell.
- 2 Japanischer Abacus. Vorführmodell.
- 3 Russischer Abacus. Vorführmodell.
- 4 Beschreibungen und Gebrauchsanleitungen zum Abacus:
J.M.Pullan, The History of the Abacus. Hutchinson, London W1, 178-202 Great Portland Street, 1970 (2.Aufl.).
Yukio Tani, The Magic Calculator - The Way of Abacus. Japan Publications Trading Company, San Francisco, 1968.
Takashi Kojima, The Japanese Abacus, its Use and Theory. Charles E. Tuttle Company Publishers, Rutland, Vermont, USA, 1969 (24.Aufl.).
Ebendort erhältlich: Abacus in drei Größen.
H.Zemanek, Abacus: The Word and the Device. Abacus, Vol.1, No.3, Springer, 1984.
- 5 Verkleinerter Nachbau der "Rechenuhr nach Wilhelm Schickard in Tübingen, Anno 1623" (Nach Rekonstruktion von Prof.v.Freytag-Löringhoff und Epple, Institut für Schwingungsforschung, Tübingen, 1960). Vorführmodell.

10. Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des Computers und der Informationstechnik.

- 6 J. De La Lande, Tables de Logarithmes pour les nombres et pour les sinus (5stellig). Didot, Paris, Jahr XIII der Republik = 1805.
- 7 L.J. Comrie, Chambers's Six-Figure Mathematical Tables. Vol. I: Logarithmic Values. Vol. II: Natural Values. Edinburgh 1965.
- 8 L. Schrön, Siebenstellige gemeine Logarithmen der Zahlen 1-108000 und der Sinus, Cosinus, Tangenten und Cotangenten, 10" zu 10", nebst Interpolationstafeln. Beispiel einer benutzerfreundlichen Tafel. Vieweg, Braunschweig 1873.
- 9 J. Bauschinger, J. Peters, Achtstellige Tafeln: Logarithmen der Zahlen, der Winkelfunktionen sin, cos, tan, cot; Natürliche Werte der Winkelfunktionen sin, cos, tan, cot. 1" zu 1". Reichsamt für Landesaufnahme, Berlin 1939.
- 10 Faber-Castell Rechenschieber:
Schul-D-Stab, Länge 32,5cm und Typ 4/87 Rietz, Länge 57,5cm.
- 11 BRUNSVIGA 20, Hand-Tischrechenmaschine (12,12,20 Stellen), mit Rückübertragung in das Einstellwerk. Beispiel für eine 4-Spezies-Sprossenradmaschine hoher Stellenzahl. Um 1930. Vorführmodell.
- 12 ARCHIMEDES MZ, elektrische Tischrechenmaschine (8,7,14 Stellen). Beispiel für eine vollautomatische 4-Spezies-Staffelwalzenmaschine mit vielen Sonderleistungen, z.B. additiv und subtraktiv arbeitender 14stelliger Speicher. Um 1940. Vorführmodell.
- 13 ADDIATOR DUPLEX, Taschengerät zum Addieren und Subtrahieren bis zu 9stelligen Zahlen. Um 1940. Vorführmodell.
- 14 CURTA, Hand-Taschenrechenmaschine (11,8,15 Stellen). 4-Spezies-Rechner, System Curt Herzstark, Wien. Um 1950. Vorführmodell.
- 15 A. Willers, Mathematische Instrumente. Beschreibung mechanischer Rechengерäte. Verlag Oldenbourg, München 1943.
- 16 Lochkarten-Spiel.
- 17 Teile früherer Elektronen-Rechenanlagen:
Röhreneinschub und Ferritring-Matrix von "G 3" (Göttingen).
Platine von "Mailüfterl" (Wien 1956).
- 18 H. Zemanek zu "Mailüfterl" und Vorläufer:
Große elektronische Zahlrechenmaschinen. Österreichische Zeitschrift für Telegraphen-, Telephon-, Funk- und Fernsichttechnik. Jg. 8, Heft 1/2, 3/4, 5/6. Springer, Berlin 1954.
Die Universalrechenmaschine (URR 1) des Institutes für Niederfrequenztechnik der Technischen Hochschule Wien. E und M, Heft 1, 1955, Springer.
"Mailüfterl", eine Retrospektive. Elektronische Rechenanlagen mit Computer-Praxis, Heft 6 (Dez. 1983). Oldenbourg, München.
- 19 H. Zemanek, Al-Khorezmi, His Background, His Personality, His Work and His Influence.- The Manuscripts of the Works of Al-Khorezmi. Eigenverlag, Wien 1979 und später.
- 20 A. Adam, Vom himmlischen Uhrwerk zur statistischen Fabrik. 600 Jahre Entdeckungsreise in das Neuland österreichischer Statistik und Datenverarbeitung. Verlag Munk, Wien 1973.

11.Fortsetzung Gastvortrag: Ausgewählte Kapitel einer Geschichte des
Computers und der Informationstechnik.

- 21 E.Hochstetter, H.Greve, H.Gumin, Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Eins. Siemens AG, Berlin 1966 (3.Aufl.).
- 22 M.Graef, 350 Jahre Rechenmaschinen. C.Hanser Verlag, München 1973.
- 23 Charles U.Roy Eames Office, A Computer Perspective. Harvard University Press, Mass.1973.
- 24 K.Ganzhorn und W.Walter, Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung. IBM Deutschland, Stuttgart 1975 (Neuaufgabe).
- 25 S.Augarten, Bit by Bit. In Illustrated History of Computers. Ticknor & Fields, New York 1983.
- 26 P.,E.Morrison, Charles Babbage and his Calculating Engines. Selected Writings by Charles Babbage and Others. Dover, New York 1961.
- 27 E.C.Berkeley, Giant Brains, or Machines That Think. J.Wiley, New York, 1963 (7.Aufl.).
- 28 S.Lavington, Early British Computers. The Story of Vintage Computers and the People Who Built Them. Manchester University Press, 1980.
- 29 K.Zuse, Der Computer - Mein Lebenswerk. Springer, Berlin 1984.
- 30 IBM Laboratory, Vienna, Formal Definition of PL/I. Wien 1968.
- 31 Annals of the History of Computing, 7/1, Jan.1985. American Federation of Information Processing Societies, Reston, Virginia.
- 32 Elektronische Rechenanlagen mit Computer-Praxis, 25.Jahrgang, Heft Dez.1983. Verlag Oldenbourg, München.
- 33 D.E.Smith, History of Mathematics. Vol.I: General Survey of the History of Elementary Mathematics. Vol.II: Special Topics of Elementary Mathematics. Dover, New York 1951 und 1953.
- 34 P.Goldschneider, H.Zemanek, Computer - Werkzeug der Information. Springer, Berlin 1971. Mehrere Ansichtsexemplare verfügbar.

Univ.-Prof.Dipl.Ing.DDr.h.c.Heinz Zemanek
TU Wien, ÖAW
Postfach 251
A-1011 WIEN

Astronomie und Heimcomputer

1. Warum Astronomie auf dem Heimcomputer?

Die Astronomie verfügt neber der praktischen (beobachtenden) auch eine -immer mehr an Bedeutung gewinnende- theoretische Komponente. Schon in der Frühzeit der Astronomie (z.B. bei den Babyloniern) war es üblich, die Positionen der Wandelgestirne zu berechnen. Spätestens seit der Entdeckung der Keplerschen Gesetze und des Graviatationsgesetzes sind der Berechnung der Positionen der Himmelskörper theoretisch keine Grenzen mehr gesetzt.

Praktisch bedeuten astronomische Berechnungen jedoch einen erheblichen Aufwand, weil

- die Aufgaben komplex sind und oft erhebliches mathematisches Grundwissen erfordern
- die Aufgaben umfangreich sind und von Hand nur sehr mühevoll gelöst werden können (so benötigte J.J.Leverrier in der Mitte des vorigen Jahrhunderts über ein Jahr, um aus den Abweichungen im Ort des Uranus den Ort des Neptun, praktisch nur unter Zugrundelegung des Gravitationsgesetzes, zu berechnen)
- eine hohe Genauigkeit erforderlich ist und z.B. Werte von Winkel-funktionen nicht ohne weiteres in der erforderlichen Genauigkeit vorliegen

Durch die Einführung der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) entfallen diese Probleme für den Astronomen weitgehend. Die geeignete mathematische Formulierung der Probleme und die Übertragung dieser Probleme in eine für eine EDV-Anlage verständliche Sprache (Programmiersprache) wird von Spezialisten (Systemanalytikern, Programmierern, etc.) erledigt (die oft Jahrelang an einer solchen Formulierung arbeiten!), und die mühevollen Berechnung wird dem Astronomen von der Maschine in hinreichender Genauigkeit abgenommen.

Die enorm rasante technische Entwicklung der EDV-Geräte machte diese ab Anfang der Achtzigerjahre auch für den Nichtwissenschaftler verfügbar - jeder kann heute einen einigermaßen leistungsstarken Computer um etwa denselben Preis erhalten wie etwa ein gutes Farbfernsehgerät. Dieser Artikel soll nun -in Zusammenhang mit den folgenden Referaten und Vorträgen- die Welt der EDV auch dem Amateur-astronomen näherbringen.

2. Aufgaben der EDV in der Astronomie

Es werden hier in erster Linie jene Bereiche erwähnt, in denen der Computer eine echte Hilfe für den (Amateur)astronomen darstellt. Natürlich kann man auch weitergehen und einen Beobachtungsabend folgendermaßen automatisieren:

1. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- PRUEFE DAS WETTER
- WENN WETTER GUT, OEFFNE DIE KUPPEL, ANSONSTEN STOP
- WIEDERHOLE 10 MAL:
 - WAEHLE ZUFAELLIG EIN OBJEKT AUS
 - POSITIONIERE DAS FERNROHR AUF DIESES OBJEKT
 - UEBERTRAGE DAS BILD VOM LICHTEMPFAENGER AUF MAGNETBAND
 - TRAGE DIE BEOBACHTUNG IN DAS LOGBUCH EIN
- SCHLIESSE DIE KUPPEL
- STOP

Sinnvoll kann der Computer in der Astronomie für folgende Bereiche eingesetzt werden:

2.1. Numerische Aufgaben

- **Astronomische Phänomenologie** (d.i. die Ermittlung einer der drei Unbekannten **Himmelsanblick**, **Beobachtungsort** und **Beobachtungszeit**, wobei die beiden anderen bekannt sein müssen). Dieses Gebiet beinhaltet die Berechnung von **Positionen** von Sonne, Mond, Planeten, Fixsternhimmel, ggf. Kometen und Kleinplaneten, **Finsternissen** und **Bedeckungen**, **Daten** und **Zeiten**, etc.
Die Probleme der astronomischen Phänomenologie sind mathematisch sehr einfach und auch vom Rechenaufwand nicht sehr extrem. Sie sind daher am ehesten für den kleineren Computer, manchmal sogar schon für den Taschenrechner¹ geeignet.
- Die Berechnung von **Ephemeriden**, das ist die Berechnung von Positionen und anderen Eigenschaften (wie z.B. scheinbare Helligkeit, Auf- und Untergang, etc.) von Himmelskörpern für eine Folge von durch gleiche Zeitintervalle getrennten Zeitpunkten.²
Diese Berechnungen sind zwar auch nicht komplex, da sie für jeden einzelnen Zeitpunkt einer Aufgabe der Phänomenologie entsprechen, werden aber durch die grosse Anzahl der Zeitpunkte zu aufwendig, um ohne Computer gelöst werden zu können.
- Aufgaben aus der **Stellarphysik** (etwa die Berechnung von Sternmodellen, die Berechnung der Lichtperiode veränderlicher Sterne, Auswertung von Lichtkurven photometrischer Doppelsterne, etc.).
Diese Aufgaben sind mathematisch sehr komplex (sie erfordern z.T. die Lösung von Differentialgleichungssystemen und numerische Integration) und haben extrem hohen Rechenaufwand (oft muss eine Berechnung millionenmal wiederholt werden). Sie kommen daher nur für leistungsfähigere Computer in Frage.

1 Siehe Sternfreunde-Seminar 1977

2 Ein typisches Beispiel ist der Osterreichische Himmelskalender

2. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- Probleme der **Himmelsmechanik** (z.B. die Bahnbestimmung eines Kometen oder Kleinplaneten, die Berechnung von Bahnen nach den Gesetzen der Gravitation, die Störungsrechnung, etc.).

Diese Probleme sind ebenfalls mathematisch sehr komplex (numerische Integration, grosse Gleichungssysteme) und von der Berechnung her sehr aufwendig. Sie sind daher ebenfalls grösseren Rechnern vorbehalten.³

- **Reduzierung** von Messdaten und -serien nach statistischen Methoden, Ausgleichsrechnung, Vermessen von photographischen Aufnahmen, etc.

Diese Aufgaben sind zwar mathematisch etwas komplex, aber nicht sehr rechenintensiv. Sie kommen also nach geeigneter Formulierung des Problems, z.B. aus geeigneter Fachliteratur, auch für den Kleinrechner in Frage.

2.2. Nicht rein numerische Aufgaben

Ein Computer ist keine Rechenmaschine, sondern eine informationsverarbeitende Maschine. D.h. er kann nicht nur rechnen, sondern auch grosse Mengen von Daten für sich behalten bzw. auch Texte oder Bilder, ja sogar auch Sprache, verarbeiten. Hier nun einige dieser erweiterten Aufgaben:

- Verwalten von **Datenbeständen** für Beobachtungsobjekte, Kataloge, etc. Hier entfällt die (in Büchern) unvermeidliche Sucharbeit bei geeigneter Speicherung der Daten völlig.

Heimcomputer der mittleren Preisklasse (ab etwa öS 50.000,-) können heute schon etwa 10-20 Millionen Zeichen permanent speichern, das sind (wenn man etwa 20 Zeichen für einen Stern "reserviert") also 500.000 bis 1.000.000 Sterne! Das sind aber auch, wenn man etwa eine Buchseite (gross bedruckt etwa 2500 Zeichen) für ein besonderes Beobachtungsobjekt speichern will, 4000 bis 8000 besondere Objekte! Da man auch Programme abspeichern will, und auch noch andere Daten, kann man auf einem guten Heimcomputer also etwa 1000 schöne Objekte und ca. 250.000 Sterne (das ist bis zur 9. Grössenklasse) abspeichern, das ersetzt jeden im Handel erhältlichen Sternatlas und -katalog!

- **Bildverarbeitung (image processing)**; ursprünglich in der Weltraumfahrt eingesetzt, dienen diese Verfahren zum Nachschärfen kontrastarmer Bilder heute mehr und mehr auch dazu, um an Fernrohren gewonnene Photographien zu verbessern.

Die Verfahren sind mathematisch komplex, aber in geeigneten Büchern beschrieben. Sie sind rechenintensiv, können aber schon von einem mittleren Heimcomputer erledigt werden (die Bearbeitung eines Bildes dauert dann etwa 15 Minuten bis 2 Stunden, je

³ Allerdings muss heute ein derart leistungsfähiger Rechner noch nicht unerschwinglich sein. So erhält man heute (1984) um den Preis eines Autos (öS 100.000,- bis 500.000,-) bereits Computer, die an Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit die Grossrechenanlagen der 70er Jahre weit übertreffen.

3. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

nach Verfahren).

Ein Problem besteht in der Übertragung des Bildes in den Rechner; allerdings werden bereits Geräte (ab ca. öS 10.000,-) angeboten, die es erlauben, mit einer Videokamera aufgenommene Bilder in den Rechner zu übertragen (eine Videokamera ist ab öS 5.000,- erhältlich).

- **Steuerung von Beobachtungsinstrumenten;** in grossen Observatorien ist es heute durchaus üblich, das Fernrohr automatisch auf das gewünschte Beobachtungsobjekt zu richten. Wenngleich dies für den Amateur nicht unbedingt erforderlich ist (ausser bei Fernrohren ab etwa 40cm Durchmesser und sehr enger Kuppel), kann er dennoch davon profitieren: gekoppelt mit lichtelektrischen Zellen am Sucher (oder gleich einer Videokamera) ist nämlich eine extrem genaue Nachführung realisierbar, die Langzeitbelichtungen ohne händliche Kontrolle ermöglicht.

Der technische Aufwand ist allerdings hoch, es gibt keine serienmässigen Geräte hierzu, der Rechenaufwand ist allerdings nicht allzu extrem.

- **Entwurf und Konstruktion** von Beobachtungsgeräten. Durch die höhere Rechenleistung des Computers kann der Amateur in zunehmenden Masse auch kompliziertere Beobachtungsinstrumente (wie z.B. Schiefspiegler) berechnen und konstruieren.

3. Wie rechnet der Computer?

3.1. Zahlendarstellungen

Für den Menschen, der in Begriffen denkt, ist eine Zahl ein Begriff, der nicht weiter zerlegt zu werden braucht. Nicht aber für den Computer.

Der Computer kennt als Informationsträger nur das **Bit**, ("binary digit"), das ist eine Grösse, die nur zwei verschiedene Werte annehmen kann (z.B. 0 und 1). Mit einem Bit kann man nicht rechnen, daher müssen mehrere Bits zusammengefasst werden, um Zahlen darstellen zu können. So benötigt man für die Ziffern 0 bis 9 bereits 4 Bits:

Dezimal	Binär	Dezimal	Binär
0	0 0 0 0	5	0 1 0 1
1	0 0 0 1	6	0 1 1 0
2	0 0 1 0	7	0 1 1 1
3	0 0 1 1	8	1 0 0 1
4	0 1 0 0	9	1 0 0 1

In der Regel werden je 8 bit zu einem **Byte** zusammengefasst. In einem Byte kann man dann die Zahlen von 0 bis $2^8-1 = 255$ darstellen. Das ist nicht viel. Will man auch negative Zahlen, so muss man für das Vorzeichen ein ganzes Bit zur Verfügung stellen, und der Zahlenbereich sinkt auf -255 bis +255. ⁴ Heute können Rechner oft mehrere Byte auf

⁴ Durch unterschiedliche Darstellungsformen negativer Zahlen, auf die hier nicht eingegangen werden soll, kann die Untergrenze des Zahlenbereichs variieren.

4. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

einmal verarbeiten (**8bit-Rechner**: 1 Byte, **16bit-Rechner**: 2 Byte, **32bit-Rechner**: 4 Byte, **64bit-Rechner**: 8 Byte, etc.) Durch die Zusammenfassung von mehreren Bytes für die Zahlendarstellung ergeben sich auch erweiterte Bereiche:

Byte/Zahl	Zahlenbereich	
	von	bis
1	-255	+255
2	-32767	+32767
4	-2147483647	+2147483647
8	-9223372036854775807	+9223372036854775807

Man sieht jedoch sofort:

Der Zahlenbereich eines Rechners ist nach oben und nach unten beschränkt.

Bisher haben wir nur die ganzen Zahlen betrachtet. Bei den reellen Zahlen ist die Sache noch schwieriger. Folgende Probleme treten auf:

- man muss in einem bestimmten Rahmen von Bytes sowohl die **Mantisse** m als auch den **Exponenten** e der Zahl $m \times 10^e$ sowie die beiden Vorzeichen von Mantisse und Exponent abspeichern
- man kann nicht unendlich viele Dezimalstellen abspeichern, sondern muss irgendwann **abschneiden**

Reelle Zahlen werden in den meisten Computern *normiert*, d.h. der Exponent wird so gewählt, dass sich eine Zahl der Bauart 0.12345×10^5 ergibt. Wenn man nun für die Mantisse m Bits reserviert, und 2 Bits für die Vorzeichen verloren gehen, dann bleiben $w-m-2$ Bits für den Exponenten (w ist die Gesamtzahl der Bits, meist 32, 64, 128, ...). Dabei werden Mantisse und Exponent wie ganze Zahlen gespeichert.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Zahlenbereiche und Genauigkeiten sich für verschiedene Darstellungen ergeben:

Bit insges.	Mantisse	Zahlenbereich		Genauigkeit (Stellen)
		von	bis	
32	23	10^{-38}	10^{38}	6
32	24	10^{-20}	10^{18}	7
64	56	10^{-20}	10^{18}	17
64	52	10^{-308}	10^{307}	15
128	116	10^{-308}	10^{307}	34

Man sieht deutlich:

Ein Computer kann niemals beliebig genau rechnen.

Viele Heimcomputer rechnen mit der ersten Darstellungsform aus obiger Tabelle, und das ist für astronomische Probleme zu wenig. In manchen Programmiersprachen gibt es die Möglichkeit, neben den normalen reellen Zahlen auch "doppelt" genaue anzufordern. Diese belegen dann doppelt so viele Bits wie die normalen reellen Zahlen, sind aber mehr als doppelt so genau.

5. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

3.2. Wie rechnet der Computer?

Während der Mensch zumindest dan kleine Einmaleins "intus" hat und gewisse Operationen sofort ausführen kann, muss der Computer alle Berechnungen Bit für Bit durchexerzieren.

Dabei geht er genauso vor, wie wir es in der Schule lernen, allerdings kennt er nur die Ziffern 0 und 1.

Beispiel: Die Berechnung von $19 + 31 = 50$:

$$\begin{array}{r} (19) \quad 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ (31) \quad 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ \hline (50) \quad 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \end{array}$$

Beispiel: Die Berechnung von $5 \times 3 = 15$ (es werden nur 4 Bit pro Zahl dargestellt):

$$\begin{array}{r} 0 \ 1 \ 0 \ 1 \quad \times \quad 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \quad 0 \ 0 \ 0 \ 0 \\ \quad \quad 0 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \quad \quad \quad 0 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

Aus diesen Beispielen kann man noch eine wichtige Erkenntnis gewinnen:

Bei arithmetischen Operationen können Zahlen entstehen, die entweder zu gross oder zu klein sind, als dass sie der Computer darstellen kann. Daher muss man stets Sorge tragen, dass kein Ergebnis einer Operation zu gross oder zu klein wird.

In analoger Weise funktionieren Division und Subtraktion. Für die reellen Zahlen sind diese Operationen noch etwas komplizierter.

3.3. Numerische Probleme

Aus den oben abgeleiteten Merksätzen lassen sich einige weitere wichtige Prinzipien herleiten:

- Da der Computer Zahlen intern abschneidet, können auch seine Ergebnisse nie ganz genau sein. Da der Computer Zahlen binär abspeichert, kann er gewisse Zahlen (wie z.B. 0.1) nicht exakt darstellen (im Binärsystem ist 0.1 (dezimal) ein periodischer Bruch, nämlich 0.000110011...); besonders krass können diese Fehler dann bei der Multiplikation werden.
- Man vermeide daher die Multiplikation grosser Zahlen miteinander. Wenn der Computer z.B. nur auf 6 Stellen genau rechnet⁵, ist z.B.

$$1234 \times 6782 = 8368990 \text{ statt } 8368988$$

⁵ Das heisst ja nicht, dass er keine grösseren Zahlen darstellen kann.

6. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- Man vermeide stets die Division durch sehr kleine Werte oder Werte, die manchmal sehr klein werden können. In diesem Fall ist das mathematische Modell zu verändern.

Weitere wichtige Verfahren werden in Kapitel 4 vorgestellt werden.

3.4. Wie speichert der Computer Daten ab?

Prinzipiell gibt es in jedem Computer zwei Speichermedien:

- (1) den **Hauptspeicher**, das ist ein sehr schneller Speicher, in dem Daten und Programme abgespeichert sein können, dessen Inhalt aber nicht beständig ist und der beim Ausschalten des Rechners verlorengeht.

Der Hauptspeicher ist relativ teuer und daher ist er auch beschränkt. Typische Hauptspeichergrößen sind von 64 kByte (64 × 1024 Byte) bis etwa 1 bis 2 MByte (1000 bis 2000 × 1024 Byte). Ein MByte Hauptspeicher kostet heute (1984) etwa öS 10.000,- bis 100.000,-. Der Zugriff auf ein einzelnes Byte im Hauptspeicher dauert heute 10 - 600 Nanosekunden.

- (2) den **Massenspeicher**, das ist ein eher langsamer Speicher, in dem Daten auf einem *Speichermedium* (Magnetplatte, Diskette, Magnetband, etc.) abgespeichert werden. Dafür bleiben diese Daten beliebig lange erhalten.

Moderne Magnetplatten (Festplatten) haben heute Kapazitäten von 5 MByte bis 1.2 GByte. Es kann aber nicht wahlfrei auf jedes Byte zugegriffen werden, sondern nur auf ganze Speicherblöcke, meist 512 Byte bis 64 kByte gross, innerhalb denen dann das gewünschte Byte gesucht werden kann. Der Zugriff auf einen solchen Block dauert 10 - 100 Millisekunden.

Ein Megabyte Massenspeicher kostet heute (1984) etwa öS 1.000,- bis 5.000,-.

Man wird daher alle Daten und Programme, die oft benötigt werden, im Hauptspeicher unterzubringen versuchen. Eher selten oder einmalig benötigte Daten können auch vom Massenspeicher gelesen werden.

3.5. Wie kommuniziert der Computer mit dem Benutzer?

Die klassische Form der Eingabe an einen Computer erfolgt über eine schreibmaschinenartige Tastatur. Allerdings gibt es eine Vielzahl weiterer Eingabegeräte:

optische Lesestifte, Videokameras, elektromechanische Sensoren (z.B. zur Abtastung von Fernrohrpositionen), Spracherkennung, Lichtelektrische Zellen, etc.

Die klassische Form der Ausgabe erfolgt auf einen Monitor. Tastatur und Monitor zusammen bezeichnet man auch als *Terminal*. Andere Ausgabegeräte sind:

Sprachausgabe, durch spezielle Elektronik angesprochene Schrittmotoren (etwa zum Einstellen eines Fernrohrs), man spricht dann von einem *Roboter*, Drucker, die Ergebnisse auf Papier bringen, Plotter und Photolichsatzgeräte zur Darstellung von Graphiken (so wurde z.B. dieser Text von einem Computer auf einem

7. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Photolichtsatzgerät ausgedruckt), etc.

4. Wichtige numerische Probleme der Astronomie und deren Lösung

In den folgenden Abschnitten sollen die wichtigsten numerischen Probleme, die vor allem auch für den Amateurastronomen von Bedeutung sein könnten, andiskutiert werden.

Natürlich können keine kompletten Lösungen hier angeführt werden, sondern nur Teillösungen. Darüberhinaus wird sicherlich nicht jede Lösung für jeden Computer optimal sein. Ich möchte versuchen, einen "goldenen Mittelweg" zu finden, der es erlaubt, die wesentlichen Grundzüge der Lösung zu erkennen und die Lösung dem eigenen Problem anzupassen.

Einige Musterbeispiele werden auch ausprogrammiert. Als Programmiersprachen werden einerseits **BASIC** (Microsoft-Dialekt), andererseits **PASCAL** verwendet. Beide Sprachen sind auf Mikrocomputern sehr verbreitet und ein Übertragen in andere Sprachen ist einfach:

Sprache	leicht zu übertragen in
BASIC	FORTRAN 66, FORTRAN 77, ASSEMBLER, FORTH
PASCAL	PL/I, C, ALGOL, ALGOL 68, MODULA 2, FORTRAN 77

Alle Beispiele setzen voraus, dass genügend numerische Genauigkeit verfügbar ist. An heiklen Stellen wird jedoch gesondert auf das Problem hingewiesen.

4.1. Mittlere Längen

Mittlere Längen werden an verschiedenen Stellen benötigt und sie berechnen sich stets aus einem *Zeitargument* t , einer *Anfangslänge* l_0 und einer *mittleren täglichen Bewegung* n zu

$$l = l_0 + n \cdot t$$

Dabei tritt das Problem auf, dass meistens n und t sehr gross sind. Es kann zu Genauigkeitsverlusten, ja sogar zum Überlauf kommen. Andererseits interessiert l ohnedies nur im Bereich von 0° bis 360° ⁶. Daher ist es sinnvoll, die *Umlaufzeit* P zu berechnen und das Zeitargument t bezüglich P zu reduzieren:

$$P = \frac{360}{n}$$

$$t_1 = t \text{ modulo } P$$

$$l = l_0 + n \cdot t_1$$

Die Berechnung von "modulo P " ist für reelle Zahlen nicht auf jedem Rechner eine eingebaute Funktion; die Berechnung von $a \text{ modulo } b$ ist in Programm 1 angedeutet. Man beachte, dass diese Operation problematisch für kleine Werte von b ist (in obigem Problem ja

⁶ Bei gewissen Ephemeridenberechnungen und bei Finsternissen ist diese Reduktion jedoch nicht zulässig.

8. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

BASIC:	PASCAL:
QUOTIENT=A/B REST=QUOTIENT-INT(QUOTIENT) MODULO=B * REST	<pre> var a, b, quotient, rest, modulo: real; ... quotient := a/b; rest := quotient - trunc(quotient); modulo := b * rest; </pre>

Programm 1: Die Berechnung von *a modulo b*

ausgeschlossen!). Man beachte ferner, wie diese Operation bei negativen Zahlen funktioniert.

4.2. Summen, Produkte

Summen und Produkte sind häufig Teilprobleme bei komplexeren Problemen. Während der Mensch die Summe

$$s = s_0 + s_1 + s_2 + \dots + s_n$$

oder, kürzer

$$s = \sum_{i=0}^n s_i$$

durch untereinander schreiben der Werte und *gleichzeitiges* addieren aller Werte (Stelle für Stelle) löst, muss der Computer sukzessive addieren:

```

s = 0
s = s + s1
s = s + s2
...
s = s + sn

```

Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, die Summe vorher 0 zu setzen. Programm 2 zeigt die Berechnung einer Summe.

BASIC:	PASCAL:
DIM S(N) SUM=0 FOR I=0 TO N SUM=SUM+S(I) NEXT I	<pre> var sum: real; i: integer; s: array [1..n] of real; sum := 0; for i := 0 to n do sum := sum + s[i]; </pre>

Programm 2: Summenberechnung

Um Ungenauigkeiten auszuweichen, ist es empfehlenswert, die zu summierenden Werte aufsteigend zu sortieren, d.h. zuerst die kleineren und

9. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

dann erst die grösseren Werte aufzusummieren.
Bei Produkte verfährt man analog. Das Produkt

$$p = p_0 p_1 p_2 \dots p_n$$

oder kurz

$$p = \prod_{i=0}^n p_i$$

ist jedoch anfangs 1 (statt 0) zu setzen.

4.3. Polynome

Polynome sind ein elementarer Bestandteil astronomischer Berechnungen, da viele zeitlich veränderliche Grössen (z.B. Bahnelemente von Sonne, Mond und Planeten) als Polynome approximiert werden.

Ein Polynom hat die Gestalt

$$p(x) = \sum_{i=0}^n p_i \cdot x^i$$

wobei die p_i Konstante sind und x die unabhängige Variable ist. Man nennt n den *Grad* des Polynoms.

$$a(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$$

ist ein Polynom vom Grad 2.

Solche Polynome werden **nicht** berechnet, indem man die Potenzen von x direkt berechnet, ausmultipliziert und addiert, sondern das Polynom wird nach dem *Horner-Schema* umgeordnet:

$$p(x) = (((\dots (p_n x + p_{n-1}) x + \dots) x + p_1) x + p_0$$

Dieses Verfahren ist in Programm 3 ausprogrammiert.

BASIC:	PASCAL:
<pre>DIM P(N)</pre>	<pre>var x, poly: real;</pre>
<pre>POLY=0</pre>	<pre> i: integer;</pre>
<pre>FOR I=N TO 0 STEP -1</pre>	<pre> p: array [1..n] of real;</pre>
<pre> POLY=X*POLY+P(I)</pre>	<pre> ...</pre>
<pre>NEXT I</pre>	<pre> poly := 0;</pre>
	<pre> for i := n downto 0 do</pre>
	<pre> poly := x * poly + p[i];</pre>

Programm 3: Polynomrechnung

4.4. Lineare Gleichungssysteme

Lineare Gleichungssysteme treten in der Bahnbestimmung, bei Finsternissen und bei der Reduktion von Messergebnissen auf.

10. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Ein lineares Gleichungssystem hat die Gestalt

$$\begin{array}{ccccccccc}
a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + & \dots & + & a_{1n}x_n & = & b_1 \\
a_{21}x_1 & + & a_{22}x_2 & + & \dots & + & a_{2n}x_n & = & b_2 \\
\dots & + & \dots & + & \dots & + & \dots & = & \dots \\
a_{n1}x_1 & + & a_{n2}x_2 & + & \dots & + & a_{nn}x_n & = & b_n
\end{array}$$

Ein solches Gleichungssystem besitzt n Gleichungen mit n Unbekannten x_1 bis x_n . Die Koeffizienten a_{ij} und b_i sind konstant.

Ein solches Gleichungssystem löst man nach dem *Gaußschen* Algorithmus⁷:

- Man beginnt in der ersten Zeile und in der ersten Spalte des Gleichungssystems; von der zweiten Zeile an multipliziert man alle a_{ij} und b_i , $i > 1$, mit a_{11}/a_{i1} . Alle Zeilen haben dann in der ersten Spalte denselben Wert für a_{i1} .
- Sodann subtrahiert man von allen Zeilen ab der zweiten die erste Zeile (von jedem a_{ij} wird a_{1j} subtrahiert, und von jedem b_i wird b_1 abgezogen). Alle Zeilen ab der zweiten haben dann als ersten Koeffizienten 0.
- Nun wendet man dieses Verfahren für die zweite Zeile und zweite Spalte an, bis dann alle Zeilen ab der dritten die ersten beiden Koeffizienten 0 haben.
- Schliesslich gelangt man, nach n -maliger Anwendung des obigen Verfahrens, soweit, dass die letzte Gleichung lautet

$$a_{nn}x_n = b_n$$

(alle anderen Koeffizienten a_{nj} sind 0). Aus dieser Gleichung berechnet man nun x_n .

- Diesen Wert setzt man nun in die vorletzte Gleichung ein

$$a_{n-1,n-1}x_{n-1} + a_{n-1,n}x_n = b_{n-1}$$

und kann leicht x_{n-1} berechnen.

- Dies wiederholt man solange, bis alle n x_i bekannt sind.

Wie aus obigem Text ersichtlich ist, werden in jedem Schritt die neuen Koeffizienten berechnet zu

$$a_{ij}^{(neu)} = a_{ij} - a_{kj} \cdot \frac{a_{ik}}{a_{kk}}$$

wenn gerade die k -te Zeile und Spalte behandelt werden und alle Zeilen i ($k > i > n$) und Spalten j ($k > j > n$) neu berechnet werden.

Man trachte daher, dass a_{kk} nicht zu klein wird. ⁸ Gegebenenfalls ist das Gleichungssystem so umzuordnen, dass der Wert von a_{kk} maximal wird.

7 NIEMALS nach der sog. *Cramerschen* Regel über Determinanten. Dieses Verfahren führt schon bei kleineren Systemen zu tausenden Multiplikationen und dauert um Grössenordnungen länger als der *Gaußsche* Algorithmus.

8 Wird a_{kk} Null, ist das Gleichungssystem nicht lösbar

11. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Der komplette *Gaußsche* Algorithmus ist in Programm 4 dargestellt.

BASIC:	PASCAL:
<pre> DIM A(N,N), B(N), X(N) ... REM REDKTION FOR K=1 TO N FOR I=K+1 TO N HILF=A(I,K)/A(K,K) FOR J=K+1 TO N A(I,J)=A(I,J)-HILF*A(K,J) NEXT J B(I)=B(I)-HILF*B(K) NEXT I NEXT K REM RUECKRECHNUNG FOR K=N TO 1 STEP -1 S=0 FOR I=K+1 TO N S=S+A(I,K)*X(I) NEXT I X(K)=(B(K)-S)/A(K,K) NEXT K </pre>	<pre> var i,j,k: integer; hilf,s: real; a: array [1..n, 1..n] of real; b, x: array [1..n] of real; ... (* Reduktion *) for k := 1 to n do for i := k+1 to n do begin hilf := a[i,k] / a[k,k]; for j := k+1 to n do a[i,j] := a[i,j] - hilf * a[k,j]; b[i] := b[i] - hilf * b[k] end; (* Rueckrechnung *) for k := n downto 1 do begin s := 0; for i := k+1 to n do s := s + a[i,k] * x[i]; x[k] := (b[k] - s) / a[k,k] end; </pre>

Programm 4: Lösung eines Gleichungssystems nach Gauß.

4.5. Iterative Lösungen

Oft kann der Wert einer Unbekannten aus einer Gleichung nicht direkt berechnet werden, weil die Gleichung nicht nach der Unbekannten aufgelöst werden kann. Ein Beispiel wäre etwa

$$x = a + b \cdot \sin x$$

Es ist nicht möglich, diese Gleichung in der Form

$$x = \dots$$

anzuschreiben, ohne dass rechts vom "="-Zeichen wieder x vorkommt.

Man muss solche Gleichungen *iterativ* lösen, indem man einen Anfangswert für x wählt, aus diesem Anfangswert dann einen neuen Wert für x , usw.:

$$\begin{aligned}
 x_{(0)} &= \dots \\
 x_{(1)} &= \dots (x_{(0)}) \dots \\
 x_{(2)} &= \dots (x_{(1)}) \dots \\
 x_{(3)} &= \dots (x_{(2)}) \dots
 \end{aligned}$$

etc. Wann hört man damit aber auf? Man muss selbst bestimmen, wann dieses Verfahren enden soll, und zwar dann, wenn die Differenz zwischen $x_{(i)}$ und $x_{(i-1)}$ kleiner ist als die gewünschte Genauigkeit.

12. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Programm 5 zeigt ein Beispiel zur Lösung obiger Gleichung.

BASIC:	PASCAL:
<pre> 100 XALT=A 200 REM ITERATION 210 XNEU=A+B*SIN(XALT) 220 IF ABS(XNEU-XALT) < S THEN 300 230 XALT=XNEU 240 GOTO 200 300 REM FERTIG 310 X=XNEU </pre>	<pre> var xalt, xneu, s: real; x, a, b: real; fertig: boolean; ... xalt := a; fertig := false; (* Iteration *) repeat xneu := a+b*sin(xalt); if abs(xalt-xneu) < s then fertig := true else xalt := xneu until fertig; (* fertig *) x := xneu; </pre>

Programm 5: Iterative Lösung einer Gleichung

Es ist unbedingt zu beachten, dass die gewünschte Genauigkeitsschranke auch noch vom Computer erreicht werden kann. Denn durch die begrenzte Rechengenauigkeit eines Computers kann es vorkommen, dass sich bei der Berechnung von x_{neu} stets ein anderer Wert ergibt, der weiter von x_{alt} entfernt liegt, als es die Genauigkeitsschranke fordert.

Eine typische Anwendung eines iterativen Verfahrens ist auch die Auflösung von Gleichungen, deren Lösung sich nicht mehr exakt oder einfach anschreiben lässt⁹. Man bedient sich dann eines iterativen Verfahrens, dass eine Lösung ausgehend von einem bestimmten Anfangswert findet¹⁰. Als Beispiel sei hier das Verfahren der *Regula Falsi* angeführt¹¹:

Eine Gleichung der Bauart

$$f(x) = 0$$

in der $f(x)$ eine beliebige Funktion in x ist, z.B.

$$\sqrt{x-5} + x^2 = 0$$

wird folgendermassen gelöst:

9 z.B. Gleichungen höherer Ordnung, Wurzelgleichungen, etc.
10 Bei mehreren Lösungen einer Gleichung können - abhängig vom Anfangswert - verschiedene Lösungen erhalten werden
11 Das bekanntere *Newton*-Verfahren setzt die Kenntnis der ersten Ableitung der Funktion voraus und ist numerisch wesentlich schlechter für den Computer geeignet.

13. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- Man wählt zunächst zwei Werte x_1 und x_2 so, dass entweder $f(x_1) > 0$ und $f(x_2) < 0$ ist oder umgekehrt. Dann liegt zwischen den beiden Werten sicher eine Nullstelle.

- Dann berechnet man

$$x_3 = x_1 - \frac{(x_2 - x_1) \cdot f(x_1)}{f(x_2) - f(x_1)}$$

- Man berechnet dann $f(x_3)$; ist dieser Wert nahe genug bei 0¹², so ist die Lösung mit x_3 schon gefunden; wenn nicht, dann muss man ein neues Intervall wählen:
- x_3 ersetzt jenen Endpunkt des Intervalls (x_1 oder x_2), dessen Funktionswert das gleiche Vorzeichen hat wie der an der Stelle x_3 .

Das Verfahren ist in Programm 6a und 6b ausprogrammiert.

BASIC:	
100 X1= ...	260 IF F3 > 0 THEN 300
110 X2= ...	270 IF F1 < 0 THEN X1=X3: GOTO 200
120 ...	280 IF F2 < 0 THEN X2=X3: GOTO 200
200 REM ITERATION	300 REM F3 > 0
210 F1=F(X1)	310 IF F1 > 0 THEN X1=X3: GOTO 200
220 F2=F(X2)	320 IF F2 > 0 THEN X2=X3: GOTO 200
230 X3=X1-((X2-X1)*F1)/(F2-F1)	400 REM FERTIG
240 F3=F(X3)	410 X=X3
250 IF ABS(F3) < S THEN 400	

Programm 6a: Regula Falsi in BASIC

Die Auflösung von Gleichungen kann als elementarer Bestandteil vieler Berechnungen angesehen werden.

4.6. Winkelfunktionen

Winkelfunktionen sind Beispiele für Funktionen, deren Berechnung viel Aufwand bedeutet. Andere derartige Funktionen sind etwa Wurzeln, Logarithmen, Exponentialfunktionen, etc.

Als Grundregel kann man sagen:

12 bei einem Computer darf man nicht annehmen, dass ein reeller Wert exakt angenommen wird; daher heisst "nahe bei 0" etwa "betragsmässig kleiner als 10^{-8} ", aber nicht "gleich 0".

14. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

```

PASCAL:
var x,x1,x2,x3: real;
    s, f1, f2, f3: real;
    fertig: boolean;
...
x1 := ... ;
x2 := ... ;
fertig := false;
...
repeat
  f1 := f(x1);
  f2 := f(x2);
  x3 := x1 - ((x2-x1)*f1)/(f2-f1);
  f3 := f(x3);
  if abs(f3) < s then
    fertig := true
  else
    if f3 > 0 then
      if f1 > 0 then
        x1 := x3
      else
        x2 := x3
    else
      if f1 < 0 then
        x1 := x3
      else
        x2 := x3
until fertig;
(* fertig *)
x := x3;

```

Programm 6b: Regula Falsi in PASCAL

Winkelfunktionen sind in ihrer Berechnung stets sehr aufwendig. Daher sollte man sie wenn möglich nur einmal berechnen und ihr Resultat irgendwo abspeichern.

Es sollen hier an typischen Anwendungen mit Winkelfunktionen gezeigt werden, wie man mit in der Praxis mit aufwendigen Funktionen verfährt. Bei der Transformation von polaren Kugelkoordinaten von einem Koordinatensystem in ein anderes (z.B. vom ekliptikalen in das äquatorale Koordinatensystem an der Himmelssphäre) ist es notwendig, von derselben Grösse mehrmals den Sinus bzw. Cosinus zu berechnen. Das Verfahren sieht folgendermassen aus:

Ein Punkt an der Sphäre hat im alten Koordinatensystem A die Länge l_A und die Breite b_A . Im neuen Koordinatensystem B, das um den Ursprung von A um den Winkel α gedreht ist, hat dieser Punkt die Länge l_B und die Breite b_B .

Abbildung 4-1 soll diese Situation verdeutlichen.

Man bedient sich hier nicht nur der sphärischen Trigonometrie, sondern wandelt die sphärischen Koordinaten zunächst in rechtwinkelige um (auf einer *Einheitskugel* mit Radius 1):

$$\begin{aligned}
 x_A &= \cos b_A \cos l_A \\
 y_A &= \cos b_A \sin l_A \\
 z_A &= \sin b_A
 \end{aligned}$$

Dann dreht man das erhaltene System um die x-Achse:

$$\begin{aligned}
 x_B &= x_A \\
 y_B &= y_A \cos \alpha - z_A \sin \alpha
 \end{aligned}$$

15. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

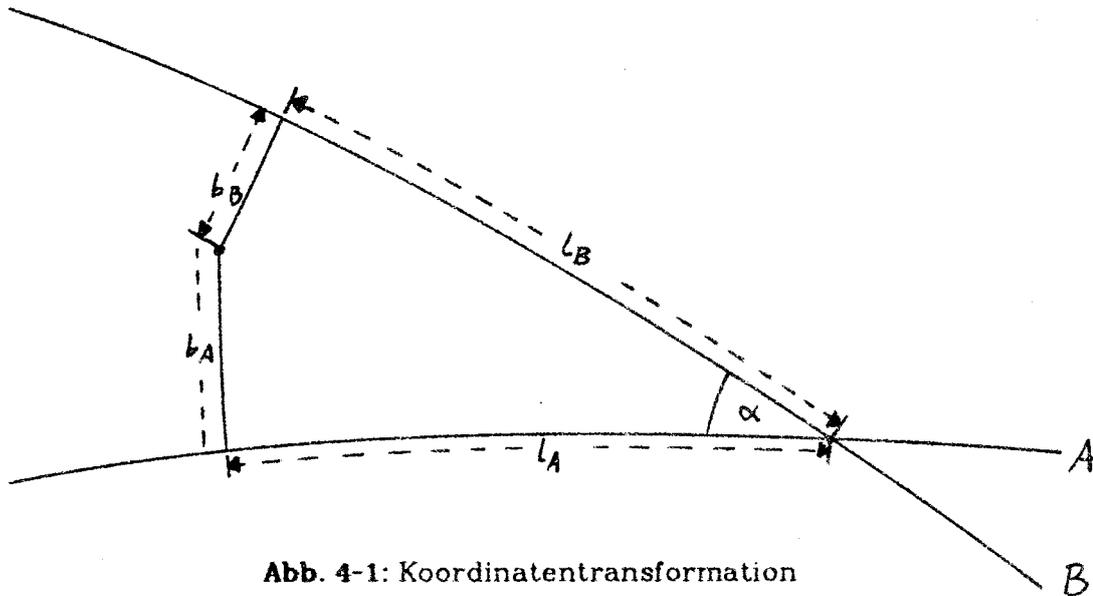


Abb. 4-1: Koordinatentransformation

$$z_B = y_A \sin \alpha + z_A \cos \alpha$$

Dann wandelt man die rechtwinkligen Koordinaten wieder in Kugelkoordinaten um:

$$\tan l_B = \frac{y_B}{x_B} \quad \tan b_B = \frac{z_B}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}}$$

Man kann diese Formeln zusammenfassen zu:

$$\begin{aligned} x &= \cos b_A \cos l_A \\ y &= \cos b_A \sin l_A \cos \alpha - \sin b_A \sin \alpha \\ z &= \cos b_A \sin l_A \sin \alpha + \sin b_A \cos \alpha \\ l_B &= \arctan \frac{y}{x} \\ b_B &= \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{aligned}$$

Für die praktische Berechnung ist nun wichtig, dass man die Größen $\cos b_A$, $\sin b_A$, $\cos b_A \sin l_A$, $\sin \alpha$ und $\cos \alpha$ nur einmal berechnet und sich die Werte aufhebt ¹³ (Programm 7).

Wenn die Funktion ATAN2(X,Y), die den Arcustangens von y/x im richtigen Quadranten berechnet, nicht verfügbar ist, muss man den richtigen Quadranten selbst bestimmen; für die 4 Quadranten gilt:

13 Es sei hier angemerkt, dass die meisten Computer die Argument für die Winkelfunktionen im Bogenmass verlangen. Um ein Argument in Graden ins Bogenmass umzuwandeln, muss man es mit $\pi/180$ multiplizieren ($\pi = 3.14159265354\dots$); umgekehrt liefern auf den meisten Rechnern die Arcusfunktionen ein Ergebnis im Bogenmass; um es in Altgrade umzuwandeln, muss man es mit $180/\pi$ multiplizieren.

16. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

BASIC:	PASCAL:
<pre> REM HILFGROESSEN: SA=SIN(ALPHA) CA=COS(ALPHA) SB=SIN(BA) CB=COS(BA) HILF=CB*SIN(LA) REM BERECHNUNG VON X,Y,Z: X=CB*COS(LA) Y=HILF*CA - SB*SA Z=HILF*SA + SB*CA REM BERECHNUNG VON LN UND BN: LN=ATAN2(X,Y) BN=ATAN(Z/SQR(X*X + Y*Y)) </pre>	<pre> var al, ab, nl, nb: real; x, y, z : real; alpha, sa, ca: real; sb, cb, hilf : real; ... (* Hilfsgrößen: *) sa := sin(alpha); ca := cos(alpha); sb := sin(ab); cb := cos(ab); hilf := cb * sin(la); (* x,y und z: *) x := cb * cos(la); y := hilf*ca - sb*sa; z := hilf*sa + sb*ca; (* nl, nb: *) nl := atan2(x,y); bn := aretan (z/sqrt(x*x + y*y)); </pre>

Programm 7: Koordinatentransformation

Quadrant	1	2	3	4
x	> 0	< 0	< 0	> 0
y	> 0	> 0	< 0	< 0

Man berechnet dann $\arctan(y/x)$ direkt und muss gegebenenfalls das Resultat modifizieren.

Neben Berechnungen, in denen eine Winkelfunktion von demselben Argument explizit wiederholt berechnet werden muss, gibt es auch den Fall, dass eine solche wiederholte Berechnung implizit erfolgt, z.B. indem mehrfach Ausdrücke, in denen das selbe Argument als Teilausdruck vorkommt, berechnet werden müssen. In diesem Fall muss man zunächst den Formelsatz nach mathematischen Gesetzen modifizieren. Ein Beispiel hierfür sind Störungsterme.

Störungsterme kommen in der Phänomenologie, der Ephemeridenrechnung, bei Finsternissen und Bedeckungen und an vielen weiteren Orten in der Astronomie vor. Sie haben z.B. die Gestalt

$$S = C \cdot \sin(\alpha_1 + \dots + \alpha_n)$$

Oft sind für eine Berechnung viele Störungsterme, oft mit gleichen Argumenten α_i , zu berechnen. Wenn sich gewisse α_i oft wiederholen, ist es nicht zweckmässig, jedesmal den Sinus oder den Cosinus zu berechnen, sondern den Sinus bzw. Cosinus der α_i nur einmal und dann den Sumpensatz zu Hilfe zu nehmen:

$$\sin(\alpha_1 + \alpha_2) = \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cos \alpha_1 \sin \alpha_2$$

$$\cos(\alpha_1 + \alpha_2) = \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 - \sin \alpha_1 \sin \alpha_2$$

Setzt man für α_1 etwa $\alpha_{11} + \alpha_{12}$ ein, so kann man durch Einsetzen in den

17. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Summensatz die Auflösung für drei Argumente erhalten, etc.

Ein typisches Beispiel für Störungsterme wäre etwa:

$$\begin{aligned}S &= 1.2345 \cdot \sin(L+M) \\S &= S + 0.6677 \cdot \sin(L+2M) \\S &= S + 0.2345 \cdot \sin(L+3M) \\S &= S + 0.0988 \cdot \sin(2L+2M) \\S &= S + 0.0076 \cdot \sin(2L+3M) \\S &= S + 0.0008 \cdot \sin(3L+2M) \\S &= S + 0.0002 \cdot \sin(3L+3M)\end{aligned}$$

Hier berechnet man sinnvollerweise vorher $\sin L$, $\sin M$, $\sin 2L$, $\sin 2M$, etc.

Programm 8 zeigt ein Beispiel für die Programmierung von Störungstermen. Zusatzfrage: Ab wieviel Termen zahlt sich die Auflösung nach dem Summensatz tatsächlich aus? Wie müssen die Terme aussehen?

```
BASIC
REM STOERUNGSTERME
REM  NUMERISCH OPTIMIERTE REIHENFOLGE
REM  EFFIZIENZ OPTIMIERT DURCH SUMMENSATZ
REM
DIM S ( 3, 2 ), C ( 3, 2 )
REM
FOR X=1 TO 3
  S ( X, 1 ) = SIN ( X * L )
  S ( X, 2 ) = SIN ( X * M )
  C ( X, 1 ) = COS ( X * L )
  C ( X, 2 ) = COS ( X * M )
NEXT X
REM
REM STOERUNGSTERME
REM
ST = 0.0002 * (S(3,1)*C(3,2) + C(3,1)*S(3,2))
ST = ST + 0.0008 * (S(3,1)*C(2,2) + C(3,1)*S(2,2))
ST = ST + 0.0076 * (S(2,1)*C(3,2) + C(2,1)*S(3,2))
ST = ST + 0.0988 * (S(2,1)*C(2,2) + C(2,1)*S(2,2))
ST = ST + 0.2345 * (S(1,1)*C(3,2) + C(1,1)*S(3,2))
ST = ST + 0.6677 * (S(1,1)*C(2,2) + C(1,1)*S(2,2))
ST = ST + 1.2345 * (S(1,1)*C(1,2) + C(1,1)*S(1,2))
REM ...
```

Programm 8a: Sörungsterme in BASIC

4.7. Interpolation

Obwohl durch den Einsatz von elektronischen Rechenanlagen Tabellenwerke weitgehend überflüssig geworden sind, gibt es dennoch Größen, deren Berechnung so umfangreich ist, dass man sie lieber im Rechner in Tabellenform abspeichert ¹⁴ (z.B. Ephemeriden der Planeten

14 Siehe Abschnitt über das Abspeichern von Datenbeständen

18. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

```

PASCAL
(* STOERUNGSTERME
   NUMERISCH OPTIMIERTE REIHENFOLGE
   EFFIZIENZ OPTIMIERT DURCH SUMMENSATZ
*)
var
  s, c: array [ 1..3, 1..2 ] of real;
  m, l: real;
  st: real;
  x: integer;

for x=1 to 3 do
  begin
    s [ x, 1 ] = sin ( x * l );
    s [ x, 2 ] = sin ( x * m );
    c [ x, 1 ] = cos ( x * l );
    c [ x, 2 ] = cos ( x * m )
  end;

(* STOERUNGSTERME *)

st := 0.0002 * (s[3,1]*c[3,2] + c[3,1]*s[3,2]);
st := st + 0.0008 * (s[3,1]*c[2,2] + c[3,1]*s[2,2]);
st := st + 0.0076 * (s[2,1]*c[3,2] + c[2,1]*s[3,2]);
st := st + 0.0988 * (s[2,1]*c[2,2] + c[2,1]*s[2,2]);
st := st + 0.2345 * (s[1,1]*c[3,2] + c[1,1]*s[3,2]);
st := st + 0.8677 * (s[1,1]*c[2,2] + c[1,1]*s[2,2]);
st := st + 1.2345 * (s[1,1]*c[1,2] + c[1,1]*s[1,2]);
(* ... *)

```

Programm 8b: Störungsterme in PASCAL

Uranus, Neptun und Pluto). Hier ist es dann sinnvoll, in diesen Tabellen zu interpolieren, um aktuelle Werte zu erhalten.

Interpolation allgemein heisst, dass n Paare von Werten (x1;y1), (x2;y2), ... , (xn;yn) gegeben sind und dass man für ein x, das zwischen x1 und xn liegt, den zugehörigen y-Wert erhalten möchte.

Die einfachste Form der Interpolation ist die lineare Interpolation für n=2. Für x1 ≤ x ≤ x2 erhält man y aus dem Strahlensatz

$$\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{y - y_1}$$

und daraus, aufgelöst nach y,

$$y = y_1 + (x - x_1) \cdot \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Programm 9 zeigt die Lösung der linearen Interpolation. Die lineare Interpolation reicht allerdings nur aus, wenn

19. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

BASIC	PASCAL
REM INTERPOLATION	(* Interpolation *)
...	...
	var x1,y1,x2,y2,f,x,y: real;
	...
F=(Y2-Y1)/(X2-X1)	f := (y2 - y1)/(x2 - x1);
Y=(X - X1)*F + Y1	y := (x - x1) * f + y1;
...	...

Programm 9: Lineare Interpolation

- die x_i -Werte nahe bei einander liegen
- sich die y_i -Werte nicht sehr stark ändern
- keine hohe Genauigkeit erforderlich ist.

Wird eine höhere Genauigkeit gefordert, muss man mit höherer Ordnung interpolieren. Man legt durch n Wertepaare ein Polynom $(n-1)$ -ter Ordnung. Dazu verwendet man beispielsweise das *Newtonsche* Interpolationsverfahren:

Es sei angenommen, dass die n Wertepaare in gleichen x -Abständen liegen, also stets gilt

$$x_i - x_{i-1} = h$$

Bildet man die ersten, zweiten, ... , $(n-1)$ -ten Differenzen,

$$\begin{array}{ll} y_2 - y_1 = \Delta y_1, & \Delta y_2 - \Delta y_1 = \Delta^2 y_1, \\ y_3 - y_2 = \Delta y_2, & \Delta y_3 - \Delta y_2 = \Delta^2 y_2, \\ \dots & \dots \\ \Delta^2 y_2 - \Delta^2 y_1 = \Delta^3 y_1, & \Delta^{n-2} y_2 - \Delta^{n-2} y_1 = \Delta^{n-1} y_1, \\ \Delta^2 y_3 - \Delta^2 y_2 = \Delta^3 y_2, & \Delta^{n-2} y_3 - \Delta^{n-2} y_2 = \Delta^{n-1} y_2, \\ \dots & \dots \end{array}$$

dann erhält man

$$\begin{aligned} y = y_1 &= \frac{\Delta y_1(x - x_1)}{1!h} + \frac{\Delta^2 y_1(x - x_1)(x - x_2)}{2!h^2} + \\ &+ \frac{\Delta^3 y_1(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)}{3!h^3} + \dots + \\ &+ \frac{\Delta^{n-1} y_1(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3) \dots (x - x_{n-1})}{(n-1)!h^{n-1}} \end{aligned}$$

bzw. mit der neuen Variablen $t: x = x_1 + th$

$$y = y_1 + \binom{t}{1} \Delta y_1 + \binom{t}{2} \Delta^2 y_1 + \binom{t}{3} \Delta^3 y_1 + \dots + \binom{t}{n} \Delta^n y_1$$

20. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Beispiel:

Wie heißt die Funktion in analytischer Darstellung zu folgender Wertetabelle?

x	2	3	4	5	6
y	3	5	4	2	7

1. Schritt: Bestimmen der Differenzen

$$\begin{array}{llll}
 \Delta y_1 = 5 - 3 = 2 & \Delta^2 y_1 = -1 - 2 = -3 & \Delta^3 y_1 = -1 + 3 = 2 & \Delta^4 y_1 = 8 - 2 = 6 \\
 \Delta y_2 = 4 - 5 = -1 & \Delta^2 y_2 = -2 + 1 = -1 & \Delta^3 y_2 = 8 - 2 = 6 & \\
 \Delta y_3 = 2 - 4 = -2 & \Delta^2 y_3 = 5 + 2 = 7 & & \\
 \Delta y_4 = 7 - 2 = 5 & & &
 \end{array}$$

2. Schritt: Einsetzen in die Formel

$$\begin{aligned}
 y &= 3 + \frac{2(x-2)}{1! \cdot 1} + \frac{-3(x-2)(x-3)}{2! \cdot 1^2} + \\
 &+ \frac{2(x-2)(x-3)(x-4)}{3! \cdot 1^3} + \\
 &+ \frac{6(x-2)(x-3)(x-4)(x-5)}{4! \cdot 1^4}
 \end{aligned}$$

$$y = \frac{1}{4}x^4 - \frac{19}{8}x^3 + \frac{53}{4}x^2 - \frac{61}{3}x + 12$$

Natürlich ist auch die Programmierung dieses Problems recht umfangreich. Die komplette Herleitung des folgenden Algorithmus aus obigem Schema sei demjenigen Leser überlassen, der sich gerne mit höherer Mathematik beschäftigt. Für den Computer ist nämlich eine eins-zu-eins-Programmierung des Newtonschen Verfahrens ungünstig, sowohl numerisch als auch vom Rechenaufwand her. Daher sei in Programm 10a/10b bereits das modifizierte *Neville*-Verfahren angeführt, das die Interpolation n -ter Ordnung löst.

Mit Leichtigkeit kann man eine Vielzahl weiterer numerischer Probleme in der Astronomie finden. Sie hier alle aufzuzählen, würde bedeuten, ein Buch, und nicht ein Manuskript zu schreiben. Der interessierte Amateurastronom sei hier auf die Fachliteratur verwiesen.

Die hier angeführten Beispiele sollten vielmehr zeigen, wie man ein Problem angeht, bzw. sie sollen Bausteine für elementare Lösungen sein, über die man sich jetzt (hoffentlich) nicht mehr den Kopf zerbrechen braucht.

5. Wichtige nicht rein numerische Aufgaben in der Astronomie

Auch hier wäre es Gegenstand eines umfangreichen Werkes, alle (bekannten) Methoden aufzuzeigen. Vielmehr sollen wiederum typische Beispiele einen Eindruck vermitteln, wie man derartige Probleme lösen kann.

21. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

```
BASIC
REM INTERPOLATION N-TER ODNUNG NACH NEVILLE
...
OPTION BASE 0
DIM X(N), Y(N)
DIM P(N,N)
...
P(0,0)=Y(0)
FOR I = 1 TO N
  P(I,0) = Y(I)
  FOR K = 1 TO I
    P(I,K)=P(I,K-1) +
      (X-X(I)) * (P(I,K-1)-P(I-1,K-1)) / (X(I)-X(I-K))
  NEXT K
NEXT I
Y = P(N,N)
```

Programm 10a: Neville-Algorithmus in BASIC

```
PASCAL
(* Interpolation n-ter Ordnung nach NEVILLE *)
...
var
  x, y: array [ 1 .. n ] of real;
  p: array [ 0 .. n, 0 .. n ] of real;
  x0, y0: real;
  i, k: integer;
...
p[0,0] := y[0];
for i := 1 to n do
  begin
    p[i,0] := y[i];
    for k := 1 to i do
      p[i,k] := p[i,k-1] +
        (x0-x[i]) * (p[i,k-1]-p[i-1,k-1]) / (x[i]-x[i-k]);
    end;
  y0 := p[n,n];
...

```

Programm 10b: Neville-Algorithmus in PASCAL

5.1. Das Abspeichern von Daten allgemein

Wie schon erwähnt, kann sich ein Computer auf Dauer nur jene Daten merken, die auf einem Massenspeicher (Platte, Band, ...) abgespeichert sind. 15

- 15 Ausser das Gerät verfügt über einen *Permanentspeicher*, das heisst aber nur, dass die Stromversorgung nie abgeschaltet wird und das Gerät so wenig Strom aufnimmt, dass ein Betrieb von Batterie über Monate möglich ist. Kommt daher nur für sehr kleine Rechner in Betracht.

22. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Auf einem Massenspeicher werden Daten in sogenannten Files ("Datenbeständen", engl. file = Ordner) abgespeichert. Ein File ist eine Folge von Zeichen, die entweder direkt aufeinanderfolgen oder zu Blöcken bestimmter Länge zusammengefasst sind.

Benötigt man jetzt beispielsweise in einem Programm eine Tabelle, so muss man die Daten vom File in den Hauptspeicher einlesen. Hier kann leider keine universelle Lösung mehr geboten werden, da die verschiedenen "Dialekte" der Programmiersprachen unterschiedliche Behandlungen von Files vorsehen. Trotzdem könnte das Einlesen z.B. einer Ephemeride des Pluto in rechtwinkligen Koordinaten wie in Programm 11 dargestellt aussehen.

<pre> BASIC REM EINLESEN DER PLUTOKOORDINATEN ... DIM X(100), Y(100), Z(100) ... INDEX=1 OPEN #1,"PLUTO","READ" ON ERROR GOTO "FERTIG" LESEN: READ #1; X;Y;Z X(INDEX)=X Y(INDEX)=Y Z(INDEX)=Z INDEX=INDEX+1 GOTO "LESEN" FERTIG: CLOSE #1 </pre>	<pre> PASCAL (* Einlesen der Plutokoordinaten *) var x, y, z: array[1..100] of real; index: integer; data: file of real; ... index := 1; open (data, "PLUTO", read); get (data); while not eof (data) do begin x[index] := data^; get (data); y[index] := data^; get (data); z[index] := data^; get (data); index := index+1; end; close(data); </pre>
---	--

Programm 11: Einlesen einer Plutoephemeride

Nach dem Einlesen der Daten können diese dann weiterverarbeitet werden, z.B. mittels Interpolation.

Viele wichtige astronomische Daten, wie z.B. Ephemeriden der grossen und kleinen Planeten, sind auf Magnetbändern in maschinenlesbarer Form käuflich erhältlich. Hier sei auf die einschlägigen Kataloge verwiesen.

5.2. Das Abspeichern von Sternkatalogen

Eine spezielle Kategorie von Tabelle ist ein Katalog. Ein Katalog enthält eine Fülle von Informationen (Ort am Himmel, Helligkeit, Entfernung, Eigenbewegung, ...) über eine grosse Anzahl von Objekten (Sterne, nichtstellare Objekte, ...).

Je nach Verwendungszweck bieten sich verschiedene Arten an, solche Datenmengen abzuspeichern:

23. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- (1) Rein **sequentiell**; hier werden die Informationen über alle Objekte einfach der Reihe nach (auf Massenspeicher) abgelegt. Es ist nicht möglich, ein bestimmtes Objekt direkt herauszugreifen, ohne nicht vom Anfang an der Reihe nach danach zu suchen.

Das ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn (meist) die Daten aller Objekte auf einmal verarbeitet werden (z.B. Neuberechnung aller Koordinaten), oder wenn die Daten sehr selten benötigt werden (Archiv).

- (2) **Wahlfrei**; hier kann man bereits auf ein bestimmtes Objekt direkt zugreifen, man muss aber wissen, wo es steht, man muss ein *Inhaltsverzeichnis* anlegen. In diesem Inhaltsverzeichnis, das wiederum irgendwie durchsucht werden muss, findet man dann zur Bezeichnung eines Objekts (Name, Nummer, ...) den Ort (die Adresse) im Datenbestand.

Diese Organisation ist sinnvoll bei Sternkatalogen, in denen die Sterne bestimmten Zonen (nach ihren Koordinaten) zugeordnet werden und das Inhaltsverzeichnis angibt, in welchem Bereich des Datenbestandes welche Zone abgespeichert ist.

So kann man etwa den Himmel in Felder unterteilen und dann sehr rasch ein solches Feld - etwa zur graphischen Darstellung einer Sternkarte - herauslesen.

Nicht geeignet ist diese Organisation, wenn Objekte tatsächlich nach ihrem Namen gesucht werden sollen, ausser man wendet spezielle Techniken an.

- (3) **Indexsequentiell**, das heisst, nach einem Namen sortiert und zugreifbar; wenige Heimcomputer unterstützen bisher diese Speicherungsform, obwohl sie z.B. für Beobachtungsokete besonders ideal ist. Man kann jedes abgespeicherte Objekt mit seinem Namen aus dem Datenbestand abrufen.

- (4) **Datenbank**. Bisher nur grösseren Rechnern vorbehalten ¹⁶, sind aber auch sehr komfortabel. In einem Datenbanksystem kann man auch noch dann auf abgespeicherte Objekte zugreifen, wenn man ihren Namen nicht oder nur teilweise kennt, dafür aber einige ihrer Charakteristika.

Die folgende Tabelle soll die vier Zugriffsarten an einem Beispiel verdeutlichen:

Zugriffsart	Formulierung für den Computer
sequentiell	Lies so lange Daten ein, bis der Stern mit dem Namen "Sirius" gefunden ist
wahlfrei	Lies die Daten für Stern Nummer 12345 ein; das ist nämlich Sirius

¹⁶ Für die etwas gehobene Klasse von Heimcomputern werden auch schon Datenbanksysteme angeboten, wegen ihrer Komplexität sind diese Softwareprodukte allerdings recht teuer (BS 20.000,- bis 150.000,-).

24. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

indexsequententiell	Lies die Daten für den Stern "Sirius" ein
Datenbank	Lies die Daten von diesem schönen, hellen Stern im Großen Hund ein

Natürlich kann man hier wegen der Vielfalt der Systeme keine Programmbeispiele mehr angeben; hier sei auf die Handbücher der Hersteller verwiesen.

5.3. Das Steuern von Geräten

Mit den Methoden der Elektronik ist es auch möglich, mechanische Werte abzulesen und - über Motoren - mechanische Bewegungen durch einen Computer zu bewirken. Allgemeingültige Verfahren lassen sich hier aber nicht angeben.

Generell kann man vier verschiedene Typen von Ein-/Ausgabeelementen zur Gerätesteuerung unterscheiden:

- (a) Elemente, die eine Schalterstellung abfragen können ("Schalter auf"/ "Schalter zu"), man spricht von *digitalen Eingabeelementen*. Diese sind recht einfach zu realisieren, sofern man mit kleinen elektrischen Spannungen arbeitet. Ein solches Element ist z.B. ein *Reed-Relais*, d.i. ein Schalter, der durch einen (Elektro)magneten ein- bzw. ausgeschaltet wird.
- (b) Elemente, die selbst Schalter (Relais) öffnen bzw. schliessen können. Man spricht von *digitalen Ausgabeelementen*. Sie sind ebenfalls einfach zu realisieren, bei grösseren Spannungen muss man über mehrere Stufen schalten.

Digitale Ein-/Ausgabeelemente werden meist in Einheiten angeboten, die gleichzeitig 16, 32 oder 64 (auch mehr) Schalter ("Kanäle") ablesen bzw. schalten können. Ihr Preis bewegt sich bei etwa öS 4.000,- und aufwärts, je nach Qualität und Sicherheit.

- (c) Elemente, die eine elektrische Spannung messen und in einen digitalen, meist reellen Wert, umwandeln können (*analoges Eingabeelement, Analog/Digital-Wandler, ADC*). Dabei wird -je nach Qualität des Elements- die Spannung mehr oder weniger genau abgelesen (meist auf 3-5, selten 7 Dezimalen).
- (d) Elemente, die einen digitalen, (reellen) Wert als analoge Spannung ausgeben können (*analoges Ausgabeelement, Digital/Analog-Wandler, DAC*). Dabei ist die ausgegebene Spannung -je nach Qualität- mehr oder weniger genau.

Analoge Ein-/Ausgabeelemente sind sehr kompliziert und daher teuer. Sie werden ein Einheiten angeboten, die 1 bis 4, selten mehr, Kanäle bedienen können und ihr Preis bewegt sich von ca. öS 8.000,-/Einheit aufwärts.

Es sollen nun einige typische Beispiele für Gerätesteuern behandelt werden:

25. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

5.3.1. Das Ablesen eines Teilkreises

Elektronische Teilkreise für Fernrohre und Messinstrumente lassen sich mannigfaltig realisieren. Daher kann auch hier kein Patentrezept, sondern nur ein Beispiel angeführt werden. Prinzipiell kann man jedoch auf zwei Arten vorgehen:

- (1) *Absolute Codierung*: Auf dem Teilkreis steht, in elektronisch lesbarer Form, die absolute momentane Position. Dies macht den Teilkreis und die Ableseeinheit umfangreich und teuer.

Das Ablesen kann optisch (mit lichtempfindlichen Transistoren und Leuchtdioden über Reflex oder Durchlicht) oder elektromechanisch (über Kontakte) erfolgen.

Die Codierung wird i.a. binär erfolgen, d.h. einer bestimmten Teilkreisposition entspricht ein bestimmtes Bitmuster.

Die Genauigkeit hängt hier von der Auflösung ab. Wenn die Ableseeinheit auf 0.1mm genau lesen kann (das ist schon sehr gut), dann muss der Teilkreis für 1' Genauigkeit einen Umfang von 2.16m und daher einen Durchmesser von 68cm haben. Man sieht die Schwierigkeiten, die hier auftreten.

- (2) *Relative Codierung*: Ausgehend von einer Nullmarke, die anfangs mindestens einmal durchlaufen werden muss, werden nur Schritte gezählt. Die Position ergibt sich dann aus "Nullmarke + Anzahl der Schritte". Diese Lösung ist billiger, aber nicht so genau (Summierungsfehler, Übersehen eines Schrittpulses, etc.).

Auch hier sind der Auflösung Grenzen gesetzt, aber es besteht die Möglichkeit, durch Übersetzungsgetriebe eine höhere Impulsfolge und damit eine höhere Genauigkeit zu erzielen. Allerdings handelt man sich mit einem Getriebe wieder Ungenauigkeiten durch Totgänge ein.

In Abb. 5-1 sei eine absolute Codierung mit 8 Bit angenommen.

In diesem Fall ist die absolute Position durch 8 bit codiert (es können 256 verschiedene Werte von 0 = 00000000 bis 255 = 11111111 abgelesen werden).

Angenommen, der Teilkreis ist ein voller Kreis mit 360° Umfang. Dann wird das Intervall [0°, 360°] in 256 Teile zerlegt. Einem Teil entspricht dann $360^\circ/256 \approx 1.4^\circ$. Das ist keine sehr hohe Genauigkeit.

Allgemein gilt folgende Regel:

$$\text{Genauigkeit} = \frac{\text{MAX} - \text{MIN}}{2^{\text{BITS}}}$$

wobei jedoch der Anzahl der Bits durch die Auflösungsfähigkeit der Ableseeinheit einerseits und den Umfang des Teilkreises andererseits Grenzen gesetzt sind.

Das Ablesen könnte dann durch Programm 12 erfolgen (keine bestimmte Programmiersprache, nur stilisierte Instruktionen).

26. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

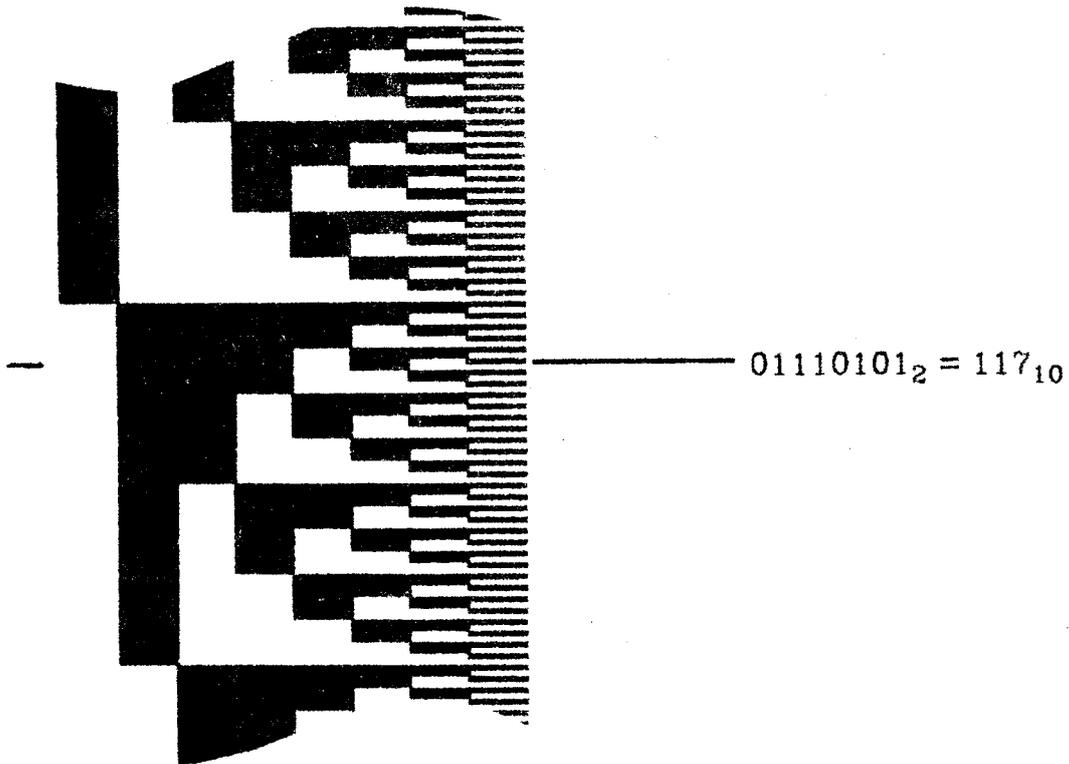


Abb. 5-1: Absolut codierter Teilkreis, 8 Bit

```

/* READ 8-BIT SENSOR */
/* BIT-7 IS DIGITAL_INPUT [7+CIRCLE_NO] */
/* BIT-6 IS DIGITAL_INPUT [6+CIRCLE_NO] */
/* BIT-5 IS DIGITAL_INPUT [5+CIRCLE_NO] */
/* BIT-4 IS DIGITAL_INPUT [4+CIRCLE_NO] */
/* BIT-3 IS DIGITAL_INPUT [3+CIRCLE_NO] */
/* BIT-2 IS DIGITAL_INPUT [2+CIRCLE_NO] */
/* BIT-1 IS DIGITAL_INPUT [1+CIRCLE_NO] */
/* BIT-0 IS DIGITAL_INPUT [0+CIRCLE_NO] */
/* RANGE 0.255 -> 0.360 DEGREES */

READ_SETTING (CIRCLE_NO):
  READ_VALUE, CHANNEL_NO: 0..255; /* NEEDED DATA */
  READ_VALUE = 0; /* SET INITIAL VALUE */

  FOR CHANNEL_NO = 7 TO 0 STEP -1
    READ_VALUE = 2 * READ_VALUE +
      DIGITAL_INPUT[CHANNEL_NO+CIRCLE_NO];
  RETURN (READ_VALUE * (360/256) );
END

```

Programm 12: Automatisches Ablesen eines digitalen Teilkreises

27. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

5.3.2. Das Schalten eines Motors

Das Ein-/Ausschalten eines Motors erfolgt über digitale Ausgabeelemente und Relais. Eine Routine zum Ein-/Ausschalten eines Motors ist recht einfach (wieder in Pseudosprache in Programm 13).

```
/* SWITCH_MOTOR - SWITCH MOTOR FORW/BACK/OFF */
/*
/*      MOTOR_FORW = DIGITAL_OUTPUT [0+MOTOR_NO] */
/*      MOTOR_BACK = DIGITAL_OUTPUT [1+MOTOR_NO] */

SWITCH_MOTOR (MOTOR_NO, MODE):
  CASE MODE OF
    FORW: DIGITAL_OUTPUT [0+MOTOR_NO] = 1;
          DIGITAL_OUTPUT [1+MOTOR_NO] = 0;
    BACK: DIGITAL_OUTPUT [0+MOTOR_NO] = 0;
          DIGITAL_OUTPUT [1+MOTOR_NO] = 1;
    OFF:  DIGITAL_OUTPUT [0+MOTOR_NO] = 0;
          DIGITAL_OUTPUT [1+MOTOR_NO] = 0;
  END
END
```

Programm 13: Schalten eines Motors

5.3.3. Das Einstellen eines Fernrohrs

Als Beispiel sei hier das Einstellen eines Fernrohrs auf einen bestimmten Punkt am Himmel skizziert (Programm 14, in stilisierter Programmiersprache).

5.3.4. Andere Aufgaben

Ausser den Teilkreisen lassen sich vor allem Messinstrumente elektronisch ablesen (z.B. Photometer). Prinzipiell kann jedes Instrument, das einen elektrischen Wert ausgibt, von vorne herein auch automatisch abgelesen werden, sofern man nur die nötigen Kalibrierungen vornimmt (was zeit- und arbeitsintensiv sein kann).

Zum Ablesen mechanischer Grössen sind im Handel Absolut- und Inkrementalencoder erhältlich, die jedoch sehr teuer sind (gute Encoder sind nicht unter öS 15.000,- erhältlich).

5.4. Bildverarbeitung

Über Bildverarbeitung sind schon viele Bücher geschrieben worden, daher kann hier nur eine Übersicht über die wichtigsten Verfahren, bestenfalls durch einfache Beispiele ergänzt, gebracht werden.

Von der technischen Seite her ist es zunächst einmal erforderlich, das Bild von einem optischen Empfänger in den Speicher des Rechners zu übertragen. Dafür gibt es heute bereits Standardelemente. Die wichtigsten optischen Empfänger sind

28. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

```

DEFINE REKT_CIRCLE = 0; /* ADDRESS OF RA CIRCLE */
DEFINE DEKL_CIRCLE = 8; /* ADDRESS OF DE CIRCLE */

DEFINE REKT_MOTOR = 0; /* ADDRESS OF RA MOTOR */
DEFINE DEKL_MOTOR = 2; /* ADDRESS OF DE MOTOR */

DEFINE NORTH, EAST = FORW; /* MOTOR DIRECTIONS */
DEFINE SOUTH, WEST = BACK;

DEFINE EPSILON = 2; /* ACCURACY OF SETTING */

PROMPT "BITTE REKTASZENSION EINGEBEN - "; INPUT REKT;
PROMPT "BITTE DEKLINATION EINGEBEN - "; INPUT DEKL;

AKTUELLE_REKT = READ_SETTING (REKT_CIRCLE);
AKTUELLE_DEKL = READ_SETTING (DEKL_CIRCLE);

IF AKTUELLE_REKT < REKT THEN REKT_DIRECTION = EAST;
ELSE REKT_DIRECTION = WEST;

IF AKTUELLE_DEKL < DEKL THEN DEKL_DIRECTION = NORTH;
ELSE DEKL_DIRECTION = SOUTH;

SWITCH_MOTOR (REKT_MOTOR, REKT_DIRECTION);
REPEAT
  AKTUELLE_REKT = READ_SETTING (REKT_CIRCLE);
UNTIL ABS(AKTUELLE_REKT - REKT) < EPSILON;
SWITCH_MOTOR (REKT_MOTOR, OFF);

SWITCH_MOTOR (DEKL_MOTOR, DEKL_DIRECTION);
REPEAT
  AKTUELLE_DEKL = READ_SETTING (DEKL_CIRCLE);
UNTIL ABS(AKTUELLE_DEKL - DEKL) < EPSILON;
SWITCH_MOTOR (DEKL_MOTOR, OFF);

PRINT "TELESKOP EINGESTELLT."

```

Programm 14: Einstellen eines Fernrohrs

- Videokameras plus Interface (Schnittstelle), das das (analoge) Videosignal digitalisiert und in einen Speicher überträgt
- Lichtempfindliche Zellen, die von vorne herein ein digitales (schwarz/weiss) oder auch analoges (Grauwert) Signal liefern. Diese Zellen können heute bereits so klein gebaut werden, dass ein Array (eine zweidimensionale Anordnung) von Zellen auf engem Raum möglich ist (eine Zelle etwa 0.05×0.05 mm).

29. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- *Charge Coupled Devices (CCDs)*, das sind spezielle lichtempfindliche Zellen, die die Eigenschaft besitzen, das einfallende Licht -ähnlich einem Film- zu akkumulieren. Sie vereinen die günstige Eigenschaft der Photographie, Licht zu sammeln, mit der günstigen Eigenschaft, das Bild digital weiterverarbeiten zu können. CCDs sind leider noch immer extrem teuer (ein Empfänger mit 256×256 Bildpunkten auf einer Fläche von etwa 1 cm² kostet über öS 100.000,-)

Für den Amateur kommt aus Kosten- und Aufwandsgründen daher am ehesten die erste Variante (je nach Qualität ab etwa öS 20.000,- zu realisieren) in Frage.

Ein Bild im Speicher eines Rechners ist eine lineare Aufeinanderfolge von Bits (Schwarzweissbild) oder Gruppen von Bits (einer Gruppe von Bits entspricht ein bestimmter Grauwert, z.B. 4 bit = 16 Graustufen). Durch die Festlegung bei der Programmierung, wieviele Zeilen und Spalten das Bild hat, kann man sich das Bild im Rechner auch als eine zweidimensionale Struktur vorstellen. Alle gängigen Programmiersprachen bieten die Möglichkeit der Definition "zweidimensionaler" Speicherstrukturen, sogenannter *Arrays*. Als ein solches zweidimensionales Array soll das Bild in den folgenden Abschnitten betrachtet werden.

Wie das Bild in den Rechner gelangt, ist Sache der technischen Installation und kann hier keineswegs in einer allgemeinen Weise beschrieben werden.

Die wichtigsten Aufgaben der digitalen Bildverarbeitung sind:

- *Bildverbesserung*, darunter fallen Kontrastverbesserung, Glättung von Konturen, Nachschärfen unscharfer oder verwackelter Bilder, Einfärben von Bildern
- *Bildrekonstruktion*, d.h. die Konstruktion eines Bildes aus den ankommenden, oft sehr fehlerhaften Signalen
- *Bildererkennung*, d.i. das Erkennen bestimmter Muster, wie z.B. Linien, in einem Bild, und die Konstruktion einer Beschreibung des Bildinhaltes. Diese Verfahren spielen bereits eng mit den Methoden der künstlichen Intelligenz (*artificial intelligence*) zusammen.

5.4.1. Bildverbesserung

Das einfachste Verfahren zur Bildverbesserung ist die *Histogramm - Modifikation* eines Bildes.

Dabei wird ein Bild (Photographie) in den Computer übertragen. Das Bild wird dann als Matrix (meist 256 × 256 Elemente) abgespeichert, wobei jedes Matrixelement einen *Grauwert* (meist 0 - 255) repräsentiert. Man stellt dann ein Histogramm über die Häufigkeiten aller Grauwerte auf. Meist ergeben sich dabei "Spitzen" (einige wenige Grauwerte kommen sehr häufig vor, die anderen eher selten). Und es treten dabei auch "Lücken" auf (einige Grauwerte treten kaum auf). Man zerlegt nun (an den Lücken) das Histogramm in Klassen und ordnet alle Grauwerte innerhalb einer Klasse jenem einen Grauwert zu, der in dieser Klasse am häufigsten auftritt. Das so erhaltene Bild besitzt zwar weniger

30. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

Grauwerte, ist aber schärfer und kontrastreicher.¹⁷ In der einfachsten Form der Histogramm-Modifikation werden n Grauwerte in k Klassen geteilt, wobei k ein Teiler von n ist (also z.B. 256 Grauwerte in 64, 32, 16, etc. Klassen). Dabei steigt der Bildkontrast enorm, es geht aber Information verloren.

Als Beispiel soll hier ein kurzes Programm (Programm 15a/15b) angeführt werden, das die 256 Grauwerte eines Bildes mit 512x512 Punkte in K Klassen einteilt. Dabei erfolgt die Umwandlung der Grauwerte z.B. für $K=16$ wie folgt:

Grauwertbereich	wird abgebildet auf
0 - 15	0
16 - 31	16
32 - 47	32
48 - 63	48
64 - 79	64
80 - 95	80
96 - 107	96
108 - 127	108
...	...
240 - 255	240

```

BASIC
REM EINFACHE HISTOGRAMM-MODIFIKATION
REM
DIM BILD(512,512)
REM
FOR ZEILE=1 TO 512
  FOR SPALTE=1 TO 512
    BILD(ZEILE,SPALTE)=K*INT(BILD(ZEILE,SPALTE)/K)
  NEXT SPALTE
NEXT ZEILE
..

```

Programm 15a: Histogrammodifikation, BASIC

Nun funktioniert dieses Verfahren leider aus zwei Gründen wahrscheinlich nicht allzu gut:

- (1) Das Bild belegt 512x512 Byte Speicher, das sind 262144 Byte, das sind genau 256 kByte (1 kByte = 1024 Byte).
- (2) Die innerste Instruktion wird 262144x ausgeführt. Selbst wenn diese Operation nur 100µs dauert (das ist für eine derartige Instruktion auf einem kleinen Rechner schon recht wenig), dauert die gesamte Bildverarbeitung dann immer noch 262 Sekunden, das sind mehr als 4 Minuten.

Abbildungen 5-2 und 5-3 sollen die Wirkung dieses Verfahrens zeigen. Ein Bild aus des Saturn,¹⁸ das mit 16 Graustufen und einer Auflösung

17 Das ist nur eine Variante der Histogramm-Modifikation.

18 Aufnahme: Urania-Sternwarte Wien

31. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

```
PASCAL
(* einfache Histogramm-Modifikation *)
...
var
  bild: array [1..512,1..512] of integer;
  zeile, spalte, k: integer;
...
  for zeile := 1 to 512 do
    for spalte := 1 to 512 do
      bild[zeile,spalte] := (bild[zeile,spalte] div k) * k;
...

```

Programm 15b: Histogrammodifikation, PASCAL

von 128x92 Punkten auf einem APPLE-II Microcomputer digitalisiert wurde, wird auf 4 Graustufen reduziert.

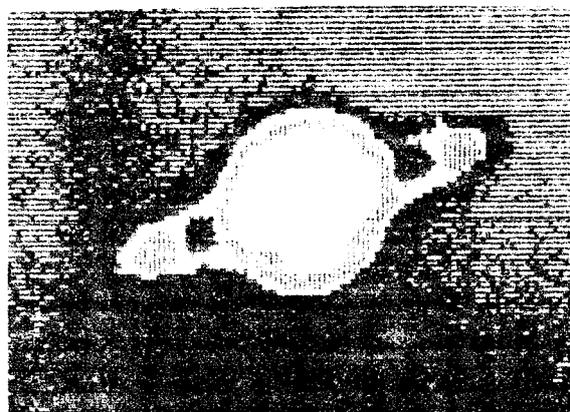
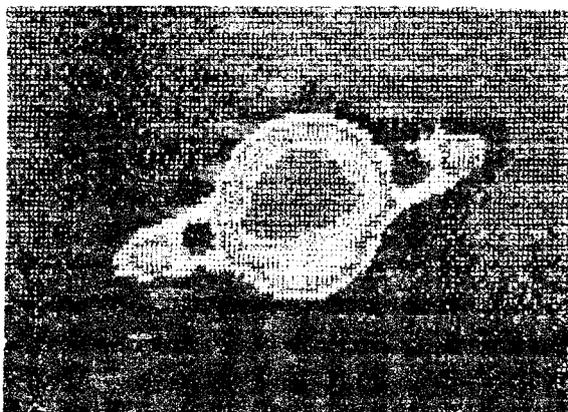


Abb. 5-2: Saturn, digitalisiertes Bild (links)

Abb. 5-3: Saturn, auf 4 Graustufen reduziert (rechts)

Eine weitere, sehr interessante Form der Histogramm-Modifikation ist, "Spitzen" im Histogramm, die durch sehr eng beieinanderliegende, ähnliche Grauwerte entstehen, zu dehnen, also diese eng beieinanderliegenden Grauwerte einem breiteren Bereich zuzuordnen. Dabei können oft aus sehr schlechten Bildern überraschende Details herausgeholt werden.

Andere Verfahren der Bildnachscharfung bedienen sich der *Fourier-Transformation* und sind mathematisch extrem komplex. Dabei wird vom Bild eine Art "Spektrum" (eine zweistellige Funktion), das die Kontrastverteilung im Bild wiedergibt, erzeugt, dieses Spektrum dann - ähnlich wie in der Optik - mit geeigneten Filtern (wieder zweistelligen Funktionen) gefiltert (multipliziert) und dann rücktransformiert. Dabei erreicht man -je nach Filterung- entweder eine Glättung (Rauschunterdrückung) des Bildes oder ein *Nachscharfen*.

In den Abbildungen 5-4 bis 5-7 wird das digitalisierte Bild des Saturn aus dem 1. Beispiel zunächst nachgeschärft, dann wird nochmals die Histogramm-Modifikation angewandt, um den Kontrast zu heben, dann

32. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

werden die Kanten im Bild verstärkt und schliesslich noch das "Rauschen" unterdrückt. In den letzten beiden Bildern erkennt man sogar die Cassini'sche Teilung im Ringsystem!

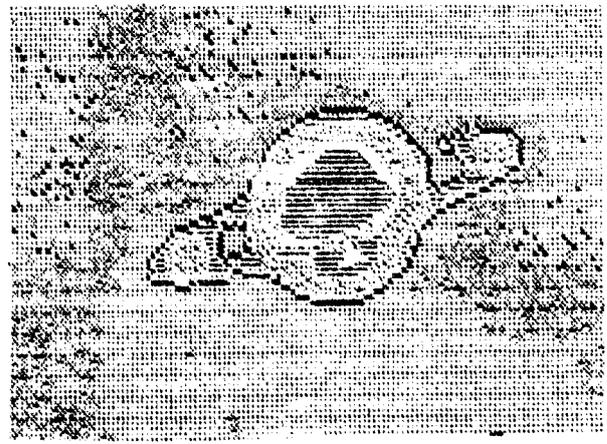
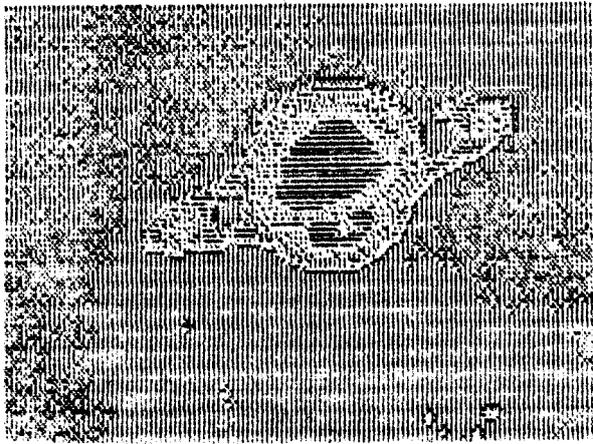


Abb. 5-4: Saturn, nachgeschärft (links)

Abb. 5-5: Abb. 5-4, histogramm-modifiziert (rechts)

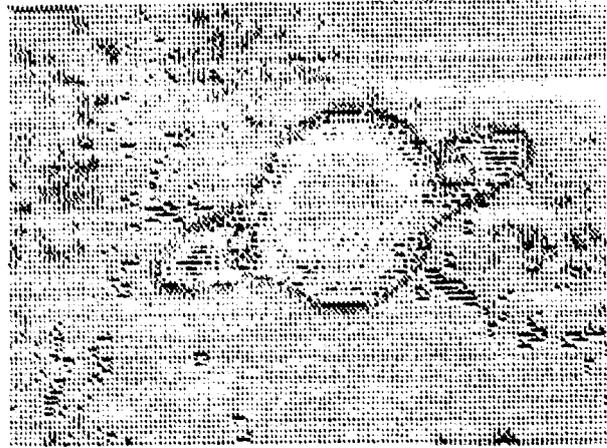


Abb. 5-6: Abb. 5-5, Kanten verstärkt (links)

Abb. 5-7: Abb. 5-6, Geglättet (rechts)

5.4.2. Bildrekonstruktion

Die *Bildrekonstruktion* beschäftigt sich mit der Verbesserung extrem schlechter Originalbilder. Sie findet ihre Hauptanwendung in der Raumfahrt, wo die mit einigen mW Energie von einer Raumsonde ankommenden Bilder wieder in einigermaßen gute Bilder umgewandelt werden sollen.

Hier bedient man sich einerseits obiger Verfahren, besonders der Fouri-
ertransformation mit Filterung, andererseits *statistischer* Verfahren, mit deren Hilfe das Bild dann ergänzt wird. Ganz originalgetreu kann das Bild dadurch natürlich nicht mehr werden.

Die Verfahren sind mathematisch sehr komplex und auch sehr rechenintensiv. Der interessierte Leser sei hier auf die Fachliteratur verwiesen.

33. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

5.4.3. Bilderkennung

Wohl gibt es mathematische Methoden, z.B. *Gradientenverfahren*, die bestimmte Strukturen wie Kanten und Linien in einem Bild deutlich hervorheben. Eine Erkennung eines Bildes in der Weise wie sie in unserem Gehirn erfolgt, also eine Menge von Punkten als "Tisch" oder "Fenster" zu erkennen, ist heute -1984- noch nicht realisiert und liegt wegen des enormen Aufwandes noch in weiterer Zukunft. Einige kleinere Teillösungen kristallisieren sich allerdings bereits heraus, z.B. das automatische Ablesen von Strichcodes in Supermärkten.

Zusammenfassend zu diesem Kapitel sei erwähnt, dass die Bildverarbeitung zwar ganz neue Perspektiven eröffnet, auch in der Amateurastronomie, dass die Verfahren aber wegen der grossen Zahl von Bildpunkten (bei modernen Empfängern wchon bis zu 1024×1024 , also über 1 Million) rechenintensiv (und speicherintensiv!) sind.

5.5. Textverarbeitung

Dieses Gebiet der Datenverarbeitung - eines der grössten und allgemein wichtigsten - spielt in der Astronomie eine eher untergeordnete Rolle. Abgesehen von Beobachtungsberichten, Auswertungen und ggf. kleinen internen Arbeitsbereichten wird der Amateurastronom wohl nicht viel schreiben.

In diesem Rahmen hat die Textverarbeitung nur insofern Bedeutung, dass ohne sie dieses Manuskript (rund 100.000 Zeichen) wohl nicht mehr so leicht zu erstellen gewesen wäre.¹⁹

Diese vier Beispiele -Sternkataloge, Gerätesteuerungen, Bildverarbeitung und Textverarbeitung- sollten also einen Einblick in die (grosse) Welt der nichtnumerischen EDV in der Astronomie eröffnen. Allgemein kann gesagt werden, dass die nichtnumerischen Verfahren in der EDV für den Laien eher komplizierter sind als die numerischen, und das man hier ohne Studium der einschlägigen Literatur nicht das Auslangen finden wird.

6. Wie entwickelt man ein Computerprogramm?

Es gibt kein "Rezept", wie man einen Computer programmiert, wohl aber einige Tips:

- (1) Man sollte die Sprache, in der der Computer zu programmieren ist, gut beherrschen.

¹⁹ Dass zumindest die Eingabe der Daten noch vom Menschen vorgenommen wurde, davon zeugen die -sicherlich noch reichlich vorhandenen- Tippfehler, für die ich mich an dieser Stelle entschuldigen möchte.

34. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- (2) Man sollte das Problem genau analysiert haben und wissen, wie man es selbst (von Hand) lösen würde; dann kann man den Lösungsweg auch verbal formulieren und dann in die Programmiersprache übersetzen.
- (3) Man sollte trachten, eine saubere und effiziente Lösung zu finden; nach Möglichkeit keine Tricks verwenden, unter denen die Universalität des Programms leiden würde.
- (4) Man sollte das Programm zuerst auf Papier niederschreiben und selbst Schritt für Schritt durchrechnen, auch wenn das lange dauert.
- (5) Wenn man dann das Programm in den Computer eingibt, sollte man besonders auf die äussere Form achten, übersichtlich schreiben, nach Möglichkeit das Programm schon von vorneherein in kleine Funktionsblöcke zerlegen.
- (6) Das Programm gut kommentieren, damit man es auch nach längerer Zeit noch versteht.
- (7) Das Programm gut dokumentieren, damit man es auch nach längerer Zeit noch bedienen kann.
- (8) Man gestalte das Programm so, dass es einfach zu bedienen ist und die einzugebenden Werte in einer möglichst gebräuchlichen und naheliegenden Form einzugeben sind (z.B. ein Datum als "1984/08/24" und nicht als "8424(A)").
- (9) Man probiere Das Programm für alle Fälle, die auftreten können, aus.
- (10) Das Programm soll dem Benutzer Denkarbeit abnehmen, nicht "aufbrummen".

7. Worauf sollte man bei einem Heimcomputer achten?

- (1) Fehleranfälligkeit und Robustheit. Ein Computer ist ein sehr hoch entwickeltes technisches Gerät. Billiggeräte können oft genauso Kummer bereiten wie billige Fernsehgeräte oder Radios.
- (2) Rechengeschwindigkeit. Wenn der Computer zum Addieren von zwei Zahlen eine Sekunde braucht, dann braucht man sich gar nicht überlegen, wie man die Mondbewegung programmieren könnte.
Man probiere aus, wie lange der Computer braucht, um etwa 1000x eine Sinusfunktion oder eine Wurzel zu berechnen, etc.
- (3) Rechengenauigkeit. Astronomische Berechnungen sind erst ab einer Genauigkeit von etwa 10 signifikanten Stellen sinnvoll; darunter werden die Resultate durch Fehlerfortpflanzungen zusehr verfälscht.

Die Punkte (2) und (3) hängen nicht alleine vom Gerät, sondern in ersten Linie auch vom Betriebssystem und der Programmiersprache ab.

35. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- (4) Hauptspeicher. Man sollte schon etwas umfangreichere Programme ohne Tricks ausführen können, damit man Freude an der Sache hat. 64 kByte sind als unterste Grenze anzusehen (man muss ja eher in Betracht ziehen, wieviel Speicher der Benutzer tatsächlich verwenden kann, das ist ja, weil auch die Systemprogramme im Computer Platz benötigen, oft sehr viel weniger, als angegeben ist).
- (5) Massenspeicher. Für Programme reichen schon Disketten (140 kByte bis 2 MByte) oder zur Not Kassetten aus, für grössere Datenmengen, die oft benötigt werden, sind aber Festplatten (5 MByte - 30 MByte in erschwinglichem Preisrahmen) empfehlenswert.
- (6) Funktionsumfang. Es sollten in der verwendeten Programmiersprache alle wichtigen mathematischen Funktionen und (nicht selbstverständlich!) reelle Zahlen zur Verfügung stehen. Natürlich kann man diese Funktionen auch nachprogrammieren, aber das ist sehr mühsam und erfordert sehr gute Kenntnisse in Mathematik.

8. Was kann der Amateurastronom bereits fertig beziehen?

Die astronomischen Fachzeitschriften enthalten von Zeit zu Zeit astronomische Computerprogramme und Daten für bestimmte Microcomputer (Commodore, Apple, TRS-80, IBM-PC und Kompatible, etc.). Allerdings gibt es -wegen der geringen Nachfrage- nur Teillösungen und keine umfassenden Produkte wie etwa auf dem Gebiet der Finanzbuchhaltung oder des Managements.

Aus den populärwissenschaftlichen astronomischen Zeitschriften konnten in den letzten Monaten Inserate für folgende amateurastronomische Anwendungsprogramme entnommen werden:

- ASTROCALC, ein Hilfsmittel für einfache astronomische Berechnungen, für APPLE II, APPLE III und IBM PC, US \$ 30.00, Zephyr Services, Pittsburgh, PA, USA.
- ASTRO-AID, für fortgeschrittenere astronomische Berechnungen, für APPLE II, APPLE III und IBM PC, US \$ 30.00, Zephyr Services, Pittsburgh, PA, USA.
- ASTROBASE, eine Datenbank mit ca. 300 schönen Beobachtungsobjekten, für APPLE II, APPLE III und IBM PC, US \$ 30.00, Zephyr Services, Pittsburgh, PA, USA.
- SPACE-BASE, Electronic Sky Atlas and Catalogue, für ATARI, US \$ 35.00, URANIA SYSTEMS, Richmond, VA, USA.
- HALLEY PATROL, Graphical Almanac and Observer's Log, für ATARI, US \$ 35.00, URANIA SYSTEMS, Richmond, VA, USA.
- TELLSTAR, astronomisches Universalprogramm, für APPLE II, APPLE III und IBM PC, ab ca. US \$ 100.00, Scharf Software Systems, Boulder, CO, USA.
- StarbasII, Objektdatenbank, für Commodore VC64, US \$ 42.00, Stratus Software, Buffalo, NY, USA.

36. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- THE_SKY, astronomische Berechnungen für den IBM PC, US \$ 60.00, Computer Assist Services, Golden, CO, USA.
- COSIPLAN, Der Heimcomputer als Planetarium, Software Carsten Schlosser, Bochum, DM 15,-.

Umfassende Lösungen, wie etwa auf dem Gebiet der Finanzbuchhaltung oder des Managements, gibt es für astronomische Probleme keine, dazu ist offenbar die Nachfrage zu gering.

Es bleibt abschliessend zu bemerken, dass auch in nächster Zeit der Amateurastronom auf die eigene Programmierung seiner Probleme angewiesen sein wird, und dies ist der Grund, warum dieses Seminar überhaupt stattfindet.

9. Literatur

Es gibt noch keine allgemeinbildende, einführende Literatur zur Datenverarbeitung. Viel zu rasch ist die Entwicklung sowohl auf der technischen Seite als auch bei der Entwicklung neuer Anwendungen und Systeme.

Daher gibt es nur für extrem kleine Teilbereiche Literatur, und die verliert nach maximal 10 Jahren ihre Aktualität in einem derart hohen Mass, dass ein veraltetes Werk nicht mehr ruhigen Gewissens empfohlen werden kann.

Darüberhinaus hat gerade auf dem Sektor der Personal Computer, also der kleinen Systeme für zuhause, die momentan angebotene Literatur einen Umfang erreicht, dass zu einem Thema oft über 100 Werke angeboten werden (z.B. Programmieren in BASIC), von denen keines auch nur annähernd als Standardwerk heraussticht.

Daher kann hier kein Überblick über EDV-Literatur für den interessierten Leser gebracht werden, er würde weitere -zig Seiten füllen. Ich möchte nur jene Literatur zitieren, aus der primär die Informationen für dieses Manuskript stammen, ergänzt um einige vielleicht interessante Werke, die entweder die behandelten Kapitel betreffen oder sich speziell an den Amateurastronomen wenden.

9.1. Spezielle Literatur für den Amateurastronomen

- ∇ Die Zeitschrift *Sky and Telescope* (Verlag Sky Publishing Corp. Cambridge, Massachusetts, USA) bringt in der Serie *Astronomical Computing* laufend Anwendungen für den Amateurastronomen.
- ∇ Ebenso bringt die deutschsprachige Zeitschrift *Sterne und Weltraum* (Verlag Sterne und Weltraum, München) unter der Rubrik *Astronomie in der Schule* laufend interessante Anwendungen, auch auf dem Gebiet astronomischer Berechnungen.
- ∇ *Explanatory Supplement to the Ephemeris*, Her Majesty's Stationery Office, London, 1961, 1971
- ∇ O. Zimmermann, *Astronomisches Praktikum I+II*, Verlag Sterne und Weltraum, 1984

37. Fortsetzung: Astronomie und Heimcomputer

- ▽ G.D.Roth, *Handbuch für Sternfreunde*, Springer, 1981
- ▽ Sternfreunde-Seminar im Wiener Planetarium, 1977, ... 1984
Osterr. Astronomischer Verein
- ▽ P.Duffeth-Smith, *Practical Astronomy with Your Calculator*, Sky Publishing Corp., 1984
- ▽ J.Meeus, *Astronomical Formulae for Calculators*, Sky Publishing Corp., 1984
- ▽ Genet, *Microcomputers in Astronomy*, Sky Publishing Corp., 1984
- ▽ Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, Sky Publishing Corp., 1984

9.2. Numerische Datenverarbeitung, allgemeine mathematische Nachschlagwerke

- ▽ H.J.Stetter, *Numerik für Informatiker - Computergerechte numerische Verfahren*, Oldenbourg, 1976
- ▽ H.J.Bartsch, *Mathematische Formeln*, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1976
- ▽ W.Gellert, *Handbuch der Mathematik, Buch und Zeit, Köln, 1972*

Dipl.-Ing. A. Pikhard
Technische Universität Wien
Schönbrunnerstr. 85/1/13
A-1050 Wien

ASTROMETRIE AN STERNEN - GRUNDAUFGABEN UND KLEINRECHNER

Astrometrie, Sphärische Astronomie, Positionsastonomie: Jener Wissenschaftszweig, der sich mit den Positionen und Bewegungen der Gestirne, sowie ihrer Messung und Einordnung in geeignete Koordinatensysteme beschäftigt.

1. Die Koordinatensysteme der Sphärischen Astronomie

Zur Festlegung des Ortes eines Gestirns an der Himmelskugel genügen zwei sphärische Koordinaten. Die Entfernung (=3. Koordinate) bleibt unberücksichtigt, da nur die Richtung interessiert. Jedes der Koordinatensysteme ist durch einen Großkreis als Grundebene und die zugehörigen Pole definiert. Die wichtigsten Systeme seien kurz besprochen.

a) Horizontsystem: Grundkreis- Horizont

Pole- Zenit, Nadir

Koordinaten- Höhe h über dem Horizont

oder

Zenitdistanz z, $z = 90 - h$

Azimut A = Winkel zwischen dem Meridian und dem Vertikal durch das Gestirn von N über O, S, W

b) Äquatorsystem: Grundkreis- Himmelsäquator

Pole- Nordpol, Südpol

=Verlängerung der Erdachse

Koordinaten- Deklination δ = Abstand vom Himmelsäquator

im festen Äquatorsystem:

Stundenwinkel t = Winkel zwischen dem Längenkreis durch den Stern und dem Meridian von S über W, N, O

im mitbewegten Äquatorsystem:

Rektaszension α = Abstand der Stundenkreise durch Stern und

1. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Frühlingspunkt nach Osten zählend

Für die Sternzeit als verbindende Größe gilt:

$$\theta = t + \alpha$$

d.h. Sternzeit = Stundenwinkel des Frühlingspunktes

Die Beziehungen zwischen den Systemen leiten sich einfach vom "Nautischen Dreieck" ab. (Abb. 1)

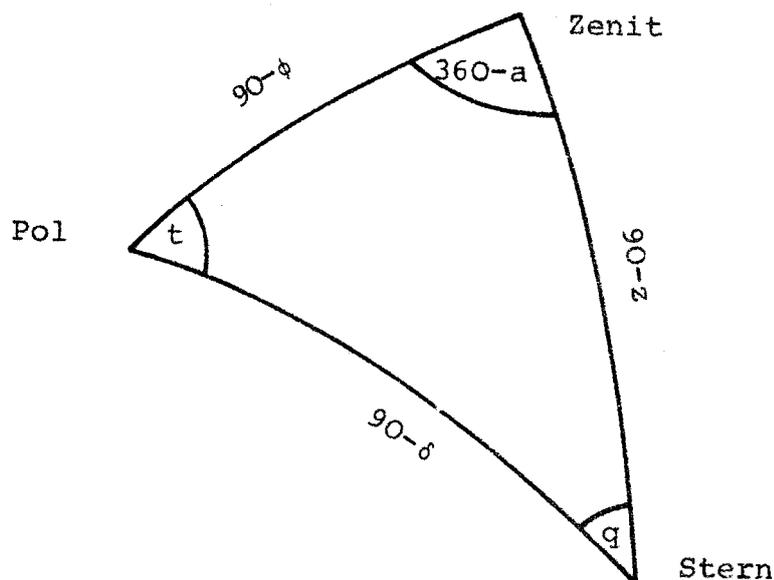


Abb. 1

Äquator --> Horizont

$$\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$$

(1.1)

$$\tan a = \frac{\sin t}{\sin \phi \cos t - \cos \phi \tan \delta}$$

Der Quadrant des Azimuts ergibt sich aus dem Vorzeichen von a und dem Stundenwinkel.

Horizont --> Äquator

$$\sin \delta = \sin \phi \cos z - \cos \phi \sin z \cos a$$

(1.2)

$$\tan t = \frac{-\sin a \sin z}{\cos \phi \cos z + \sin \phi \sin z \cos a}$$

2. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Der Quadrant des Stundenwinkels ergibt sich aus dem Vorzeichen von t und dem Azimut.

c) Ekliptikales-System: Grundkreis- Ekliptik=Erdbahn=Scheinbare Bahn der Sonne
 Pole- Nordpol,Südpol der Ekliptik
 Koordinaten- Ekliptikale Breite β
Ekliptikale Länge λ =
 ab dem Frühlingspunkt
 nach Osten gezählt

Wichtig: ϵ = Schiefe der Ekliptik = Schnittwinkel zwischen dem Himmelsäquator und der Ekliptik

γ = Bezeichnung des Frühlingspunktes = Schnittpunkt der Grundkreise Ekliptik-Himmelsäquator

Für manche Aufgaben ist die Transformation sphärischer in kartesische Koordinaten auf der Einheitskugel ($r=1$) von Vorteil.

$$\begin{aligned}
 X &= \cos \delta \cos t & \tan t &= \frac{Y}{X} \\
 Y &= \cos \delta \sin t \quad \leftarrow \text{---} \rightarrow & \sin \delta &= Z & (1.3) \\
 Z &= \sin \delta & \tan \delta &= \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}
 \end{aligned}$$

2. Sternörter

Sterne sind die am geringsten bewegten Objekte (tangentielle Komponente) der mit dem freien Auge erkennbaren Himmelskörper. Sie stellen somit in erster Näherung ein Referenzsystem dar, indem die Bewegungsabläufe der übrigen natürlichen (Planeten, Kometen usw.) und künstlichen Raumkörper (Satelliten) beschrieben werden können. Sie können kurzfristig als positionsfeste Fernziele dienen.

Infolge der hohen Meßgenauigkeit der heute im Einsatz stehenden Instrumente (ca. 0.1") sind die vorigen Annahmen nicht ausreichend. Somit müssen alle Effekte, die mit den Positions-

3. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Änderungen der Sterne in Zusammenhang stehen, modellmäßig erfaßt und in Rechnung gestellt werden.

Sternort $S = S(\text{Eigenbewegung, Erdrevolution, Erdrotation, lang- und kurzperiodische Verlagerung der Fundamentebenen, Polbewegung, Atmosphäre, Instrumentarium}) = S(t, \text{Instrumentarium})$
 $t \dots$ gleichmäßig fortschreitendes Zeitmaß

a) Sternkataloge

Sind aus Katalogen mittlere Sternörter α_0, δ_0 (heliocentrische Positionen bezogen auf ein mittleres Äquinoktium, im allgemeinen zu Beginn des Besseljahres) zum Zeitpunkt T_0 bekannt, so läßt sich der mittlere Ort α_1, δ_1 zur Epoche T_1 einfach durch eine, nach Potenzen der Zwischenzeit $\tau = T_1 - T_0$, fortschreitende Taylor-Reihenentwicklung berechnen.

$$f(t + \tau) = f(t) + \tau f'(t) + \frac{\tau^2}{2} f''(t) + \frac{\tau^3}{6} f'''(t) + \dots$$

$$f = \alpha, \delta \quad (2.1)$$

Die numerischen Werte der ersten und zweiten (manchmal dritten) Differentialquotienten⁺ findet man ebenfalls in den meisten Sternverzeichnissen. Weiters können Sternnummer, Name, Helligkeit, Spektraltyp, Eigenbewegung, zeitliche Variation der Eigenbewegung, Parallaxe, mittlere Fehler der Koordinaten und Referenzen zu anderen Katalogen den Verzeichnissen entnommen werden. Tab. 1 gibt als Beispiel Auszüge aus dem "4. Fundamentalkatalog" (FK4, 1535 Sterne, höchste Präzision) und dem "General Catalog" (GC, 33342 Sterne). Daneben stehen weitere Verzeichnisse wie der "AGK3-Katalog" (183145 Sterne, photographisch), der "SAO-Katalog" (260000 Sterne) und eine kleine Anzahl von Durchmusterungen (viele Sterne mäßiger Genauigkeit) in Verwendung. Die Mehrheit ist EDV-mäßig erfaßt und auf Datenträger (z.B. Magnetband) erhältlich.

⁺Achtung: Da die Werte der höheren Differentialquotienten rasch abnehmen, wird allgemein für den zweiten der 100-fache Wert, für den dritten der 1000-fache Wert angeführt.

4. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

No.	Name	Mag.	Sp.	α	$\frac{d\alpha}{dT}$	$\frac{d^2\alpha}{dT^2}$	μ	$\frac{d\mu}{dT}$	Ep. (α)	m (α)	m (μ)
1328	32 d ¹ Vir	5.24	A 5	12 ^h 43 ^m 54.23	+ 303.103	+ 0.014	- 0.738	+0.001	13.29	1.9	11
				12 44 21.200	+ 303.111	+ 0.021	- 0.738	+0.001			
481	β Cru	1.50	B 1	12 44 47.037	+ 350.719	+ 3.386	- 0.504	-0.007	13.01	5.6	23
				12 40 14.929	+ 352.423	+ 3.430	- 0.500	-0.007			
1329	132 G. Hya	6.29	B 9	12 45 13.541	+ 319.001	+ 0.935	- 0.310	-0.002	23.11	3.5	21
				12 46 33.650	+ 319.470	+ 0.944	- 0.310	-0.002			
1330	35 Vir	6.66	M 0	12 45 18.552	+ 305.507	+ 0.121	- 0.056	0.000	15.38	1.6	7
				12 46 34.936	+ 305.569	+ 0.128	- 0.056	0.000			
1331	143 G. Cen	5.01	A 0	12 47 57.957	+ 325.637	+ 1.313	- 0.223	-0.001	15.79	3.4	20
				12 49 19.449	+ 326.297	+ 1.324	- 0.223	-0.001			
1332	31 Com	5.07	G 0	12 49 15.862	+ 292.191	- 0.462	- 0.101	+0.001	20.00	1.7	8
				12 50 28.881	+ 291.962	- 0.453	- 0.101	+0.001			
1333	32 Com	6.53	K 5	12 49 43.043	+ 298.324	- 0.197	- 0.020	0.000	25.29	2.6	13
				12 50 57.612	+ 298.228	- 0.189	- 0.020	0.000			
482	150 G. Cen	4.34	A 5	12 50 39.510	+ 332.380	+ 1.644	+ 0.553	+0.005	14.79	4.5	22
				12 52 2.708	+ 333.206	+ 1.659	+ 0.554	+0.005			

No.	δ	$\frac{d\delta}{dT}$	$\frac{d^2\delta}{dT^2}$	μ'	$\frac{d\mu'}{dT}$	Ep. (δ)	m (δ)	m (μ')	GC	N30
1328	+ 7 ^h 56 ^m 47.16 + 7 48 35.22	-1968.91 -1966.61	+ 4.54 + 4.66	+ 0.003 + 0.02	-0.02 -0.02	17.60	3.2	15	17346	2941
481	-59 24 56.53	-1967.80	+ 5.37	- 1.69	-0.01	11.87	4.4	18	17374	2947
	-59 33 8.14	-1965.07	+ 5.56	- 1.69	-0.01					
1329	-24 34 46.08 -24 42 56.13	-1961.46 -1958.94	+ 4.97 + 5.11	+ 3.89 + 3.89	-0.01 -0.01	21.98	5.1	32	17380	2948
1330	+ 3 50 43.38 + 3 42 32.19	-1965.96 -1963.53	+ 4.79 + 4.91	- 0.74 - 0.74	0.00 0.00	14.18	2.6	13	17381	2949
1331	-33 43 37.32 -33 51 47.70	-1962.56 -1960.15	+ 5.34 + 5.49	- 2.34 - 2.34	-0.01 -0.01	14.47	4.1	25	17433	2959
1332	+27 48 44.74 +27 40 35.19	-1959.45 -1956.95	+ 4.96 + 5.06	- 1.32 - 1.32	0.00 0.00	15.43	2.4	11	17455	2963
1333	+17 20 43.66 +17 12 34.24	-1958.07 -1956.40	+ 5.10 + 5.21	- 1.69 - 1.69	0.00 0.00	22.40	3.8	16	17464	2965
482	-39 54 26.31 -40 2 35.48	-1958.14 -1955.24	+ 5.74 + 5.89	- 2.65 - 2.65	+0.02 +0.02	11.78	5.0	23	17489	2969

A GENERAL CATALOGUE OF STARS FOR 1980

POSITIONS AND PROPER MOTIONS OF STARS FOR

No.	Design. No.	Mag.	Type	R.A. 1980	Epoch	Am. Var.	Sec. Var.	μ	μ and μ in μ sec	Proh. Error	No.	Dist. 1980	Epoch	Am. Var.	Sec. Var.	μ'	μ' and μ' in μ sec	Proh. Error	
17351	110979	8.1	08	12 43 24.270	04.1	+3.1338	+0.0091	+0.008	0.11	80	17351	- 9 2 14.26	02.2	-19.805	+0.096	+0.17	-0.221	0.10	73
17352	110986	4.88	83	29.590	10.0	+3.4450	+0.0800	+0.040	0.09	46	17352	-46 12 54.58	03.9	-19.721	+0.103	+0.23	-0.039	0.08	36
17353	86 ^h 5218	9.17		30.082	07.4	+3.4427	+0.0885	+0.046	- 1.18	1.31	17353	-56 13 47.44	03.2	-19.714	+0.103	+0.23	-0.031	0.16	1.13
17354	111041	9.0	F8	42.547	02.8	+2.7723	+0.0239	+0.025	0.13	24	17354	-60 8 43.49	09.8	-19.672	+0.085	+0.12	-0.006	0.11	32
17355	111028	5.88	Ke	50.067	08.8	+3.0478	+0.0008	+0.010	0.08	19	17355	- 9 48 8.48	09.3	-20.129	+0.093	+0.16	-0.422	0.05	16
17356	111020	7.21	Ke	54.629	08.8	+3.3016	+0.0411	+0.027	0.11	26	17356	-47 0 24.26	05.9	-19.697	+0.101	+0.21	-0.021	0.11	73
17357	111043	7.67	F0	58.248	10.3	+3.0283	+0.0006	+0.010	0.10	32	17357	+ 9 33 31.33	04.4	-19.702	+0.082	+0.16	-0.027	0.10	43
17358	111031	6.89	G3	58.298	00.6	+3.1059	+0.0104	+0.010	0.09	64	17358	-11 32 24.34	09.7	-19.623	+0.094	+0.15	-0.052	0.10	61
17359	111044	8.13	Ke	58.268	03.3	+3.0744	+0.0048	+0.009	0.11	58	17359	- 0 32 54.99	09.2	-19.674	+0.094	+0.15	-0.000	0.11	48
17360	111032	5.98	Ke	44 3.719	04.6	+3.2283	+0.0254	+0.018	0.11	71	17360	-33 2 32.06	04.2	-19.711	+0.090	+0.15	-0.037	0.11	73
17361	111046	4.72	F5	5.277	07.6	+2.8484	+0.0078	+0.012	0.07	41	17361	+84 25 15.43	04.4	-19.895	+0.090	+0.15	-0.217	0.08	34
17362	111056	8.48	G2	8.265	04.8	+3.0730	+0.0048	+0.008	0.12	63	17362	- 0 23 22.99	01.7	-19.688	+0.094	+0.15	-0.013	0.12	50
17363	111067	5.33	G2	8.922	07.2	+2.9984	+0.0041	+0.012	0.046	22	17363	+16 31 0.45	04.6	-19.673	+0.082	+0.15	-0.000	0.048	19
17364	111096	7.9	K5	23.664	01.8	+3.1018	+0.0083	+0.010	0.08	52	17364	- 7 31 34.68	07.9	-19.710	+0.095	+0.17	-0.048	0.08	42
17365	111153	7.80	F8	27.032	08.6	+2.8280	+0.0189	+0.018	0.11	47	17365	+43 23 29.87	05.0	-19.714	+0.088	+0.13	-0.047	0.10	40
17366	111133	6.39	F9	29.887	06.8	+3.0473	+0.0012	+0.008	0.10	46	17366	+ 8 13 28.82	03.4	-19.715	+0.094	+0.16	-0.049	0.09	39
17367	111132	7.17	Ke	30.740	00.5	+3.0380	+0.0003	+0.010	0.11	56	17367	+ 9 20 12.90	07.8	-19.685	+0.094	+0.15	-0.019	0.10	47
17368	111105	7.23	A2	38.804	05.3	+3.5831	+0.0682	+0.000	0.14	90	17368	-69 48 29.87	00.8	-19.688	+0.108	+0.24	-0.023	0.13	69
17369	111117	8.28	Ke	39.790	02.6	+3.2194	+0.0228	+0.014	0.18	87	17369	-89 56 22.25	07.8	-19.897	+0.093	+0.19	-0.034	0.14	61
17370	111163	6.08	Ke	40.524	04.9	+2.9999	+0.0038	+0.010	0.11	66	17370	+15 51 52.75	04.1	-19.695	+0.093	+0.15	-0.022	0.11	73
17371	111164	6.05	A3	42.801	00.8	+3.0200	+0.0018	+0.010	0.08	34	17371	+12 13 51.78	04.2	-19.687	+0.094	+0.15	-0.025	0.05	21
17372	111156	7.22	G5	42.949	07.6	+3.1543	+0.0148	+0.011	0.13	108	17372	-18 43 52.75	03.8	-19.652	+0.097	+0.19	-0.003	0.13	90
17373	111102	7.19	A5	44.251	02.9	+3.4853	+0.0837	+0.052	0.13	80	17373	-36 1 29.28	09.5	-19.693	+0.107	+0.24	-0.036	0.12	71
17374	111123	1.50	B1	47.058	03.8	+3.5089	+0.0777	+0.030	- 1.036	18	17374	-59 24 58.25	09.4	-19.687	+0.103	+0.24	-0.026	0.239	16
17375	111179	4.28	F8	58.191	04.4	+3.1007	+0.0078	+0.009	0.036	38	17375	- 6 1 42.64	07.2	-19.700	+0.094	+0.17	-0.020	0.039	23
17376	111180	7.50	B9	45 6.065	06.5	+3.5150	+0.0878	+0.087	0.13	85	17376	-49 19 14.91	01.6	-19.677	+0.102	+0.24	-0.023	0.12	87
17377	111132	5.61	A5	11.251	07.7	+2.5698	+0.0330	+0.043	0.08	34	17377	+63 3 12.73	04.0	-19.660	+0.093	+0.13	-0.008	0.08	30
17378	111161	7.21	A2	11.351	09.5	+3.6783	+0.0977	+0.111	- 1.15	63	17378	-68 31 30.63	05.3	-19.677	+0.113	+0.20	-0.043	0.13	75
17379	111214	6.38	Ke	13.341	07.7	+3.1804	+0.0188	+0.012	0.10	73	17379	-24 44 31.97	02.9	-19.684	+0.093	+0.15	-0.020	0.11	67
17380	111226	6.29	B9	13.617	07.5	+3.1804	+0.0187	+0.012	0.08	30	17380	-34 34 44.44	00.0	-19.624	+0.077	+0.18	-0.030	0.08	44

Tab. 1

5. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

b) Der mittlere Ort zu Jahreswechsel

Zuerst werden die Präzessionsgrößen ζ , z , θ benötigt.

Sei EPO ... Epoche des Sternkatalogs

EP1 ... Epoche des Jahreswechsels

α_0, δ_0 ... Rektaszension und Deklination für EPO

und

$T = EPO - 1900.0$ in tropischen Jahrhunderten

$t = EP1 - EPO$ in tropischen Jahrhunderten

tropisches Jhdt. = 36524.21988 Ephemeridentage

1900.0 = 1900 Jänner 0.813 ET (Beginn des Besseljahres)

dann gilt

$$\begin{aligned}\zeta &= (2304.250'' + 1.396''T)t + 0.302''t^2 + 0.0179''t^3 \\ z &= (2304.250'' + 1.396''T)t + 1.093''t^2 + 0.0192''t^3 = \\ &= \zeta + 0.791''t^2 \\ \theta &= (2004.682'' - 0.853''T)t - 0.462''t^2 - 0.0416''t^3\end{aligned}\tag{2.2}$$

Für den Übergang auf ein anderes Äquinoktium gilt:

$$\begin{aligned}a &= \alpha_0 + \zeta \\ p &= \sin \theta \left(\tan \delta_0 + \tan \frac{1}{2}\theta \cos a \right) \\ (a' - a) &= \arctan \left(\frac{p \sin a}{1 - p \cos a} \right)\end{aligned}\tag{2.3}$$

Daraus ergeben sich die wegen Präzession verbesserten α_p, δ_p

$$\begin{aligned}\alpha_p &= a + (a' - a) + z \\ \frac{1}{2} (\delta_p - \delta_0) &= \arctan \left(\frac{\cos \frac{1}{2}(a'+a) \tan \frac{1}{2}\theta}{\cos \frac{1}{2}(a'-a)} \right)\end{aligned}\tag{2.4}$$

In der Folge sind die α_p, δ_p wegen Eigenbewegung zu korrigieren.

6. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Es gilt

$$\frac{d\mu_o}{dt} = \sin 1'' \cdot n \cdot \mu_o \cdot \cos \alpha_o \cdot \tan \delta_o + \frac{1}{15} \sin 1'' \cdot n \cdot \mu_o' \cdot \sin \alpha_o \cdot \sec^2 \delta_o +$$

$$+ 2 \sin 1'' \cdot \mu_o \cdot \mu_o' \cdot \tan \delta_o - 0.0002047 \mu_o V \Pi$$

(2.5)

$$\frac{d\mu_o'}{dt} = -15 \sin 1'' \cdot n \cdot \mu_o \cdot \sin \delta_o - \frac{225}{2} \sin 1'' \cdot \mu_o^2 \cdot \sin 2\delta_o -$$

$$- 0.0002047 \mu_o' V \Pi$$

- mit μ_o, μ_o' Eigenbewegung in α, δ (in Jhdt.) zu EPO
- Π Parallaxe
- V Radialgeschwindigkeit in km/sec
- n jährliche Präzession in Deklination

$$n = 2004.685'' - 0.8533'' T - 0.00037'' T^2$$

Die Eigenbewegungen zur Epoche EP1 μ_1, μ_1' folgen damit aus

$$\mu_1 = \mu_o + \frac{d\mu_o}{dt} t$$

$$\mu_1' = \mu_o' + \frac{d\mu_o'}{dt} t$$

(2.6)

Abschließend erhält man den mittleren Ort zu Jahresbeginn α_1, δ_1

$$\alpha_1 = \alpha_p + \mu_1 t - \sin 1'' \mu_o \mu_o' \tan \delta_o t^2 + 1.02E-4 \mu_o V \Pi$$

$$\delta_1 = \delta_p + \mu_1' t + \frac{225}{4} \sin 1'' \mu_o^2 \sin 2\delta_o t^2 + 1.02E-4 \mu_o' V \Pi$$

(2.7)

Das letzte Glied dieser Entwicklungen ist bei Unkenntnis der Radialgeschwindigkeit aufgrund seiner geringen Größe ohne merkbaren Verlust der Genauigkeit ersatzlos zu streichen. (Auswirkungen nur bei polnahen Sternen)

Als Besonderheit sei hier noch zu erwähnen, daß für genaueste Berechnungen die Änderung der Eigenbewegungen (2.5) für die

7.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Mitte des Intervalls EP1-EPO berechnet werden muß. Im allgemeinen ist zwar die 2.Ableitung von μ bzw. μ' nach der Zeit nahezu gleich Null, jedoch kann bei großen Eigenbewegungen und hoher Deklination eine merkliche Differenz (ca. 0.1"/Jahrzehnt) auftreten.

Die Änderung, der in den Katalogörtern enthaltenen E-Terms der Aberration wurde wegen des geringen Einflusses vernachlässigt.

c) Der scheinbare Ort

Zur Reduktion vom mittleren auf den scheinbaren Ort sind nun der Einfluß der

- Präzession
 - lang- und kurzperiodischen Nutation
 - jährlichen Aberration
 - jährlichen Parallaxe
- zu berücksichtigen

Dies erfolgt mit Hilfe der Bessel'schen Tageszahlen A,B,C,D, E,J,J'. Dazu wird als erstes das Julianische Datum des gesuchten Tages ITZ

$J = JA/4 - 475$ JA ... gesuchtes Jahr

$ITZ = (JA-1900) \cdot 365 + J + MT(M) + IT$

M,IT ... Monat,Tag

MT ... Feld der Summe der Tage der vergangenen Monate

$MT(i) = 0,31,59,90,\dots,334$ $i=1,12$

IF (MOD(JA,4).EQ.0).AND.(M.LE.2) ITZ=ITZ-1

Jänner, Februar im Schaltjahr

IF (ITZ.LT.60) ITZ=ITZ+1 Jänner, Februar im Jahre 1900

ITZ=ITZ - 0.5

Mitternacht

und desweiteren der Bruchteil des Bessel'schen Jahres TB berechnet.

$TB = (ITZ - 0.3135) / 365.24219879 - (JA - 1900)$

8.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Zur Korrektur wegen Nutation ist die Berechnung der folgenden Längenargumente notwendig.

$$\begin{aligned}
LM &= 296^{\circ}06'16.59'' + (1325^{\text{r}}198^{\circ}50'56.59'')T + 33.09''T^2 + 0.0518''T^3 \\
LS &= 358^{\circ}28'33.00'' + (99^{\text{r}}359^{\circ}02'59.10'')T - 0.54''T^2 - 0.0120''T^3 \\
MK &= 11^{\circ}15'03.20'' + (1342^{\text{r}}82^{\circ}01'30.54'')T - 11.56''T^2 - 0.0012''T^3 \\
MS &= 350^{\circ}44'14.59'' + (1236^{\text{r}}307^{\circ}06'51.17'')T - 5.17''T^2 + 0.0068''T^3 \\
KN &= 259^{\circ}10'59.79'' - (5^{\text{r}}134^{\circ}08'31.23'')T + 7.48''T^2 + 0.0080''T^3
\end{aligned}$$

- mit LM mittlere Anomalie des Mondes
- LS mittlere Anomalie der Sonne
- MK Länge Mond minus Knoten
- MS mittlere Elongation des Mondes von der Sonne
- KN mittlere Länge des aufsteigenden Knotens der Mondbahn
- T in julianischen Jhdt. (36525 Tage) seit 1900.Jänner 0.5^d ET = 2415020.0
ET-UT hier vernachlässigbar

Die Nutation in Länge und in Schiefe AP bzw.BP folgt nun aus

$$\begin{aligned}
AP &= (a + a'T) \text{ SIN}(I1 \cdot LM + I2 \cdot LS + I3 \cdot MK + I4 \cdot MS + I5 \cdot KN) \\
BP &= (b + b'T) \text{ COS}(J1 \cdot LM + J2 \cdot LS + J3 \cdot MK + J4 \cdot MS + J5 \cdot KN)
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Die Zahlenwerte der Koeffizienten a,a',b,b',I1...I5,J1...J5 sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Eine Möglichkeit der maschinengerechten Aufsummierung wäre z.B.

Einlesen der n Nutationsglieder in m-dimensionale Felder mit $m \geq n$

```

DO K I=1,N
AP = AP + (A(I)+AS(I)T) \cdot SIN(I1(I) \cdot LM + I2(I) \cdot LS + ... + I5(I) \cdot KN)
CONTINUE

```

Die Werte der Tabelle 2 wurden den "Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris" entnommen. Glieder kleiner als 0.001" wurden vernachlässigt.

9. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Period (days)	ARGUMENT Multiple of					LONGITUDE Coefficient of sine argument		OBLIQUITY Coefficient of cosine argument	
	<i>l</i>	<i>l'</i>	<i>F</i>	<i>D</i>	Ω	Unit = 0".0001			
6798					+1	-172327	-173.7 <i>T</i>	+92100	+9.1 <i>T</i>
3399					+2	+ 2088	+ 0.2 <i>T</i>	- 904	+0.4 <i>T</i>
1305	-2		+2		+1	+45		-24	
1095	+2		-2			+10			
6786		-2	+2	-2	+1	- 4		+ 2	
1616	-2		+2		+2	- 3		+ 2	
3233	+1	-1		-1		- 2			
183			+2	-2	+2	-12729	-1.3 <i>T</i>	+5522	-2.9 <i>T</i>
365		+1				+ 1261	-3.1 <i>T</i>		
122		+1	+2	-2	+2	- 497	+1.2 <i>T</i>	+ 216	-0.6 <i>T</i>
365		-1	+2	-2	+2	+ 214	-0.5 <i>T</i>	- 93	+0.3 <i>T</i>
178			+2	-2	+1	+ 124	+0.1 <i>T</i>	- 66	
206	+2			-2		+45			
173			+2	-2		-21			
183		+2				+16	-0.1 <i>T</i>		
386		+1			+1	-15		+ 8	
91		+2	+2	-2	+2	-15	+0.1 <i>T</i>	+ 7	
347		-1			+1	-10		+ 5	
200	-2			+2	+1	- 5		+ 3	
347		-1	+2	-2	+1	- 5		+ 3	
212	+2			-2	+1	+ 4		- 2	
120		+1	+2	-2	+1	+ 3		- 2	
412	+1			-1		- 3			

*See note on page 523.

Period (days)	ARGUMENT Multiple of					LONGITUDE Coefficient of sine argument		OBLIQUITY Coefficient of cosine argument	
	<i>l</i>	<i>l'</i>	<i>F</i>	<i>D</i>	Ω	Unit = 0".0001			
13.7			+2		+2	-2037	-0.2 <i>T</i>	+884	-0.5 <i>T</i>
27.6	+1					+ 675	+0.1 <i>T</i>		
13.6			+2		+1	- 342	-0.4 <i>T</i>	+183	
9.1	+1		+2		+2	- 261		+113	-0.1 <i>T</i>
31.8	+1			-2		- 149			
27.1	-1		+2		+2	+ 114		- 50	
14.8				+2		+ 60			
27.7	+1				+1	+ 58		- 31	
27.4	-1				+1	- 57		+ 30	
9.6	-1		+2	+2	+2	- 52		+ 22	
9.1	+1		+2		+1	- 44		+ 23	
7.1			+2	+2	+2	- 32		+ 14	
13.8	+2					+ 28			
23.9	+1		+2	-2	+2	+ 26		- 11	
6.9	+2		+2		+2	- 26		+ 11	
13.6			+2			+ 25			
27.0	-1		+2		+1	+ 19		- 10	
32.0	-1			+2	+1	+ 14		- 7	
31.7	+1			-2	+1	- 13		+ 7	
9.5	-1		+2	+2	+1	- 9		+ 5	

Tab. 2

10. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Es ergeben sich die Bessel'schen Tageszahlen zu

$$A = n \cdot TB + \sin \varepsilon \cdot AP$$

$$B = -BP$$

$$C = \begin{aligned} & -20.4955'' \cos WT \cos \varepsilon \\ & -0.0072'' \cos (MK+KN) && \text{(Mondeinfluß)} \\ & -0.0086'' \cos LJU && \text{(Jupiter)} \\ & -0.0019'' \cos LSA && \text{(Saturn)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$D = \begin{aligned} & -20.4955'' \sin WT \\ & -0.0079'' \sin (MK+KN) \\ & -0.0086'' \sin LJU \\ & -0.0019'' \sin LSA \end{aligned}$$

$$E = \frac{\lambda'}{\psi'} AP$$

mit n ... jährliche Präzession in Deklination (20.0469")

TB ... Bruchteil des Besseljahres

ε ... Ekliptikschiefe

λ' ... jährliche planetarische Präzession im Äquator
= 0.1247" - 0.0188" T

ψ' ... jährliche Lunisolarpräzession
= 50.3708" + 0.005" T

$$WT = MK + KN - MS + (1.91946^\circ - 0.00479^\circ T) \sin LS + \\ + 0.02009^\circ \sin 2LS + 0.00029^\circ \sin 3LS$$

$$LJU = 238.05^\circ + 3036.2^\circ T$$

$$LSA = 266.60^\circ + 1223.5^\circ T$$

Die Tageszahlen 2. Ordnung J, J' , die nur bei großer Deklination ($> 85^\circ$) berücksichtigt werden müssen, berechnet man aus

$$P1 = (A^+D) \sin \alpha + (B^+C) \cos \alpha \quad \delta \geq 0$$

$$P2 = (A^-D) \cos \alpha - (B^-C) \sin \alpha$$

$$J = P1 P2 \sin 1''/15 \quad (2.10)$$

$$J' = -\frac{1}{2} P1^2 \sin 1''$$

Zur Berücksichtigung der jährlichen Parallaxe müssen die ekliptikalischen Sonnenkoordinaten X', Y' berechnet werden.

11. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

$$\begin{aligned} X' &= \cos WT (1 - e \cos LS) - 2e \sin WT \sin LS \\ Y' &= \sin WT (1 - e \cos LS) + 2e \cos WT \sin LS \end{aligned} \quad (2.11)$$

e ... Exzentrizität der Erdbahn

Daraus folgen die äquatorialen Sonnenkoordinaten X, Y

$$X = X' \quad Y = Y' \cos$$

Mit der Sternparallaxe Π ergeben sich abschließend die formal wohlbekannten Beziehungen

$$\begin{aligned} \alpha_s &= \alpha_1 + TB \mu_{\alpha_1} + Aa + Bb + (C + \Pi Y)c + (D - \Pi X)d + E + J \tan^2 \delta \\ \delta_s &= \delta_1 + TB \mu_{\delta_1} + Aa' + Bb' + (C + \Pi Y)c' + (D - \Pi X)d' + J' \tan \delta \end{aligned} \quad (2.12)$$

worin a, b, c, d, a', b', c', d' Sternkonstanten sind

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{m}{n} + \sin \alpha_1 \tan \delta_1 \right) / 15 & a' &= \cos \alpha_1 \\ b &= \cos \alpha_1 \tan \delta_1 / 15 & b' &= -\sin \alpha_1 \\ c &= \cos \alpha_1 \sec \delta_1 / 15 & c' &= \tan \epsilon \cos \delta_1 - \sin \alpha_1 \sin \delta_1 \\ d &= \sin \alpha_1 \sec \delta_1 / 15 & d' &= \cos \alpha_1 \sin \delta_1 \end{aligned}$$

$$\frac{m}{n} = 2.29887'' + 0.00237'' T \quad m, n \dots \text{jährliche Präzession in } \alpha, \delta$$

Die Programmierung des soeben besprochenen Formelapparats ist für die heute schon weitverbreitete Generation von Kleinrechnern (ca. 64K) hinsichtlich Speicherbedarf und Laufzeit unproblematisch. Es wurde eine hohe Genauigkeit angestrebt und Testrechnungen geben Abweichungen von maximal 1 Einheit der letzten tabulierten Stelle der "Apparent Places of Fundamental Stars". Lediglich bei sehr polnahen Sternen treten Abweichungen bis zu 3 Einheiten auf. Der Grund liegt im numerisch ungünstigen Koeffizienten von J ($\tan^2 \delta$ ca. 5000). Die Differenzen der Tageszahlen A, B, C, D zu den tabulierten Werten liegen immer unter 0.002''

Zu 11. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen.

Beispiele zu Astrometrie an Sternen (Kapitel 2)

1) Stern : Algol Nr. 111 (β Persei)

Termin: 7. Nov. 1981 , 0^h UT

gegeben - mittlerer Ort 1975.0, Eigenbewegung, Parallaxe Π

gesucht - scheinbarer Ort α_s, δ_s ohne kurzper. Nutation

$$\alpha_{75} = 3^h 06^m 32.101^s \quad \delta_{75} = +40^\circ 51' 37.85''$$

$$\mu_\alpha = 0.00031^s \quad \mu_\delta = 0.0024'' \quad \Pi = 0.031''$$

jb ... Jahrbuchwerte

$$T = 0.75 \quad t = 0.06$$

$$\zeta = 138.319'' \quad z = 138.322'' \quad \theta = 120.241''$$

$$a = 3^h 06^m 41.322^s$$

$$p = 0.00050438 \quad a' - a = 0.0210293''$$

$$\alpha_p = 3^h 06^m 55.590^s \quad \delta_p = 40^\circ 53' 00.34''$$

$$\mu_1^\alpha = 0.000333^s \quad \mu_1^\delta = 0.00222''$$

$$\alpha_1 = 3^h 06^m 55.592^s \quad \Delta_{jb} = 0.000^s$$

$$\delta_1 = 40^\circ 53' 00.35'' \quad \Delta_{jb} = 0.01'' \quad \text{mittlerer Ort}$$

$$JD_{1981} = 2\ 444\ 915.5 \quad JD_{1900} = 2\ 415\ 020.0$$

$$T = 0.818494182$$

$$LM = 280.59247^\circ \quad LS = 303.47856^\circ \quad MK = 229.29514^\circ$$

$$MS = 119.27892^\circ \quad KN = 116.10069^\circ$$

$$TB = 0.85030809 \quad AP = -17.055'' \quad BP = -4.001''$$

$$A = 10.261'' \quad A_{jb} = 10.255''$$

$$B = 4.001'' \quad B_{jb} = 4.000''$$

$$C = 13.416'' \quad C_{jb} = 13.422''$$

$$D = 14.370'' \quad D_{jb} = 14.370''$$

$$E = -0.0025^s \quad E_{jb} = -0.0025^s$$

$$WT = 224.494^\circ \quad X = -0.72631572 \quad Y = -0.61876382$$

$$\epsilon = 23^\circ 26' 30.0'' \quad e = 0.01675$$

$$\alpha_s = \alpha_1 + 3.895^s = \frac{3^h 06^m 59.487^s}{3^h 06^m 59.486^s} \quad \text{scheinbarer Ort}$$

$$\alpha_{s,jb} = \quad \Delta_{jb} = 0.001^s$$

$$\delta_s = \delta_1 + 8.59'' = \frac{+40^\circ 53' 08.94''}{+40^\circ 53' 08.94''} \quad \Delta_{jb} = 0.00''$$

$$\delta_{s,jb} =$$

Zu 11. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen.

2) Stern: Nr. 809 (β Cephei)

Termin: 13. Feb. 1984, 12^h UT

gegeben - mittlerer Ort 1975.0, Eigenbewegung, Parallaxe Π

gesucht - scheinbarer Ort α_s, δ_s ohne kurzper. Nutation

$$\alpha_{75} = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 20.532^{\text{s}} \quad \delta_{75} = +70^{\circ} 27' 03.24''$$

$$\mu_{\alpha} = 0.00196^{\text{s}} \quad \mu_{\delta} = 0.0128'' \quad \Pi = 0.000''$$

jb ... Jahrbuchwerte

$$T = 0.75 \quad t = 0.09$$

$$\zeta = 207.479'' \quad z = 207.486'' \quad \theta = 180.411''$$

$$a = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 34.364^{\text{s}}$$

$$p = 0.00246355 \quad a' - a = -0.08679165^{\circ}$$

$$\alpha_p = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 27.366^{\text{s}} \quad \delta_p = 70^{\circ} 29' 25.60''$$

$$\mu_1^{\alpha} = 0.00193^{\text{s}} \quad \mu_1^{\delta} = 0.01038''$$

$$\alpha_1 = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 27.384^{\text{s}}$$

mittlerer Ort

$$\delta_1 = +70^{\circ} 29' 25.69''$$

$$\text{JD}_{1984} = 2\,445\,744.0 \quad \text{JD}_{1900} = 2\,415\,020.0$$

$$T = 0.841177276$$

$$\text{LM} = 304.93901^{\circ} \quad \text{LS} = 40.05833^{\circ} \quad \text{MK} = 29.81181^{\circ}$$

$$\text{MS} = 139.31447^{\circ} \quad \text{KN} = 72.22844^{\circ}$$

$$\text{TB} = 0.11866592 \quad \text{AP} = -15.001'' \quad \text{BP} = 3.061''$$

$$A = -3.589'' \quad A_{\text{jb}} = -3.578''$$

$$B = -3.061'' \quad B_{\text{jb}} = -3.067''$$

$$C = -15.206'' \quad C_{\text{jb}} = -15.210''$$

$$D = 12.055'' \quad D_{\text{jb}} = 12.047''$$

$$E = -0.0022^{\text{s}} \quad E_{\text{jb}} = -0.0021^{\text{s}}$$

$$\text{WT} = 323.978^{\circ} \quad e = 23^{\circ} 26' 28.8'' \quad e = 0.01675$$

$$\alpha_s = \alpha_1 - 4.466^{\text{s}} = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 22.918^{\text{s}} \quad \text{scheinbarer Ort}$$

$$\alpha_s + \Delta\alpha_{\text{FK4}} = \alpha_s + 0.0639^{\text{s}} = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 22.982^{\text{s}}$$

$$\alpha_{s,\text{jb}} = 21^{\text{h}} 28^{\text{m}} 22.989^{\text{s}} \quad \Delta_{\text{jb}} = 0.007^{\text{s}}$$

$$\delta_s = \delta_1 - 6.75'' = +70^{\circ} 29' 18.94''$$

$$\delta_{s,\text{jb}} = +70^{\circ} 29' 18.96'' \quad \Delta_{\text{jb}} = 0.02''$$

12. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Achtung: Das angeführte Modell zur Berechnung der mittleren und scheinbaren Sternörter lag allen Ephemeridenrechnungen bis zum 1.1.1984 zu Grunde. Zu diesem Zeitpunkt sollte der Übergang vom FK4-Fundamentalsystem in das neue FK5-System erfolgen. Da der neue Fundamentalkatalog jedoch noch nicht fertig gestellt werden konnte, ist der FK4 versehen mit einer Äquinox-Korrektur von

$$\Delta \alpha = 0.035^{\text{S}} + 0.085^{\text{S}} (T - 19.50) \quad (2.13)$$

T ... in Jahrhunderten

weiterhin Grundlage der Berechnungen im Jahrbuch der scheinbaren Sternörter (Apparent Places of Fundamental Stars), die allerdings mit einem System von neuen Konstanten (z.B. Präzessionskonstante) und der neuesten Nutationstheorie angestellt werden.

Die Differenz der scheinbaren Örter des Formelapparats (2.2) - (2.13) zu den Katalogörtern ab 1984 wird trotzdem 0.1" kaum übersteigen.

d) Tägliche Aberration, Refraktion, Polschwankungen

Die oben genannten Erscheinungen wurden in ein Kapitel gefaßt, da im allgemeinen ihr Einfluß als Korrektur der Meßgrößen und nicht als Änderung der Gestirnsörter berücksichtigt wird.

Tägliche Aberration

Die Beziehungen

$$\begin{aligned} AB \alpha &= 0.0213^{\text{S}} \cos \phi \cos t \sec \delta \\ AB \delta &= 0.32'' \cos \phi \sin t \sin \delta \end{aligned} \quad (2.14)$$

geben jene Korrekturen, die wegen der täglichen Aberration an die Äquatorkoordinaten α, δ anzubringen sind. Im Meridian ist demnach die Größe $0.0213^{\text{S}} \cos \phi \sec t$ einfach von der Durchgangszeit abzuziehen.

Für Beobachtungen mit dem Theodoliten sei der Effekt der Vollständigkeit halber im Horizontsystem gegeben.

$$\begin{aligned} AB a &= 0.32'' \cos \phi \cos a \operatorname{cosec} z \\ AB z &= 0.32'' \cos \phi \sin a \cos z \end{aligned} \quad (2.15)$$

13.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Refraktion

Die astronomische Refraktion ist der Gesamteffekt der Strahlenbrechung, die der Lichtstrahl von einem Gestirn auf seinem Weg durch die Atmosphäre erleidet. Da der herrschende Brechungsindex eine komplizierte Funktion des Ortes ist, müssen vereinfachte Annahmen über den Aufbau der Atmosphäre zu Grunde gelegt werden. Dieses Modell beschreibt nur die Wirkung der Vertikalrefraktion (Wirkung auf die Zenitdistanz). Die wesentlich kleinere laterale Komponente (Wirkung auf das Azimut) wird vernachlässigt. Der Wert R

$$R'' = (60.27'' \tan z - 0.076'' \tan^3 z) \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{p}{1013} \quad (2.16)$$

T... Kelvin p... mbar

ist zur gemessenen Zenitdistanz zu addieren, da die Refraktion die Gestirne scheinbar hebt. Durch Beobachtung in Zenitnähe läßt sich der Refraktionseinfluß einfach minimieren.

Polschwankung

Periodische Verlagerungen des Erdkörpers in Bezug auf die Rotationsachse werden Polschwankungen genannt. Teils auf Grund elastischer Deformation durch die Gezeitenkräfte, teils aus nicht restlos geklärten Vorgängen im Erdinneren beschreibt die momentane Rotationsachse einen Kreiskegel um die Hauptträgheitsachse. Diese Bewegung, bereits von Euler vermutet, besitzt eine Periode von 430 Tagen (Chandler'sche Periode). Die Korrektur vom momentanen Pol auf einen mittleren Pol (ICO, International Conventional Origin) für die Größen Breite ϕ Länge λ und Azimut AZ sind durch die Beziehungen (2.17) gegeben.

$$\begin{aligned} \phi_{\circ} &= \phi - (x \cos \lambda + y \sin \lambda) \\ \lambda_{\circ} &= \lambda - (x \sin \lambda + y \cos \lambda) \tan \phi \\ Az_{\circ} &= Az + (x \sin \lambda - y \cos \lambda) \sec \phi \end{aligned} \quad (2.17)$$

x,y momentane Polkoordinaten bezogen auf den ICO
(den Zirkularen des Bureau international del'Heure bzw.
des U.S.Naval Observatory zu entnehmen; siehe Tab.3)

14.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

DERIVED EARTH ORIENTATION PARAMETERS:

BIH RAPID SERVICE

	MJD	x(arcsec)	y(arcsec)	UT1-UTC(sec)
1985 Feb 12	46108	-0.089	0.069	-0.2209
13	46109	-0.092	0.071	-0.2220
14	46110	-0.095	0.073	-0.2231
15	46111	-0.098	0.075	-0.2242
16	46112	-0.101	0.077	-0.2253
17	46113	-0.104	0.079	-0.2264
18	46114	-0.107	0.081	-0.2275

U. S. NAVAL OBSERVATORY

	MJD	x(arcsec)	y(arcsec)	UT1-UTC(sec)
1985 Jan 31	46096	-0.065	0.057	-0.2084
Feb 1	46097	-0.070	0.058	-0.2085
2	46098	-0.074	0.058	-0.2091
3	46099	-0.077	0.060	-0.2101

Tab. 3

3. Instrumentarium

Die gebräuchlichsten Beobachtungsinstrumente haben im wesentlichen die Aufgabe das Horizontsystem physisch zu realisieren und die Messung von Richtungen bzw. Winkeln in diesem System zu ermöglichen. Neben diesen Geräten, die im folgenden kurz aufgelistet werden, sei hier auf die Sternmessung mittels Photographie besonders hingewiesen.

Das Universal: das Gerät besitzt neben Horizontal- und Vertikalkreis mehrere hochempfindliche Libellen und als wesentlichstes Merkmal einen Strahlengang (in der Horizontalachse des Instruments), der die Visur nach dem Zenit erlaubt, ohne die Lage des Okulars zu ändern. Es können Zenitdistanzen in jedem beliebigen Vertikal gemessen, sowie Sterndurchgänge hochgenau durch das Fadennetz und ein Okularmikrometer erfaßt werden.

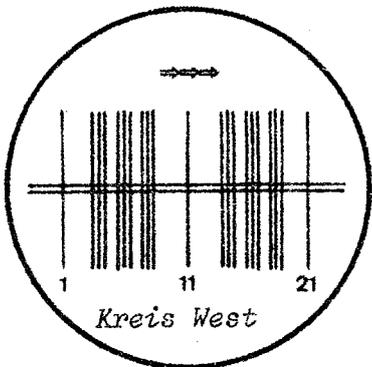
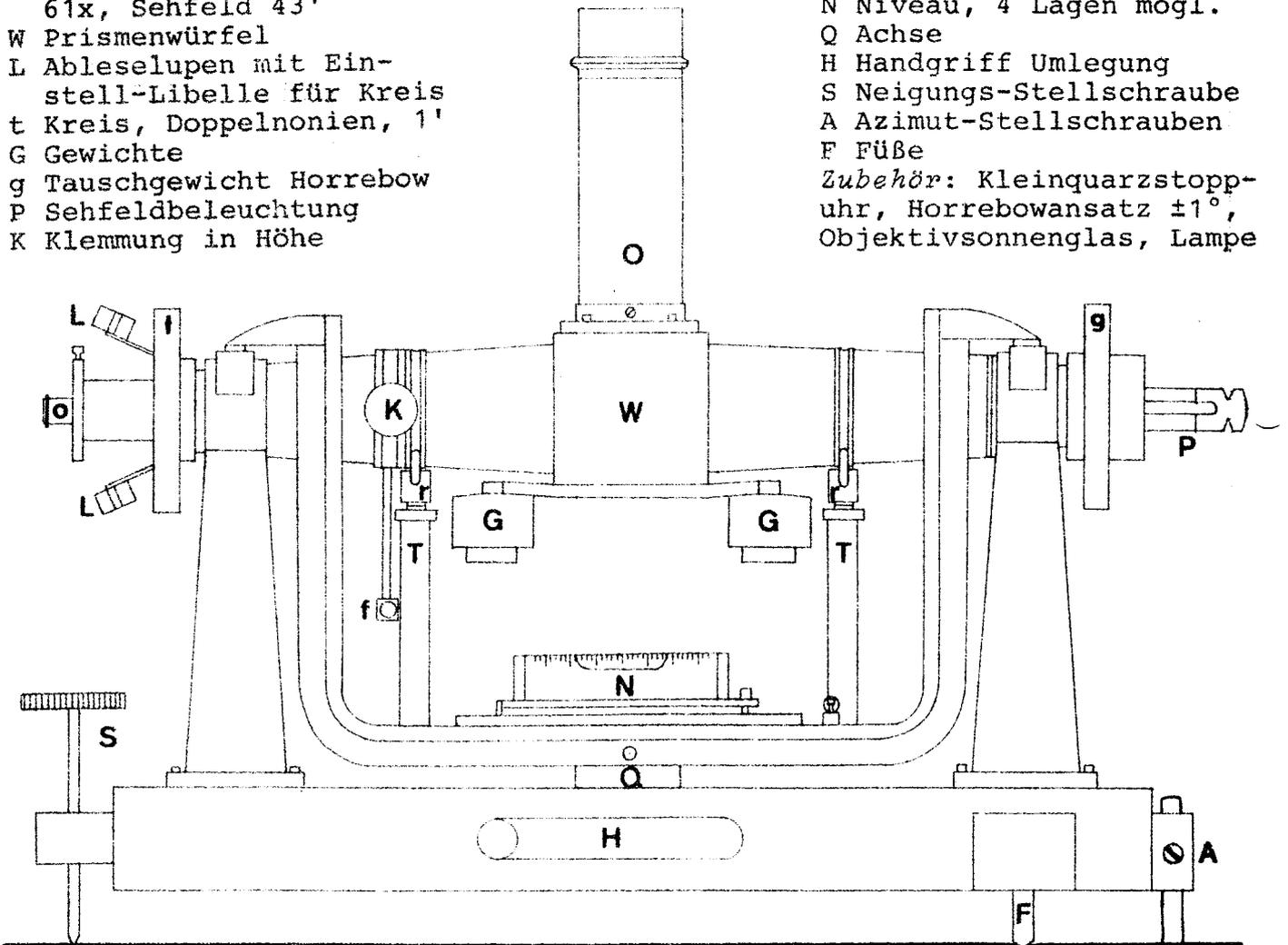
Das Passageninstrument: das im Gegensatz zum Universal ortsfest aufgestellte Passageninstrument ermöglicht präzise Durchgangsbeobachtungen in bestimmten festen Vertikalebene, vorzugsweise im Meridian oder im Ost-West-Vertikal (1. Vertikal). Es besitzt demnach keine vertikale Achse und der grob geteilte Vertikalkreis dient nur zur Sterneinstellung. Aus den Messungen im Meridian sind je nach Vorgabe Zeit, Rektaszension oder Ortslänge bestimmbar, im 1. Vertikal ist die geographische Breite bzw. die Deklination zu ermitteln. Mittels einer Zusatzeinrichtung (Horrebow-Niveau) ist die Ortsbreite auch im Meridian

15. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

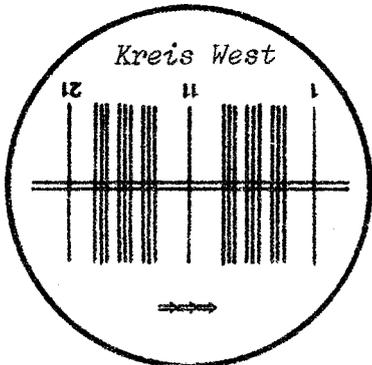
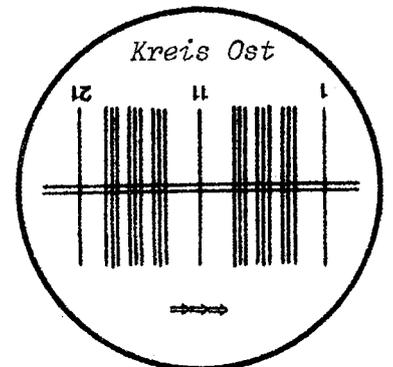
Passagen-Instrument der Wiener Urania-Sternwarte

- O Objektivstutzen mit Objektiv Zeiß E 50/550mm
- o Okular Orthoskop 9mm, 61x, Sehfeld 43'
- W Prismenwürfel
- L Ableselupen mit Einstell-Libelle für Kreis
- t Kreis, Doppelnonien, 1'
- G Gewichte
- g Tauschgewicht Horrebow
- P Sehfeldbeleuchtung
- K Klemmung in Höhe

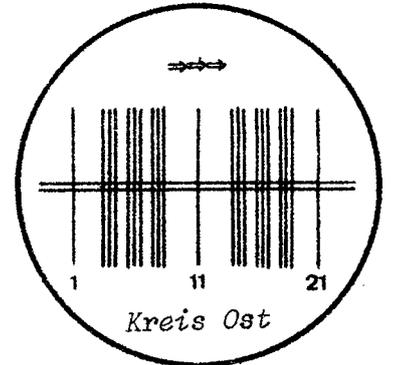
- f Feinbewegung in Höhe
 - T Träger für die
 - r Entlastungsrollen
 - N Niveau, 4 Lagen mögl.
 - Q Achse
 - H Handgriff Umlegung
 - S Neigungs-Stellschraube
 - A Azimut-Stellschrauben
 - F Füße
- Zubehör: Kleinquarzstoppuhr, Horrebowansatz $\pm 1^\circ$, Objektivsonnenglas, Lampe



Zeit- und Polsterne
(obere Kulmination)



Polsterne
(untere Kulmination)



16. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

meßbar. Zur weitergehenden Information sei auf das Sternfreunde-seminar 1976 verwiesen.

Der Meridiankreis: der Meridiankreis ist ein ortsfestes, im Meridian aufgestelltes Instrument, welches mit einem großen Vertikalkreis ausgestattet ist. Er dient zur Durchgangs- und Zenitdistanzmessung höchster Genauigkeit.

Photographie: Durch Erzielung einer höheren Genauigkeit in Folge Vermehrung der Einzelbestimmungen bei gleichem Zeitaufwand, und durch Wegfall der persönlichen systematischen Fehler ist der Vorteil der Photographie bei der astronomischen Ortsbestimmung zu begründen. Hochentwickelte Auswertemodelle gestatten es heute Aufnahmen von Kleinbildkameras ebenso astrometrisch nutzbar zu machen, wie dies vor Jahren nur den großen Platten- und Meßkammern vorbehalten war.

Die Zenitkammer: ein sowohl ortsfest auf Sternwarten ($f > 70$ cm), als auch in jüngster Zeit im Feldgebrauch ($30 \text{ cm} < f < 70$ cm) eingesetztes Gerät, das durch photographieren des Zenits und Ableitung der sphärischen Koordinaten desselben aus Anhaltsternen höchste Genauigkeiten für die Orts- und Zeitbestimmung liefert. Die Beziehung zum Lot wird durch einen Quecksilberhorizont oder mittels Libellen vermittelt.

4. Praktische Aufgaben der Astrometrie

So vielfältig die astrometrischen Beobachtungen auch sein mögen, z.B. Festlegung des Azimuts eines irdischen Objekts, Bestimmung der momentanen Lage des Zenitpunktes unter den bekannten Fixsternen (Ortsbestimmung) oder im einfachsten Fall eine Überprüfung des Uhrstandes, so haben sie doch eines gemeinsam: der rechnerische Aufwand der Vorbereitung und der Auswertung ist recht hoch, aber meist leicht schematisierbar. Diese Arbeiten können vorteilhaft von einem Kleinrechner übernommen werden.

Für visuell zu lösende Aufgaben empfiehlt sich die Bereitstellung eines Vorausrechnungsblattes, welches eine optimale Auswahl der anzumessenden Gestirne und ihre vom Gerät abhängigen Einstelldaten enthält. Die Photographie eines Sternfeldes erfordert im Gegensatz dazu zwar kaum rechnerische Vorarbeiten, jedoch hohen Aufwand an Auswertezeit am Bildkomparator und lange Rechenzeiten zur Auflösung der mitunter recht umfangreichen Normalgleichungssysteme.

17. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Zur Wahrung der Allgemeinheit in der Instrumentenwahl wird im Folgenden auf die teilweise komplizierten gerätespezifischen Fehlertheorien verzichtet.

a) Zeitbestimmung

Die einfachste Bestimmung der Zeit (des Uhrstandes) ist wohl die Methode der Meridianpassagen. Aus der, für den Meridian, fundamentalen Beziehung

$$\alpha = \theta \quad (4.1)$$

ergibt sich augenblicklich der Stand einer Sternzeituhr. Zur Überprüfung der Zonenzeituhr verwandle man die Rektaszension des beobachteten Sterns in jenes mittlere Zeitintervall, das seit Mitternacht in Greenwich verflossen ist und addiere die Zonenkonstante

$$\text{MEZ} = (\theta - \lambda - \theta_{O^h,GR}) \cdot 0.99726957 + 1^h$$

λ ... geograph. Länge, positiv nach Osten

θ ... wahre Ortssternzeit

$\theta_{O^h,GR}$... wahre Sternzeit um O^h Weltzeit Greenwich

$\theta_{O^h,GR}$ setzt sich aus der mittleren Sternzeit um O^h Weltzeit in Greenwich und der Nutation in Länge AP zusammen.

$$\theta_{O^h,GR} = 6^h 38^m 45.836^s + 8640184.542^s T_u + 0.0929^s T_u^2 + AP \cos \epsilon \quad (4.2)$$

T_u ... Anzahl der Julianischen Jahrhunderte seit 1900

Zur Elimination des Azimutfehlers werden Beobachtungen in Zenitnähe empfohlen. Vorausberechnungen wie sie Tabelle 5 zeigt, können die Messungen wesentlich beschleunigen.

b) Bestimmung des Azimuts

Zur Festlegung des Azimuts irdischer Ziele ist es vorteilhaft das Universal vorerst in den Meridian zu richten. So ergibt sich

18.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

als Differenz der Lesungen Irdisches Ziel-Meridian sofort das gewünschte Azimut.

a_z = L_z - L_M (4.3)

Zur Einrichtung des Instruments in den Meridian hat sich die Erstellung einer Tabelle als vorteilhaft erwiesen, die Azimut und Zenitdistanz des leicht auffindbaren Polarsterns enthält. Wird der Stern eingestellt und bis zum tabulierten Zeitpunkt nachgeführt, so läßt sich mittels der Tabelle die Meridianlesung einfach ermitteln.

BREITE: 48 11 43.0

Table with 6 columns: NR, STERNZ, A, Z, A(gon), Z(gon). It contains 30 rows of astronomical data.

Tab. 4

Programmierung: Eingabe: alpha_p, delta_p, phi, lambda, Sternzeitintervalle theta_i bzw. Zonenzeitintervalle (Datum)

Berechnung: a_i, z_i aus (1.1) wobei gilt

t_i = theta_i - alpha_p

19. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Ausgabe: Termin θ_i, a_i, z_i

Die sphärischen Koordinaten des Polarsterns α_p, δ_p können einem Jahrbuch entnommen oder zum gewünschten Termin selbst berechnet werden. Im zweiten Fall, sowie bei Zonenzeitargumenten muß das Beobachtungsdatum (zur Sternzeitrechnung) ebenfalls spezifiziert werden.

c) Ortsbestimmung

A) geographische Länge

Die Ermittlung der Ortslänge λ stellt das inverse Problem zur Zeitbestimmung dar und wird wieder am besten durch Beobachtung von Meridianpassagen gelöst. Bei bekannter Sternrektaszension α und der Durchgangszeit (Zonenzeit) t ergibt sich für die Verbesserung der geographischen Länge

$$\lambda = \alpha - (\text{MEZ} - 1^h) \cdot 1.00273792 + \theta_o h_{GR} + \lambda_o$$

Achtung: Es ist ein allfälliger Azimutfehler da in der Aufstellung des Gerätes zu achten, der auf die Durchgangszeit mit

$$dt = \frac{\sin z}{\cos \delta} da \quad (4.4)$$

wirkt. Es ist vorteilhaft den Azimutfehler im voraus aus mehreren Sterndurchgängen zu bestimmen und (oder) die Längenbestimmung nur mit zenitnahen Sternen durchzuführen.

Für $z=0$ gilt $dt=0$.

B) geographische Breite

Methode von Sterneck

Im Moment der Meridianpassage eines Gestirns gelten folgende Beziehungen

$$\begin{aligned} \text{Obere Kulmination Süd:} & \quad \phi = \delta + z \\ \text{Obere Kulmination Nord:} & \quad \phi = \delta - z \\ \text{Untere Kulmination:} & \quad \phi = 180^\circ - (z + \delta) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Gelingt es also das Instrument genähert in den Meridian (auf etwa $15''$ genau, da dz/dt klein von 2. Ordnung) zu stellen, so

20.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

läßt sich die Breite einfach aus einer Zenitdistanzmessung unter Berücksichtigung der Refraktion ableiten. In der Praxis ist jedoch die Kreislesung des Zenits eine Unbekannte, die nur durch Beobachtung eines zweiten korrespondierenden Sterns zu eliminieren ist. Optimal sind Sternpaare beidseits des Zenits gelegen, mit ungefähr gleicher Zenitdistanz. Bedeuten L_s, L_n die Lesungen des Süd- bzw. Nordsterns und R_s, R_n die zugehörigen Refraktionskorrekturen, so errechnet sich die Ortsbreite ϕ zu

$$\phi = \frac{1}{2} (\delta_s + \delta_n) + \frac{1}{2} (L_n - L_s) + \frac{1}{2} (R_s - R_n) \quad (4.6)$$

Die Einrichtung des Geräts in den Meridian erfolgt wieder mit Hilfe des Polarsterns (siehe Tab.4). Ein weiterer Vordruck, der die Meridianpassagen und die zugehörigen Zenitdistanzen der Katalogsterne enthält, hat sich als höchst praktisch erwiesen.

MERIDIANPASSAGEN VON FK4-STERNEN 1982.77 SEITE 2
 PHI=48.1150 ZMAX=60. REFR .9440 -Z BEDEUTET NORDSTERN

NR	M	DK	STZ	Z1	Z2	ZGON
45	4.7	27.174	1.18312	21.0102	338.5858	23.352
1035	5.0	45.438	1.21198	2.4529	357.1431	3.065
47	3.8	-8.271	1.23099	56.2641	303.3319	62.716
1037	6.4	-2.938	1.23563	51.0655	308.5305	56.795
48	2.8	60.146	1.24415	-11.5642	-348.0318	-13.272
46	5.0	68.039	1.24439	-19.5011	-340.0949	-22.041
499	6.1	72.484	1.25365	-59.1734	-300.4226	-65.681
1039	5.6	19.152	1.25459	29.0212	330.5748	32.263
1040	5.0	45.318	1.26374	2.5242	357.0718	3.198
1042	5.9	70.175	1.29576	-21.5819	-338.0141	-24.413
50	3.7	15.257	1.30337	32.5546	327.0414	36.588
1045	4.2	41.320	1.35474	6.5230	353.0730	7.639
1046	5.6	12.054	1.36112	36.0755	323.5205	40.147
52	3.8	48.541	1.36563	-2.2037	-359.3923	-3.382
51	5.5	72.951	1.37096	-24.4449	-335.1511	-27.497

Tab. 5

Programmierung: Eingabe: Mittlere Katalogörter α_{oi}, δ_{oi} , Breite
 Grenzenitdistanz ZMAX, Termin T

21. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Berechnung: α_i, δ_i mit untergeordneter Genauigkeit

Sortieren der $\alpha_i = \theta_i$ (Meridian)

z.B. Min-Max-Suche, Bubble-Sort usw.

z_i aus (4.5) mit $z_i < Z_{MAX}$

Ausgabe: Sternidentifikation, $\delta_i, \theta_i, z_i,$

Nord - Süd - Kennung

Methode von Horrebow-Talcott

Dies ist die genaueste Methode der visuellen Breitenbestimmung und die Standardmethode des internationalen Breitendienstes. Hier werden nur Differenzen von Meridianzenitdistanzen von Sternpaaren (Nord- und Südstern) mittels Mikrometer gemessen. Die Methode benötigt keinen Vertikalkreis am Instrument (geeignet z.B. für das Passagenrohr)

Meßvorgang: Einrichten des Instruments in den Meridian -
Einstellen des Fernrohrs auf das arithmetische Mittel der Meridianzenitdistanzen des Paares -
Anklemmen des Horrebow-Niveaus - Pointieren des ersten Sternes und ablesen des Niveaus m_1 -
Umlegen des Instruments - Einspielen des Niveaus mit der Gerätefeinschraube - Pointieren des zweiten Sternes - Einspielen des Niveaus mit dem Mikrometer und ablesen des Niveaus m_2

Die Breite gewinnt man aus

$$\phi = \frac{1}{2} (\delta_n + \delta_s) + \frac{1}{2} r (m_n - m_s) + \frac{1}{2} (R_s - R_n) \quad (4.7)$$

r Winkelwert einer vollen Umdrehung der Mikrometertrommel

$R_s - R_n$ Differentialrefraktion (meist vernachlässigbar)

Die Suche geeigneter Sternpaare aus Katalogen kann äußerst mühsam und zeitraubend sein. Denn folgende Bedingungen müssen erfüllt sein.

- 1) Die mittlere Deklination eines Paares muß im Bereich $\phi \pm \frac{B}{2}$ liegen; B = Meßbereich des Mikrometers

22. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

- 2) Die Zeitdifferenz für Meridiandurchgänge muß mindestens 2^{min} und darf höchstens 30^{min} betragen.
- 3) Die Zenitdistanz soll einen Grenzwert ZMAX nicht überschreiten.
- 4) Die Magnitude der Sterne soll einwandfreies Pointieren gestatten.

Ein Ausdruck folgender Gestalt ist deshalb zu empfehlen

STERNPAARE VON 3 BIS 6 UHR																	
PHI		NR	M	RA			DEC		PHI		NR	M	RA			DEC	
G	H			H	M	S	G	M	G	M			H	M	S	G	M
44	47	129	5.3	3	40	7	63	8	47	41	131	3.1	3	41	11	47	43
		1116	5.5	4	9	21	26	25			152	4.0	4	6	53	47	39
44	53	1096	5.5	3	22	33	64	30	47	49	124	4.5	3	28	51	47	55
		1103	6.1	3	39	19	25	15			131	3.1	3	41	11	47	43
45	5	134	3.9	3	43	32	42	30	48	15	1103	6.1	3	39	19	25	15
		152	4.0	4	6	53	47	39			138	4.7	3	47	47	71	16
45	7	147	3.0	3	56	13	39	56	48	39	114	4.5	3	10	14	19	38
		1113	4.3	4	4	46	50	17			115	5.5	3	17	13	77	39
45	13	124	4.5	3	28	51	47	55	48	43	112	4.2	3	7	18	49	31
		134	3.9	3	43	32	42	30			124	4.5	3	28	51	47	55
45	15	115	5.5	3	17	13	77	39	48	45	120	1.9	3	22	35	49	47
		125	4.3	3	29	31	12	51			131	3.1	3	41	11	47	43
45	19	111	2.5	3	6	35	48	52	48	50	138	4.7	3	47	47	71	16
		120	1.9	3	22	35	49	47			1116	5.5	4	9	21	26	25
45	24	1636	5.8	3	26	24	84	50	48	51	1636	5.8	3	26	24	84	50
		1104	5.4	3	44	23	5	58			125	4.3	3	29	31	12	51
45	24	138	4.7	3	47	47	71	16	48	51	120	1.9	3	22	35	49	47
		1115	5.7	4	7	45	19	33			124	4.5	3	28	51	47	55
45	26	134	3.9	3	43	32	42	30	48	55	1105	5.8	3	51	44	57	54
		1117	4.3	4	13	6	48	21			147	3.0	3	56	13	39	56
45	50	122	4.4	3	27	5	59	52	48	57	150	3.9	3	59	20	12	25
		144	2.9	3	52	36	31	49			908	6.7	4	27	55	85	29
46	5	105	5.7	3	2	51	79	20	49	0	131	3.1	3	41	11	47	43
		125	4.3	3	29	31	12	51			1113	4.3	4	4	46	50	17

Tab. 6

Programmierung: Eingabe: mittlere Katalogörter α_{0i}, δ_{0i} , Breite ϕ
 Mikrometerbereich B, ZMAX, Beobachtungszeitraum in Ortssternzeit, Termin T

Berechnung: α_i, δ_i mit untergeordneter Genauigkeit
 Sortieren nach steigenden α_i

I: neuer Stern α_n, δ_n

II. Bildung der mittleren Deklination mit allen folgenden Sternen α_m, δ_m mit

$$2^{\text{min}} < \alpha_m - \alpha_n < 30^{\text{min}}$$

und Bereichsprüfung

$$\phi - \frac{B}{2} < \frac{\delta_m + \delta_n}{2} < \phi + \frac{B}{2}$$

und Zenitdistanzprüfung ZMAX

23. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

III. Ausdrucken der gefundenen Paare und zurück nach I.

Ausgabe: Sternidentifikation, mittlere Breite, Rektaszensionen α_n, α_m , Deklinationen δ_n, δ_m

C) Simultane Bestimmung von Länge und Breite

Methode der gleichen Höhen (Höhenstandlinienmethode)

Eine gemessene Zenitdistanz z liefert als geometrischen Ort für den gesuchten Zenitpunkt einen Kleinkreis als Gesamtheit aller Zenitpunkte, für die im Beobachtungsmoment der Stern die Zenitdistanz z hat. Der Schnitt dreier solcher Kreise liefert, sofern er nicht schleifend erfolgt, die Koordinaten des Beobachtungspunktes. Häufig werden zur Linearisierung die Kreise durch ihre Tangenten ersetzt und diese zum Schnitt gebracht. Solche Tangenten nennt man auch Standlinien, das Verfahren deshalb Höhenstandlinienverfahren. Werden mehr als 3 Sterne beobachtet, so liegt ein Problem der Ausgleichsrechnung vor. Eine interessante Variante besteht darin, Sterne nur in der gleichen aber unbekanntem Zenitdistanz (Almukanterat) zu messen. Dies erspart jegliche Kreisablesung und wird durch ein Horrebow-Niveau an einem Universalinstrument oder durch das Prismenastrolab erreicht. Es kann dabei für jeden Stern eines Beobachtungssatzes angesetzt werden

$$\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \quad (4.8)$$

Durch Linearisierung des Cosinussatzes und Übergang auf neue Variable k, l, m kann man die Verbesserungsgleichungen bilden.

$$v_i = \cos a_i k + \sin a_i l + m + \Delta z_i \quad (4.9)$$

mit $a \dots$ Azimut

$$k = d\phi, \quad l = \cos \phi_0 dt, \quad m = dz$$

Das Absolutglied Δz_i wird als Differenz einer festen angenommenen Beobachtungszenitdistanz \bar{z} und der mit den Näherungswerten ϕ_0, t_0 (t_0 aus genähertem λ_0) nach (4.8) gebildeten

24.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Zenitdistanz z_{i0} berechnet.

$$\Delta z_i = \bar{z} - z_{i0}$$

An die Δz können noch Korrekturen zur Steigerung der Genauigkeit angebracht werden, die teilweise gerätespezifisch sind, teilweise den gekrümmten Verlauf der Sternbahn und des Almukanterats sowie auch die Refraktion betreffen. Die Ausgleichung des Systems (4.9) liefert den gesuchten Ort ϕ , λ und die unbekannte konstante Zenitdistanz z .

Zur Messung wird ein, für die genäherte Breite des Standpunktes ϕ_0 voraus berechnetes Beobachtungsprogramm benötigt.

STERNPROGRAMM ASTROLAB
ZENITDIST = 30. 1' 0"

SEITE 2

EPOCHE 1984.46

BREITE = 48.11'50"

NR	MAGN	STZ	AZ	NR	MAGN	STZ	AZ
1103	6.15	2.0058	130.56	227	2.07	3.0215	79.28
1039	5.63	2.0318	197.54	233	5.39	3.0235	37.03
183	3.10	2.0727	81.57	237	4.42	3.0340	50.33
1	2.15	2.0753	241.12	81	5.69	3.0546	203.17
1089	4.95	2.1052	149.30	899	4.40	3.0739	306.13
1604	5.83	2.1145	289.33	4	5.08	3.0752	282.45
1627	6.57	2.1243	342.06	45	4.67	3.0904	235.32
1032	4.89	2.1317	210.17	221	4.18	3.0952	92.26
136	3.81	2.1332	135.28	1141	5.97	3.1336	121.49
1133	5.10	2.1342	96.25	- 43	4.70	3.1603	244.09
1137	3.94	2.1513	88.03	1151	4.88	3.1630	109.47
203	5.75	2.1551	42.28	242	5.10	3.1845	70.15
1094	5.17	2.1603	148.56	174	4.33	3.1945	140.07
139	2.96	2.1611	135.30	234	4.73	3.1952	29.31
193	0.21	2.1705	77.14	247	6.05	3.2213	45.35
1150	6.46	2.1710	54.10	2	2.42	3.2250	309.32
1616	5.50	2.1721	269.52	1115	5.67	3.2337	158.38
27	4.30	2.1742	224.59	202	1.78	3.2702	120.01

Tab. 7

Programmierung: Eingabe: genäherter Ort ϕ_0 , λ_0 , Zenitdistanz \bar{z} ,
mittlere Katalogörter α_{0i} , δ_{0i} , Termin T

Berechnung: Auswahl der Sterne für die gilt

$$\phi_0 - \bar{z} < \delta < \phi_0 + \bar{z}$$

α_i , δ_i mit untergeordneter Genauigkeit

Stundenwinkel t_i der Almukanteratdurchgänge aus der Beziehung

25. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

$$\cos t_i = \frac{\cos \bar{z} - \sin \phi_o \sin \delta_i}{\cos \phi_o \cos \delta_i}$$

und zugehörige Azimute

$$\tan a_i = \frac{\sin t_i}{\sin \phi_o \cos t_i - \tan \delta_i \cos \phi_o}$$

Durchgangszeiten

$$\theta_1 = \alpha_i - t_i, \quad \theta_2 = \alpha_i + t_i$$

Sortieren der Sterne nach ihren Durchgangszeiten

Ausgabe: Sternidentifikation, Sternzeit θ_i , Azimut a_i

d) Ortsbestimmung durch Photographie

Betrachtet man den Fixsternhimmel aus der Sicht eines Beobachters, der sich in einem von der Erdrotation unabhängigen, raumfesten System (definiert durch den Pol und den Stundenkreis des Frühlingspunktes) befindet, so repräsentieren die Sterne ein Paßpunktfeld. Wird der Sternhimmel in Verbindung mit einer Zeitmessung photographiert, so stehen den sphärischen, nunmehr erdfeste Koordinaten (kartesische Plattenkoordinaten) die an einem Komparator ausgemessen werden können, gegenüber.

Mit Hilfe geeigneter Transformationsansätze kann aus dieser Gegenüberstellung die tatsächliche Aufnahmerichtung in sphärischen Koordinaten ermittelt werden. Eine vielfach praktizierte Methode besteht nun darin die Kamera genau nach dem Zenit auszurichten und damit die wahre Lotrichtung zu bestimmen. Dies kann prinzipiell natürlich mit jeder Kamera geschehen, jedoch verwenden astronomische und geodätische Institutionen im allgemeinen langbrennweitige Aufnahmegeräte, die sinngemäß "Zenitkammern" genannt werden.

Die photographische Aufnahme der Himmelskugel läßt sich funktional durch die zentralperspektive Abbildung beschreiben. Die daraus abgeleiteten Modellansätze werden nach der "photogrammetrischen" und der "astrometrischen" Reduktionsmethode eingeteilt. Erstgenanntes Modell (räumlicher Rückwärtsschnitt) läßt sich problemlos bei Brennweiten bis zu 50 cm anwenden. Der astrometrische Ansatz bewährt sich eher bei kleinen Öffnungswinkeln der Aufnahmekameras. Beide Modelle seien kurz besprochen.

26. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Photogrammetrischer Ansatz

An den Durchstoßpunkt der Aufnahme-richtung durch die Einheitskugel (Hauptpunkt H), lege man die Tangentialebene, und bilde in dieser die Sterne ab. Dies geschieht durch Wahl von Näherungswerten λ_H, ϕ_H für die gesuchten geographischen Koordinaten λ, ϕ und Transformation der Sternkoordinaten (Anhaltspunkte=Paßsterne) α_i, δ_i in die zugehörigen idealen Tangentialkoordinaten \bar{x}_i, \bar{y}_i mittels der Beziehungen (4.10). Im System des Himmelsäquators gilt für den Hauptpunkt zur Aufnahmezeit

$$\alpha_H = \theta_T + \lambda_H$$

$$\delta_H = \phi_H$$

θ_T Aufnahmeepoche in wahrer Sternzeit Greenwich

Mit α_H, δ_H folgt

$$\bar{x}_i = \frac{\tan \delta_i \cos \delta_H - \sin \delta_H \cos(\alpha_i - \alpha_H)}{\tan \delta_i \sin \delta_H + \cos \delta_H \cos(\alpha_i - \alpha_H)} \cdot f$$

(4.10)

$$\bar{y}_i = \frac{\sin(\alpha_i - \alpha_H)}{\tan \delta_i \sin \delta_H + \cos \delta_H \cos(\alpha_i - \alpha_H)} \cdot f$$

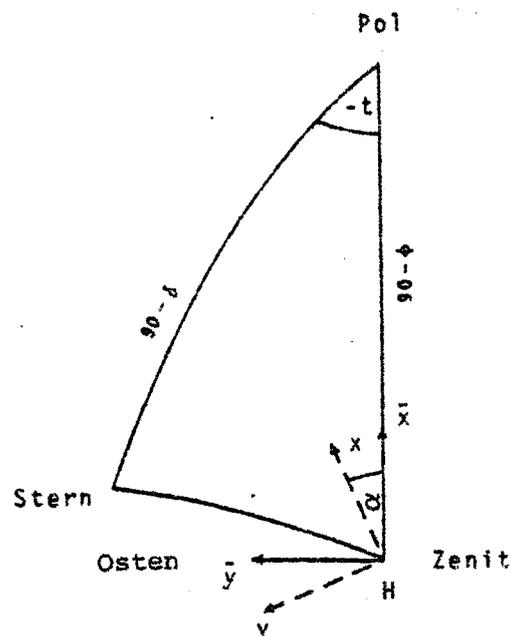


Abb. 2

27. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Wird dieses Tangentialkoordinatensystem um den Winkel α_H gedreht, (α_H ist der Winkel zwischen der x-Achse des zur Bildmessung benutzten Gerätes z.B. Komparator und der Nordrichtung der Aufnahme), so entstehen neue Tangentialkoordinaten x, y folgender Gestalt

$$\begin{aligned} x &= \bar{x} \cos \alpha_H + \bar{y} \sin \alpha_H \\ y &= -\bar{x} \sin \alpha_H + \bar{y} \cos \alpha_H \end{aligned} \quad (4.11)$$

Der Vergleich dieser idealen Koordinaten x, y mit den aus dem Photo gemessenen Bildkoordinaten ξ, η gibt Anlaß zu den Verbesserungsgleichungen (4.12), die um den Einfluß der folgenden Modellparameter erweitert wurden.

dx_H, dy_H Korrektur der Hauptpunktslage

$\frac{df}{f_0}$ Änderung der Brennweite

k_1, k_3 Glieder der Verzeichnung

m_x, m_y, de Komparatorfehler

$$\begin{aligned} v_x &= A d\alpha_H + B d\phi_H + C d\lambda_H - G a_x + I k_3 + K dx_H + M de - lx \\ v_y &= D d\alpha_H + E d\phi_H + F d\lambda_H - H a_y + J k_3 + L dy_H - ly \end{aligned} \quad (4.12)$$

mit den Koeffizienten

$$A = y$$

$$B = f \left(\left(1 + \frac{x^2}{f^2} \right) \sin Az - \frac{xy}{f^2} \cos Az \right)$$

$$C = \frac{1}{f} \left(-\cos Az \cos \phi_H (x^2 + f^2) - xy \sin Az \cos \phi_H + yf \sin \phi_H \right)$$

$$D = -x$$

$$E = -\frac{1}{f} \left(\cos Az (y^2 + f^2) - xy \sin Az \right)$$

$$F = -\frac{1}{f} \left(\sin Az \cos \phi_H (y^2 + f^2) + xy \cos Az \cos \phi_H + xf \sin \phi_H \right)$$

$$G = -x$$

$$H = -y$$

Az ... Azimut des Sterns

f ... Brennweite

28. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

$$I = x (x^2 + y^2) \quad J = y (x^2 + y^2)$$

$$K = 1 \quad L = 1$$

$$M = y/\rho$$

$$l_x = x - \xi \quad l_y = y - \eta$$

Die Größen a_x, a_y beinhalten die Maßstabsunbekannten m_x, m_y des Komparators, die Änderung der Brennweite und das 1. Verzeichnungs-glied k_1 .

$$\begin{aligned} a_x &= m_x - \frac{df}{f_0} - k_1 \\ a_y &= m_y - \frac{df}{f_0} - k_1 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Durch Bildung des Normalgleichungssystems und Auflösung nach den Unbekannten ergeben sich die gesuchten Zuschläge zu den Näherungskoordinaten λ_H, ϕ_H .

Diese Systeme mit 8 oder mehr Unbekannten und ca. 50-200 Verbesserungsgleichungen pro Bild sind nur mehr mit Hilfe des Computers in vertretbarem Zeitaufwand zu lösen.

Der photogrammetrische Ansatz liefert also neben der Kammerorientierung auch die Kalibrierungselemente der Kamera f, dx, dy direkt als Unbekannte der Ausgleichung.

Astrometrischer Ansatz

Beim astrometrischen Modell wird eine direkte funktionale Beziehung zwischen den idealen Bildkoordinaten x, y und den auf eine Tangentialebene projizierten Sternkoordinaten ξ, η hergestellt. Dies führt auf ein Verbesserungsgleichungssystem der Gestalt

$$\begin{aligned} v_x &= A + Cx + Ey + G\xi x + H\xi y + Ix r^2 - (\xi - x) \\ v_y &= B + Dx + Fy + G\eta x + H\eta y + Iy r^2 - (\eta - y) \\ r^2 &= x^2 + y^2 \end{aligned} \quad (4.14)$$

worin nun die Koeffizienten $A, B, C, D, E, F, G, H, I$ (Plattenkonstante) die Unbekannten darstellen. Im Gegensatz zum photogrammetrischen Ansatz lassen sich die Orientierungsparameter bei

29. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

dieser Methode nur indirekt aus den Ausgleichungsunbekannten ableiten. Wieder ist das System der Normalgleichungen zu bilden und aufzulösen.

$$\begin{aligned}
 d\lambda &= -Gf / \cos\phi_H & a_x &= C \\
 d\phi &= Hf & a_y &= F \\
 d\alpha &= -D + Gf \tan\phi_H & de &= -(D + E) \\
 dx_H &= -A + Gf^2 & k_3 &= -I \\
 dy_H &= -B + Hf^2 & &
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Folgendes kleines Programmsegment dient der Überführung des Verbesserungsgleichungssystems in die Normalgleichungsmatrix und kann höchst einfach in bestehende Programme übernommen werden.

```
DIM VH(IV,IL), N(IL,IL), B(IUN)
```

```
Es bedeutet  VH ... Matrix der Koeffizienten der Verbesserungsgl.
              IV ... Anzahl der Verbesserungsgleichungen
              N ... Matrix der Koeffizienten der gesuchten
                  Normalgleichungen + Absolutspalte
              B ... Absolutglieder der Normalgleichungen
              IUN ... Anzahl der Unbekannten
              IL ... IUN+1
```

```
DO 1 K= 1,IUN
DO 1 I= 1,IV                obere Dreiecksmatrix
DO 1 J= K,IL
N(K,J)=N(K,J) + VH(I,K)·VH(I,J)
1 CONTINUE
DO 2 I=2,IUN
K= I-1                    Kopieren der oberen
DO 2 J=1,K                Dreiecksmatrix
N(I,J)=N(J,I)
2 CONTINUE
DO 3 I=1,IUN
B(I)= -N(I,IL)            Abspeichern der Absolutspalte
3 CONTINUE
```

30. Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

Die in diesem Kapitel angeführte Liste der astrometrischen Beobachtungen und Verfahren erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. So zählen die astronomische Orientierung durch Anzielung der Sonne oder die Breitenbestimmung berechnet aus Durchgangsbeobachtungen mit dem Passageninstrument durch den O-W-Vertikal ebenfalls zu den oft praktizierten Methoden. Die Auswahl wurde rein auf Grund der relativ einfachen Überschaubarkeit der benutzten mathematischen Modelle getroffen. Daneben existieren noch eine Vielzahl von Beobachtungsverfahren, die jedoch in der Ausführung zu problembehaftet sind (z.B. zu lange Wartezeiten während der Messung; komplizierte Auswertemodelle usw.) und deshalb kaum praktisch ausgeführt werden.

5. Heutiger Stellenwert der astrometrischen Verfahren

Die Vermessung der Gestirne, einst als die einzige zielführende Methode der absoluten Punktbestimmung bzw. der Navigation anerkannt und von einer Vielzahl von Gelehrten behandelt, ist in den letzten zwei Jahrzehnten etwas in den Hintergrund gerückt. Neue Punktstellungsverfahren der Satellitengeodäsie (Laufzeitmessung, Doppler-Verfahren), LLR (Lunar Laser Ranging) oder VLBI (Very Long Baseline Interferometry) ermöglichen heute Punktbestimmungen im Dezimeterbereich. Die Navigation wird in naher Zukunft durch ein neues in den USA entwickeltes Satellitenmessungssystem GPS (Global Positioning System) imstande sein in wenigen Minuten den bewegten Standort auf einige Meter genau festzulegen und aus den Distanzmessungen zum Mond können die Polschwankungen und unregelmäßigen Fluktuationen bestimmt werden.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Ergebnisse der neuen Methoden nicht problemlos zusammenfügbar sind. Die aufgetretenen systematischen Verfahrensfehler der einzelnen Techniken führten zum internationalen Projekt MERIT (Monitor Earth Rotation and Intercompare Technics) in Zusammenarbeit der "Internationalen Astronomischen Union" und der "Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik".

In diesem Projekt sollen die bestehenden Verfahren vervollkommen werden um exakte Daten über das dynamische Verhalten

31.Fortsetzung: Astrometrie an Sternen

der Erde liefern zu können. Als Referenzmessungen dienen dazu auch heute noch die seit langen Jahren kontinuierlich ausgeführten astrometrischen Beobachtungen.

Dem interessierten Amateur stellt die Astrometrie heute ebenso lohnende Aufgaben (z.B. die Festlegung der sphärischen Koordinaten von Kleinplaneten aus eigenen Aufnahmen und anschließende Bahnbestimmung des Himmelskörpers). Vor allem aber, kann durch die Beschäftigung mit ihr ein tiefes Verständnis für die wahren und scheinbaren Bewegungen der Gestirne gewonnen werden.

Literatur

- N.N. , Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris,
H.M. Stationary Office London 1961
- K.Bretterbauer , Astronomische Ortsbestimmung
Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung
Abteilung für theoretische Geodäsie, TU-Wien
- H.H. Voigt , Abriß der Astronomie
Bibliographisches Institut AG,
Zürich 1975
- M.Habarta , Die Überprüfung alter astro-geodätischer
Daten der TU-Wien mit modernen Hilfsmitteln
Unveröffentlichte Diplomarbeit der
TU-Wien 1984

Dipl.Ing.R.Weber
Höchstmannweg 22
A-1220 Wien

Referat: Die Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.1. Kalender und julianische Tagzählung

Durch fortlaufende Zählung der Tage und Angabe ihrer JD-Nummer in der julianischen Periode können Zeitintervalle leicht ermittelt werden. Dem gegenüber steht das Datum im julianischen bzw. gregorianischen Kalender, dessen Jahre astronomisch, also mit Einschluß des Jahres 0, gezählt werden:

historisch	...1 n.Chr.,	1 v.Chr.,	2 v.Chr.,	...
astronomisch	... 1	0	-1	...

Der Tag JD 0,000 begann am 1. Januar -4712 (-4712 01 01) im julianischen Kalender, um 12^h Weltzeit. Der Zeitpunkt 0^h Weltzeit wird also durch 0,500 angezeigt. Zur Transformation von Kalenderdaten in JD verfährt man wie folgt und benützt folgende Symbole für

Jahreszahl JJJJ (Mit Vorzeichen!)

Monat MM

Tag TT (daran werden die Dezimalen ab 0^h Weltzeit angefügt)

Die Eingabe des Kalenderdatums erfolgt in der Form JJJJ,MMTdd.

Beim Abspeichern der einzelnen Komponenten JJJJ; MM und TT,dd ist darauf zu achten, daß das Vorzeichen nur bei JJJJ bleibt. Nun ermitteln wir die Hilfsgrößen j und m:

$j = JJJJ - 1$ und $m = MM + 12$, wenn $MM = 1$ oder 2 ;

$j = JJJJ$ und $m = MM$, wenn $MM > 2$.

Wird der gregorianische Kalender benützt, wird noch die Hilfsgröße B gebraucht:

$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$, wobei $A = \text{INT}(j/100)$.

INT(x) bedeutet den ganzen Teil der Zahl x.

$JD = \text{INT}(365,25 \cdot j - 0,75) + \text{INT}(30,6001(m+1)) + \text{TTdd} + 1\,720\,994,5$
für $j < 0$

$JD = \text{INT}(365,25 \cdot j) + \text{INT}(30,6001(m+1)) + \text{TT,dd} + 1\,720\,994,5 + B$
für $j \geq 0$.

Die Größe B wird in der zweiten Formel nur addiert, wenn man den gregorianischen Kalender benützt.

Beispiele: +1900 01 01,000 gregorianisch	JD 2 415 020,500
-2071 04 13,250 julianisch	JD 964 727,750

1. Fortsetzung: Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.

2. Weltzeit und Ephemeridenzeit

Die Umdrehungsdauer der Erde vergrößert sich sehr langsam und unregelmäßig, die Länge des auf der Grundlage der Erddrehung definierten mittleren Sonnentages und Sterntages vergrößert sich mit der Zeit. Auf den Rotationselementen der Erde für +1900 01 00 beruht die gleichförmig ablaufende Ephemeridenzeit ET (seit Anfang +1984 Terrestrische Dynamische Zeit TDT), die das Zeitargument für die Berechnung der Wandelgestirnephemeriden liefert. Ihr gegenüber beruht die Weltzeit UT auf den jeweiligen Rotationsverhältnissen der Erde und für einen bestimmten Zeitpunkt besteht daher ein Unterschied $\Delta T = ET - UT$.

Er kann für diesen Zeitpunkt JD nur als Unterschied zwischen dem tatsächlichen und dem mit dem Argument Ephemeridenzeit berechneten Himmelsgeschehen beobachtet, genähert aber auch (in Tagen) berechnet werden:

$$\Delta T = 0,000\ 3 + 0,000\ 84 \cdot T^* + 0,000\ 346\ 7 \cdot T^{*2} \quad \text{worin}$$
$$T^* = (\text{JD} - 2\ 415\ 020) / 36\ 525$$

Beispiele:	JD = 964 727,75	$\Delta T = 0,514$ Tage
	JD = 1 839 843,10	$\Delta T = 0,073$ Tage

3. Heliozentrische Koordinaten

Koordinatenursprung ist die Sonnenmitte. Hier brauchen wir:

Heliozentrische ekliptikale Polarkoordinaten, Fundamentalebene ist die Bahnebene der Erde, die Ebene der Ekliptik, s. Zeichnung.

l Heliozentrische Länge, vom Frühlingspunkt im Umlaufsinn der Erde von 0° bis 360° gezählt.

b Heliozentrische Breite, nördlich der Ekliptik von 0° bis $+90^\circ$, südlich von 0° bis -90° gezählt.

r Radiusvektor, Abstand Sonnenmitte-Gestirnmittle, in AE.

Heliozentrische Äquatoreale, rechtwinkelige Koordinaten, Fundamentalebene ist die Äquatorebene der Erde.

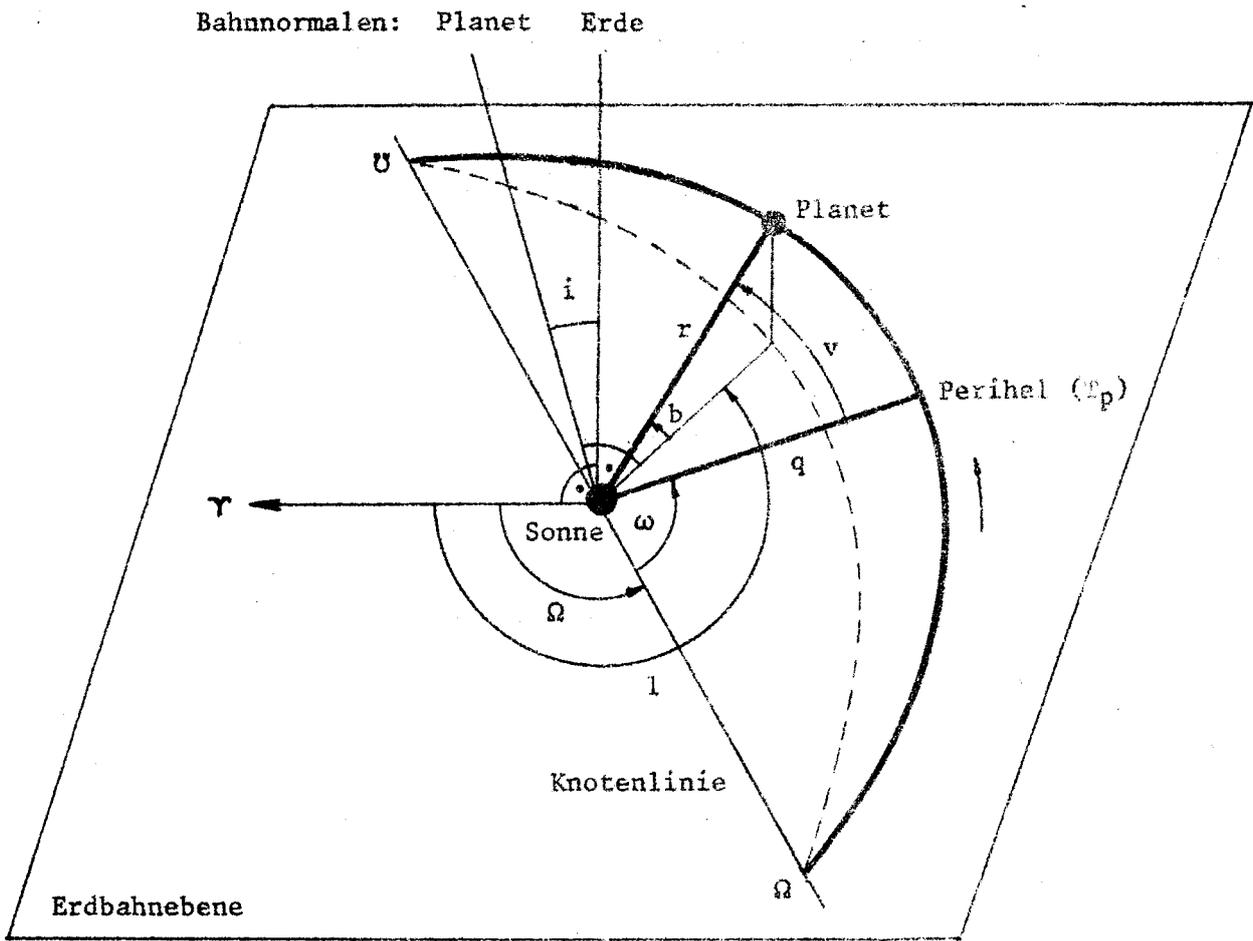
x weist zum Frühlingspunkt. Die Längeneinheit ist 1 AE.

y weist zum 6^h -Punkt des Himmelsäquators. "

z weist zum Himmelsnordpol. "

Besondere heliozentrische Koordinaten werden in der Gestirnbahnebene gemessen: Wahre Anomalie v und Radiusvektor r , s. Zeichnung.

2. Fortsetzung: Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.



4. Parabolische Bewegung (Kometen)

Gegeben ist, bezogen auf das mittlere Äquinoktium des Datums:

- T_p Termin des Periheldurchganges (ET)
- ω Argument des Perihels, gezählt in der Bahnebene vom aufsteigenden Knoten zum Perihel in Bewegungsrichtung ($^\circ$)
- Ω Heliozentrische Länge des aufsteigenden Knotens ($^\circ$)
- i Bahnneigung ($^\circ$)
- q Periheldistanz (AE)
- H_{10} Reduzierte Gesamthelligkeit (mag)

Gerechnet werden soll für den Termin t :

$$w = \frac{0,036\ 491\ 162\ 4}{q \cdot \sqrt{q}} \cdot (t - T_p) \quad (t - T_p) \text{ in Tagen}$$

$$s_1 = \frac{2 \cdot s_0^3 + w}{3 \cdot (s_0^2 + 1)} \quad \text{Iterieren von } s_0 = 0 \text{ an, bis auf 6 Dez. steht.}$$

$$\tan \frac{\nu}{2} = s \quad \text{und} \quad r = q \cdot (1 + s^2)$$

3. Fortsetzung: Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.

5. Elliptische Bewegung (Kometen, Kleine Planeten)

Gegeben ist der auf das mittlere Äquinoktium des Datums bezogene Elementensatz aus 3., zu dem noch die numerische Exzentrizität e der Ellipse tritt.

Die große halbe Bahnachse a und die mittlere tägliche Bewegung n in der Bahn in $^\circ/\text{Tag}$ werden wie folgt ermittelt:

$$a = q / (1 - e) \quad \text{und} \quad n = 0,985\,609 / (a \cdot \sqrt{a})$$

Die mittlere Anomalie M ergibt sich aus

$$M = n \cdot (t - T_p)$$

und mit e folgt die exzentrische Anomalie E aus der Kepler'schen Gleichung (Iteration beginnen mit $E_0 = M$):

$$E_1 = E_0 + \frac{M + e^\circ \cdot \sin E_0 - E_0}{1 - e \cdot \cos E_0} \quad e^\circ = e \cdot 57,295\,779\,51$$

Die wahre Anomalie v und der Radiusvektor r folgen aus

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \frac{E}{2} \quad \text{und} \quad r = a \cdot (1 - e \cdot \cos E)$$

6. Transformation von v, r in heliozentrische Koordinaten

$$u = \omega + v$$

Die heliozentrische Länge l und Breite b ergeben sich aus:

$$\begin{aligned} \tan(l - \Omega) &= \sin u \cdot \cos i / \cos u && \text{(Transf. rechth.} \Rightarrow \text{polar!)} \\ \sin b &= \sin u \cdot \sin i && (-90^\circ < b < 90^\circ) \end{aligned}$$

Unter dem Einfluß der Planetenstörungen verändern sich die Bahnelemente ständig in geringem Maß. Die Elementenkataloge, s.9., bieten Bahnelemente, die für einen nahe dem Perihelitermin oder mit ihm übereinstimmenden Zeitpunkt, die Oskulationsepoche, gelten. Diese "oskulierenden" Elemente stellen die Raumbewegung eines Planeten oder Kleinplaneten in der zeitlichen Nachbarschaft der Oskulationsepoche - meist für den ganzen Bahnbogen in der Nähe von Erde und Sonne - zufriedenstellend dar.

Die im folgenden Gastvortrag behandelte Planetentheorie VSOP 82 von P. Bretagnon liefert für die Planeten Merkur bis Neptun gestörte Bahnelemente für jeden gewählten Termin; diese können natürlich ebenfalls als oskulierende Elemente betrachtet werden.

4. Fortsetzung: Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.

7. Transformation von l,b,r in geozentrische Größen

Es bedeuten zusätzlich: X,Y,Z geozentrische, äquatoriale, rechtwinkelige Koordinaten der Sonne, Orientierung wie x,y,z; ε Mittlere Schiefe der Ekliptik, ausreichend für das Genauigkeitsmaß des hier beschriebenen VSOP 82 - Systems; α, δ, Δ, Φ, m Rektaszension, Deklination, Entfernung von der Erde, Phasenwinkel, scheinbare visuelle Gesamthelligkeit des Planeten oder Kometen.

Drehung des l,b,r-Systems um ε und Übergang auf x,y,z:

$$\epsilon = 23,452\ 294^\circ - 0,013\ 012\ 5 \cdot T^* - 0,000\ 001\ 64 \cdot T^{*2} + 0,000\ 000\ 503 \cdot T^{*3}$$

$$x = r \cdot (\cos b \cdot \cos l)$$

$$y = r \cdot (\cos b \cdot \sin l \cdot \cos \epsilon - \sin b \cdot \sin \epsilon)$$

$$z = r \cdot (\cos b \cdot \sin l \cdot \sin \epsilon + \sin b \cdot \cos \epsilon)$$

$$\begin{aligned} X &= -R \cdot \cos L && l, b=0, r \text{ der Erde (siehe VSOP 82)} \\ Y &= -R \cdot \sin L \cdot \cos \epsilon && \text{werden hier der Eindeutigkeit wegen} \\ Z &= -R \cdot \sin L \cdot \sin \epsilon && L, B=0, R \text{ genannt.} \end{aligned}$$

Schiebung des x,y,z-Systems um X,Y,Z bewirkt Transformation auf Erdmitte:

$$\begin{array}{l|l} \xi = x + X & \text{Sonne:} \\ \eta = y + Y & \tan \alpha = Y / X \text{ (Transformation rechth.} \Rightarrow \text{polar!)} \\ \zeta = z + Z & \sin \delta = Z / R \text{ (} \epsilon \geq \delta \geq -\epsilon \text{)} \end{array}$$

$$\tan \alpha = \eta / \xi \quad \text{(Transformation rechtwinkelig} \Rightarrow \text{polar!)}$$

$$\Delta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}$$

$$\sin \delta = \zeta / \Delta \quad (90^\circ < \delta < -90^\circ)$$

$$\cos \Phi = ((r^2 + \Delta^2 - R^2) / 2 \cdot r \cdot \Delta) \quad \Rightarrow \text{Null!!!}$$

$$m_{\text{Merkur}} = 1,16 + 5 \cdot \log(r \cdot \Delta) + 0,028\ 38 \cdot (\Phi - 50^\circ) + 0,000\ 102\ 3 \cdot (\Phi - 50^\circ)^2$$

$$m_{\text{Venus}} = -4,00 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta + 0,013\ 22 \cdot \Phi + 0,000\ 000\ 424\ 7 \cdot \Phi^3$$

$$m_{\text{Mars}} = -1,30 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta + 0,014\ 86 \cdot \Phi$$

$$m_{\text{Jupiter}} = -8,93 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta$$

$$\begin{aligned} m_{\text{Saturn}} &= -8,68 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta + 0,044 \cdot \Phi - 2,60 \cdot |\sin B^*| + \\ &+ 1,25 \cdot \sin^2 B^* \text{ , worin für den Ringbeitrag:} \\ \sin B^* &= \sin i^* \cdot \sin (u + \Omega - \Omega^*) \end{aligned}$$

Handwritten note: Handwritten scribbles and a signature-like mark.

5. Fortsetzung: Raumbewegung der Kometen, Planeten und der Sonne.

$$i^* = 26,6^\circ + 0,000\ 06 \cdot J \quad J \text{ Jahrzahl, astro-}$$

$$\Omega^* = 145,5^\circ + 0,014\ 04 \cdot J \quad \text{nomisch gezählt.}$$

$$m_{\text{Uranus}} = -6,85 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta$$

$$m_{\text{Neptun}} = -7,05 + 5 \cdot \log r \cdot \Delta$$

$$m_{\text{Kleinplaneten}} = -0,8 + B(1,0) + 5 \cdot \log r \cdot \Delta + 0,023 \cdot \Phi$$

$$m_{\text{Kometen}} = H_{10} + 5 \cdot \log \Delta + 10 \cdot \log r \quad (m_1)$$

8. Beispiele

Zu 4): Komet +1744 Klinkenberg

T_p	= +1744 03 01,840 UT = ET
ω	= 151,4487° (T_p)
Ω	= 45,7504° "
i	= 47,1218° "
q	= 0,222 209 AE
e	= 1
H_{10}	= +0,5mag (m_1)
t	= +1744 03 09,000 ET
$(t-T_p)$	= +7,160d
w	= +2,494 354 941
s	= +0,711 427 (5.Iteration)
v	= 70,858 1°
r	= 0,334 68 AE
l	= 257,520°
b	= -29,554°
L	= 168,805°
R	= 0,994 06 AE) VSOP 82
ϵ	= 23,473°
α	= 22h31,3m
δ	= -19°06'
Δ	= 1,043 26 AE
m	= -4,2mag

Zu 5): Komet +1986 P/Halley

T_p	= +1986 02 09,444 ET
ω	= 111,862° (T_p)
Ω	= 58,663° "
i	= 162,241° "
q	= 0,587 10 AE
e	= 0,967 28
H_{10}	= +4,8mag (m_1)
t	= +1985 11 15,000 ET
$(t-T_p)$	= -86,444d
M	= -1,121 0°
E	= -20,814 7° (5.Iteration)
v	= -109,849 2°
r	= 1,719 85 AE
l	= 56,746°
b	= +0,614
L	= 52,577°
R	= 0,989 15 AE) VSOP 82
ϵ	= 23,441°
α	= 3h59,9m
δ	= 22°02'
Δ	= 0,736 97 AE
m	= +6,5mag

Zu VSOP 82: Saturn und Sonne

1744f →

t	= +1985 01 10,000 ET
l	= 242,176° Nur wenige der ge-
b	= +1,944° gebenen Störungs-
r	= 9,974 27 AE terme verwendet!
L	= 109,449°
R	= 0,98341 AE
ϵ	= 23,441°
α	= 16h18m03s (16h18m05s)
δ	= -19°31'47" (-19°32'06")
Δ	= 10,665 66 AE (10,664 51 AE)
Φ	= 3,886°
m	= +0,8mag

Zu Raummodell Komet P/Halley

	+1910	+2061
T_p	= +1910 04 20,178	+2061 07 29,133 ET
ω	= 111,702° (T_p)	112,085° (T_p)
Ω	= 57,278° "	60,286° "
i	= 162,213° "	161,966° "
q	= 0,58 719 AE	0,592 79 AE
e	= 0,967 30	0,966 57
H_{10}	= +4,6mag (m_1)	+5,0mag

Das beigegefügte Raummodell gibt eine lehrreiche Übersicht über den Ablauf der Wiederkehren +1910, +1986, +2061.

9. Elementenkataloge: B.G.Marsden, Cometary Orbits. SAO, Cambridge.
Ephemeriden Kleiner Planeten. ITA, Leningrad.



Gastvortrag: Die Planetentheorie VSOP 82 von Bretagnon.

1982 legte Pierre Bretagnon (Bureau des Longitudes, Paris) eine neue analytische Theorie der Bewegung der acht großen Planeten - Merkur bis Neptun - vor. Diese Theorie wurde VSOP 82 genannt: "Variations Séculaires des Orbites Planétaires".

Die Theorie von Bretagnon ist nicht direkt aus Beobachtungen abgeleitet, sondern ist an Beobachtungsmaterial angepaßt, das durch das numerische Intergrations-System DE 200 des Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Cal., USA, dargestellt wird. VSOP 82 stellt gegenüber den bisher gebrauchten Theorien von Le Verrier und Newcomb einen echten Fortschritt dar. Beispielsweise wird sie zur Berechnung der Sonnen- und Planetenephemeriden des französischen Jahrbuches "Connaissance des Temps" seit 1984 verwendet.

Im Gegensatz zu den Newcomb'schen Theorien der inneren Planeten gibt die Bretagnon'sche Theorie keine periodischen Terme in den Planetenkoordinaten (heliocentrische Länge und Breite sowie Radiusvektor) selbst, sondern diese periodischen Terme werden in den oskulierenden Elementen gegeben, also jenen, die für den betreffenden Zeitpunkt gelten und somit die "augenblickliche Bahn" darstellen.- Die Unbequemlichkeit dabei ist, daß der Benutzer nicht weiß, wieviele Terme zur Erzielung einer bestimmten Genauigkeit, z.B. 1" in der heliocentrischen Länge, nötig sind.

Sind einmal die oskulierenden Elemente berechnet, kann der Ort des Planeten über die Kepler-Gleichung usw. berechnet werden, ohne noch weitere Störungen berücksichtigen zu müssen.

Die sechs Bahnelemente ("Variable"), welche die Bretagnon'sche Theorie bietet, sind folgende:

- 1) a, die große Halbachse der Bahn
- 2) Λ , die mittlere heliocentrische Länge
- 3) $k = e \cdot \cos \pi$
- 4) $h = e \cdot \sin \pi$
- 5) $q = \sin \frac{i}{2} \cdot \cos \Omega$
- 6) $p = \sin \frac{i}{2} \cdot \sin \Omega$

worin bedeutet:

- e Numerische Exzentrizität der Bahn
- π Heliocentrische Länge des Perihels
- i Bahnneigung
- Ω Heliocentrische Länge des aufsteigenden Knotens

1. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

Für jeden Planeten gibt es mehrere tausend periodischer Terme. Bei Saturn beispielsweise sind es mehr als 13 000. Tatsächlich muß diese Zahl aber verdoppelt werden, denn jedes Argument bringt ein Sinusglied und ein Cosinusglied, mit jeweils verschiedenen Koeffizienten, mit sich. Natürlich können, wenn nicht äußerste Genauigkeit nötig ist, kleine Terme weggelassen werden.

Für jede Variable jedes Planeten werden die periodischen Terme in mehreren Gruppen aufgeführt. Die Terme dieser Gruppen müssen mit Potenzen des Zeitintervalls T multipliziert werden, also mit $T^0=1$, T , T^2 , T^3 , usw.- Die Zählung von T erfolgt in Einheiten von Jahrtausenden zu 365 250 Tagen von der neuen Standarddepoche

J2000 = +2000 Jan.1,5 ET = Julianische Tagnummer 2 451 545,0 ET und somit wird

$$T = (\text{Julianische Tagnummer} - 2\,451\,545) / 365\,250$$

Jedes Argument der periodischen Terme ist eine Linearkombination der mittleren Längen der Planeten. VSOP 82 wurde so aufgebaut, daß die mittleren Längen, die zur Berechnung der periodischen Terme erforderlich sind, lineare Funktionen der Zeit sind. Diese mittleren Längen L_i sind auf feste Ekliptik und Äquinoktium +2000,0 bezogen und drücken sich, in Bogenmaß (Rad), folgendermaßen aus:

TABELLE 1 - MITTLERE HELIOZENTRISCHE LÄNGEN DER PLANETEN

Merkur	$L_1 = 4,402\,608\,8 + 26\,087,903\,141\,6 \cdot T$
Venus	$L_2 = 3,176\,146\,7 + 10\,213,285\,546\,2 \cdot T$
Erde	$L_3 = 1,753\,470\,3 + 6\,283,075\,849\,2 \cdot T$
Mars	$L_4 = 6,203\,480\,9 + 3\,340,612\,431\,5 \cdot T$
Jupiter	$L_5 = 0,599\,546\,5 + 529,690\,965\,1 \cdot T$
Saturn	$L_6 = 0,874\,016\,8 + 213,299\,095\,4 \cdot T$
Uranus	$L_7 = 5,481\,293\,9 + 74,781\,598\,6 \cdot T$
Neptun	$L_8 = 5,311\,886\,3 + 38,133\,035\,6 \cdot T$

Die mittleren Bahnelemente der Planeten, bezogen auf das mittlere Äquinoktium des Datums, stellen sich in einer für Zwecke dieses Seminars abgekürzten Form wie folgt dar, wobei a in AE, Λ in Bogenmaß (Rad) angegeben und k, h, q, p dimensionslos sind. Es gilt:

$$\text{Element} = C_0 + C_1 \cdot T + C_2 \cdot T^2 + C_3 \cdot T^3 + C_4 \cdot T^4$$

2.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

TABELLE 2 - MITTLERE BAHNELEMENTE DER PLANETEN

	C0	C1	C2	C3
Merkur				
a	+0,387 098 3			
Δ	+4,402 608 8	+26 088,147 071 1	+0,000 530 52	+0,000 000 31
k	+0,044 660 6	-0,054 483 5	-0,001 806 31	+0,000 663 19
h	+0,200 723 3	+0,012 331 5	-0,007 374 09	-0,000 185 00
q	+0,040 615 6	-0,009 342 4	-0,000 919 44	+0,000 065 19
p	+0,045 635 5	+0,008 527 1	-0,000 955 46	-0,000 067 14
Venus				
a	+0,723 329 8			
Δ	+3,176 146 7	+10 213,529 430 5	+0,000 542 11	+0,000 000 25
k	-0,004 492 8	-0,000 923 1	+0,000 225 04	-0,000 001 44
h	+0,005 066 8	-0,001 456 9	-0,000 058 48	+0,000 022 57
q	+0,006 824 1	-0,004 512 9	-0,000 118 43	+0,000 017 77
p	+0,028 822 9	+0,001 158 5	-0,000 349 20	-0,000 008 78
Erde				
a	+1,000 001 0			
Δ	+1,753 470 3	+6 283,319 666 7	+0,000 530 02	+0,000 000 37
k	-0,003 740 8	-0,004 793 1	+0,000 281 13	+0,000 073 83
h	+0,016 284 5	-0,001 532 4	-0,000 720 17	+0,000 032 30
q	0			
p	0			
Mars				
a	+1,523 679 3			
Δ	+6,203 480 9	+3 340,856 279 0	+0,000 542 75	+0,000 000 27
k	+0,085 365 6	+0,013 005 1	-0,004 287 38	-0,000 259 84
h	-0,037 899 7	+0,027 062 8	+0,002 245 68	-0,000 451 83
q	+0,010 470 4	-0,001 689 4	-0,000 082 81	+0,000 003 61
p	+0,012 284 5	+0,001 371 0	-0,000 107 36	-0,000 002 60
Jupiter				
a	+5,202 603 2	+0,000 001 9		
Δ	+0,599 546 5	+529,934 807 5	+0,000 390 50	+0,000 000 44
k	+0,046 985 7	+0,001 796 9	-0,002 042 14	-0,000 040 26
h	+0,012 003 9	+0,013 628 6	+0,000 042 60	-0,000 210 83
q	-0,002 065 6	-0,001 905 7	+0,000 108 27	+0,000 008 93
p	+0,011 183 8	-0,000 839 7	-0,000 159 49	+0,000 007 92

3. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

Fortsetzung Tabelle 2 - Mittlere Bahnelemente der Planeten

	C0	C1	C2	C3
Saturn				
a	+9,554 909 6	-0,000 021 4		
Λ	+0,874 016 8	+213,542 956 3	+0,000 906 73	-0,000 000 06
k	-0,002 960 0	-0,018 813 1	+0,001 283 28	+0,000 384 81
h	+0,055 429 6	-0,004 477 8	-0,003 261 14	+0,000 200 07
q	-0,008 717 5	-0,002 914 2	+0,000 157 35	+0,000 012 38
p	+0,019 891 5	-0,001 633 0	-0,000 223 32	+0,000 011 19
Uranus				
a	+19,218 446 1	-0,000 000 4	+0,000 000 10	
Λ	+5,481 293 9	+75,025 431 1	+0,000 531 17	+0,000 000 45
k	-0,045 951 3	-0,001 191 3	+0,001 544 94	+0,000 011 21
h	+0,005 637 9	-0,011 954 1	-0,000 135 57	+0,000 132 03
q	+0,001 859 2	-0,000 571 3	-0,000 019 75	-0,000 004 99
p	+0,006 486 2	+0,000 234 1	+0,000 010 66	-0,000 001 19
Neptun				
a	+30,110 386 9	-0,000 001 7	+0,000 000 07	
Λ	+5,311 886 3	+38,376 877 2	+0,000 539 77	+0,000 000 31
k	+0,005 999 8	-0,001 623 2	-0,000 202 25	+0,000 014 84
h	+0,006 692 4	+0,001 541 2	-0,000 192 80	-0,000 018 03
q	-0,010 291 5	-0,001 674 3	+0,000 305 83	+0,000 005 68
p	+0,011 516 8	-0,002 585 4	-0,000 118 27	+0,000 023 74

Nun sind die periodischen Terme, die "Störungsterme" in diesen Elementen zu behandeln; wir müssen uns hier auf die allerersten, die allerwichtigsten, beschränken und geben sie an. In a (Variable 1) sind sie in AE, in Λ (L, Variable 2) in Bogenmaß (Rad) gegeben; in k, h, q, p (Variable 3, 4, 5, 6) sind sie dimensionslos. Der Hinweis NEWTONIAN bedeutet, daß diese Terme in Übereinstimmung mit dem Newton'schen Gravitationsgesetz berechnet worden sind. In VSOP 82 gibt es auch relativistische, meist sehr kleine Terme, die aber hier unbeachtet bleiben können. Es kommen jeweils bis zu 4 Gruppen vor, die sich durch die Potenz von T, mit der die Termsumme jeder Gruppe zu multiplizieren ist, unterscheiden: T**0, T**1, T**2, T**3 bedeutet jeweils $T^0=1, T^1, T^2, T^3$. Jede Zeile der Tabelle 3 beginnt mit der Zeilennummer (1 trägt oft nichts bei), auf die 8 ganze Zahlen folgen: Die Faktoren, mit denen die Längen Li aus

4. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

Tabelle 2 zu multiplizieren sind. Diese Produkte geben in ihrer Summe das Störungsargument. Beispielsweise findet sich bei Saturn, Variable 2 L (=Λ), T**0, Zeile Nr.2, die Angabe

2 0 0 0 0 2 -5 0 0 0 0 0 0 0,01394456560 0,00219676684

in der eine 2 an i=5.Stelle und eine -5 an i=6.Stelle steht. Das Argument der Terme Nr.2 lautet daher (2.L5 - 5.L6). Die beiden folgenden, auf 11 Dezimalen gegebenen Zahlen sind die Koeffizienten, mit deren erstem der Sinus und mit deren zweitem der Cosinus des Argumentes zu multiplizieren ist. Die Zeile Nr.2 bietet also die beiden folgenden Terme:

+0,013 944 565 60 · sin (2·L5 - 5·L6)
+0,002 196 766 84 · cos (2·L5 - 5·L6)

Alle Terme der T**0=1 - Gruppe sind zu addieren und die Summe mit T**0=1 zu multiplizieren; analog wird mit den Termen der T**1 = T^1 = T-Gruppe verfahren, usw.- Die Summe aller Gruppen wird zum Wert der betreffenden Variablen aus Tabelle 2 addiert und ergibt so deren Wert für die oskulierende, "augenblickliche" Bahn. Damit sind die Störungen in hier ausreichender Weise berücksichtigt.

TABELLE 3 - STÖRUNGSTERME

Geordnet nach fallender Summe der Absolutbeträge der Sinus- und Cosinus-Koeffizienten und in jenem Umfang gegeben, daß das Endergebnis der Störung in a sowie k,h,q,p auf einige Einheiten der 5. Dezimale, jenes der Störung in L (=Λ) auf einige Einheiten der 3. Dezimale (Rad) bzw. auf einige Einheiten der 2.Dezimale (°) genau erhalten wird.

Table with 2 main sections: 'Merkur' and 'VSOP82 MERCURE VARIABLE 3 K NEWTONIAN'. Each section has 2 rows of data with columns for coefficients and values.

Table with 2 main sections: 'Venus' and 'VSOP82 VENUS VARIABLE 3 K NEWTONIAN'. Each section has 6 rows of data with columns for coefficients and values.

5. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Venus

VSOP82	VENUS	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	-3	0	0	0	0	0	0
3	0	1	-2	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	-2	0	0	0	0
6	0	3	-4	0	0	0	0	0	0

Erde

VSOP82	TERRE	VARIABLE	3 K	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	-3	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	-2	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	1	-2	0	0	0	0	0	0

VSOP82	TERRE	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	-3	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	-2	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	1	-2	0	0	0	0	0	0

Mars

VSOP82	MARS	VARIABLE	1 A	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	-2	0	0	0	0
3	0	0	0	1	-2	0	0	0	0
4	0	0	1	-2	0	0	0	0	0
5	0	0	0	3	-3	0	0	0	0
6	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
7	0	1	0	-1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	2	-3	0	0	0	0
9	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
10	0	0	2	-4	0	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	1 A	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	1	-2	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	2 L	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	4	-8	3	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	3 K	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	-2	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	2	0	0	0	0
5	0	0	1	-2	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	-3	0	0	0	0
7	0	0	2	-4	0	0	0	0	0
8	0	0	0	2	-3	0	0	0	0
9	0	0	0	3	-2	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	2	-3	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	3 K	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	-2	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	2	0	0	0	0
5	0	0	1	-2	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	-3	0	0	0	0
7	0	0	0	2	-3	0	0	0	0
8	0	0	2	-4	0	0	0	0	0
9	0	0	0	3	-2	0	0	0	0
10	0	0	2	-3	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0	0	0	0

VSOP82	MARS	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0

Jupiter

VSOP82	JUPITER	VARIABLE	1 A	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2	-2	0	0	0
3	0	0	0	0	1	-2	0	0	0
4	0	0	0	0	3	-3	0	0	0
5	0	0	0	0	2	-3	0	0	0
6	0	0	0	0	2	-5	0	0	0
7	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
8	0	0	0	0	3	-4	0	0	0

6.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Jupiter

9	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000250267	0.00014630965
10	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00005752107	-0.00003439970
11	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0.00005921575	-0.00002787902
12	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000016	0.00007800378
13	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00004802018	-0.00002665750
14	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00000242693	0.00007012767
15	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000001946	0.00007170005
16	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00003267275	-0.00001964197
17	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0.00002816075	-0.00001437267
18	0	0	0	0	6	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00000197413	0.00003398126
19	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0	0	-0.00001843469	-0.00001124446
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000803358	-0.00001979855
21	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0	0.00001690979	-0.00000881939
22	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0	0	-0.00000450586	0.00002050039
23	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00000418357	0.00001575340
24	0	0	0	0	7	-7	0	0	0	0	0	0	-0.00000145872	0.00001655539
25	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	-0.00000865136	-0.00000812575
26	0	0	0	0	7	-8	0	0	0	0	0	0	-0.00001029858	-0.00000643887
27	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-0.00001170122	-0.00000493072
28	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	0	0.00001050456	-0.00000607742
29	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000225212	0.00001293452
30	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000307072	0.00001060151
31	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000868060	-0.00000288855
32	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	0	0.00000185122	-0.00000956339
33	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	0	0	0.00000469222	-0.00000405829
34	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0.00000130148	0.00000880151
35	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000534205	-0.00000444403
36	0	0	0	0	8	-9	0	0	0	0	0	0	-0.00000969715	-0.00000367867
37	0	0	0	0	8	-8	0	0	0	0	0	0	-0.00000101265	0.00000807936
38	0	0	0	0	6	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00000206107	0.00000666367
39	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	0.00000000919	0.00000805974
40	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	0	0.00000141761	-0.00000652659
41	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000532872	-0.00000212973
42	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000000233	0.00000713818
43	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0	0.00000377358	0.00000436173
44	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	-0.00000307275	0.00000388470
45	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0	0	0	0.00000424380	-0.00000255432
46	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00000044217	0.00000592681
47	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000000680	0.00000629494
48	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0.00000066928	0.00000549260

VSOP82	JUPITER	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000	
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0.00009777984	0.00002823942
2	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0.00001696195	-0.00002291845
3	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00002208881	-0.00001795350
4	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0.00001032025	-0.00001237807
5	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000536681	0.00001676342
6	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00000536782	-0.00000814970
7	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0.00000587620	-0.00000697025
8	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0.00000273826	0.00000810596
9	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0.00000337328	-0.00000393063
10	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0.00000500502	-0.00000154680
11	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0.00000164249	0.00000489965
12	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	-0.00000364378	-0.00000167170
13	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0.00000367722	0.00000117916
14	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0.00000340387	-0.00000397946
15	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0.00000119783	0.00000306289
16	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0.00000193947	-0.00000220192
17	0	0	0	0	0	2	0	0	0	-0.00000073012	0.00000333016
18	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	-0.00000204443	0.00000177227
19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00000190713	-0.00000156484
20	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0.00000249643	0.00000086806
21	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0.00000152905	0.00000149815
22	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	-0.00000149655	-0.00000144510
23	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	-0.00000154745	0.00000136233
24	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	-0.00000233773	-0.0000052750
25	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0.00000091411	0.00000195927
26	0	0	0	0	1	1	0	0	0	-0.00000038114	0.00000236144
27	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0.00000212333	-0.00000056629
28	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0.00000121278	0.00000119306
29	0	0	0	0	7	-8	0	0	0	0.00000111266	-0.00000121865
30	0	0	0	0	6	-10	0	0	0	-0.00000111760	0.00000098124
31	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0.00000149392	0.00000056890
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
33	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0.00000053977	0.00000124440
34	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-0.00000025992	0.00000141350
35	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0.00000082671	0.00000082724
36	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0.00000126664	-0.00000030860
37	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	-0.00000019144	-0.00000135206

VSOP82	JUPITER	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	*T**2	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000	
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	-0.00000843562	0.00001923539
2	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0.00000130390	0.00000165832
3	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	-0.00000241639	0.00000039465
4	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00000098000	0.00000136434
5	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0.00000085426	-0.00000129722
6	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0.00000066827	0.00000096013
7	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00000092608	0.00000061750
8	0	0	0	0	0	3	0	0	0	-0.00000043970	-0.00000098353
9	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	-0.00000117928	0.00000018423
10	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	-0.00000034487	0.00000072004
11	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	-0.00000040335	-0.00000061941
12	0	0	0	0	1	2	0	0	0	-0.00000028235	-0.00000056789
13	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0.00000035903	0.00000057788
14	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	-0.00000071705	0.00000009441
15	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	-0.00000030806	-0.00000047206

7. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Jupiter

16	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	-0.00000025270	0.00000048545
17	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0.00000067916	-0.00000000817
18	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0.00000012227	-0.00000046140
19	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0.00000034951	-0.00000028740
20	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	-0.00000016550	-0.00000041973
21	0	0	0	0	6	-10	0	0	0	0	0	-0.00000022023	-0.00000034220
22	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	-0.00000045392	0.00000008350
23	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0	0.00000018668	0.00000034895
24	0	0	0	0	8	-2	0	0	0	0	0	0.00000047755	0.00000002051
25	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	0.00000049241	0.00000000379
26	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0.00000046396	-0.00000000349
27	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0	-0.00000016371	0.00000028823
28	0	0	0	0	7	-11	0	0	0	0	0	-0.00000014834	-0.00000023661
29	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	0	-0.00000029326	0.00000005795
30	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0.00000033865	0.00000000534
31	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	-0.00000009161	-0.00000025111
32	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	0	0.00000031839	0.00000000494
33	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0	0.00000009642	0.00000021059
34	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	0.00000029421	-0.00000000866
35	0	0	0	0	7	-10	0	0	0	0	0	-0.00000010107	0.00000015766
36	0	0	0	0	8	-12	0	0	0	0	0	-0.00000009512	-0.00000015749
37	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	-0.00000010025	-0.00000014975
38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000010442	0.00000013674
39	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	0.00000022082	-0.00000000737
40	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0	0	-0.00000018820	0.00000003852
41	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000021095	0.00000000993
VSOP82 JUPITER VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	-0.00000024482	0.00000000000
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0.000000051819	0.00000027987
3	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000000506	-0.00000022663
4	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	-0.00000012572	0.00000007700
5	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0.00000012352	-0.00000005595
6	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	-0.00000009031	-0.00000006369
7	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	-0.00000010250	0.00000003440
8	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	0	0.00000009478	-0.00000004196
9	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	-0.00000008828	0.00000004919
10	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	-0.00000005993	0.00000006995
11	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	-0.00000001426	0.00000010467
12	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000000667	-0.00000011175
13	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	-0.00000007958	0.00000003090
14	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	-0.00000005995	-0.00000004684
15	0	0	0	0	6	-10	0	0	0	0	0	0.00000006699	-0.00000002938
16	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0.00000005865	0.00000003586
17	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0.00000003453	0.00000005597
18	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	-0.00000005428	0.00000002668
19	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0.00000000792	-0.00000006833
20	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	-0.00000006250	0.00000001250
21	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	-0.00000000818	0.00000006679
22	0	0	0	0	7	-11	0	0	0	0	0	0.00000004784	-0.00000001926
23	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0	-0.00000003499	-0.00000000303
24	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	-0.00000000630	0.00000005019
25	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000000734	-0.00000004330
26	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	-0.00000003267	0.00000001583
27	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0.00000003127	-0.00000001644
28	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	0.00000000295	-0.00000004408
VSOP82 JUPITER VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**4 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00000020098	-0.00000022326
VSOP82 JUPITER VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	-0.00566520836	-0.00089235042
3	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0.00061651695	-0.00009023546
4	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	-0.00032250085	0.00000266758
5	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-0.00023786377	0.00000478257
6	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0.000007633579	-0.00011002622
7	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	-0.00011730584	0.00000011428
VSOP82 JUPITER VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00064608881	-0.00219565099
VSOP82 JUPITER VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00043103277	0.00019271697
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	-0.00001434597	-0.00000948424
VSOP82 JUPITER VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	-0.000003520953	0.00005464241
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0.00000312060	-0.00000351764
VSOP82 JUPITER VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**4 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	-0.0000491064	-0.00000455085
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0.00000062982	0.00000077468
VSOP82 JUPITER VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	-0.00000434708	0.00065285562
3	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	-0.00034435270	0.00016083469
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0.00010802139	0.00008128460
5	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0.00000008364	0.00010740407
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	-0.00005509354	-0.00003438791
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000347631	-0.00003213453
8	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0.00000077980	0.00003765050
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000167793	-0.00002954483
10	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00001754822	-0.00001030456

8.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82. Tabelle 3.

Jupiter

11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000341766	0.00001714088
12	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0.00000053014	0.00001557276
13	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	-0.00000034275	0.00001471775
14	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	-0.00000055862	-0.00000458486
15	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0.000000703109	-0.00000358955
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000000064	0.00001038475
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.000000000570	0.00000962940
18	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.000000647364	0.00000265660
19	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0.00000139673	-0.00000748581
20	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0.000000685930	-0.00000190717
21	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	-0.00000039125	0.00000830509
22	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0.00000033197	0.00000666821
23	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	-0.00000400308	-0.00000284927
24	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	-0.00000075709	-0.00000580494

VSOP82 JUPITER VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	-0.000003075536	-0.000009834200
3	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.000001530856	0.00001252649
4	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0.00000580070	-0.00000681224
5	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0.00000067658	0.00000472776
6	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0.00000167652	-0.00000219465
7	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0.00000287942	0.00000091727
8	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00000082612	-0.00000219775
9	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00000220000	0.00000072784
10	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0.00000070791	0.00000201144
11	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.00000049883	-0.00000180447
12	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0.00000101494	-0.00000084043
13	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0.00000073044	-0.00000101291
14	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0.00000075580	0.00000083609
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00000024245	0.00000130673

VSOP82 JUPITER VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00001428373	-0.00000202081
3	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00000045172	-0.00000174045
4	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	-0.00000163130	0.00000011505
5	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0.00000000653	-0.00000005261
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0.000000036930	0.00000055215
7	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	-0.00000027094	0.00000056333
8	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0.00000018999	0.00000010610
9	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	-0.00000015780	-0.00000024067
10	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	-0.00000029142	0.00000005248
11	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-0.00000002870	-0.00000028235
12	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0.00000025844	-0.00000003216
13	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0.00000002511	0.00000005271
14	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	-0.00000007089	0.000000014887
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00000020687	0.00000000739

VSOP82 JUPITER VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	-0.00000009593	0.00000135255
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0.00000004981	-0.00000036811
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.000000015731	0.00000003680
5	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	-0.00000007115	-0.00000004988
6	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	-0.00000006102	0.00000002548
7	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0.00000004355	-0.00000102153

VSOP82 JUPITER VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.000064261110	0.00001479520
3	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	-0.00016040679	-0.00034105272
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00006790816	0.0001128760
5	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	-0.00010463004	0.00000033656
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0.00003332743	-0.00005466305
7	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-0.00007890724	-0.00000611597
8	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	-0.00003748473	-0.00000072769
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00002037893	-0.00000155852
10	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0.00001072348	-0.00001726988
11	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0.00000790299	-0.000000910427
12	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	-0.00001577836	-0.00000085591
13	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00001173131	0.00000435947
14	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0.000041500328	-0.00000065522
15	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0.00000497739	-0.00000788261
16	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0.00000344551	0.00000711716
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00001038160	0.00000000065
18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000982483	-0.00000000035
19	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	-0.00000516705	-0.000000460336
20	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.00000276842	-0.00000646403
21	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0.00000746146	0.00000132346
22	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0.00000188708	0.00000682129
23	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	0.00000040956	-0.00000023388
24	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	-0.000000711771	-0.00000070995
25	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0.00000217723	-0.00000401295
26	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	-0.00000476803	0.00000138436
27	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	-0.00000514939	-0.00000093732

VSOP82 JUPITER VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00009681265	-0.00003096601
3	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00001487050	-0.00000751593
4	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0.00000676220	0.00000536412
5	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	-0.00000469210	0.00000066097
6	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0.00000208376	0.00000184009
7	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	-0.00000087673	0.00000286924
8	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00000281199	0.00000072372
9	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	-0.00000205284	0.00000062873

9.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Jupiter

10	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000180639	-0.00000055204
11	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000084769	0.00000099479
12	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000093436	0.00000088196
13	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000137005	-0.00000011945
14	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000068013	-0.00000078230
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000124402	-0.00000020529
VSOP82 JUPITER VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000218521	0.00001392619
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000146	-0.000000161790
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000021173	-0.000000112780
5	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000046273	0.00000038168
6	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000056170	-0.00000025942
7	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000029873	0.00000019376
8	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000023683	-0.00000015371
9	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000003023	-0.00000030054
10	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000004546	0.00000025967
VSOP82 JUPITER VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000131626	-0.00000005751
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000035380	0.00000005510
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000002205	-0.00000003736
5	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000004764	-0.00000007065
6	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000002718	-0.00000005910
7	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000002114	0.00000004732
VSOP82 JUPITER VARIABLE 5 Q NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000000750700	0.00000412451
VSOP82 JUPITER VARIABLE 6 P NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000000334187	-0.000006782894

Saturn

VSOP82 SATURNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000003436390	0.03363446980
3	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00222937739	0.05275615018
4	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00044004199	0.00285693096
5	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00011647970	-0.00308241590
6	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00125946288	0.00081310182
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00107876379	-0.00095469183
8	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00036422562	0.00142227275
9	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000646698	-0.00142073546
10	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00052833946	0.00037964021
11	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00080983754	0.00011679772
12	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00049301066	0.00022720221
13	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001191689	-0.00067149835
14	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00032967413	0.00019788831
15	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00005795591	-0.00039953998
16	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00006993652	0.00037209030
17	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001093093	-0.00032177872
18	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00021809606	0.00011099106
19	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00017845876	0.00010801139
20	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000069	0.00018549188
21	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00012976258	0.00004839814
22	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000013377	0.00017342289
23	0	0	0	0	6	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000086082	-0.00015579911
24	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00009842434	0.00006016365
25	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0.00000087755	0.00013277458
26	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00005343563	0.00007251626
27	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00006850945	0.00003776006
28	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00007280618	-0.00002303941
29	0	0	0	0	7	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00005380075	0.00003366253
30	0	0	0	0	7	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000662445	-0.00007587776
31	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001723792	-0.00005129167
32	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00004128321	0.00002368605
33	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001190374	-0.00005064284
34	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001137885	-0.00005011592
35	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00004112347	0.00002011092
36	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002189390	0.00003726964
37	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0.00004828990	-0.00000878283
38	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000567191	-0.00005070345
39	0	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000052784	0.00005415478
40	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0.00004823080	0.00007012667
41	0	0	0	0	8	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00002927573	0.00001890078
42	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000781086	-0.00003759289
43	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002304692	-0.00002090888
44	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000560014	-0.00003924689
45	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	0	0.00001487527	-0.00002823220
46	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002725294	0.00001262191
47	0	0	0	0	8	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000459935	-0.00003702166
48	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00002787314	0.00001208759
49	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002504836	0.00001478446
50	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000066953	0.00003519431
51	0	0	0	0	6	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000702481	-0.00002476497
52	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001671750	-0.00001477675
53																

10. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

56	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000385337	0.00002100130
57	0	0	0	0	9	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00001583193	0.00001063211
58	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0.00000764877	0.00001713353
59	0	0	0	0	8	-10	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001519491	0.00000912681
60	0	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000054127	0.00002317657
61	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0	0.00000795306	-0.00001525836
62	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0.00001705156	-0.00000448322
63	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0	-0.00000344001	0.00001779589
64	0	0	0	0	6	-10	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001121077	-0.00000991504
65	0	0	0	0	9	-9	0	0	0	0	0	0	0	0.00000305582	-0.00001804858
66	0	0	0	0	7	-6	0	0	0	0	0	0	0	0.00000469762	-0.00001539894
67	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001302156	-0.00000578542
68	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000420972	0.00001308262
69	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000001044	0.00001634104
70	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000141659	-0.00001493155
71	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000003717	0.00001549886
72	0	0	0	0	9	-11	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000918326	0.00000556035
73	0	0	0	0	10	-11	0	0	0	0	0	0	0	0.00000850032	0.00000598613
74	0	0	0	0	4	-2	0	0	0	0	0	0	0	0.00001102611	0.00000305703
75	0	0	0	0	7	-11	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000732392	-0.00000659294
76	0	0	0	0	8	-7	0	0	0	0	0	0	0	0.00000301218	-0.00000922700
77	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00000932223	-0.00000289549
78	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0	0.00000418160	-0.00000801548
79	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001063777	-0.00000058863
80	0	0	0	0	10	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00000196384	-0.00000877091
81	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00000044908	0.00001009819
82	0	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000982542	-0.00000055161
83	0	0	0	0	5	-11	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000237183	0.00000788716
84	0	0	0	0	7	-10	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000282602	0.00000721315
85	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000558926	0.00000360993
86	0	0	0	0	8	-12	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000465601	-0.00000426858
87	0	0	0	0	10	-12	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000552030	0.00000333996
88	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	0	0	0.00000656307	-0.00000184329
89	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000231743	-0.00000562235
90	0	0	0	0	5	-3	0	0	0	0	0	0	0	0.00000723554	0.00000069449
91	0	0	0	0	0	3	0	-3	0	0	0	0	0	0.00000002351	0.00000789748
92	0	0	0	0	11	-12	0	0	0	0	0	0	0	0.00000345276	0.00000337092
93	0	0	0	0	9	-9	0	0	0	0	0	0	0	0.00000187500	-0.00000537947
94	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0.00000637682	0.00000074162
95	0	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0	0	0.00000518079	0.00000144162
VSOP82 SATURNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN														*T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	-0.00110591387	-0.00031926589
2	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	0	-0.00013012958	0.00015810760
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00012653550	-0.00014699844
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002967464	0.000017716424
5	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	0	0.00015921642	0.00004399313
6	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	0	-0.00014238841	-0.00004538284
7	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	-0.00004385750	-0.000013866017
8	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0	0	-0.00006408919	0.00007673704
9	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002994608	-0.00007588063
10	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00006640791	0.00003354644
11	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002119277	-0.00006266881
12	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0	0	-0.00003378365	0.000003994762
13	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00003884312	0.00001885279
14	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000605337	-0.00003728660
15	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001842993	0.00002128589
16	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0	0.00000249545	0.00003423240
17	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000723823	-0.00001990654
18	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001951953	0.00000690730
19	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0	0	0.00001321752	-0.00001084589
20	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001036537	0.00001175713
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
22	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00001534188	0.00000433560
23	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	0	0	0	0.00000906633	-0.00000782337
24	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000461281	-0.00001204601
25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000299312	-0.00000128980
26	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0	0.00000154711	0.000001166497
27	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000957123	-0.00000291479
28	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000972347	0.00000253976
29	0	0	0	0	7	-8	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000581522	0.00000636597
30	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0	0	0.00000400174	-0.00000747180
31	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000818002	-0.00000321611
32	0	0	0	0	6	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00000604738	-0.00000522769
33	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000791985	-0.00000319032
34	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0.00000729690	-0.00000361817
35	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000291101	-0.00000732475
36	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00000585153	0.00000365354
37	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000155130	-0.00000791765
38	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0.00000173833	-0.00000698153
39	0	0	0	0	5	-11	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000600535	-0.00000270969
40	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-0.00000313955	0.00000483598
41	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000487997	0.00000290759
42	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000362065	-0.00000404578
43	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	0	0	0.00000108718	0.00000644592
44	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000364859	-0.00000383619
45	0	0	0	0	7	-11	0	0	0	0	0	0	0	0.00000401152	-0.00000339482
46	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000592197	0.00000142380
47	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000488838	-0.00000220105
48	0	0	0	0	8	-9	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000327084	0.00000342474
49	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0	-0.00000361979	-0.00000304355
50	0	0	0	0	8	-10	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000180876	-0.00000444836
51	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000164427	0.00000435602
52	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.00000061324	0.00000488126
53	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000277349	-0.00000289863
54	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	0	0	0.00000059701	0.00000452820

11. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

55	0	0	0	0	8-12	0	0	0	0	0	0.00000259181	-0.00000215050
56	0	0	0	0	7-10	0	0	0	0	0	-0.00000265479	-0.00000140047
57	0	0	0	0	6-5	0	0	0	0	0	-0.00000185041	-0.00000195672
58	0	0	0	0	9-11	0	0	0	0	0	-0.00000110478	-0.00000268972
59	0	0	0	0	4-11	3	0	0	0	0	-0.00000170054	-0.00000202803
60	0	0	0	0	9-10	0	0	0	0	0	-0.00000184200	0.00000182635
61	0	0	0	0	7-12	0	0	0	0	0	0.00000056530	0.00000300328
62	0	0	0	0	4-2	0	0	0	0	0	0.00000030375	-0.00000319893
63	0	0	0	0	4-1	0	0	0	0	0	-0.00000275270	0.00000071212
64	0	0	0	0	5-12	0	0	0	0	0	0.00000115147	-0.00000198850
65	0	0	0	0	9-13	0	0	0	0	0	0.00000163709	-0.00000130785
66	0	0	0	0	3-9	0	0	0	0	0	0.00000166313	0.00000110144
67	0	0	0	0	0-2	-3	0	0	0	0	-0.00000075796	0.00000190316
68	0	0	0	0	8-13	0	0	0	0	0	0.00000040767	0.00000208495
69	0	0	0	0	7-6	0	0	0	0	0	-0.00000115367	-0.00000124326
70	0	0	0	0	10-12	0	0	0	0	0	-0.00000066273	-0.00000161679
71	0	0	0	0	5-2	0	0	0	0	0	-0.00000192764	0.0000033458
72	0	0	0	0	8-11	0	0	0	0	0	-0.00000130112	-0.00000086971
73	0	0	0	0	5-3	0	0	0	0	0	0.00000045113	-0.00000212335
74	0	0	0	0	10-11	0	0	0	0	0	-0.00000103786	0.00000096391
75	0	0	0	0	10-14	0	0	0	0	0	0.00000101403	-0.00000077381
76	0	0	1	0	0-2	0	0	0	0	0	0.00000070994	-0.00000300530
77	0	0	0	0	9-14	0	0	0	0	0	0.00000028239	0.00000142400
78	0	1	0	0	0-2	0	0	0	0	0	0.00000065667	-0.00000092854
79	0	0	0	0	1-5	0	0	0	0	0	0.00000098424	-0.00000058335
80	0	0	0	0	6-4	0	0	0	0	0	-0.00000005817	-0.00000340322
81	0	0	0	0	8-7	0	0	0	0	0	-0.00000048800	-0.00000075904
82	0	0	0	0	6-15	0	0	0	0	0	-0.00000082934	-0.00000061541
83	0	0	0	0	0-3	-4	0	0	0	0	-0.00000039098	0.00000077146
84	0	0	0	0	11-13	0	0	0	0	0	-0.00000039023	-0.00000096557
85	0	0	0	0	3-7	3	0	0	0	0	-0.00000049936	-0.00000055008
86	0	0	0	0	4-4	0	0	0	0	0	-0.00000024251	0.00000100373
87	0	0	0	0	0-2	-4	0	0	0	0	0.00000057580	-0.00000056325
88	0	0	0	0	5-12	3	0	0	0	0	0.00000051794	0.00000069717
89	0	0	0	0	6-3	0	0	0	0	0	-0.00000108538	0.00000012698
90	0	0	0	0	1-5	3	0	0	0	0	0.00000063768	0.00000056144
91	0	0	0	0	3-3	0	0	0	0	0	-0.00000014943	0.00000100703
VSOP82 SATURNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	2-5	0	0	0	0	0	0.000009539853	-0.000021754469
2	0	0	0	0	3-6	0	0	0	0	0	-0.00001354233	0.00003047491
3	0	0	0	0	1-4	0	0	0	0	0	0.00001276757	-0.00002789200
4	0	0	0	0	1-3	0	0	0	0	0	-0.00002306892	-0.00000530057
5	0	0	0	0	4-10	0	0	0	0	0	-0.00000963175	0.00001462809
6	0	0	0	0	2-4	0	0	0	0	0	0.00001995180	-0.00000323223
7	0	0	0	0	2-3	0	0	0	0	0	-0.00000902830	-0.00001127047
8	0	0	0	0	0-1	0	0	0	0	0	-0.00000925885	0.00000937735
9	0	0	0	0	1-1	0	0	0	0	0	0.00001756000	-0.00000005740
10	0	0	0	0	3-5	0	0	0	0	0	0.00000911180	-0.00000143992
11	0	0	0	0	3-4	0	0	0	0	0	-0.00000413709	-0.00000595950
12	0	0	0	0	3-7	0	0	0	0	0	-0.00000807212	-0.00000144208
13	0	0	0	0	1-2	0	0	0	0	0	0.00000542839	0.00000384125
14	0	0	0	0	2-1	0	0	0	0	0	0.00000384708	-0.00000363329
15	0	0	0	0	4-8	0	0	0	0	0	0.00000246992	0.00000396196
16	0	0	0	0	4-6	0	0	0	0	0	0.00000535994	0.00000048432
17	0	0	0	0	0-3	0	0	0	0	0	0.00000187663	0.00000381166
18	0	0	0	0	4-5	0	0	0	0	0	-0.00000203000	-0.00000332260
19	0	0	0	0	5-9	0	0	0	0	0	0.00000176687	0.00000274095
20	0	0	0	0	1-2	0	0	0	0	0	0.00000126202	0.00000302464
21	0	0	0	0	4-9	0	0	0	0	0	-0.00000399331	0.0000000201
22	0	0	0	0	5-11	0	0	0	0	0	0.00000142107	-0.00000226956
23	0	0	0	0	3-8	0	0	0	0	0	0.00000221660	0.00000140485
24	0	0	0	0	5-7	0	0	0	0	0	0.00000293600	-0.00000044363
25	0	0	0	0	6-10	0	0	0	0	0	0.00000117076	0.00000184780
26	0	0	0	0	5-6	0	0	0	0	0	-0.00000097611	-0.00000188200
27	0	0	0	0	4-7	0	0	0	0	0	0.00000079723	-0.00000190651
28	0	0	0	0	2-1	0	0	0	0	0	0.00000074243	0.00000191949
29	0	0	0	0	2-2	0	0	0	0	0	-0.00000241847	0.0000020701
30	0	0	0	0	0-4	0	0	0	0	0	-0.00000087156	-0.00000162448
31	0	0	0	0	5-8	0	0	0	0	0	0.00000087528	-0.00000153245
32	0	0	0	0	5-10	0	0	0	0	0	-0.00000222406	0.00000005977
33	0	0	0	0	3-3	0	0	0	0	0	-0.00000224324	-0.00000001547
34	0	0	0	0	6-8	0	0	0	0	0	0.00000179562	-0.00000028556
35	0	0	0	0	1-1	0	0	0	0	0	-0.00000197387	-0.00000002224
36	0	0	0	0	7-11	0	0	0	0	0	0.00000075027	0.00000122612
37	0	0	0	0	6-7	0	0	0	0	0	-0.00000051400	-0.00000012442
38	0	0	0	0	6-11	0	0	0	0	0	-0.00000155604	-0.00000003189
39	0	0	0	0	3-0	0	0	0	0	0	0.00000042467	0.00000115262
40	0	0	0	0	6-9	0	0	0	0	0	0.00000059642	-0.000000093517
41	0	0	0	0	4-4	0	0	0	0	0	-0.00000146452	-0.00000003587
42	0	0	0	0	5-12	0	0	0	0	0	0.00000080550	0.000000068761
43	0	0	0	0	7-9	0	0	0	0	0	0.00000110177	-0.000000017852
44	0	0	0	0	8-12	0	0	0	0	0	0.00000047064	0.00000079368
45	0	0	0	0	2-0	0	0	0	0	0	-0.00000112436	-0.00000002180
46	0	0	0	0	4-11	3	0	0	0	0	0.00000074146	-0.000000038317
47	0	0	0	0	3-9	0	0	0	0	0	-0.00000051270	0.000000060710
48	0	0	0	0	7-12	0	0	0	0	0	-0.00000104049	0.000000003911
49	0	0	0	0	5-5	0	0	0	0	0	-0.00000090196	-0.00000003717
50	0	0	0	0	2-6	3	0	0	0	0	0.00000057043	-0.000000034234
51	0	0	0	0	7-8	0	0	0	0	0	-0.00000024994	-0.000000065866
52	0	0	0	0	6-15	0	0	0	0	0	0.00000043542	-0.000000044922
53	0	0	0	0	7-10	0	0	0	0	0	0.00000037012	-0.00000004925
54	0	0	0	0	4-1	0	0	0	0	0	0.00000025573	0.000000060741
55	0	0	0	0	3-1	0	0	0	0	0	-0.00000028923	-0.000000054929
56	0	0	0	0	0-2	0	0	0	0	0	0.00000063938	0.000000019548
57	0	0	0	0	9-13	0	0	0	0	0	0.00000028129	0.000000050112

12.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

58	0	0	0	0	8-10	0	0	0	0	0	0.00000067481	-0.000000310759
59	0	0	0	0	8-13	0	0	0	0	0	-0.00000072368	0.00000003034
60	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00000003668	-0.00000057636
61	0	0	0	0	6	-6	0	0	0	0	-0.00000053754	-0.00000003395
62	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	-0.00000036447	0.00000019039
63	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00000029120	-0.00000026033
64	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00000012344	-0.00000039375
65	0	0	0	0	9-14	0	0	0	0	0	-0.00000049477	0.00000002073
66	0	0	0	0	8	-9	0	0	0	0	-0.00000011663	-0.00000038502
67	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	-0.00000032312	0.00000017756
68	0	0	0	0	5	-2	0	0	0	0	0.00000011003	0.00000038256
69	0	0	0	0	9-11	0	0	0	0	0	0.00000041137	-0.00000006232
70	0	0	0	0	10-14	0	0	0	0	0	0.00000016206	0.00000030990
71	0	0	0	0	4	-2	0	0	0	0	-0.00000046175	0.00000003997
72	0	0	0	0	8-11	0	0	0	0	0	0.00000022152	-0.00000023688
73	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	0	-0.00000029303	0.00000014054
74	0	0	0	0	6-12	0	0	0	0	0	0.00000014305	-0.00000027694
75	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0.00000011221	0.00000025842
76	0	0	0	0	5-12	3	0	0	0	0	-0.00000024065	0.00000019788
77	0	0	0	0	7	-7	0	0	0	0	-0.00000031739	-0.00000002918
78	0	0	0	0	10-15	0	0	0	0	0	-0.00000033814	0.00000001281
79	0	0	0	0	3-10	3	0	0	0	0	0.00000022574	-0.00000009501
80	0	0	0	0	5	-3	0	0	0	0	-0.00000030799	0.00000000885
81	0	0	0	0	2	-7	0	0	0	0	0.00000026072	0.00000005468
82	0	0	0	0	6	-5	0	0	0	0	-0.00000020938	0.00000008926
83	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	-0.00000017683	-0.00000011088
84	0	0	0	0	10-12	0	0	0	0	0	0.00000024918	-0.00000003447
85	0	0	0	0	11-15	0	0	0	0	0	0.00000008985	0.00000018824
86	0	0	0	0	9-10	0	0	0	0	0	-0.00000005087	-0.00000022423
87	0	0	0	0	6	-3	0	0	0	0	0.00000004885	0.00000021462
VSOP82 SATURNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00002764778	0.00001749679
2	0	0	0	0	4-10	0	0	0	0	0	-0.00000359256	-0.00000314634
3	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	-0.00000384880	-0.00000253790
4	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0.00000354808	0.00000224930
5	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00000080045	-0.00000196617
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	-0.00000003981	0.00000187076
7	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0.00000058534	-0.00000122456
8	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	-0.00000078435	0.00000034256
9	0	0	0	0	5-11	0	0	0	0	0	0.00000055829	0.00000047294
10	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0.00000012750	-0.00000090189
11	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0.00000069716	-0.00000024681
12	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	-0.00000004902	0.00000008640
13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00000050264	0.00000036215
14	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0.00000048533	-0.00000032061
15	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	-0.00000054938	0.00000002408
16	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	-0.00000033292	0.00000044254
17	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	-0.00000021106	0.00000048986
18	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0.00000038922	-0.00000022122
19	0	0	0	0	5-10	0	0	0	0	0	0.00000006272	-0.00000005048
20	0	0	0	0	6-10	0	0	0	0	0	-0.00000037183	0.00000015551
21	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0.00000038824	-0.00000007694
22	0	0	0	0	5-12	0	0	0	0	0	-0.00000025638	0.00000020704
23	0	0	0	0	6-11	0	0	0	0	0	0.00000006570	-0.00000035062
24	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0.00000024625	0.00000014335
25	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	-0.00000024576	0.00000014029
26	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0.00000024820	-0.00000013019
27	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00000021108	0.00000014906
28	0	0	0	0	6-15	0	0	0	0	0	0.00000015958	0.00000020034
29	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0.00000018747	0.00000015712
30	0	0	0	0	7-11	0	0	0	0	0	-0.00000024724	0.00000009630
31	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	-0.00000003099	0.00000028303
32	0	0	0	0	3	-9	0	0	0	0	-0.00000014486	-0.00000015706
33	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	-0.00000013831	-0.00000016323
34	0	0	0	0	7-12	0	0	0	0	0	0.00000002964	-0.00000023698
35	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0.00000022580	-0.00000001924
36	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.00000015008	-0.00000007302
37	0	0	0	0	8-12	0	0	0	0	0	-0.00000016061	0.00000005865
38	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0.00000011173	0.00000010676
39	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0.00000002953	0.00000017118
40	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	-0.00000002060	0.00000017559
41	0	0	0	0	4-11	3	0	0	0	0	0.00000003265	0.00000015439
42	0	0	0	0	8-13	0	0	0	0	0	0.00000002071	-0.00000016520
43	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0.00000012888	0.00000000849
44	0	0	0	0	9-13	0	0	0	0	0	-0.00000010146	0.00000003336
45	0	0	0	0	9-14	0	0	0	0	0	0.00000001470	-0.00000011310
46	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0	0.00000008390	-0.00000004298
47	0	0	0	0	7	-9	0	0	0	0	-0.00000001427	0.00000010896
48	0	0	0	0	7-10	0	0	0	0	0	0.00000005748	0.00000006544
49	0	0	0	0	6-12	0	0	0	0	0	0.00000006871	0.00000000598
50	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.00000001795	0.00000010067
51	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00000004038	-0.00000005098
52	0	0	0	0	6-14	0	0	0	0	0	-0.00000002249	0.00000006741
53	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0.00000008138	0.00000000530
54	0	0	0	0	10-15	0	0	0	0	0	0.0000001046	-0.00000007597
55	0	0	0	0	10-14	0	0	0	0	0	-0.00000006270	0.00000001797
56	0	0	0	0	8-10	0	0	0	0	0	-0.00000001018	0.00000006742
57	0	0	0	0	2	-7	0	0	0	0	-0.00000001884	0.00000005717
58	0	0	0	0	7-16	0	0	0	0	0	-0.00000003437	-0.00000004000
59	0	0	0	0	4-11	0	0	0	0	0	0.00000005482	-0.00000001753
60	0	0	0	0	5	-2	0	0	0	0	0.00000005029	-0.00000001907
61	0	0	0	0	8-11	0	0	0	0	0	0.00000002535	0.00000003820
62	0	0	0	0	7-15	0	0	0	0	0	-0.00000001450	0.00000004894
63	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	-0.00000004641	0.00000001633
64	0	0	0	0	7-14	0	0	0	0	0	0.00000005015	-0.00000001119
65	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00000003495	0.00000002346

13.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

66	0	0	0	0	7	-8	0	0	0	0	0	0	0.00000004878	0.00000000918
67	0	0	0	0	11	-16	0	0	0	0	0	0	0.00000000747	-0.00000005008
68	0	0	0	0	6	-16	3	0	0	0	0	0	-0.00000000149	-0.00000005564
69	0	0	0	0	7	-13	0	0	0	0	0	0	0.00000003525	0.00000018444
70	0	0	0	0	8	-16	0	0	0	0	0	0	-0.00000001290	0.00000004071
71	0	0	0	0	8	-15	0	0	0	0	0	0	0.00000004277	-0.00000000934
72	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	-0.00000001598	0.00000003429
73	0	0	0	0	9	-11	0	0	0	0	0	0	-0.00000000733	0.00000004147
74	0	0	0	0	6	-13	0	0	0	0	0	0	0.00000004280	-0.00000000560
VSOP82 SATURNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**4 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00000229074	0.00000253236
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0.00000074641	-0.00000063684
3	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	0.00000033612	-0.00000034387
4	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000028398	0.00000032574
5	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0.00000012453	0.00000011503
6	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0.00000012777	0.00000008975
7	0	0	0	0	5	-11	0	0	0	0	0	0	-0.00000011425	0.00000009890
8	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	0	0.00000014970	0.00000004507
9	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000013141	-0.00000003405
10	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0	-0.00000002909	-0.00000011449
11	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00000006502	-0.00000005936
12	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	0	0.00000008395	0.00000002481
VSOP82 SATURNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0.01394456560	0.00219676684
3	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0.00259781931	-0.00001166001
4	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-0.00148093026	-0.00022957813
5	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0.00071178195	-0.00000500640
6	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00017774861	0.00025948548
7	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	0	0.00026548064	-0.00000037343
8	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00006171989	-0.00015494480
9	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0.00008319766	-0.00009299940
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002986817	0.00014340344
11	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00006838957	0.00010162733
12	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	-0.00014410756	-0.00002352879
13	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	-0.00012389593	-0.00004152457
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00011157193	-0.00004865221
15	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0.00002135490	-0.00012817835
16	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	0.00009887850	-0.00002264450
17	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0	0	0	0.0001053682	0.00000081066
VSOP82 SATURNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00159037328	0.00540433467
3	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-0.00089236435	-0.00010747403
4	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0.00004564111	-0.00009386556
VSOP82 SATURNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00106110851	-0.00047446996
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	0.00003532219	0.00002337015
4	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	0	0	-0.00000431448	-0.00000924443
5	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0.00000604342	-0.00000518255
6	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0.00000283645	0.00000470232
7	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0.00000090257	0.00006615960
VSOP82 SATURNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0.00008683609	-0.00013451043
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	-0.00000763445	0.00000865192
3	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	0	0	0.00000161815	-0.00000034105
VSOP82 SATURNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN 0 *T**4 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0.00001220933	0.00001122948
2	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	-0.00000151523	-0.00000179356
VSOP82 SATURNE VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000														
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0.00141684002	-0.00063663258
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00000666684	0.00197267436
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00001479345	0.00126313893
5	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	-0.000000771755	0.00065045580
6	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00000076450	-0.00045172582
7	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	-0.00017377845	-0.00026024173
8	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0.00022608630	0.00015252409
9	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0	-0.00000262411	-0.00016223369
10	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	-0.00012217352	0.00002518229
11	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00006554213	-0.00006821034
12	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0.00007496054	0.00003894594
13	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0.00002324658	0.00008705456
14	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0.00002439356	0.00005426918
15	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	-0.00002589942	0.00004481372
16	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0	-0.00000161942	-0.00006873029
17	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0	0.00003431943	0.00002052216
18	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0.00000041639	0.00004685959
19	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00003103257	0.00001600001
20	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	0	-0.00002808256	0.00000730184
21	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0	0.00000372205	-0.00002972358
22	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0	0	-0.00000026830	-0.00003067274
23	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0	0.00002580001	-0.00000320162
24	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	0	0	0.00001739041	0.00001056299
25	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000871879	-0.00001064184
26	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	0	-0.00001318055	0.00000560271
27	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	-0.00000065422	-0.00001683167
28	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0	0	0.00000327473	-0.00001300247
29	0	0	0	0	6	-8	0	0	0	0	0	0	0.00000912471	0.00000569437
30	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	0	0	0	-0.00000001596	-0.00001413793

15.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

VSOP82	SATURNE	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0.00063511475	0.00140901059	0.00000660261
3	0	0	0	0	1	0	0.00196866512	0.00000000000	0.00000000000
4	0	0	0	0	0	1	0.00124520579	0.00002060915	0.00000000000
5	0	0	0	0	1	-2	-0.00068657275	-0.00003186834	0.00000000000
6	0	0	0	0	2	-3	0.00044681418	-0.00001126286	0.00000000000
7	0	0	0	0	1	-3	0.00028321911	-0.00001690067	0.00000000000
8	0	0	0	0	3	-4	-0.00013602529	0.00022755849	0.00000163758
9	0	0	0	0	3	-4	0.00016256129	0.00000163758	0.00000000000
10	0	0	0	0	2	-5	-0.00005068474	0.00007269678	0.00000000000
11	0	0	0	0	2	2	0.00009312439	-0.00002412000	0.00000000000
12	0	0	0	0	0	-2	-0.00004526143	-0.00007006332	0.00000000000
13	0	0	0	0	4	-5	0.00006882274	0.00000255568	0.00000000000
14	0	0	0	0	0	1	-0.00004512028	-0.00002575038	0.00000000000
15	0	0	0	0	1	-1	-0.00002059197	-0.00004522399	0.00000000000
16	0	0	0	0	2	-2	-0.00003986716	0.00001640214	0.00000000000
17	0	0	0	0	4	-6	-0.00002053619	0.00003405359	0.00000000000
18	0	0	0	0	3	-6	-0.00001577700	-0.00003173177	0.00000000000
19	0	0	0	0	0	1	-0.00004719596	0.00000243999	0.00000000000
20	0	0	0	0	4	-10	-0.00006718060	-0.00002802325	0.00000000000
21	0	0	0	0	3	-7	0.00002993302	0.00000368027	0.00000000000
22	0	0	0	0	5	-6	0.00003120162	0.00000161557	0.00000000000
23	0	0	0	0	1	-4	0.00000397341	0.00002401002	0.00000000000
24	0	0	0	0	5	-7	-0.00001028743	0.00001732281	0.00000000000
25	0	0	0	0	2	-1	-0.00002149782	0.00000135152	0.00000000000
26	0	0	0	0	3	-2	-0.00001840589	0.00000306429	0.00000000000
27	0	0	0	0	4	-7	-0.00000579551	-0.00001310717	0.00000000000
28	0	0	0	0	6	-7	0.00001458057	0.00000124858	0.00000000000
29	0	0	0	0	6	-8	-0.00000538643	0.00000012763	0.00000000000
30	0	0	1	0	0	0	0.00001406014	0.00000000009	0.00000000000
31	0	0	1	0	0	0	0.00001332016	0.00000000006	0.00000000000
32	0	0	0	0	4	-9	0.00000540447	-0.00000595313	0.00000000000
33	0	0	0	0	3	-3	0.00001116863	-0.00000017155	0.00000000000
34	0	0	0	0	4	-3	-0.00001008371	0.00000111348	0.00000000000
35	0	0	0	0	5	-8	-0.00000381863	-0.00000667909	0.00000000000
36	0	0	0	0	4	-8	-0.00000080827	-0.00000140803	0.00000000000
37	0	0	0	0	0	3	-0.00000227923	0.00000718968	0.00000000000
38	0	0	0	0	0	0	-0.00000321707	-0.00000007478	0.00000000000
39	0	0	0	0	1	-5	-0.00000711124	-0.00000015671	0.00000000000
40	0	0	0	0	0	2	-0.00000907315	-0.00000001413	0.00000000000
41	0	0	0	0	4	-4	0.00000018403	-0.00000024863	0.00000000000
42	0	0	0	0	7	-8	0.00000494532	0.00000098250	0.00000000000
43	0	0	0	0	7	-9	-0.00000289004	0.00000048516	0.00000000000
44	0	0	0	0	1	1	0.00000062961	0.00000068373	0.00000000000
45	0	0	0	0	3	0	0.00000476132	-0.00000255174	0.00000000000
46	0	0	0	0	3	-8	-0.00000537192	0.00000113759	0.00000000000
47	0	0	0	0	0	1	-0.00000661473	-0.00000000968	0.00000000000
48	0	0	0	0	5	-4	-0.00000546440	0.00000068890	0.00000000000
49	0	0	0	0	6	-9	-0.00000232136	-0.00000379776	0.00000000000
50	0	0	0	0	5	-5	0.00000344032	-0.00000031845	0.00000000000
VSOP82	SATURNE	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	-0.00039630267	0.00012319891	0.00000000000
3	0	0	0	0	1	-3	0.00002790797	0.00003226863	0.00000000000
4	0	0	0	0	2	-4	-0.00002422833	-0.00001998713	0.00000000000
5	0	0	0	0	4	-10	0.00001913348	-0.00000241031	0.00000000000
6	0	0	0	0	3	-5	-0.00000837964	-0.00000971296	0.00000000000
7	0	0	0	0	1	-1	-0.00001223248	0.00000463524	0.00000000000
8	0	0	0	0	3	-7	-0.00000307839	0.00001170231	0.00000000000
9	0	0	0	0	0	2	-0.00001049077	0.000000346146	0.00000000000
10	0	0	0	0	3	-6	0.000000913775	-0.00000306258	0.00000000000
11	0	0	0	0	4	-6	-0.00000414828	-0.00000347905	0.00000000000
12	0	0	0	0	2	0	0.00000178456	-0.00000529732	0.00000000000
13	0	0	0	0	1	-4	-0.00000573363	0.00000101700	0.00000000000
14	0	0	0	0	0	1	0.00000538821	0.00000132005	0.00000000000
15	0	0	0	0	1	-2	0.00000278043	-0.00000331713	0.00000000000
16	0	0	0	0	4	-9	0.00000280908	0.00000325607	0.00000000000
17	0	0	0	0	4	-7	0.00000307615	-0.00000096438	0.00000000000
18	0	0	0	0	0	1	-0.00000325343	0.00000133669	0.00000000000
19	0	0	0	0	4	-8	0.00000092764	-0.00000031140	0.00000000000
20	0	0	0	0	1	-5	0.00000062365	-0.00000288911	0.00000000000
21	0	0	0	0	5	-7	-0.00000210729	-0.00000170064	0.00000000000
22	0	0	0	0	3	-8	-0.00000053151	-0.00000270052	0.00000000000
23	0	0	0	0	2	-2	0.00000041305	0.00000241456	0.00000000000
24	0	0	0	0	5	-8	0.00000191717	-0.00000078495	0.00000000000
25	0	0	0	0	0	3	0.00000194790	0.00000064177	0.00000000000
26	0	0	0	0	5	-10	0.00000114963	0.00000139104	0.00000000000
27	0	0	0	0	1	1	-0.00000016149	-0.000000236453	0.00000000000
28	0	0	0	0	1	0	0.00000204169	0.00000018228	0.00000000000
29	0	0	0	0	5	-9	0.00000054557	-0.00000149246	0.00000000000
30	0	0	0	0	6	-8	-0.00000111644	-0.00000087981	0.00000000000
31	0	0	0	0	3	-3	0.00000156124	-0.00000005810	0.00000000000
32	0	0	0	0	6	-9	0.00000108789	-0.00000049889	0.00000000000
33	0	0	0	0	2	-3	0.00000128781	-0.00000028045	0.00000000000
34	0	0	0	0	6	-11	0.00000065634	0.00000076251	0.00000000000
35	0	0	0	0	5	-12	0.00000041777	-0.00000097456	0.00000000000
36	0	0	0	0	5	-11	-0.00000110958	0.00000018020	0.00000000000
37	0	0	0	0	4	-11	-0.00000090354	-0.00000025786	0.00000000000
38	0	0	0	0	4	-4	0.00000105885	-0.00000009230	0.00000000000
VSOP82	SATURNE	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**2	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000
1	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	-0.00000065504	-0.00000571056	0.00000000000
3	0	0	0	0	4	-10	-0.00000005708	0.00000065726	0.00000000000
4	0	0	0	0	1	-3	-0.00000029819	0.00000012374	0.00000000000
5	0	0	0	0	2	-4	0.00000014646	-0.00000018383	0.00000000000

16.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Saturn

6	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	-0.00000230675	-0.00000099039
7	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0.00000040184	0.00000135570
8	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	-0.00000098182	0.00000064212
9	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	0.0000019550	0.00000134745
10	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000116056	-0.00000027361
11	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000024951	0.00000094008
12	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0.00000073342	0.00000032828
13	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	0.00000061127	0.00000027862
14	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	-0.00000013030	-0.00000075285
15	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0.00000056738	0.00000024836
16	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0.00000070603	-0.00000010933
17	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	-0.00000042815	0.00000025231
18	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-0.00000045432	0.00000015812
19	0	0	0	0	5	-12	0	0	0	0	0	0.00000036861	0.00000022357
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000000105	-0.00000057013
21	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	0.00000001844	0.00000054367
22	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-0.00000044398	-0.00000012024
23	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	0	0.00000035804	-0.00000020213
24	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0.00000000819	-0.00000048460
25	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	0	0.00000022878	0.00000016201
26	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.00000009913	-0.00000029869
27	0	0	0	0	5	-11	0	0	0	0	0	-0.00000000778	-0.00000038315
28	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0	0.00000000257	-0.00000038313
29	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	-0.00000023405	0.00000014594
30	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00000016543	0.00000018130
31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00000005863	-0.00000028746
32	0	0	0	0	5	-8	0	0	0	0	0	0.00000006318	0.00000028030
33	0	0	0	0	6	-15	0	0	0	0	0	0.00000004753	-0.00000026177
34	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	0	0.00000009016	-0.00000018898
35	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0	0.00000003061	-0.00000024714

VSOP82	SATURNE	VARIABLE	4	H	NEWTONIAN	0	*T**3	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00000035428	0.00000024273
3	0	0	0	0	4	-10	0	0	0	0	0	-0.00000014765	-0.00000023178
4	0	0	0	0	3	-7	0	0	0	0	0	0.00000019017	-0.00000029156
5	0	0	0	0	4	-9	0	0	0	0	0	-0.00000008964	-0.00000019554
6	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0.00000001770	-0.00000024435
7	0	0	0	0	5	-12	0	0	0	0	0	-0.00000007616	0.00000009044
8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.00000008604	0.00000007577
9	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0	-0.00000013073	-0.00000012334
10	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000008529	0.00000005443
11	0	0	0	0	3	-8	0	0	0	0	0	0.00000000951	0.00000012944
12	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000003005	0.00000010450
13	0	0	0	0	4	-8	0	0	0	0	0	-0.00000005289	0.00000007475
14	0	0	0	0	5	-10	0	0	0	0	0	-0.00000003128	-0.00000008706
15	0	0	0	0	6	-15	0	0	0	0	0	0.00000008759	0.00000003074
16	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000004225	0.00000007267
17	0	0	0	0	5	-11	0	0	0	0	0	0.00000008705	0.00000001211
18	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	-0.00000005976	0.00000002818
19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0.00000002994	0.00000005684
20	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	0	0.00000006259	-0.00000001211
21	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000006648	0.00000000726
22	0	0	0	0	6	-11	0	0	0	0	0	-0.00000001098	-0.00000004742
23	0	0	0	0	5	-9	0	0	0	0	0	-0.00000003106	0.00000003507
24	0	0	0	0	4	-7	0	0	0	0	0	-0.00000005091	-0.00000001270
25	0	0	0	0	6	-12	0	0	0	0	0	0.00000004272	0.00000000730

VSOP82	SATURNE	VARIABLE	5	Q	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00001815071	-0.00000971448
3	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-0.00000447757	0.00000574731
4	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	-0.00000450142	-0.00000267543

VSOP82	SATURNE	VARIABLE	6	P	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0.00000369841	0.00001870831
3	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-0.00000350556	-0.00000768129

Uranus

VSOP82	URANUS	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0.00000227945	0.08030476237
3	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0.00000729670	0.02068375002
4	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	-0.00053443547	-0.00402884328
5	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	0	0.00090470455	0.00353806375
6	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00022697384	-0.00391148786
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00044142045	-0.00310600002
8	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00103228516	-0.00106084003
9	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00123813777	-0.00011384026
10	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	-0.00006128399	-0.00120280851
11	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0.00102387544	-0.00008684129
12	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0.00000266396	0.00090077875
13	0	0	0	0	1	0	-2	2	0	0	0	0.00003456915	-0.00061824399
14	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	-0.00021584156	0.00040548190
15	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	0.00003289962	0.00058751896
16	0	0	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	-0.00000092395	0.00053293916
17	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0.00000000082	0.00051844499
18	0	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0.00000406292	-0.00050468036
19	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0.00000000985	0.00048838076
20	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	-0.00006599541	-0.00034262602
21	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00005092972	-0.00032521522

17. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

22	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	-0.00000197571	0.00036971774
23	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	-0.00002302819	0.00028612073
24	0	0	0	0	0	0	0	4	-4	0	0	-0.00000041695	0.00029696851
25	0	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	-0.00009916653	0.00018954553
26	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0	0.00009340380	0.00017092697
27	0	0	0	0	0	3	-5	-1	0	0	0	0.00003641860	-0.00022707480
28	0	0	0	0	0	1	-5	1	0	0	0	-0.00003506189	0.00022765928
29	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0.00006498653	0.00019067135
30	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.00004670729	0.00018202708
31	0	0	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0.00000501615	-0.00021554080
32	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.0001190742	-0.00006613342
33	0	0	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	-0.00000015912	0.00016880085
34	0	0	0	0	0	2	-6	1	0	0	0	0.00002252466	-0.00014589156
35	0	0	0	0	0	0	1	-2	2	0	0	0.00000868636	-0.00015906521
36	0	0	0	0	0	2	-4	-1	0	0	0	-0.00002331380	0.00014289486
37	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0.00000621615	0.00015137690
38	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	-0.00004862037	0.00009323801
39	0	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	-0.00001355551	0.00012614193
40	0	0	0	0	0	1	0	-3	2	0	0	0.00000425429	-0.00013070739
41	0	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0.00002360911	-0.00010764343
42	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0.00000679037	0.00010992607
43	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0.00000329550	0.00011329540
44	0	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	0.00000416781	-0.00009390610
45	0	0	0	0	0	0	0	6	-6	0	0	0.0000001099	0.00009781311
46	0	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	-0.00000955234	0.00007932240
47	0	0	0	0	0	1	1	-2	0	0	0	0.00000024852	0.00008139242
48	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0.00004564379	-0.00003171630
49	0	0	0	0	0	3	0	-3	0	0	0	0.00000058678	-0.00007565664
50	0	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	-0.00004331066	0.00003041452
51	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	-0.00002466779	0.00004673369
52	0	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	0	-0.00001128562	-0.00005894913
53	0	0	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	-0.00000800081	-0.00005886240
54	0	0	0	0	0	0	0	7	-7	0	0	0.00000009179	0.00005725808
55	0	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	-0.00000637757	0.00004952724
56	0	0	0	0	0	2	-3	-1	0	0	0	0.00004048697	-0.00001267009
57	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	-0.00000000392	0.00004484929
58	0	0	0	0	0	0	1	-3	2	0	0	0.00001433534	-0.00003019934
59	0	0	0	0	0	0	6	-6	0	0	0	0.00000299696	-0.00004134119
60	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-0.00000001497	0.00004401244
61	0	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	-0.00004117141	0.00002682258
62	0	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0.00002418994	-0.00001730996
63	0	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	-0.000006587002	0.00003391475
64	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	-0.00002626123	-0.00001066470
65	0	0	0	0	0	3	-2	-1	0	0	0	0.00000124187	0.00003619945
66	0	0	0	0	0	4	-5	-1	0	0	0	-0.00002842586	-0.00000839437
67	0	0	0	0	0	0	6	-7	0	0	0	-0.00001266224	0.00002346261
68	0	0	0	0	0	0	0	6	-7	0	0	-0.00000425997	0.00003148381
69	0	0	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	-0.00002962126	-0.00000608118
70	0	0	0	0	0	0	0	8	-8	0	0	0.00000011920	0.00003374431
71	0	0	0	0	0	3	0	-4	0	0	0	0.00000111251	0.00003236242
72	0	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0.00000803764	0.00002534959
73	0	0	0	0	0	2	0	-2	2	0	0	-0.00000544619	-0.00002765789
74	0	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0.00000583922	-0.00002667222
75	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	-0.00000217794	-0.00003018966
76	0	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	-0.00000317939	0.00002909622
77	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	-0.00001756209	-0.00001462476
78	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0	0	0	-0.00000546301	-0.00002609903
79	0	0	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	-0.00002372193	-0.00000780965
80	0	0	0	0	0	1	-1	2	0	0	0	0.00002724471	-0.00000427208
81	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	0	0	-0.00000362337	0.00002541682
82	0	0	0	0	0	0	5	-1	0	0	0	0.00000842184	0.00001954167
83	0	0	0	0	0	1	0	-3	4	0	0	-0.00000439715	-0.00002341903
84	0	0	0	0	0	2	0	-4	0	0	0	-0.00000267365	-0.00002489021
85	0	0	0	1	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000294324	-0.00002419922
86	0	0	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000276043	-0.00002269434
87	0	0	0	0	0	2	-2	-1	0	0	0	0.00000360887	0.00002152883
88	0	0	0	0	0	0	1	-2	-2	0	0	-0.00002456833	-0.00000054654
89	0	0	0	0	0	1	1	-4	0	0	0	0.00002162914	-0.00000309535
90	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-0.00000190566	-0.00002199855
91	0	0	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0.00001870737	0.00000510226
92	0	0	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0.00001344124	-0.00000972708
93	0	0	0	0	0	0	0	7	-8	0	0	-0.00000283463	0.00002024032
94	0	0	0	0	0	3	-3	-1	0	0	0	0.00001310058	0.00000845382
95	0	0	0	0	0	0	5	-4	0	0	0	-0.00001535252	-0.00000551712
96	0	0	0	0	0	0	2	-3	2	0	0	-0.00000269874	0.00001813772
97	0	0	0	0	0	0	2	-1	-2	0	0	-0.00000220651	-0.00001820632
98	0	0	0	0	0	0	7	-7	0	0	0	0.00000198170	-0.00001829184
99	0	0	0	0	0	0	0	9	-9	0	0	0.00000011829	0.00001998180
100	0	0	0	0	0	2	-7	2	0	0	0	-0.00000318540	0.00001599560
101	0	0	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	-0.00000303768	0.00001545306
102	0	0	0	0	0	0	7	-6	0	0	0	-0.000000653284	0.00001174001
103	0	0	0	0	0	1	0	-4	2	0	0	0.00000193845	0.00001602878
104	0	0	0	0	0	2	-1	-1	0	0	0	-0.00000112062	-0.00001640472
105	0	0	0	0	0	2	-7	1	0	0	0	0.00001409960	0.00000333262
106	0	0	0	0	0	2	-3	-2	0	0	0	0.00000058432	-0.00001664728
107	0	0	0	0	0	4	0	-4	0	0	0	0.00000040306	-0.00001664996
108	0	0	0	0	0	2	-6	2	0	0	0	0.00001409312	-0.00000254426
109	0	0	0	0	0	0	2	-4	2	0	0	0.00000578123	0.00001066613
110	0	0	0	0	0	1	1	-3	0	0	0	-0.00001003602	-0.00000614219
111	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0	0.000006754119	0.00000810328
112	0	0	0	0	0	2	-4	-2	0	0	0	-0.00000694407	-0.00000841465
113	0	0	0	0	0	2	-5	1	0	0	0	-0.00001037184	0.00000476960
114	0	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	-0.00001005431	-0.00000496536
115	0	0	0	0	0	0	0	4	-3	0	0	0.00000031644	-0.00001470836
116	0	0	0	0	0	0	0	8	-9	0	0	-0.00000187552	0.00001305921
117	0	0	0	0	0	1	-3	1	0	0	0	-0.00000325824	0.00001129697

18.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

118	0	0	0	0	2	-7	3	0	0	0	0	0.00000506145	-0.00000890681
119	0	0	0	0	0	2	-2	-2	0	0	0	-0.000008433979	0.00000954209
120	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	-0.00000207412	-0.000001151749
121	0	0	0	0	0	0	0	5	-4	0	0	0.00000028532	-0.000001324129
122	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0.00000092099	-0.000001260277
123	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	-0.000001205129	0.00000139703
124	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	0.00000246166	-0.000001074115
125	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000332185	0.00000927275
126	0	0	0	0	2	-2	-3	0	0	0	0	0.00000214554	-0.000001083467
127	0	0	0	0	0	6	-9	0	0	0	0	0.00000752789	-0.00000544746
128	0	0	0	0	0	6	-5	0	0	0	0	-0.00000990678	-0.00000337222
129	0	0	0	0	0	3	-2	-2	0	0	0	-0.00000074894	-0.000001133103
130	0	0	0	0	0	0	10	-10	0	0	0	0.00000010449	0.000001187216
131	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	-0.00000030522	0.000001164385
132	0	0	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	-0.00000211654	0.00000977892
133	0	0	0	0	0	3	-4	2	0	0	0	-0.00000032613	0.000001137089
134	0	0	0	0	2	-8	3	0	0	0	0	-0.00000132208	0.000001033950
135	0	0	0	0	0	0	6	-5	0	0	0	0.00000023310	-0.000001051604
VSOP82	URANUS	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	TM**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00015932042	-0.00010153043
2	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	0	0.00016357473	0.00008487037
3	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	-0.00007065114	-0.00009991712
4	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0.00007735745	-0.00008389331
5	0	0	0	0	3	-5	-1	0	0	0	0	0.00008799628	0.00002669715
6	0	0	0	0	1	-5	1	0	0	0	0	-0.00008828540	-0.00002574652
7	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0.00006213859	0.00001783726
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00003575873	0.00004477975
9	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00006221660	0.00001631180
10	0	0	0	0	2	-6	1	0	0	0	0	0.00005654364	0.00001645478
11	0	0	0	0	2	-4	-1	0	0	0	0	-0.00005533338	-0.00001650221
12	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0.00002366959	0.00001778971
13	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0.00001079346	-0.00002767438
14	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	-0.00001356811	0.00001116643
15	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0	0	0.00001914717	0.0000446883
16	0	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	0	-0.00001074835	0.00000892421
17	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0.00004488280	-0.00001202864
18	0	0	0	0	4	-5	-1	0	0	0	0	0.00000510822	-0.00000786486
19	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000971227	0.00000322021
20	0	0	0	0	1	0	-2	2	0	0	0	-0.00003967896	0.00000287998
21	0	0	0	0	2	-3	-1	0	0	0	0	0.00000071156	0.000001171191
22	0	0	0	0	0	5	-1	0	0	0	0	0.00000827600	-0.00000406697
23	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	-0.00000918829	-0.00000274776
24	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	-0.00000536709	0.00000459356
25	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00000909453	-0.00000181439
26	0	0	0	0	2	-7	1	0	0	0	0	-0.00000324693	0.00000662802
27	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	-0.00000556709	-0.00000311933
28	0	0	0	0	2	-7	2	0	0	0	0	-0.00000609011	-0.00000214102
29	0	0	0	0	2	-3	-2	0	0	0	0	0.00000672768	0.00000129025
30	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0.00000233325	-0.00000563715
31	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0.00000514770	0.00000277240
32	0	0	0	0	2	-4	-2	0	0	0	0	0.00000433743	-0.00000292565
33	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0	-0.00000518837	-0.00000188050
34	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	0	0.00000045041	-0.00000592373
35	0	0	0	0	0	1	-2	2	0	0	0	0.00000118708	-0.00000259347
36	0	0	0	0	1	-1	2	0	0	0	0	-0.00000353569	-0.00000217934
37	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	0.00000398349	0.00000165112
38	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	0.00000359205	0.0000053019
39	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	-0.00000476006	-0.00000080320
40	0	0	0	0	2	-2	-3	0	0	0	0	0.00000418928	0.00000132215
41	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	-0.00000450604	-0.00000059771
42	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-0.00000004972	-0.00000528673
43	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	-0.00000278013	0.00000240404
44	0	0	0	0	2	-8	3	0	0	0	0	-0.00000403942	-0.00000104416
45	0	0	0	0	2	-7	3	0	0	0	0	0.00000309276	0.00000187262
46	0	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0	0.00000241523	0.00000251191
47	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	0	0.00000199540	0.00000283399
48	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	0	0.00000179112	0.00000281062
49	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00000118260	-0.00000332266
50	0	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.00000394280	0.00000048530
51	0	0	0	0	1	1	-4	0	0	0	0	-0.00000262838	0.00000178742
52	0	0	0	0	2	-3	-3	0	0	0	0	-0.00000169626	-0.00000227397
53	0	0	0	0	2	-4	-3	0	0	0	0	0.00000152172	-0.00000243029
54	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0.00000297833	0.00000093888
55	0	0	0	0	2	-5	1	0	0	0	0	-0.00000094672	-0.00000292296
56	0	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0	0.00000144737	0.00000239666
57	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0	0.00000115166	-0.00000265224
58	0	0	0	0	2	-6	2	0	0	0	0	-0.00000009666	0.00000328462
59	0	0	0	0	1	-1	-1	0	0	0	0	0.00000178182	-0.00000144765
60	0	0	0	0	0	1	-2	2	0	0	0	-0.00000247224	0.00000071899
61	0	0	0	0	0	1	-1	-2	0	0	0	0.00000151322	-0.00000162615
62	0	0	0	0	2	-1	-4	0	0	0	0	0.00000235127	0.00000078719
63	0	0	0	0	2	-7	4	0	0	0	0	-0.00000191550	-0.00000111080
64	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	-0.00000235679	-0.00000066637
65	0	0	0	0	2	-2	-1	0	0	0	0	-0.00000104220	0.00000197660
66	0	0	0	0	3	-3	-1	0	0	0	0	-0.00000136972	0.00000163203
67	0	0	0	0	2	-8	4	0	0	0	0	0.00000212624	0.00000075743
68	0	0	0	0	2	-9	4	0	0	0	0	-0.00000234607	-0.00000305215
69	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0.00000232612	-0.00000053011
70	0	0	0	0	0	5	-7	0	0	0	0	-0.00000151066	0.00000130291
71	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0	-0.00000232847	0.00000047595
72	0	0	0	0	2	-2	-4	0	0	0	0	-0.00000118219	-0.00000156456
73	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	-0.00000222651	-0.00000051754
74	0	0	0	0	5	-10	-1	0	0	0	0	-0.00000176293	-0.00000086403

19. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

VSOP82	URANUS	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	*T**2	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000		
1	0	0	0	0	3	-5	-1	0	0	0	-0.00000778955	0.00001727137
2	0	0	0	0	1	-5	-1	0	0	0	0.00000768642	-0.00001734471
3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.00000843784	-0.00000851116
4	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	-0.0000098275	0.00001594594
5	0	0	0	0	2	-6	-1	0	0	0	-0.00000497909	0.00001109676
6	0	0	0	0	2	-4	-1	0	0	0	0.00000462922	-0.00001086861
7	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	-0.00000594799	0.00000653010
8	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0.00001126661	0.00000001768
9	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00000546657	0.00000466477
10	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	-0.00000773574	-0.00000006393
11	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	-0.00000328290	0.00000264395
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.00000225497	-0.00000143624
13	0	0	0	0	0	5	-1	0	0	0	-0.0000099005	-0.00000182723
14	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0.00000140301	0.00000134474
15	0	0	0	0	2	-7	1	0	0	0	-0.00000153820	-0.00000120910
16	0	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	0.00000155472	0.00000086493
17	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0	0.00000103082	-0.00000137411
18	0	0	0	0	4	-5	-1	0	0	0	0.00000103839	0.00000128019
19	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	-0.00000128448	-0.00000028677
20	0	0	0	0	2	-3	-1	0	0	0	-0.00000167456	-0.00000033257
21	0	0	0	0	2	-3	-2	0	0	0	-0.0000047004	0.00000136181
22	0	0	0	0	2	-4	-2	0	0	0	0.00000061901	0.00000117410
23	0	0	0	0	2	-7	2	0	0	0	0.00000062730	-0.00000116430
24	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.0000002096	-0.00000156405
25	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	-0.00000105974	0.00000040150
26	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0.00000110978	-0.00000031791
27	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	-0.00000062403	0.00000075102
28	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	-0.00000116572	-0.00000015724
29	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0.00000032417	-0.00000097583
30	0	0	0	0	1	-5	-2	0	0	0	-0.00000046100	0.00000073796
31	0	0	0	0	2	-2	-3	0	0	0	-0.00000035957	0.00000082582
32	0	0	0	0	2	-8	3	0	0	0	0.00000033341	-0.00000080141
33	0	0	0	0	5	-10	-1	0	0	0	0.00000044168	-0.00000066362
34	0	0	0	0	2	-4	-3	0	0	0	0.00000048920	0.00000061051
35	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0.00000057083	0.00000052659
36	0	0	0	0	2	-7	3	0	0	0	-0.00000038956	0.00000054097
37	0	0	0	0	4	-11	1	0	0	0	0.00000033579	-0.00000051797
38	0	0	0	0	2	-3	-3	0	0	0	0.00000059976	-0.00000020991
39	0	0	0	0	3	-10	1	0	0	0	-0.00000031891	0.00000048819
40	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.00000025425	0.00000048457
41	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	-0.00000035931	0.00000036097
42	0	0	0	0	1	1	-4	0	0	0	0.00000033680	-0.00000033328
43	0	0	0	0	2	-1	-4	0	0	0	-0.00000020203	0.00000046350
44	0	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0.00000055993	0.00000008569
45	0	0	0	0	2	-9	4	0	0	0	0.00000017375	-0.00000047138
46	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	0.00000057480	0.00000006813
47	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0.00000000201	-0.00000061178
48	0	0	0	0	2	-8	-4	0	0	0	-0.00000019521	0.00000039654
49	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	-0.00000046760	0.00000010506
50	0	0	0	0	2	-2	-4	0	0	0	0.00000040513	-0.00000015115
51	0	0	0	0	2	-6	2	0	0	0	-0.00000033973	-0.00000015635
52	0	0	0	0	2	-5	1	0	0	0	0.00000042369	-0.00000007112
53	0	0	0	0	2	-7	4	0	0	0	0.00000023625	-0.00000025635
54	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0.00000024835	0.00000021882
55	0	0	0	0	0	1	-2	-2	0	0	0.00000001439	0.00000039427
56	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	-0.00000017503	0.00000021312
57	0	0	0	0	0	4	-4	0	0	0	0.00000030597	0.00000007803
58	0	0	0	0	4	-9	-1	0	0	0	-0.00000015030	0.00000021956
59	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0.00000028374	0.00000007908
60	0	0	0	0	1	-1	2	0	0	0	0.00000002383	0.00000034391
61	0	0	0	0	2	-8	1	0	0	0	0.00000019006	-0.00000017202
62	0	0	0	0	2	-1	-5	0	0	0	0.00000026017	-0.00000010049
63	0	0	0	0	2	-9	5	0	0	0	-0.00000010773	0.00000025007
64	0	0	0	0	2	-10	5	0	0	0	0.00000008553	-0.00000026706
65	0	0	0	0	2	0	-5	0	0	0	-0.00000011396	0.00000023455
66	0	0	0	0	0	3	-2	0	0	0	0.00000011879	-0.00000022963
67	0	0	0	0	0	4	-1	0	0	0	0.00000012110	-0.00000021040
68	0	0	0	0	0	4	-3	0	0	0	0.00000016704	-0.00000016262
69	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0	0.00000014904	-0.00000016822
70	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0.00000027860	0.00000003252
71	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	-0.00000000056	-0.00000030711
VSOP82	URANUS	VARIABLE	1	A	NEWTONIAN	0	*T**3	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000		
1	0	0	0	0	3	-5	-1	0	0	0	-0.00000218531	-0.00000142775
2	0	0	0	0	1	-5	1	0	0	0	0.00000220090	0.00000140135
3	0	0	0	0	2	-6	1	0	0	0	-0.00000140272	-0.00000092404
4	0	0	0	0	0	-4	-1	0	0	0	0.00000138261	0.00000086892
5	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	-0.00000089546	-0.00000063837
6	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	-0.00000036331	-0.00000036857
7	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	-0.00000019755	-0.00000043946
8	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0.00000037011	0.00000019148
9	0	0	0	0	2	-7	1	0	0	0	0.00000027091	-0.00000022553
10	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00000021851	0.00000023803
11	0	0	0	0	0	5	-1	0	0	0	-0.00000027355	0.00000016026
12	0	0	0	0	5	-10	-1	0	0	0	0.00000016223	0.00000014504
13	0	0	0	0	2	-4	-2	0	0	0	-0.00000021196	0.00000008284
14	0	0	0	0	4	-11	3	0	0	0	-0.00000006408	-0.00000022979
15	0	0	0	0	2	-3	-2	0	0	0	-0.00000017806	-0.00000009260
16	0	0	0	0	4	-5	-1	0	0	0	-0.00000019050	0.00000007515
17	0	0	0	0	2	-7	2	0	0	0	0.00000014968	0.00000011406
18	0	0	0	0	4	-11	1	0	0	0	0.00000012394	0.00000011110
19	0	0	0	0	2	-3	-1	0	0	0	0.00000008230	-0.00000014846
20	0	0	0	0	3	-10	1	0	0	0	-0.00000012012	-0.00000010598
21	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0.00000012962	0.00000006890
22	0	0	0	0	0	3	-1	0	0	0	0.00000003421	-0.00000015907
23	0	0	0	0	2	-4	-3	0	0	0	-0.00000013898	0.00000004669

20.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00000009963	-0.00000008400
25	0	0	0	0	0	2	-2	-3	0	0	0	-0.00000010630	-0.00000006133
26	0	0	0	0	0	2	-8	3	0	0	0	0.00000010220	0.00000006439
27	0	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	-0.00000008627	-0.00000007828
28	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0	-0.00000006760	-0.00000008741
29	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0.00000006384	-0.00000009086
30	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000008863	0.00000005262
31	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	-0.00000005807	0.00000007892
32	0	0	0	0	0	2	-7	3	0	0	0	-0.00000006149	-0.00000005779
33	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0.00000005337	-0.00000006080
34	0	0	0	0	0	4	-9	-1	0	0	0	-0.00000005328	-0.00000004845
35	0	0	0	0	0	2	-3	-3	0	0	0	-0.00000000009	0.00000009986
36	0	0	0	0	0	0	-2	-5	0	0	0	-0.00000001228	-0.00000008719
37	0	0	0	0	0	2	-9	4	0	0	0	0.00000006139	0.00000003494
38	0	0	0	0	0	2	-1	-4	0	0	0	-0.00000006022	-0.00000008311
39	0	0	0	0	0	2	-8	4	0	0	0	-0.00000004749	-0.00000003398
40	0	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0.00000003236	-0.00000004625
41	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.00000003185	-0.00000004528
42	0	0	0	0	0	2	-8	1	0	0	0	0.00000002615	0.00000004986
43	0	0	0	0	0	2	-2	-4	0	0	0	0.00000000215	0.00000006668

VSOP82	URANUS	VARIABLE	2	L	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	-0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.01501623169	0.00083470982
3	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0.00361045476	-0.00000019098
4	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0.00075571302	-0.00000193927
5	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	-0.00061134075	-0.00009943822
6	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00009452568	0.00058969484
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00018719456	0.00002385019
8	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	0	0.00016600353	-0.00004223570
9	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00004109744	-0.00015947479
10	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0.00014277800	0.00002768911
11	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	-0.00014437447	-0.00000058824
12	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	-0.00013047816	-0.00000049914
13	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0.00012930358	-0.00000055457

VSOP82	URANUS	VARIABLE	2	L	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	-0.00000000000
2	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0.00006951474	-0.00023442555

VSOP82	URANUS	VARIABLE	2	L	NEWTONIAN	0	*T**2	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	-0.00000000000
2	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00000742477	0.000000040672
3	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	-0.00000346616	-0.00000012347
4	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00000114987	0.000000516751

VSOP82	URANUS	VARIABLE	3	K	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000017282	0.00274532741
3	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00000366856	-0.00209611201
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00000082023	0.00136013991
5	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0.00000012915	0.00116379909
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00000014898	0.00061367652
7	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00024449197	-0.00008712241
8	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00000191408	0.00028383116
9	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00001413413	-0.00014954673
10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00003288676	0.00012898692
11	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-0.00001246035	-0.00008518996
12	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0	-0.00001250408	-0.00008161648
13	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	-0.00000160202	-0.00007826281
14	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	-0.00000019318	0.00006933519
15	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0.00001254812	0.00004883957
16	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-0.00001179678	0.00004902137
17	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	-0.00001542936	0.00002801011
18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.00003357897	-0.00000273833
19	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0.00000030863	-0.000002711219
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.00000008964	-0.00002576283
21	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	-0.00000002984	0.00002469606
22	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	-0.00001393331	0.00000996990
23	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0	-0.00000139121	-0.00002041873
24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000000018	0.00001996913
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	-0.00000230167	0.00001764172
26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000000373	0.00001890430
27	0	0	0	0	1	0	-3	2	0	0	0	0.00000101233	-0.00001776005
28	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	0	0	0.00000093627	0.00001715821
29	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00001096436	-0.00000660475
30	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0.00001468792	-0.00000198126
31	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	-0.00000545756	0.00001015205
32	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0.00000214091	-0.00001224740
33	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0.00000161566	0.00001202183
34	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	-0.00000122457	0.00001142445
35	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00000084910	-0.00001167789
36	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	-0.00000005564	0.00001183409
37	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0.00000032095	-0.00001065652
38	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	0	-0.00000651266	-0.00000354257
39	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000347760	0.00000637687
40	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	-0.00000049534	-0.00000888702
41	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000125756	-0.00000775782
42	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000119997	0.00000779617
43	0	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.00000609111	0.00000123291
44	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	-0.00000243937	0.00000455306
45	0	0	0	0	0	1	-2	-2	0	0	0	0.00000482903	-0.00000213365
46	0	0	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0.00000000088	0.00000678722
47	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0.00000126648	0.00000547112
48	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	-0.00000042780	0.00000600780

21. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

49	0	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0.00000000095	0.00000636503
50	0	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	-0.00000003092	0.00000614985
51	0	0	0	0	2	0	-4	0	0	0	0	0.00000031561	0.00000566865
VSOP82	URANUS VARIABLE 3 K NEWTONIAN										*T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	-0.00001567875	0.00002527179
3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000595344	0.00000308734
4	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	-0.00000269784	-0.00000402559
5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-0.00000231868	-0.00000324658
6	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000302300	-0.00000088144
7	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000300565	0.00000089408
8	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0.00000223400	0.00000117982
9	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000235334	0.00000047250
10	0	0	0	0	0	2	2	-4	0	0	0	0.00000078774	-0.00000193972
11	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	-0.00000103652	-0.00000166170
12	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	-0.00000134356	-0.00000108806
13	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	-0.00000093411	0.00000129531
14	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0.00000168334	0.00000049198
15	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	-0.00000164684	-0.00000048505
16	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0.00000156940	-0.00000016584
17	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	0.00000127623	0.00000037853
18	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	-0.00000127661	-0.00000037355
19	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0	0.00000112911	0.00000051966
VSOP82	URANUS VARIABLE 3 K NEWTONIAN										*T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000		
1	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	-0.00000149543	-0.00000135254
2	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0.00000061056	-0.00000036439
3	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0.00000026340	-0.00000059425
4	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000026646	0.00000058957
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000030802	-0.00000030968
7	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	-0.00000014880	0.00000033075
8	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000014301	-0.00000032191
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000040469	0.00000000626
10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000019546	0.00000021432
11	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	-0.00000011290	0.00000025051
12	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	0.00000011139	-0.00000025121
13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000023409	-0.00000000646
VSOP82	URANUS VARIABLE 3 K NEWTONIAN										*T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00000006421	-0.00000006654
3	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000007459	-0.00000004882
4	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0.00000007537	0.00000004798
5	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0.00000003762	0.00000007337
6	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	-0.00000004179	-0.00000002759
7	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000004091	0.00000002567
VSOP82	URANUS VARIABLE 4 H NEWTONIAN										*T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00274676146	-0.00000040413
3	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00210406689	0.00000057048
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00136132939	0.00000118074
5	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	-0.00116268286	-0.00000025193
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00061300823	-0.00000006389
7	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0.00008861164	0.00024408073
8	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00028213098	-0.00000261202
9	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00014322415	0.00001409357
10	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00012902526	-0.00003291485
11	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-0.00009620973	-0.00000561309
12	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	-0.00008852812	0.00001248825
13	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0	0.00008163202	-0.00001247361
14	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0.00007833053	-0.00000024799
15	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	-0.00006895311	-0.00000002039
16	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	-0.00004770735	0.00001254685
17	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	-0.00002813527	-0.00001531258
18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000271848	-0.000003355903
19	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0.000002754257	0.000000264818
20	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0	0.00002701059	-0.00000023146
21	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.00002643488	0.00000005643
22	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	-0.00002503799	-0.00000012878
23	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0.00000954471	0.000001418015
24	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0	0.00002018920	-0.00000137721
25	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0.00000400958	0.000001728050
26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001996633	-0.00000000018
27	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0.00001765222	0.000000231158
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001883635	-0.00000000444
29	0	0	0	0	1	0	-3	2	0	0	0	0.00001785380	0.00000009918
30	0	0	0	0	1	0	-1	-2	0	0	0	-0.00001714504	0.00000092981
31	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0.00000665698	0.000001095572
32	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	-0.00001020021	-0.00000535813
33	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0.00001219352	0.000000212483
34	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0.00001170545	0.00000084837
35	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	-0.00001133678	-0.00000121023
36	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	-0.00001151874	-0.00000001929
37	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0	0.00001054447	-0.00000002413
38	0	0	0	0	0	1	-4	-2	0	0	0	0.00000366056	-0.000000672016
39	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	-0.00000969872	0.00000023341
40	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000637819	-0.000000347887
41	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000779997	-0.000000120240
42	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000775055	-0.00000122774
43	0	0	0	0	0	1	-4	0	0	0	0	-0.00000125398	-0.000000609523
44	0	0	0	0	0	1	-2	-2	0	0	0	0.00000215937	0.000000481891
45	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0	0	-0.000000457450	-0.000000236732
46	0	0	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	-0.00000678013	-0.00000000088

22.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Uranus

47	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000546998	-0.00000125824
48	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000600698	-0.00000056788
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000593273	0.00000042548
50	0	1	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000635838	-0.00000000071
51	0	0	0	0	0	2	0	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000568899	0.00000030128
VSOP82 URANUS VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00002546948	-0.00001542498
3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000308827	-0.00000596102
4	0	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000403768	0.00000263770
5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000324246	0.00000231444
6	0	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000088249	-0.00000302485
7	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000088794	-0.00000300327
8	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000117196	0.00000226321
9	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000046943	0.00000232679
10	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000195357	0.00000074968
11	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000137989	-0.00000119061
12	0	0	0	0	0	0	2	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000110108	-0.00000133481
13	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000130777	0.00000092798
14	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000049140	0.00000168072
15	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000048046	0.00000162288
16	0	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000037861	0.00000127506
17	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000051859	0.00000113234
18	0	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000037146	0.00000127838
VSOP82 URANUS VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000134721	-0.00000154115
3	0	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000035978	-0.00000060721
4	0	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000059473	0.00000026365
5	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000058952	0.00000026567
6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000031042	-0.00000030839
7	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000032993	-0.00000014830
8	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000032033	-0.00000014071
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000000521	-0.00000041175
10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000021295	0.00000019502
11	0	0	0	0	0	3	-5	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000025024	-0.00000011289
12	0	0	0	0	0	1	-5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000025111	-0.00000011131
13	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000011635	0.00000011625
14	0	0	0	0	0	2	-6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000015664	0.00000006768
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000003735	0.00000021656
VSOP82 URANUS VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0000007212	0.00000006703
3	0	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0000004802	0.00000007545
4	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000004876	0.00000007459
5	0	0	0	0	0	2	-6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000007196	-0.00000003618
6	0	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000002745	0.00000004165
7	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000002551	-0.00000004081
VSOP82 URANUS VARIABLE 5 Q NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000518194	0.00000415515
3	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000000486953	-0.000000409462
4	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000030181	0.000000347182
5	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000000207845	0.000000484331
6	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000000367741	-0.000000307052
VSOP82 URANUS VARIABLE 6 P NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	-0.00000000000
2	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000381911	0.000000532796
3	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000406461	0.000000490329
4	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000000306985	-0.000000367534
5	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000428422	0.00000189284
6	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000210593	0.000000361163

Neptun

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000003166756	0.14808171781
3	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000759497	0.03597274261
4	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00043929062	0.00831185648
5	0	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00171618598	0.00672759309
6	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000088525	0.00462318438
7	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00106537829	0.00097919295
8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00185114405	-0.00014305493
9	0	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000430137	-0.00105686700
10	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000816	0.00101174992
11	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000071699	0.00095930543
12	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.000004400186	0.00078267799
13	0	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00010694991	0.00068742597
14	0	0	0	0	0	1	0	1	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00004022516	-0.00072442656
15	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00040288164	0.00023963856
16	0	0	0	0	0	0	0	3	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000100204	-0.0005976661
17	0	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00003205964	-0.00050680018
18	0	0	0	0	0	3	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00017926664	0.00032843328
19	0	0	0	0	0	3	-5	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00006725208	-0.00041878494
20	0	0	0	0																

23.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Neptun

25	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0.00001330930	-0.000026023236
26	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-0.00000001095	0.00024649447
27	0	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0.00002492036	-0.00021649129
28	0	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0.00002003084	-0.00019786256
29	0	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	-0.00001064185	0.00018941904
30	0	0	0	0	0	0	1	1	-3	0	0	-0.00000997773	-0.00017640980
31	0	0	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	0.00000023855	-0.00017938320
32	0	0	0	0	0	1	1	0	-2	0	0	-0.00000011320	0.00017526505
33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-0.00013877896	0.00002942944
34	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	-0.00001107697	0.00013196740
35	0	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	-0.00001401724	-0.00010946495
36	0	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0.00001238144	-0.00011090487
37	0	0	0	0	0	0	0	6	-6	0	0	0.00000004353	-0.00010396542
38	0	0	0	0	0	2	-3	0	-1	0	0	0.00007293572	-0.00002248577
39	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	-0.00000004306	0.00008707312
40	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-0.00000016016	0.00008622130
41	0	0	0	0	0	0	3	0	-3	0	0	-0.00000019313	-0.00007782765
42	0	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0.00000794818	-0.00006627370
43	0	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0.00001071836	-0.00006285926
44	0	0	0	0	0	3	-2	0	-1	0	0	0.00000234198	0.00006891693
45	0	0	0	0	0	4	-5	0	-1	0	0	-0.00005397079	-0.00001599754
46	0	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	-0.00001231537	0.00005640517
47	0	0	0	0	0	0	0	7	-7	0	0	-0.00000005654	-0.00006083347
48	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-0.00001846775	-0.00004152784
49	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00001167738	0.00004794660
50	0	0	0	0	0	0	5	0	-1	0	0	0.00001599170	0.00003717030
51	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	-0.00000476313	0.00004343211
52	0	0	0	0	0	1	-1	0	-1	0	0	-0.00000967540	-0.00003806857
53	0	0	0	0	0	2	-2	0	-1	0	0	0.00000673152	0.00004001285
54	0	0	0	0	0	0	0	6	-7	0	0	0.00000517386	-0.00004100531
55	0	0	0	0	0	2	0	-1	1	0	0	0.00000708241	0.00003608292
56	0	0	0	0	0	3	-3	0	-1	0	0	-0.00001020872	-0.00003228564
57	0	0	0	0	0	3	-3	0	-1	0	0	0.00002479349	0.00001601663
58	0	0	0	0	0	1	0	-2	3	0	0	0.00000504568	0.00003507387
59	0	0	0	0	0	3	0	0	-2	0	0	0.00000656237	0.00003328841
60	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	-0.00000408906	0.00003328275
61	0	0	0	0	0	0	0	8	-8	0	0	-0.00000009938	-0.00003583895
62	0	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	-0.00002205697	-0.00001186597
63	0	0	0	0	0	0	0	4	-6	0	0	0.00000517638	-0.00002727522
64	0	0	0	0	0	1	0	2	-5	0	0	0.00000495816	-0.00002653091
65	0	0	0	0	0	2	-7	0	1	0	0	0.00002554545	0.00000583578
66	0	0	0	0	0	2	-1	0	-1	0	0	-0.00000152164	-0.00002979066
67	0	0	0	0	0	4	0	0	-1	0	0	0.00001455622	0.00001565403
68	0	0	0	0	0	1	0	-2	2	0	0	0.00000165942	0.00002841345
69	0	0	0	0	0	0	0	7	-8	0	0	0.00000338276	-0.00002576469
70	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.00000118540	-0.00002715287
71	0	0	0	0	0	1	-3	0	1	0	0	-0.00000503704	0.00002131145
72	0	0	0	0	0	0	4	0	-4	0	0	-0.00000015083	-0.00002141501
73	0	0	0	0	0	0	0	9	-9	0	0	-0.00000010755	-0.00002121482
74	2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0.00001710374	0.00000383909
75	0	0	0	0	0	1	0	1	-4	0	0	0.00001018562	-0.00001008134
76	0	0	0	2	0	0	0	0	-1	0	0	0.00001642508	-0.00000377292
77	0	0	0	0	0	0	0	5	-7	0	0	0.00000325027	-0.00001566266
78	0	0	0	0	0	0	0	8	-9	0	0	0.00000220622	-0.00001631888
79	0	0	0	0	0	1	0	0	-3	0	0	-0.00001616382	-0.0000168329
80	0	0	0	0	0	1	0	1	-2	0	0	0.00000003329	0.00001749732
81	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0	0.00000288617	0.00001130184
82	0	0	0	0	0	3	0	0	-3	0	0	-0.00000030287	-0.00001385052
83	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	-0.00001295637	-0.00000074303
84	0	0	0	0	0	2	-5	0	1	0	0	-0.00000920032	0.00000400477
85	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	-0.00000819565	0.00000472437
86	0	0	0	1	0	0	0	0	-2	0	0	-0.00000680529	0.00000610076
87	0	0	0	0	0	0	0	10	-10	0	0	-0.00000009890	-0.00001259894
88	0	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	-0.00000978759	0.00000249168
89	0	1	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	-0.00000641495	0.00000574236
90	0	0	0	0	0	0	0	6	-8	0	0	0.00000217185	-0.00000975781
91	0	0	0	0	0	0	0	9	-10	0	0	0.00000143484	-0.00001038143
92	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.00000010680	0.00001128747
93	0	0	0	0	2	0	0	0	-1	0	0	-0.00000328098	0.00000737700
94	0	0	0	0	0	0	3	0	-4	0	0	-0.00000669160	-0.00000395653
95	0	0	0	0	0	1	0	2	-3	0	0	0.00000001086	-0.00001051232
96	0	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	0.00000031309	-0.00000212226
97	0	0	0	0	0	0	2	1	-3	0	0	-0.000000921475	0.00000124451
98	0	0	0	0	0	2	1	0	-2	0	0	0.00000201275	0.00000800927
99	0	0	0	0	0	0	2	-1	1	0	0	0.000000981036	-0.00000020837
100	0	0	0	0	0	2	0	0	-3	0	0	-0.00000343877	0.00000656534
101	0	0	0	0	0	1	2	0	-2	0	0	0.000000910300	-0.00000060914
102	0	0	0	0	0	1	1	-2	3	0	0	0.00000121736	0.00000846319
103	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0.000000685468	0.00000877806
104	0	0	0	0	0	0	0	4	-7	0	0	0.00000188949	-0.00000772410
105	0	0	0	0	0	0	0	5	-4	0	0	-0.000000616669	0.00000940272
106	0	0	0	0	0	4	-2	0	-1	0	0	0.00000199613	0.00000731414
107	0	0	0	0	0	0	0	4	-3	0	0	-0.00000017997	0.00000911489
108	0	2	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0.00000483344	-0.00000428023
109	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	0	0	-0.00000388431	0.00000518509
110	0	0	0	0	0	0	0	3	-1	0	0	-0.00000004620	0.00000069594
111	0	0	0	0	0	3	-4	0	-1	0	0	-0.00000596561	0.00000268054
112	0	0	0	0	0	4	-3	0	-1	0	0	0.00000293346	0.00000560381
113	0	0	0	0	0	0	0	6	-5	0	0	-0.00000016597	0.00000832323
114	0	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	-0.000000765182	0.00000073252
115	0	0	0	0	0	1	0	2	-5	0	0	0.00000149456	-0.00000642694
116	0	0	0	0	0	0	1	7	-9	0	0	0.00000148776	-0.00000632794
117	0	0	0	0	0	0	1	-2	2	0	0	0.00000037870	0.00000739292
118	0	0	0	0	0	1	0	-2	1	0	0	-0.00000048348	-0.00000716438

24.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Neptun

119	0	0	0	0	0	0	11-11	0	0	0	-0.00000008354	-0.00000749825
120	0	0	0	0	0	0	10-11	0	0	0	0.00000093002	-0.00000662007
121	0	0	0	0	1	-2	0	1	0	0	-0.00000003221	0.00000745721
122	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0.00000000115	0.00000728234
123	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-0.00000000304	0.00000688153
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0	0.00001085048	0.000016118907
2	0	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	-0.00002760130	-0.000017899114
3	0	0	0	0	1	-5	0	1	0	0	-0.000016305561	-0.00004751361
4	0	0	0	0	3	-5	0	-1	0	0	0.000016226445	0.00004816592
5	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	-0.000013212968	-0.00003413324
6	0	0	0	0	2	-6	0	1	0	0	0.000009835313	0.00002058716
7	0	0	0	0	2	-4	0	-1	0	0	-0.000009615067	-0.00002850347
8	0	0	0	0	3	0	0	-1	0	0	0.000003677369	0.00000858755
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.00001003148	0.00002907244
10	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	-0.00002007375	0.00001643012
11	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	-0.00002053292	-0.00000676744
12	0	0	0	0	4	-5	0	-1	0	0	0.00000971966	-0.00001492741
13	0	0	0	0	0	5	0	-1	0	0	0.00001974625	-0.00000726003
14	0	0	0	0	2	-3	0	-1	0	0	0.00000118170	0.00002106889
15	0	0	0	0	2	-7	0	1	0	0	-0.00000579774	0.00001201946
16	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0.00000536940	-0.00001178350
17	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	-0.00001378576	0.00000223461
18	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	0	0.00001228523	-0.00000357265
19	0	0	0	0	1	0	1	-3	0	0	0.00001133539	0.00000333836
20	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0.00000187707	-0.00001089408
21	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0.00000797830	0.00000169258
22	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	-0.00000106510	0.00000675220
23	0	0	0	0	3	-3	0	-1	0	0	-0.00000259296	0.00000308654
24	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0.00000241785	-0.00000323224
25	0	0	0	0	1	-1	0	-1	0	0	0.00000296990	-0.00000262362
26	0	0	0	0	2	-2	0	-1	0	0	-0.00000190089	0.00000371719
27	0	0	0	0	5	-10	0	-1	0	0	-0.00000324880	-0.00000159248
28	0	0	0	0	0	0	2	-1	0	0	-0.00000347577	0.00000093727
29	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	0	0.00000296176	-0.00000081693
30	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0.00000311781	0.00000058297
31	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0.0000029051	0.00000334310
32	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0.00000151474	0.00000208417
33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00000226145	0.00000128875
34	0	0	0	0	3	-10	0	1	0	0	0.00000239245	0.00000114415
35	0	0	0	0	4	-11	0	1	0	0	-0.00000239377	-0.00000113358
36	0	0	0	0	0	1	1	-3	0	0	0.00000277874	0.00000074843
37	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	-0.00000246430	-0.00000104182
38	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-0.00000319571	-0.00000017206
39	0	0	0	0	2	-5	0	1	0	0	-0.00000076874	-0.00000257645
40	0	0	0	0	4	0	0	-1	0	0	0.00000323949	-0.00000006611
41	0	0	0	0	2	0	-1	1	0	0	0.00000211286	0.00000064217
42	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0.00000052101	-0.00000216764
43	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-0.00000059592	0.00000205118
44	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.00000137935	-0.00000122599
45	0	0	0	0	3	0	0	-2	0	0	0.00000152829	0.00000103898
46	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0.00000190658	0.00000060074
47	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	-0.00000085360	-0.00000154652
48	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	0.00000076761	0.00000148701
49	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	-0.00000140662	0.00000079662
50	0	0	0	0	3	-4	0	-1	0	0	-0.00000051674	-0.00000167819
51	0	0	0	0	1	5	0	-1	0	0	0.00000123025	-0.00000089518
52	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0	0.00000088550	-0.00000123168
53	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0.00000174724	0.00000031109
54	0	0	0	0	2	-8	0	1	0	0	-0.00000124994	-0.00000078802
55	0	0	0	0	2	-3	0	-2	0	0	0.00000137898	0.00000060612
56	0	0	0	0	0	0	1	-3	0	0	-0.00000124393	-0.00000056770
57	0	0	0	0	0	2	-1	1	0	0	-0.00000067614	-0.00000113207
58	0	0	0	0	0	3	0	-4	0	0	0.00000074822	-0.00000101215
59	0	0	0	0	2	0	1	-3	0	0	-0.00000100905	-0.00000068458
60	0	0	0	0	5	-5	0	-1	0	0	0.00000014850	-0.00000153682
61	0	0	0	0	2	-7	0	2	0	0	-0.00000138392	-0.00000029205
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	-0.00000166346
63	0	0	0	0	2	-4	0	-2	0	0	-0.00000025295	-0.00000130328
64	0	0	0	0	1	-3	0	1	0	0	-0.00000101406	0.00000055406
65	0	0	0	0	4	-9	0	-1	0	0	0.00000102092	0.00000051061
66	0	0	0	0	1	2	0	-2	0	0	-0.00000061520	-0.00000088046
67	0	0	0	2	0	0	0	-1	0	0	-0.00000062323	-0.00000082201
68	0	0	0	0	5	-11	3	-1	0	0	0.00000058529	0.00000081695
69	0	0	0	0	0	1	-4	2	0	0	-0.00000052737	0.00000087404
70	0	0	0	0	1	0	-2	3	0	0	0.00000104994	-0.00000035068
71	0	0	0	0	0	2	1	-3	0	0	0.00000070271	0.00000069546
72	0	0	0	0	3	-11	3	1	0	0	-0.00000057816	-0.00000081396
73	0	0	0	0	2	-6	0	2	0	0	0.00000127103	0.00000011960
74	0	0	0	0	1	2	0	-1	0	0	-0.00000037177	-0.00000092873
75	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	0	0.00000094706	0.00000027681
76	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0.00000104359	0.00000017950
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000												
1	0	0	0	0	3	-5	0	-1	0	0	-0.00001437567	0.00003184525
2	0	0	0	0	1	-5	0	1	0	0	0.00001418300	-0.00003203640
3	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0	0.00001609639	-0.00001617777
4	0	0	0	0	2	-6	0	1	0	0	-0.00000665805	0.00001930407
5	0	0	0	0	2	-4	0	-1	0	0	0.00000837383	-0.00001889730
6	0	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	-0.00001077750	0.00001178514
7	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0.00002216235	0.00000016265
8	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	-0.00001315093	-0.00000009899
9	0	0	0	0	2	5	0	-1	0	0	-0.00000188105	-0.00000347565
10	0	0	0	0	2	-7	0	-1	0	0	-0.00000279179	-0.00000217228
11	0	0	0	0	3	0	0	-1	0	0	0.00000158318	-0.00000264010
12	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0.00000288769	0.00000166160
13	0	0	0	0	4	-5	0	-1	0	0	0.00000196956	0.00000243483

25.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Neptun

14	0	0	0	0	2	-3	0	-1	0	0	0	-0.00000300769	-0.00000061516
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000131617	-0.00000315164
16	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00000223182	0.00000021174
17	0	0	0	0	5	-10	0	-1	0	0	0	0.00000031453	-0.00000122309
18	0	0	0	0	3	-10	0	1	0	0	0	-0.00000056948	0.00000090246
19	0	0	0	0	4	-11	0	1	0	0	0	0.00000058561	-0.00000090156
20	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	0.00000061793	0.00000051580
21	0	0	0	0	2	-8	0	1	0	0	0	0.00000035066	-0.00000032229
22	0	0	0	0	4	-9	0	-1	0	0	0	-0.00000025879	0.00000038321
23	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0	0.00000022905	-0.00000035643
24	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-0.00000025663	0.00000029008
25	0	0	0	0	1	5	0	-1	0	0	0	-0.00000020745	-0.00000031390
26	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000033999	-0.00000014711
27	0	0	0	0	4	0	0	-1	0	0	0	0.00000016049	-0.00000032300
28	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	-0.00000027785	-0.00000018087
29	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	0	-0.00000032571	0.00000012430
30	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	0	-0.00000013194	-0.00000030138
31	0	0	0	0	2	-5	0	1	0	0	0	0.00000037094	-0.00000005171

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 1 A NEWTONIAN													0	*T**3 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	3	-5	0	-1	0	0	0	-0.00000402885	-0.00000263462		
2	0	0	0	0	1	-5	0	1	0	0	0	0.00000406633	0.00000258471		
3	0	0	0	0	2	-6	0	1	0	0	0	-0.00000243963	-0.00000160696		
4	0	0	0	0	2	-4	0	-1	0	0	0	0.00000240487	0.00000151098		
5	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0	0	-0.00000068947	-0.00000070267		
6	0	0	0	0	0	2	0	-1	0	0	0	0.00000066830	0.00000034853		
7	0	0	0	0	2	-7	0	1	0	0	0	0.00000048804	-0.00000040980		
8	0	0	0	0	0	5	0	-1	0	0	0	-0.00000052047	0.00000030443		
9	0	0	0	0	5	-10	0	-1	0	0	0	0.00000029968	0.00000026768		
10	0	0	0	0	4	-5	0	-1	0	0	0	-0.00000036237	0.00000014211		
11	0	0	0	0	2	-3	0	-1	0	0	0	0.00000015032	-0.00000026612		
12	0	0	0	0	3	-10	0	1	0	0	0	-0.00000022147	-0.00000019472		
13	0	0	0	0	4	-11	0	1	0	0	0	0.00000022095	0.00000019283		
14	0	0	0	0	0	3	0	-1	0	0	0	0.00000006473	-0.00000029542		
15	0	0	0	0	3	0	0	-1	0	0	0	-0.00000012972	-0.00000016816		
16	0	0	0	0	4	-9	0	-1	0	0	0	-0.00000009370	-0.00000008381		
17	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00000006538	0.00000008216		
18	0	0	0	0	2	-8	0	1	0	0	0	0.00000004929	0.00000009249		
19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.00000006381	-0.00000004917		
20	0	0	0	0	6	-10	0	-1	0	0	0	0.00000004491	-0.00000005784		
21	0	0	0	0	1	5	0	-1	0	0	0	-0.00000005539	0.00000003220		
22	0	0	0	0	4	-12	0	1	0	0	0	-0.00000004244	0.00000003316		
23	0	0	0	0	0	4	0	-1	0	0	0	-0.00000005687	-0.00000000908		
24	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	-0.00000003057	0.00000003024		

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN													0	*T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.01016045634	-0.00056728847		
3	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0.00441710250	0.00000070450		
4	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0.0092919547	0.00000017273		
5	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.0041150478	0.00006709384		
6	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0	0	0.0021128940	-0.00005302284		
7	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0.00016297410	0.00000042493		
8	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0.00008086007	0.00000021452		

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN													0	*T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000007000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00004568863	0.00015927049		

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 2 L NEWTONIAN													0	*T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	0.00000042810	-0.00000291669		

VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 3 K NEWTONIAN													0	*T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00000119588	0.00363310366		
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-0.00000002359	0.00136232980		
4	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	-0.00000031181	0.00131042157		
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000015290	0.00076137557		
6	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00000030090	0.00059901178		
7	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	-0.00000006735	0.00034074985		
8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00004115275	0.00016147141		
9	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	-0.00001271116	0.00015842816		
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-0.00000002088	0.00008693527		
11	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	0.00001472929	0.00005774875		
12	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0.000000021463	-0.00006853376		
13	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0.00004224843	-0.00000327516		
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-0.00001422599	0.00001351141		
15	0	0	0	0	0	0	3	-4	0	0	0	0.00000008763	-0.00002957301		
16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000631	0.00002501595		
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.00000003166	0.00002367415		
18	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	-0.00001642288	-0.00000706534		
19	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0.00001655418	-0.00000128114		
20	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	-0.000000211265	0.00001235858		
21	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-0.000000076725	0.00001337101		
22	0	0	0	0	1	0	1	-4	0	0	0	-0.000000072292	-0.00001329581		
23	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0.00000119702	-0.00001140441		
24	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000435004	0.00000797501		
25	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	-0.00000000007	0.00000310297		
26	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0.00000004982	-0.00001205319		
27	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000157893	-0.00000971590		
28	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000149996	0.00000976393		
29	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0.00000018190	-0.00000951523		
30	0	0	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000000017	0.00000843696		

26.Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Neptun

31	0	1	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000000613	0.00000794801
32	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-0.00000356883	-0.00000312644
33	0	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0.00000002792	-0.00000630441
34	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0.00000008282	-0.00000539355
35	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	-0.00000080361	0.00000526020
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000745837	0.00000367034
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000291475	-0.00000408710
4	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000378641	-0.00000110281
5	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000376365	0.00000112083
6	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	0.00000266522	0.00000138320
7	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	-0.00000249738	-0.00000053084
8	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	-0.00000113544	-0.00000162353
9	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0.00000209098	0.00000060799
10	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	-0.00000203154	-0.00000059716
11	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	0	0.00000143547	0.00000042647
12	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	0	-0.00000144074	-0.00000041994
13	0	0	0	0	2	-6	0	2	0	0	0	0.00000092929	0.00000027004
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 3 K NEWTONIAN 0 *T**2 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0.00000032970	-0.00000074438
3	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000033388	0.00000073816
4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000038598	-0.00000038781
5	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	-0.00000018424	0.00000041043
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000017636	-0.00000039860
7	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000084619	0.00000026970
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00000050330	0.00000001157
9	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	0	-0.00000012724	0.00000028171
10	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	0	0.00000012547	-0.00000028329
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000028718	-0.00000000767
12	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	0.00000013807	-0.00000013886
13	0	0	0	0	2	-6	0	2	0	0	0	-0.00000008195	0.00000018277
14	0	0	0	0	2	-4	0	-2	0	0	0	0.00000007946	-0.00000017930
15	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	-0.00000009594	0.00000010671
16	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	0.00000019713	0.00000000141
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**0 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.00340034783	0.00000026002
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.00136278888	-0.00000007335
4	0	0	0	0	1	0	0	-2	0	0	0	-0.00131043133	-0.00000025533
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.00076068362	0.00000018322
6	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0	-0.00059734670	-0.000000411250
7	0	0	0	0	0	1	0	-2	0	0	0	-0.00034070791	-0.00000002789
8	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00016154183	-0.000004120135
9	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	-0.00015783636	-0.00001269983
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00008735586	0.00000007522
11	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	-0.00005769567	0.00001474374
12	0	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0.00006868515	0.00000029874
13	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000327209	-0.00004222259
14	0	0	0	0	1	0	0	-3	0	0	0	-0.00001351177	-0.00001422581
15	0	0	0	0	1	0	0	3	-4	0	0	0.00002507613	0.00000006891
16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00002501304	0.00000000631
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00002367379	0.00000000388
18	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0	0.00001465203	-0.00000816026
19	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0.00000121202	0.00001680671
20	0	0	0	0	0	0	3	-6	0	0	0	-0.00001229061	-0.00000210429
21	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	-0.00001337864	-0.00000076253
22	0	0	0	0	1	0	1	-4	0	0	0	0.00001329594	-0.00000072351
23	0	0	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0.00001135798	0.0000119584
24	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000797760	-0.00000435281
25	0	0	0	0	0	1	0	-3	0	0	0	-0.00000310036	-0.00000900288
26	0	0	0	0	0	0	4	-5	0	0	0	0.00001184072	0.00000002874
27	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0.00001134985	-0.00000026987
28	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	-0.00000976991	-0.00000150374
29	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	-0.00000970790	-0.00000154046
30	0	0	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	0.00000952822	0.00000019296
31	0	0	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000843700	0.00000000017
32	0	1	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	-0.00000794805	-0.00000000581
33	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-0.00000312742	0.00000356356
34	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	0.00000518863	0.00000082762
35	0	0	0	0	0	0	5	-6	0	0	0	0.00000615668	0.00000000892
36	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	0.00000518957	0.00000087810
VSOP82 NEPTUNE VARIABLE 4 H NEWTONIAN 0 *T**1 DYNAMICAL ECLIPTIC 2000													
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0.00000386934	-0.00000746762
3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000408259	0.00000290950
4	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0	0.00000110466	-0.00000378906
5	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0	0.00000111327	-0.00000376236
6	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0	-0.00000138182	0.00000266781
7	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0.00000051963	-0.00000246554
8	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	0.00000159364	-0.00000115719
9	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	0	-0.00000060673	0.00000208857
10	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	0	-0.00000060355	0.00000201810
11	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	0	-0.00000042641	0.00000143550
12	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	0	-0.000000041978	0.00000144101
13	0	0	0	0	2	-6	0	2	0	0	0	0.00000026982	-0.00000092988
14	0	0	0	0	2	-4	0	-2	0	0	0	0.00000027024	-0.00000091216
15	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0.00000020860	-0.00000089332

27. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82, Tabelle 3.

Neptun		VSOP82	NEPTUNE	VARIABLE	4 H	NEWTONIAN	0	*T**2	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000	
1	0	0	0	0	1	-5	0	0	0	0	0.00000074501	0.00000033015
2	0	0	0	0	3	-5	0	0	0	0	0.00000073825	0.00000033299
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000
4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-0.00000038695	-0.00000038655
5	0	0	0	0	2	-6	0	0	0	0	-0.00000040983	-0.00000018364
6	0	0	0	0	2	-4	0	0	0	0	-0.00000039746	-0.00000017573
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-0.00000000399	-0.000000051722
8	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0.00000026826	0.00000024566
9	0	0	0	0	3	-5	0	-2	0	0	-0.00000028172	-0.00000012723
10	0	0	0	0	1	-5	0	2	0	0	-0.00000028330	-0.00000012548
11	0	0	0	0	2	0	0	-2	0	0	0.00000013874	0.00000013817
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00000000350	0.00000027033
13	0	0	0	0	2	-6	0	2	0	0	0.00000018285	0.00000008195

VSOP82	NEPTUNE	VARIABLE	5 Q	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	-0.00000041300	0.00001009225
3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-0.00000035552	0.000000873391
4	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	-0.00000140607	-0.000000313198

VSOP82	NEPTUNE	VARIABLE	6 P	NEWTONIAN	0	*T**0	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	-0.00001008508	-0.00000041066
3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0.000000873359	0.00000035777
4	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	0.000000289857	-0.00000133468
5	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	-0.000000281996	-0.00000086217

VSOP82	NEPTUNE	VARIABLE	6 P	NEWTONIAN	0	*T**1	DYNAMICAL	ECLIPTIC	2000			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00000000000	0.00000000000		
2	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0.000000038392	-0.000000031924
3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-0.000000033254	0.000000027621
4	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	-0.000000023522	0.00000016976
5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0.00000016529	-0.00000011730
6	0	0	0	0	0	0	1	-2	0	0	0.000000003333	-0.00000011466
7	0	0	0	0	0	0	2	-4	0	0	-0.000000002627	-0.000000004724

Nun ermitteln wir den heliozentrischen Ort des Planeten:

$$\begin{aligned}
 \text{Gestörte Variable} &= \text{Mittlere Variable} + \\
 &+ (\sum \text{Terme Gruppe T**0}) + \\
 &+ (\sum \text{Terme Gruppe T**1}) \cdot T + \\
 &+ (\sum \text{Terme Gruppe T**2}) \cdot T^2 + \\
 &+ (\sum \text{Terme Gruppe T**3}) \cdot T^3 + \\
 &+ (\sum \text{Terme Gruppe T**4}) \cdot T^4 .
 \end{aligned}$$

Die heliozentrische Länge des Perihels π , jene des aufsteigenden Knotens Ω , die Bahnneigung i und die numerische Exzentrizität e werden dann erhalten aus:

$$\tan \pi = \frac{h}{k} \quad (\text{Koordinatentransformation rechtwinkelig} \Rightarrow \text{polar!})$$

$$\tan \Omega = \frac{p}{q} \quad "$$

$$\sin \frac{i}{2} = \sqrt{\frac{p^2 + q^2}{2}}$$

$$e = \sqrt{\frac{k^2 + h^2}{2}}$$

und aus der mittleren Anomalie $M = \Lambda - \pi$ ergibt sich die exzentrische Anomalie E über die Kepler'sche Gleichung (Iteration, be-

28. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

ginnen mit $E_0 = M$): Nunmehr wird statt (Rad) stets ($^\circ$) verwendet.

$$E_1 = E_0 + \frac{M + e^\circ \cdot \sin E_0 - E_0}{1 - e \cdot \cos E_0} \quad e^\circ = e \cdot 57,295\,779\,51$$

Die wahre Anomalie v folgt aus

$$\tan \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \frac{E}{2}$$

und weiter der Radiusvektor r und das Argument der Breite u

$$r = a \cdot (1 - e \cdot \cos E) \quad \text{und} \quad u = \Lambda + v - M - \Omega$$

Die heliozentrische Länge l und Breite b ergibt sich aus:

$$\begin{aligned} \tan(l - \Omega) &= \cos i \cdot \tan u & \text{und} \\ \sin b &= \sin u \cdot \sin i \end{aligned}$$

BEISPIEL

Berechnung des heliozentrischen Ortes (l, b, r) des Saturn,
+1986 Jan. 10,0 ET = JD 2 446 440,5

$$T = -0,013\,975\,359\,34$$

Wir beschränken uns auf einen Teil der angegebenen Störungsterme, wozu nur die Planeten Jupiter (5), Saturn (6) und Uranus (7) beitragen. Es werden nur Glieder bis T^2 und 9 Dezimalen verwendet.

Aus Tabelle 1 ergeben sich die mittleren Längen:

$$L_5 = -6,803\,075\,1 \quad (\text{Rad}) = 330,212\,510^\circ$$

$$L_6 = -2,106\,914\,7 \quad " = 239,282\,680^\circ$$

$$L_7 = +4,436\,194\,2 \quad " = 254,175\,204^\circ$$

L_1 bis L_4 und L_8 werden nicht gebraucht.

Aus Tabelle 2 ergeben sich die mittleren Elemente des Saturn:

$$a = 9,554\,909\,9$$

$$\Lambda = -2,110\,322\,572 \quad (\text{Rad}) = 239,087\,423^\circ$$

$$k = -0,002\,696\,831$$

$$h = +0,055\,491\,541$$

$$q = -0,008\,676\,742$$

$$p = +0,019\,914\,278$$

29. Fortsetzung: Die Planetentheorie VSOP 82.

Aus Tabelle 3 ergeben sich die Störungsterme:

$$\begin{aligned} a: (\Sigma \text{Terme Gruppe } T^{**0}) &= -0,001\ 228\ 341 \text{ AE} && \text{Nr. 1-11} \\ (\Sigma \text{Terme Gruppe } T^{**1}) &= +0,000\ 581\ 745 && \text{Nr. 1-8} \\ (\Sigma \text{Terme Gruppe } T^{**2}) &= +0,000\ 280\ 930 && \text{Nr. 1-8} \end{aligned}$$

Die Gesamtstörung in a beträgt also $-0,001\ 228\ 341 +$
 $+ (0,000\ 581\ 745 \cdot T) + (0,000\ 280\ 930 \cdot T^2) = -0,001\ 236\ 4 \text{ AE}.$

Addieren wir diesen Wert zum mittleren Wert $9,554\ 909\ 9 \text{ AE}$,
so ergibt sich die gestörte große halbe Achse der Saturnbahn

$a' = 9,553\ 673\ 5 \text{ AE}.$ In ähnlicher Weise erhalten wir:

$$\begin{aligned} \Delta' &= 239,089\ 27^\circ && \text{Nr. 1-11 } (T^0), \text{ alle } (T^1), \text{ alle } (T^2) \\ k' &= -0,001\ 937\ 6 && \text{Nr. 1-11 } (T^0), \text{ 1-9 } (T^1), \text{ 1-9 } (T^2) \\ h' &= +0,051\ 605\ 1 && \text{Nr. 1-11 } (T^0), \text{ 1-9 } (T^1), \text{ 1-9 } (T^2) \\ q' &= -0,008\ 673\ 2 && \text{Alle} \\ p' &= +0,019\ 891\ 6 && \text{Alle} \end{aligned}$$

Diese Größen sind viel zu genau angegeben, um Programme prüfen
zu können. Aus ihnen folgen die weiteren gestörten Elemente:

$$\begin{aligned} e' &= 0,051\ 641\ 5 \\ \pi' &= 92,150\ 26^\circ \\ \Omega' &= 113,558\ 32^\circ \\ i' &= 2,486\ 84^\circ \end{aligned}$$

Die weitere Rechnung ergibt:

$$\begin{aligned} M &= 146,939\ 01^\circ && u = 128,591\ 78^\circ \\ E &= 148,485\ 63^\circ && l = 242,176\ 4^\circ \text{ Soll: } 242,191\ 8^\circ \\ v &= 149,999\ 84^\circ && b = +1,943\ 5^\circ \text{ Soll: } +1,941\ 9^\circ \\ r &= 9,974\ 27 \text{ Soll } 9,972\ 91 \text{ AE} && \text{(Mittleres Äquinoktium des Datums)}. \end{aligned}$$

Die Unterschiede Ist-Soll sind darauf zurückzuführen, daß nur
die hauptsächlichsten Störungsterme verwendet worden sind.

Literatur

P. Bretagnon, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes.
Solution VSOP 82. Astronomy and Astrophysics 114,
278-288 (1982).

P. Bretagnon, Private Mitteilungen.

Jean Meeus
Heuvestraat 31
B-3071 ERPS-KWERPS

Hermann Mucke
Hasenwartgasse 32
A-1238 WIEN

PLANETS.XLS

JUL 21 15:10:12
 10075 Beispiel

	Erde	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
Hellong	109,45	247,30	284,03	193,43	325,97	242,19
Hellat	0,00	-2,31	-1,57	1,09	-0,93	1,94
RadVect	0,9834	0,4649	0,7277	1,6310	5,0333	9,9729
Geolong	289,45	276,24	287,14	226,06	320,23	246,08
Geolat	0,00	-0,79	-0,67	0,98	-0,80	1,82
Distance	0,9834	1,3641	1,7091	1,8142	5,8529	10,6645
Lichtzeit		0,0079	0,0099	0,0105	0,0338	0,0616

L0	1,75726055	4,48282946	3,18170425	6,0835326	0,5287998	0,92822679
L1	6283,31766	26088,1558	10213,5289	3340,86535	529,931803	213,544171
L2	0,00055846	0,00052669	0,00053101	0,00087962	0,00010125	0,00065418
L3	0	0	0	-9,4226E-06	-3,884E-05	0,0001103
L4	0	0	0	0	0	-1,2077E-05
L5	0	0	0	0	0	0
L	-86,0543615	-360,108522	-139,556032	-40,6062611	-6,87718756	-2,05612961
L 0..2pi	1,91023278	4,31622584	4,95722972	3,37603608	5,68918305	4,22705569
L	109,448276	247,301524	284,028341	193,432619	325,966178	242,192451
B0	0	-0,04032557	-0,02742041	0,01895354	-0,01630521	0,03385928
B1	0	-0,00538556	-0,0046078	-0,00315161	-0,00030534	-0,00300416
B2	0	1,5722E-05	9,7663E-05	-0,00013456	7,6204E-05	-0,00014876
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B	0	-0,0402503	-0,02735599	0,01899756	-0,01630093	0,03390124
B	0	-2,30617219	-1,56738289	1,0884801	-0,93397464	1,94239795
R0	0,98342801	0,46493283	0,72770666	1,63113143	5,03333169	9,97210371
R1	0,00030757	-0,00030649	-0,00030892	0,0078372	0,00049012	-0,05916135
R2	4,2208E-05	-2,1688E-05	1,1922E-05	-0,00027457	0,00076264	-0,00033726
R3	-4,0353E-07	0	0	-4,9069E-06	2,8877E-05	0,00024935
R4	0	0	0	0	-5,9112E-07	-1,0147E-05
R5	0	0	0	0	0	-1,2251E-06
R	0,98342372	0,46493711	0,72771098	1,63102185	5,03332499	9,97293045
x		0,14817126	0,50376905	-1,25868042	4,49803574	-4,32229399
y		-1,35589153	-1,63305551	-1,3061327	-3,74400007	-9,74349499
z		-0,0187088	-0,01990477	0,03098357	-0,08204426	0,33802995
Erdabstand		1,36409186	1,70910788	1,81417171	5,85291323	10,6645293
Lichtzeit		0,00787834	0,00987098	0,01047778	0,03380361	0,06159318
Länge		-1,46194866	-1,2715757	-2,33769534	-0,69416555	-1,98832211
Länge		276,236512	287,144079	226,059923	320,227244	246,077535
Breite		-0,01371564	-0,01164656	0,01707946	-0,01401814	0,03170197
Breite		-0,78584822	-0,66729858	0,97858121	-0,80318014	1,81638902

1912

Referat: Computergesteuerte Amateur-Montierung

Technische Daten:

Superpolaris-Montierung mit Sky-Sensor / Fa.Vixen - Japan.
50mm Stundenachse mit eingebautem Polsucherfernrohr.
System der Deutschen Montierung.
Schrittmotorsteuerung in beiden Achsen.
Steuercomputer mit fix gespeicherten Koordinaten von 280
Fixsternen und 450 Sternhaufen und Nebeln (1950,0).
Stromversorgung 12V/3A erforderlich (Autobatterie).
RS232C-Schnittstelle (1200 baud).

Betriebsvorbereitung:

Parallaktische Aufstellung der Montierung mit Hilfe des Pol-
suchersystems.

Eingabe von Datum, Uhrzeit, Gradabweichung vom Zeitzone-
meridian (Differenz MEZ/MOZ) und der geographischen Breite.
Damit beginnt die Nachführung zu laufen.

Hellen Stern in der Himmelshälfte, in der beobachtet werden
soll, als Referenzpunkt einstellen und seine Koordinaten oder
Nummer eingeben. Damit ist der Computer "im Bilde"; diese
Orientierung kann jederzeit mit jedem beliebigen Objekt wie-
derholt werden. Der Computer zeigt nun immer die laufenden
Koordinaten an.

Betrieb:

Folgende Funktionen werden vom Computer gesteuert:

- 1) Automatische Nachführung in Stunde. Es besteht die Möglich-
keit, in beiden Achsen in beiden Richtungen sowohl doppelt
so schnell als auch in 60-facher Geschwindigkeit zu korri-
gieren bzw. zu suchen. Bei 60-facher Geschwindigkeit in
Stunde ist die Nachführung ausgeschaltet.
- 2) Automatisches Einstellen eines Objektes nach Name/Nummer oder
Koordinaten (steht das Objekt unter dem Horizont, erscheint
eine Fehlermeldung). Wird beim Suchen der Meridian über-
schritten, so wird die Deklinationsachse um 180° gedreht.
(Umschlagen).
- 3) Anzeige aller gespeicherten Objekte im Umkreis von 4° von
der gegenwärtigen Position.

1. Fortsetzung Referat: Computergesteuerte Amateur-Montierung.

- 4) Anzeige der Sternzeit, der Uhrzeit (läuft aber mit der Sternzeit-Geschwindigkeit) und des Datums.
- 5) Eingabemöglichkeit zum automatischen Auslösen des Kamera-
verschlusses: Uhrzeit der Auslösung und Dauer der Belich-
tung (bis 100 Minuten) können bis zu 24x eingegeben werden.
- 6) Übergabe der Kontrolle an einen externen Computer mit
RS232C-Schnittstelle.
- 7) Verwendung von 4K Speicher RAM (noch nicht verwendet).

Bemerkungen:

Die Schrittweite der Motoren beträgt 6,25 Bogensekunden; d.h., sie ist für Planetenphotographie mit langer Brennweite (Okularprojektion) überhaupt nicht und für Planetenbeobachtung mit starker Vergrößerung weniger geeignet. Diese Montierung ist meiner Meinung nach eine typische Reisemontierung für den erfahrenen Amateur, der sich der Himmelsphotographie bis ca. 500mm Brennweite und/oder der Beobachtung feiner Nebel mit einem lichtstarken, leichten Fernrohr (z.B. 15cm Öffnung, 600-900mm Brennweite, also F/4 bis F/6) im dunklen Gelände verschrieben hat.

Für Anfänger mag es zwar auf den ersten Blick einfach erscheinen, daß das Positionieren "auf Knopfdruck" funktioniert, doch sollte man schon die Objekte auch ohne dieses Hilfsmittel am Himmel finden. Das Wissen um die Zusammenhänge und die zu überwindenden Schwierigkeiten sind Voraussetzung für eine sinnvolle Beschäftigung mit der Natur.

Erich Daltabuit
Rodaunerstraße 68
A-1235 WIEN

*Die beschriebene computergesteuerte Amateur-
montierung ist mit zugehörigen Himmelsauf-
nahmen in Ergänzung dieses Referates im Pla-
netarium der Stadt Wien ausgestellt.*

Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope - unter spezieller Berücksichtigung des 60cm RC - Teleskops des Instituts für Astronomie der Universität Wien.

*Meinem verstorbenen Freund und Lehrer
Prof. Dr. Alois Purgathofer zum Gedenken*

Das 60 cm RC - Teleskop unseres Institutes entstand in den 70-er Jahren unter der wohlwollenden Förderung des damaligen Direktors Prof. J. Meurers und ist eine Eigenentwicklung von Mitarbeitern unseres Instituts. An erster Stelle ist hier Prof. Dr. Purgathofer zu nennen, von dem die Idee und das optische Konzept stammt und der auch bei den praktischen Arbeiten maßgeblich beteiligt war. Herr Ing. Pressberger und das gesamte Team unserer Institutswerkstätte waren für die Konstruktion und Fertigung der Montierung verantwortlich. Herr Ing. Pressberger ist weiters für die Fertigung des Hauptspiegels zu nennen, zu dem ich nach dem Konzept von Herrn Prof. Purgathofer die optischen Detailrechnungen durchgeführt habe. In der Endphase der Fertigstellung habe ich ein Steuerungskonzept auf Mikroprozessorbasis erstellt und sowohl hard- als auch softwaremäßig realisiert. Für Teile der Analogelektronik und viele wertvolle Diskussionen muß hier auch Herrn Oberrat Dr. Pettauer vom Sonnenobservatorium Kanzelhöhe gedankt werden. Zu Beginn der 80-er Jahre wurde dann die Steuerung des 150 cm RC-Teleskops auf dem Mitterschöpfung ebenfalls mit einer Mikroprozessorsteuerung ausgestattet, wobei bei der Softwareentwicklung Herr Dr. Jenkner wesentliche Beiträge leistete.

1. Wie kommuniziert ein Computer mit der Aussenwelt ?

Dazu dienen die sogenannten Interfacebausteine oder auch kurz Interfaces (Schnittstellen) genannt. Ihre Aufgabe besteht im wesentlichen in der Anpassung der Eigenschaften der CPU an die Eigenschaften der peripheren Geräte oder Einrichtungen (z.B. ist die CPU sehr schnell, ein peripheres Gerät im allg. sehr langsam). Auf Grund dieser Eigenschaften und der Arbeitsweise werden verschiedene Arten von Interfaces unterschieden (z.B. serielle oder parallele Arbeitsweise, synchrone oder asynchrone Interfaces etc...).

Parallele Interfaces können zusätzlich nach der Anzahl der gleichzeitig übertragbaren Bits unterschieden werden. Weiters kann unterschieden werden, ob es sich um Ein- oder Ausgabedaten handelt.

Interfaces werden durch ganz bestimmte Befehle oder Befehle mit ganz bestimmten Adressen programmiert. Die spezielle Art der Programmierung ist leider maschinenabhängig und gehört bei komplizierteren Problemen mit zu den schwierigeren Teilen die Softwareentwicklung betreffend.

1. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope.

Insbesondere auch deshalb, da die genaue Funktion des Interfaces und des peripheren Gerätes verstanden werden muß. Bei den meisten Interfacebausteinen kann die Arbeitsweise des Interfaces softwaremäßig konfiguriert werden (z.B. ob ein Parallelinterface als Ein- oder Ausgabeport verwendet werden soll).

Als einfache Beispiele für die Verwendung von Interfaces wären folgende zu nennen:

- Aus- und Einschalten einer Kontroll- oder Anzeigelampe (z.B. LED) um einen bestimmten Betriebszustand anzuzeigen,
- Ansteuerung von 7-Segment Displays,
- Schalten von Relais oder elektronischen Schaltern zum Schalten von größeren Leistungen (z.B. Drehen einer viele Tonnen schweren Kuppel durch Setzen eines einzigen Bits im Computer),
- Ansteuern eines Digital-Analogwandlers (D/A-Konverters) zur Erzeugung von variablen Analogsignalen (Drehzahlregelung eines Scheibenläufermotors),
- Auslesen und Testen von Schalterstellungen (z.B. ob eine Taste auf einem Keyboard gedrückt wurde),
- Auslesen von externen digitalen Zählern (z.B. Feststellen der Position eines Teleskops auf Grund von gezählten Encoderimpulsen).

2. Was ist ein Interrupt bzw. eine Interrupt-Service-Routine ?

Normalerweise führt ein Computer einen ganz bestimmten Programmteil aus, der im einfachsten Fall aus einer endlosen Schleife bestehen kann, falls keine Arbeit ansteht.

Durch bestimmte Signale von der Außenwelt (peripheren Einheiten an Interfacebausteinen) wird der Rechner aufgefordert, bestimmte Aufgaben auszuführen, unabhängig was er sonst gerade macht, und die alte Arbeit wieder fortzusetzen, wenn er damit fertig ist. Im Rechner sind daher verschiedene Programmteile oder Routinen vorhanden, die unmittelbar nichts miteinander zu tun haben und auch völlig asynchron ablaufen können. Ein solches Signal von außen wird als Interrupt bezeichnet und der zugehörige Computercode, der dann zu durchlaufen ist, wird die dazugehörige Interrupt Service Routine (ISR) genannt.

Damit nach Beendigung der ISR der Computer die unterbrochene Arbeit wieder ordnungsgemäß fortsetzen kann, müssen natürlich verschiedene Zustände des Rechners (Registerinhalte, Statusbits, Rückkehradresse ...) abgespeichert werden, um nicht verloren zu gehen. Manche Rechner machen dies automatisch, bei anderen ist der Programmierer dafür verantwortlich. Bei fast allen Rechnern wird für dieses Zwischenspeichern die sogenannte Stacktechnik verwendet.

2. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope

Ein Vorteil der Stacktechnik liegt darin, daß beim Auftreten mehrerer Interrupts mit verschiedenen Prioritäten (Verschachtelung von Interrupt Service Routinen) die Programmstrukturen leicht überschaubar bleiben.

Um festzustellen, woher im Falle von mehreren peripheren Geräten der Interrupt kommt, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Die ISR testet der Reihe nach alle in Frage kommenden Interfaces, bis man eines gefunden hat, von dem der Interrupt stammt. Diese Methode ist zeitintensiv, von der Hardwareseite her gesehen aber einfacher ('Polling').
- Jedes Interface schickt gleichzeitig mit dem Interrupt eine ganz bestimmte eindeutige Kenngröße (den sogenannten Interruptvektor) mit. Dieser Vektor wird meistens gleich als Adresszeiger zur entsprechenden ISR verwendet.

3. Was sind Echtzeit- oder Realtime Probleme ?

Bestimmte Aufgaben oder Probleme die mit einem Computer gelöst werden sollen sind erst dann sinnvoll, wenn sie zu einem bestimmten Zeitpunkt und/oder in einem ganz bestimmten Zeitintervall ausgeführt und abgeschlossen werden.

(Wenn z.B. ein Computer eine Alarmanlage bei einem Brand auslösen soll, so wäre es sinnlos, dieses Programm erst eine Stunde später auszuführen, weil andere Programme mit höherer Priorität den Rechner gerade benutzen. Oder wenn eine softwaremäßig implementierte Computeruhr, welche durch einen externen Taktimpuls angetrieben wird, den Takt vor dem Erscheinen des nächsten Taktes nicht bereits abgearbeitet hat).

Daher müssen beim Lösen von Echtzeitproblemen folgende Punkte unbedingt beachtet werden:

- Der Programmteil, der das zeitkritische Problem lösen soll, darf auf keinen Fall länger in der Ausführungszeit sein, als das Zeitintervall dauert, in dem das Problem erledigt sein muß.
In höheren Programmiersprachen ist es nicht immer leicht möglich die genaue Laufzeit eines bestimmten Programmteiles zu bestimmen. Zeitkritische Abläufe werden daher meistens in Assembler- oder Maschinensprache geschrieben. Erstens kann man die genaue Laufzeit des Codes bestimmen und zweitens sind Maschinencodes meistens schneller als die entsprechenden durch einen Sprachübersetzer erzeugten Instruktionen. Zu beachten ist weiters, daß die Laufzeit sehr oft Datenabhängig ist. Bei anderen Daten werden häufig unterschiedliche Programmzweige durchlaufen. Man sollte daher immer den ungünstigsten Fall annehmen.
- Da bei einem Rechner verschiedene Programmteile mit verschiedener Priorität laufen können, ist dafür Sorge zu tragen, daß der zeitkritische Programmteil auch eine entsprechende Priorität zugesichert bekommt, um zeitgerecht fertig zu werden.

3. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope

- Bei komplizierteren zeitkritischen Applikationen ist daher eine sorgfältige Planung der Softwarestruktur unbedingt erforderlich. Dabei zeigt sich auch meistens, daß durch eine entsprechende Strukturierung sehr oft scheinbar nicht mehr lösbare Probleme doch bewältigt werden können (z.B. beim Problem Computeruhr kann man sich das Auftreten des Taktes merken und die eigentliche Bearbeitung verschieben, bis andere Aufgaben mit noch höherer Priorität wieder fertig sind).

4. Welche Antriebe kommen für computergesteuerte Teleskope in Frage ?

Ein Teleskopantrieb muß einen großen Geschwindigkeitsbereich überdecken können und zwar vom völligen Stillstand bis zu sehr schnellen Einstellbewegungen.

Dafür kommen in Frage:

- Schrittmotoren
- Scheibenläufermotoren

Schrittmotoren werden durch Impulse angesteuert und liefern daher gleichzeitig eine Positionsinformation.

Scheibenläufermotoren sind eine fast ideale Antriebsart, erfordern jedoch zusätzlich ein Encodersystem und eine etwas aufwendigere Elektronik. Die Genauigkeit der Bewegung hängt wesentlich von der Qualität des Tachogenerators ab, der in einer analogen Regelschleife mit dem Motor betrieben wird.

5. Wie wird die Position des Teleskops bestimmt ?

Eine Möglichkeit besteht in der Verwendung von Absolutencodern an beiden Achsen. Diese Lösung ist jedoch bei der geforderten Genauigkeit aus Kostengründen für kleinere Teleskope uninteressant.

Erfolgt der Antrieb über gute Schneckenräder, so kann man bei Verwendung von Schritt- oder Scheibenläufermotoren und incrementalen Encodern durch Zählen von Impulsen die genaue Position angeben, sobald man die Möglichkeit schafft, einen Nullpunkt zu setzen.

Dies ist nun in der Praxis sehr leicht und schnell durchführbar.

- Dosenlibelle,
- Referenzsterne am Himmel,
- Abstellen des Teleskops in einer ganz bestimmten Lage, die beim Einschalten erwartet wird.

4. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope

6. Welche Softwarekomponenten sind erforderlich ?

- Im Rechner muß eine Sternzeituhr zur Verfügung stehen, die am besten von einem externen Quarz getaktet wird,
- Berechnung der Sternzeit aus MEZ und Datum,
- Laufende Berechnung der Sollwerte für beide Achsen (Stundenwinkel und Deklination bei einer parallaktischen Montierung),
- Routinen zum Auslesen der Zähler zur Bestimmung der Istposition,
- Berechnung der Führungsgrößen aus (Sollwert-Istwert) zur Steuerung der Motoren,
- Erzeugung von Beschleunigungs- und Verzögerungsrampen für die Schnellbewegung,
- Refraktionskorrektur, Schnecken- und Antriebsfehlerkorrektur, Aufstellungs- und Instrumentenfehlerkorrekturen,
- Routinen zum Auslesen und Verarbeiten von Benutzerkommandos,
- Routinen zum Anzeigen von Positionen und Betriebszuständen,
- Epochenumrechnung von Himmelskoordinaten.

TELESCOPE	PRESET	TIME AND DATE	
RA: 21 ^h 55 ^m 57.8	RA: 23 ^h 45 ^m 27.6	MEZ : 21 ^h 22 ^m 42 ^s	1981-04-01
DE: 48° 05' 27"	DE: 38° 22' 45"	UT : 20 22 42	
HA: 02 ^h 09 ^m 12 ^s	HA: 00 ^h 19 ^m 43 ^s	ST : 10 05 11	2444695.932
AZ: 06 ^h 48 ^m 43 ^s	AZ: 01 ^h 28 ^m 08 ^s	TIMER : 00 00 00	
ZD: 21° 25' 05"	ZD: 10° 20' 33"	ALARM : 23 30 00	
AIRMASS: 1.07	AIRMASS: 1.01	-----	
EPOCH : DATE	EPOCH : 1950	BLOCK : 0	TEMPORARY
STAR HJ 123	STAR MS 321	-----	
			RA DE SCAN
		SPEED :	5 5 9
		VECTOR:	16 -53
		OFFSET:	-034 123

		TRACK :	ON OFF
		MODE :	AUTO GUIDE SLEW SCAN

COMMAND: <input type="text"/>			

Figure 1: Primary status display of the Vienna 150cm telescope control system.

Mikroprozessor steuert Teleskop

Ein 6800- μ P löst komplexe astronomische Aufgaben

M. Stoll

Unter den vielen Anwendungsgebieten, in denen Mikroprozessoren eingesetzt werden können, sind die Aufgaben einer Teleskopsteuerung ein typisches Beispiel für den universellen Einsatz dieser „intelligenten“ ICs. Einleitend wird kurz auf die Anforderungen an eine Teleskopsteuerung eingegangen, um dann anschließend dem Hard- und Softwareaufwand breiten Raum zu widmen.

Als Grundvoraussetzung für eine brauchbare Teleskopsteuerung wären folgende Betriebsfunktionen zu nennen:

- Einstellen eines Himmelsobjekts durch Bewegung des Teleskops um zwei Achsen aufgrund vorgegebener Koordinaten (Rektaszension, Deklination) in mehreren Geschwindigkeitsstufen (slewing, setting).
- Nachführung des Teleskops der täglichen Erddrehung (tracking).
- Ausführung bestimmter feinsten Zusatzbewegungen (guiding, scanning).

Um die geforderten Bewegungen der beiden Teleskopachsen erfüllen zu können, sind folgende Geschwindigkeitsbereiche notwendig.

1. slewing (Schnellgang) $\omega = 50 - 100^\circ/\text{min}$
2. setting (Grobeinstellung) $\omega = 1''/\text{s}$
3. guiding (Feineinstellung) $\omega = 2'' - 20''/\text{s}$
4. tracking (Nachführung) $\omega = 15''/\text{s}$

Als zusätzliche und wichtige Forderung kommt noch, daß die Bewegungen „Tracking“ und „Scanning“ mit hoher Konstanz der Winkelgeschwindigkeit ausgeführt werden müssen, was hohe Ansprüche an die Güte der Untersetzungsgetriebe stellt. Vor allem Hauptschneckenrad und Hauptschnecke sollten mit hoher Präzision gefertigt sein.

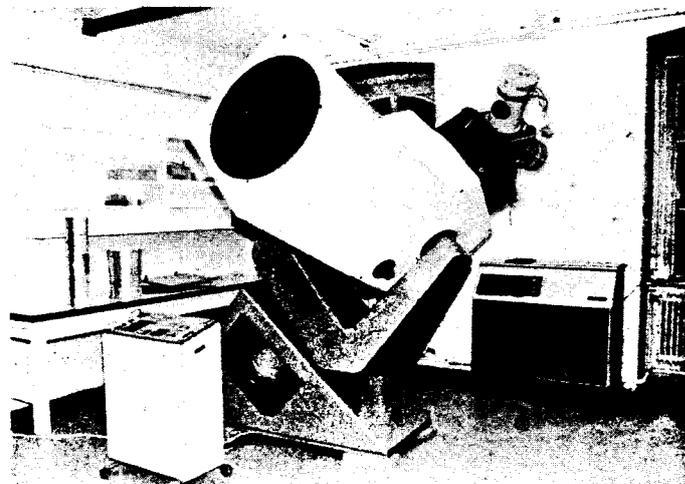


Bild 1: Gesamtansicht des Ritchey-Chretien-Teleskops mit Elektronikschrank im Vordergrund.

An den Schnellgang und die Grobeinstellung werden jedoch keine hohen Anforderungen in bezug auf die Winkelgeschwindigkeit gestellt. Die Getriebe sollten möglichst spielfrei sein, was, wenn notwendig, durch Vorspannungseinrichtungen erreicht werden kann. Weiters soll ein absolutes Positionieren in beiden Achsen von wenigstens einer Bogenminute möglich sein. Dies kann entweder mit kostspieligen Absolutencodern erzielt werden oder einfacher mit Inkrementalencodern, wobei bei diesen eine gangbare Methode zur Festlegung eines Nullpunkts geschaffen werden muß, und die Positioniergenauigkeit von der Genauigkeit der Untersetzungsgetriebe abhängt.

Bevor die für das 60-cm-Ritchey-Chretien-Teleskop (aplanatisches Cassegrain-System), welches in seiner Gesamtheit von Mitarbeitern der Universitätssternwarte Wien gefertigt wurde, entwickelte Mikroprozessorsteuerung näher beschrieben wird, seien noch kurz zum Vergleich bisher übliche Methoden zur Teleskopbewegung bzw. -steuerung erwähnt (erhebt natürlich in dieser Kürze keinen Anspruch auf Vollständigkeit).

Grobeinstellung durch Schwenken von Hand aus, absolutes Positionieren durch visuelles Einstellen an Teilkreisen, Feineinstellen durch Zusatzgetriebe (Tangentialarm, Differentialgetriebe ...), die von Hand aus oder mit Hilfsmotoren betätigt werden, Nachführung mit mechanischen oder elektrischen Uhrwerken, Synchron- oder Schrittmotoren.

Grobeinstellung mit Elektromotoren, Feineinstellung mit Servomotoren mit Tachogenerator und Nachführung mit Synchronmotor, wobei alle diese Bewegungen über entsprechend aufwendige mechanische Getriebe überlagert auf die Hauptachse geführt werden müssen. Das Positionieren kann wieder entweder mit Absolutencodern, visuellem Ablesen an Teilkreisen oder einer Ableitung der Position mit mechanischen Getrieben und Drehfeldgebern (Synchros) erfolgen.

Völlig neue Gesichtspunkte in der Antriebstechnik brachte das Erscheinen der Scheibenläufermotoren in Verbindung mit der digitalen Elektronik des letzten Jahrzehnts. Jedoch waren diese Konzepte infolge der enormen Entwicklungsarbeiten für eine digitale Hardwaresteuerung bzw. der hohen Kosten für eine Computersteuerung für Kleinteleskope nicht relevant. Erst durch den Einsatz von Mikroprozessoren wurde eine einfache und kostengünstige Lösung von Steuerungsproblemen dieser Art möglich.

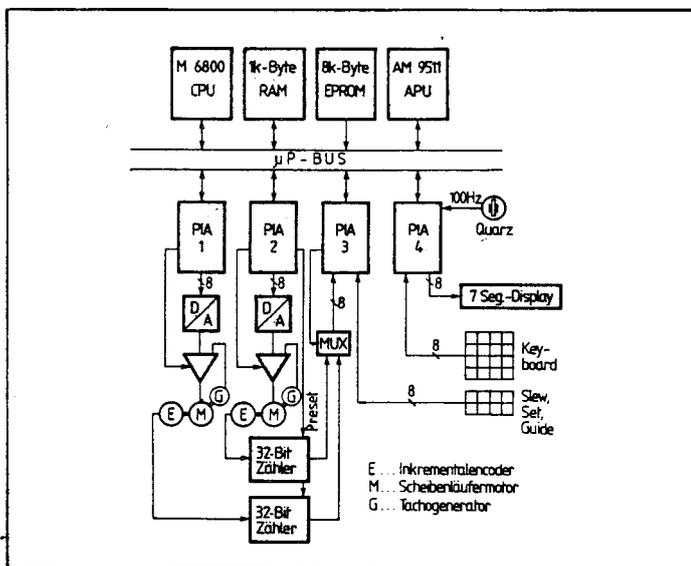


Bild 2: Blockschaubild der elektronischen Regelung.

Dr. Manfred Stoll ist Assistent am astronomischen Institut der Universität Wien (Universitätssternwarte Wien), durch dessen Initiative und durch dessen theoretische wie auch praktische Arbeiten die vorgestellte Entwicklung entstand.

6. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope



Bild 3: Geöffnetes Teleskopsteuerelektronikpult.

Beschreibung der Hardware

Als Getriebeuntersetzung zwischen Scheibenläufer und Hauptachse wurde ein Wert von 24.300 (= 270×90) gewählt und für jede Achse mechanisch durch je zwei Schneckengetriebe realisiert. Die elektronische Regelung wurde als Kaskade ausgeführt, wobei die innere Schleife aus einem handelsüblichen, in der Eingangsstufe PI-beschalteten Vierquadrantenverstärker mit analoger Geschwindigkeitsrückführung von einem Gleichstromtachogenerator besteht. Diesem System wird über einen D/A-Konverter ein geschwindigkeitsproportionales Signal als Führungsgröße zugeführt, die ihrerseits als digitale Differenz des Orts-Istwertes und Orts-Sollwertes berechnet wird. Der Orts-Istwert wird aus einem Inkrementalencoder mit einer Teilung von 180 Impulsen pro Umdrehung über eine Vierfachauswertung (1 Impuls = $\frac{1}{4}$ " an der Hauptachse) mit Hilfe eines 32-bit-Auf/Abzählers hergeleitet und in Form von 4×8 bit multiplex über ein PIA (Peripheral Interface Adapter) dem Prozessor zugeführt.

Vom Prozessor her kann der Zähler über den Preseteingang auf den Wert 02 00 00 00₁₆ gesetzt werden; womit vom Programm aus jederzeit der Nullpunkt neu gesetzt werden kann. Die Bildung des Orts-Sollwertes erfolgt ausschließlich softwaremäßig. Darin liegt auch die enorme Überlegenheit dieses Konzepts gegenüber jenen Steuerungen, die diesen Teil hardwaremäßig realisieren müssen. Denn gerade der Sollwert repräsentiert ja alle Bewegungen des Teleskops, und gewisse astronomische Beobachtungen erfordern ganz bestimmte Bewegungsabläufe und das hohe Maß an Flexibilität, das durch die Verlagerung der ganzen Logik auf die Softwareebene gewonnen wird. Die Differenzbildung zwischen Ist- und Sollwert erfolgt ebenfalls im Prozessor und wird über ein PIA einem 8-bit-D/A-Konverter zugeführt. Diese so gebildete digitale Regelschleife wird jedoch nur für die langsamen Geschwindigkeiten (tracking, guiding, setting) verwendet,

während der Schnellgang in offener Steuerkette betrieben wird. Der D/A-Konverter wird dabei zur Bildung einer Beschleunigungs- und Verzögerungsrampe verwendet, in dem dieser von einem programmierten Zähler angespeist wird, womit wieder der gesamte Geschwindigkeitsverlauf unter Softwarekontrolle steht. Um jedoch bei Verwendung desselben D/A-Konverters einen anderen Geschwindigkeitsbereich zu bekommen, wird der Bewertungswiderstand zwischen D/A-Konverter und Operationsverstärkersummenpunkt mit Hilfe eines digital ansteuerbaren CMOS-Analogschalters (MC 14 051) verändert.

Die Umwandlung der binären Ist- und Sollwerte in die für den Astronomen übliche Form von Grad, Bogenminuten und Bogen Sekunden bzw. Stunden, Minuten und Sekunden, um damit ein Siebensegmentdisplay zu betreiben, ist softwaremäßig ebenfalls kein Problem. Die für die Steuerung notwendige Sternzeituhr wird ebenfalls im Mikroprozessor erzeugt, in dem ein von einem Quarz auf 100 Hz geteiltes Signal über den NMI-Eingang des M 6800 als Echtzeituhr dem Prozessor zur Verfügung steht. Aus der Sternzeit kann im Programm jede beliebige andere Zeit (MEZ, Weltzeit ...) abgeleitet werden. Diese Echtzeituhr dient auch gleichzeitig als Zeitbasis für alle Geschwindigkeitskontrollen.

Die Auslösung der einzelnen Bewegungen kann über eine Tastatur von Hand aus erfolgen, wobei jede Taste mit einem PIA-Eingang verbunden ist, welcher alle $\frac{1}{100}$ s ausgelesen wird und die Bewegung so lange ausführt, als das entsprechende Bit gesetzt ist. Gewisse „verbotene“ Bewegungsabläufe wurden dabei softwaremäßig verriegelt. So kann zum Beispiel die Schnellgangbewegung nicht umgekehrt werden, bevor nicht die Verzögerungsrampe der vorhergehenden Bewegung durchlaufen wurde. Oder es kann mit dem Teleskop auch nicht unter den Horizont gefahren werden.

Obwohl damit jetzt bereits alle eingangs erwähnten Minimalfunktionen ausführbar sind, gibt es eine Fülle von zusätzlichen Funktionen, die man sich von einer optimalen Teleskopsteuerung wünscht und die bei den bisherigen Technologien gar nicht oder nur beschränkt und mit viel technischem Aufwand zu lösen sind. Als typische Beispiele seien folgende zusätzlichen Funktionen genannt:

- Automatisches Einstellen eines vorher manuell oder fest eingespeicherten Himmelsobjekts bzw. einer Ruhe- oder Serviceposition.

- Speichermöglichkeit mehrerer Himmelsobjekte, um während des Beobachtens möglichst wenig Einstellzeit zu verlieren.

- Automatische Nachführung der Kuppel aufgrund der Teleskopposition.

- Vorprogrammierung häufig benutzter Zusatzbewegungen (Raster scan, Scanning in beliebigen Positionswinkeln).

- Softwaregesteuerte Korrektur von systematischen Getriebefehlern.

- Weiters alle Aufgaben, die die arithmetischen Eigenschaften des Prozessors ausnützen. Dazu gehören die Positionskorrektur infolge der Lichtablenkung in der Erdatmosphäre, die Kompensation von Aufstel-

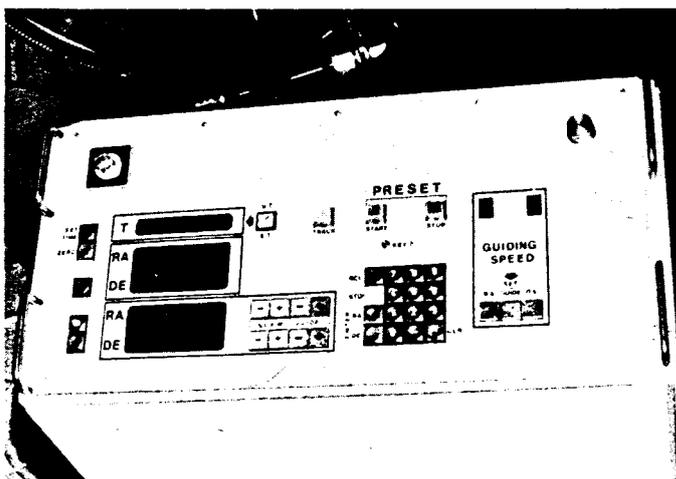


Bild 4: Bedienungsfeld der Steuerelektronik.

7. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope.

MOTOROLA M6800 CROSS-ASSEMBLER PAGE 1

M6800 IS THE PROPERTY OF MOTOROLA SFD, INC
COPYRIGHT 1974 TO 1975 BY MOTOROLA INC

MOTOROLA M6800 CROSS-ASSEMBLER, RELEASE 1.2

```

00001          NAM      INP011
00002          < 16-BIT FIXED-POINT OPERATIONS
00003          0040      SADD  EQU  *40
00004          0041      SSUB  EQU  *41
00005          0042      SMUL  EQU  *42
00006          0043      SDIV  EQU  *43
00007          < 32-BIT FIXED-POINT OPERATIONS
00008          0045      DADD  EQU  *45
00009          0046      DSUB  EQU  *46
00010          0047      DMUL  EQU  *47
00011          0048      DDIV  EQU  *48
00012          < 32-BIT FLOATING-POINT PRIMARY OPERATIONS
00013          004A      FADD  EQU  *4A
00014          004B      FSUB  EQU  *4B
00015          004C      FMUL  EQU  *4C
00016          004D      FDIV  EQU  *4D
00017          < 32-BIT FLOATING-POINT DERIVED OPERATIONS
00018          004E      SORT  EQU  *4E
00019          004F      SIN   EQU  *4F
00020          0052      ASIN  EQU  *52
00021          004B      LN    EQU  *4B
00022          004C      EXP  EQU  *4C
00023          < DATA AND STACK MANIPULATION
00024          005A      FIXS  EQU  *5A
00025          005C      FLTS  EQU  *5C
00026          005B      CHSF  EQU  *5B
00027          0053      FTOF  EQU  *53
00028          0054      FOFF  EQU  *54
00029          0057      XCHF  EQU  *57
00030          005A      PUP1  EQU  *5A
00031          0051      OFT  LIST
00032          4000      ORG  *4000
00033          *****
00034          * DEMONSTRATIONSBEISPIEL FUER
00035          * M68011 PROGRAMMIERUNG MIT
00036          * M6800 CROSS-ASSEMBLER
00037          4000      F6  401E      START  LDA  B  Y4          A TO STACK
00038          4003      BD  400F          JSE  GAUSS
00039          4006      6A          FCE  PUP1          PUSH P1 TO STACK
00040          4007      6A          FCE  PUP1          PUSH P1 TO STACK
00041          4008      4A          FCE  FADD          FLOATING ADD P1+P1 + 2*P1
00042          4009      4E          FCE  SORT          SQUARE ROOT OF 2*P1
00043          400A      4D          FCE  FDIV          DIVIDE BY SORT(2 *P1)
00044          400B      F7  401F          STA  B  Y4          STORE RESULT FROM STACK
00045          400E      3E          RTI          RETURN FROM INSTRUCTION LIST
00046          *****
00047          400F      63          *** SUBROUTINE GAUSS ***
00048          4010      4C          FCE  FTOF          PUSH TOP OF STACK, X,X
00049          4011      68  4019          LDA  A  C2          FLOATING MULT. X*X
00050          4014      5C          FCE  FLTS          LOAD INTEGER CONSTANT 2 INTO
00051          4015      4D          FCE  FDIV          CONVERT INTEGER TO FLOAT
00052          4016      4D          FCE  FDIV          DIVIDE BY 2
00053          4017      62          FCE  CHSF          CHANGE SIGN -X*X/2
00054          4018      3F          FCE  EXP          EXP-FUNCTION
00055          4019      0002          RTE          RETURN FROM SUBROUTINE
00056          401B      0004          X5          RME  4          INPUT VARIABLE
00057          401F      0004          Y4          RME  4          OUTPUT VARIABLE
00058          END

```

SYMBOL TABLE

ESUB	0040	SSUB	0041	FMUL	0042	SDIV	0043	DADD	0045
DSUB	0046	DMUL	0047	DDIV	0048	FADD	004A	FSUB	004B
FMUL	004C	FDIV	004D	SORT	004E	SIN	004F	ASIN	0052
LN	004B	EXP	004C	FLTS	005A	FLTS	005C	CHSF	005B
FTOF	0053	FOFF	0054	XCHF	0057	PUP1	005A	START	4000
GAUSS	400F	C2	401F	X4	401E	Y4	401F		

Bild 5: Demonstrationsbeispiel mit dem Am 9511.

lungs- und Instrumentenfehlern, die Transformation der Koordinaten in andere Systeme, Epochenrechnung und vieles mehr. Gerade die zuletzt genannten Punkte erfordern die Berechnung komplexer mathematischer Ausdrücke (Floatingpoint-Arithmetik, Winkelfunktionen und Umkehrfunktionen), die nur mehr entweder mit einem Mini-computer oder dem Mikroprozessor bewältigt werden können.

Die gesamte Hardware wurde auf Europakartenformat aufgebaut, wobei teilweise die von der Wiener Firma Elbatex GesmbH angebotenen Europakartenmoduln für den M 6800 zur Anwendung kommen (CPU und EPROM).

Systemaufbau

Das gesamte System besteht aus folgenden Karten:
CPU mit M 6800, 8-K-EPROM MC 68 708, 1-K-RAM MC 6810, 4 PIA-Interfaces MC 6820, Arithmetic Processing Unit Am 9511,

Keyboarddecoderkarte, 32-bit-Auf/Abzähler mit Latch und Preset, Vierfach-Auswerteelektronik, D/A-Konverter mit digital kontrollierter Operationsverstärkerbeschaltung, Anstreuerelektronik für insgesamt 35 Siebensegmentdisplays.

Weiters enthält die Steuerung zwei Vierquadrantenverstärker, zwei Scheibenläufermotoren mit Tachogenerator, zwei Haidenhein-Inkrementalencoder und einen Sternzeitquarz mit Teilerelektronik. Das Steuerpult enthält ein numerisches Keyboard und folgende Sonderfunktionstasten:

Sternzeit setzen, Zählernullpunkt setzen, Displayumschaltung von Sternzeit auf Weltzeit, Displayumschaltung von Rektaszension, Deklination in Azimut und Höhe, Recalltaste (Speicherinhalt wird auf Display angezeigt), Storetaste (aktuelle Teleskopposition wird abgespeichert), Rektaszensions- und Deklinationseingabetaste, automatische Vorwahl Starttaste (Teleskop fährt selbsttätig auf die Position des angegebenen Speicherplatzes), automatische Vorwahl Stopptaste (automatische Vorwahl kann jederzeit abgebrochen werden), Umschalttaste von Setting auf Guiding, Tasten zum Eingeben von zehn verschiedenen Guiding-Geschwindigkeiten. Alle Keyboardtasten werden von der Decodierelektronik in eine 6-bit-Binärzahl umgewandelt und nach einem IRQ-Interrupt über ein PIA vom Prozessor gelesen. Weiters werden einige Kontrolllampen über die noch freien Eingänge der PIAs angesteuert.

Für das manuelle Einspeichern von Koordinaten sind zehn Speicherplätze vorgesehen, da man zum Adressieren mit nur einer numerischen Taste auskommt. Weiters sind 150 Himmelsobjekte in einem EPROM fest eingespeichert, die bei Bedarf jederzeit erweitert oder geändert werden können.

Beschreibung der Software

Die Softwareentwicklung erfolgte mit Hilfe eines PDP 11/34-Computers und dem dafür von Motorola angebotenen Cross-Assembler. Der gewonnene Objektcode wird über ein Teletype auf Lochstreifen abgestanzt und dann wieder in eine selbstgebaute EPROM-Programmiereinrichtung eingelesen. Zu diesem Zweck wurde das Motorola-Entwicklungskit D 2 mit einem Teletype-Interface, 2-K-RAM, einem weiteren PIA und einer EPROM-Programmierelektronik erweitert. Die zugehörige Software wurde in einem 1-K-EPROM auf der im Kit D 2 vorgesehenen Adresse C000₁₆ untergebracht.

Die Teleskopsteuerungssoftware hat derzeit einen Umfang von etwa 6 Kbyte, deren Entwicklungszeit sich auf ungefähr acht Wochen belief. Die Struktur der gesamten Software gliedert sich in einen zeitkritischen und in einen nicht zeitkritischen Anteil. Der nicht kritische Teil besteht in erster Linie aus der Bedienung der Displays und der IRQ-Interrupt-Routine aufgrund einer Keyboardeingabe. Weiters gehört dazu die Bedienung der Arithmetic Processing Unit (APU) Am 9511. Alle zeitkritischen Aufgaben sind in der NMI-Interrupt-Routine zusammengefaßt, die alle 1/100 s aktiviert wird und natürlich höchste Priorität hat. In dieser Routine müssen alle Uhren bedient werden und die Führungsgrößen für die digitalen Regelschleifen für beide Teleskopachsen berechnet und ausgegeben werden.

Es hat sich als ausreichend erwiesen, die Führungsgrößen nur alle 80 ms zu berechnen. Die NMI-Routine wurde daher in drei Unterrountinen aufgegliedert, die in einem Dreierzyklus bei jedem dritten NMI-Interrupt an die Reihe kommen. Im ersten Zyklus werden alle Uhren, im zweiten Zyklus wird der Stundenantrieb und im dritten Zyklus wird die Deklinationsachse bedient.

Dieses Konzept wurde deshalb gewählt, weil es bei einer eventuellen Erweiterung der Funktionen aufgrund seiner modularen Struktur leicht überschaubar ist und außerdem für die im Hintergrund laufenden Programmteile genügend große Zeittücken übrigbleiben.

An Softwaredetails sei nur die Methode erwähnt, mit der die APU Am 9511 von der Mikroprozessorsoftware betrieben wird. Die Kommunikation mit dem Am 9511 erfolgt über einen 8-bit-Bus, wobei die Ein/Ausgabedaten, die Instruktioncodes und das Statusbyte übertragen werden müssen. Es ist nun naheliegend, eine µP-Routine zu schreiben, die eine Codeliste der Reihe nach abarbeitet, wobei jedem Listenelement eine ganz bestimmte Am 9511-Funktion entspricht. Die

8. Fortsetzung Gastvortrag: Computergesteuerte Teleskope.

Methode entspricht etwa der Programmierung eines Taschenrechners, bei dem die Programmierung durch Zusammenstellung einer bestimmten Tastenfolge erfolgt. Diese Vorgangsweise ist nicht weiter erwähnenswert. Was jedoch von einigem Interesse sein könnte, ist die Tatsache, daß man den *M 6800*-Assembler „mißbrauchen“ kann, um die *Am 9511*-Instruktionscodeliste zu erzeugen. Und zwar ist mit einigen Kunstgriffen eine mnemonische Codierung aller Befehle erzielbar, wozu natürlich auch die Ein/Ausgaben, bedingte und unbedingte Verzweigungen und eine Unterprogrammtechnik mit beliebiger Schachtelungstiefe gehören. Vor allem der Datentransfer und die Verzweigungsanweisungen lassen sich mit symbolischen Adressen codieren, was jeder zu schätzen weiß, der gezwungen ist, im Maschinencode zu programmieren. Im einzelnen ist dabei wie folgt vorzugehen (siehe auch nachfolgendes Beispiel):

Für die eigentlichen *Am 9511*-Rechenbefehle wird unter Verwendung des EQU-Statements einem mnemonischen Symbol eine 1-byte-Konstante zugeordnet (FADD EQU \$4A Floatingpoint Add-Befehl). Wird dann später irgendwo im Programm folgendes Statement codiert: FCB FADD, so setzt der Assembler die Konstante \$4A dafür ein. Ein Vorteil des FCB-Statements besteht auch darin, daß man mehrere Befehle in Listenform eintragen kann (FCB FADD, SIN, FMUL, ACOS). Um die für jedes Programm erforderliche EQU-Liste nicht immer neu eingeben zu müssen, läßt man eine Kopie davon immer in einem Massenspeicher und macht sich bei Bedarf eine neue Kopie, bevor man mit dem Editor die gewünschten Befehle ergänzt. Für den Datentransfer vom Prozessormemory in den *Am 9511*-Stack wurden folgende symbolischen Instruktionen verwendet:

LDAB und STAB zur Übertragung von vier Bytes, LDAA und STAA zur Übertragung von zwei Bytes und LDS und STS zur Übertragung von einem Byte. Diese Instruktionen können jedoch nur im Extended- bzw. Direct-Addressing-Mode verwendet werden. Für Verzweigungen

können alle *M 6800*-Instruktionen (JMP, BRA, BEQ, BNE ...) sinngemäß verwendet werden, wenn die entsprechenden Flags im *Am 9511*-Statusregister vorhanden sind.

Die Unterprogrammtechnik wird ebenfalls mit den Instruktionen (JSR, BSR, RTS) erledigt. Die RTI-Instruktion wird für das logische Ende der Instruktionsliste verwendet. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß es sich hier nicht um echte Mikroprozessorbefehle handelt, sondern ausschließlich um eine formale Methode, mit Hilfe des Assemblers eine ganz bestimmte Codeliste zu erzeugen.

Ergänzt sei noch, daß auch Konstanten mit Hilfe der Assemblerinstruktion FDB definiert werden können, wobei sogar für Integerwerte im Bereich von -65.536 bis 65.535 der Assembler die Umwandlung in Binärzahlen vornimmt. Als Demonstrationsbeispiel wurde der Ausdruck

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

berechnet, wobei für den Ausdruck

$$e^{-\frac{x^2}{2}}$$

ein Unterprogramm geschrieben wurde und die Ein- und Ausgangsgrößen den Adressen X4 bzw. Y4 zugeordnet sind. Das Decodierprogramm für die Instruktionscodeliste kann aus Platzgründen hier nicht gebracht werden, kann jedoch Interessenten zur Verfügung gestellt werden.

Abschließend möchte der Autor allen Mitarbeitern danken, durch deren Hilfe die Arbeiten in so kurzer Zeit abgeschlossen werden konnten, besonders aber Herrn Dr. T. Pettauer vom Sonnenobservatorium Kanzelhöhe für viele wertvolle Hinweise. □

Oberrat Dr. Manfred Stoll
Inst. für Astronomie
der Universität Wien
Türkenschanzstraße 17
A-1180 WIEN



2

3

4

5