

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 91

**Analyse der Satelliten-Laserentfernungsmessungen
des MERIT-Projektes
zur Bestimmung präziser Erdrotationsparameter**

von

Horst Montag, Gerd Gendt, Reinhard Dietrich,
Wilfried Korth und Klaus Kurth

Herausgeber: Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt
Potsdam 1986

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung	3
Summary	3
Резюме	4
1. Einleitung (H. MONTAG)	5
2. Das Bahnprogrammsystem POTSDAM-5 zur Analyse der Meßdaten (G. GENDT)	7
2.1. Verwendete Konstanten und Parameter	9
2.2. Realisierung der Referenzsysteme	9
2.2.1. Realisierung des Inertialsystems	10
2.2.2. Realisierung des terrestrischen Referenzsystems	12
2.2.3. Zusammenfassung der Transformationen	13
2.3. Positionen von Mond und Sonne	14
2.4. Reduktion der Laserentfernungsmessungen	14
2.5. Numerische Integration der Satellitenbewegungsgleichung und der Variationsgleichungen	15
2.6. Berechnung der auf den Satelliten wirkenden Beschleunigungen	17
2.6.1. Darstellung der Gravitation der Erde	18
2.6.2. Gravitation von Mond und Sonne	18
2.6.3. Gezeiten der festen Erde	19
2.6.4. Meeresgezeiten	19
2.6.5. Nichtgravitative Störungen	20
2.7. Berechnung der partiellen Ableitungen	21
2.7.1. Partielle Ableitungen für Bahnparameter	22
2.7.2. Partielle Ableitungen für Stations- und Polkoordinaten sowie Zeit und Erdrotation	22
2.7.3. Partielle Ableitungen für geodynamische Parameter	23
2.8. Parameterschätzung	24
3. Datenbereitstellung und Archivierung von Laserdaten	26
3.1. Datenbereitstellung (K. KURTH)	26
3.2. Archivierung von Laserdaten (K. KURTH)	26
3.3. Methode zur Berechnung von Normalpunkten aus Laserentfernungsmessungen (W. KORTH)	29
4. Ergebnisse	36
4.1. Stationskoordinaten (R. DIETRICH)	36
4.1.1. Bedeutung	36
4.1.2. Berechnung der Stationskoordinaten	37
4.1.3. Genauigkeit der Koordinaten	37
4.1.4. Weiterführende Untersuchungen zu zeitlichen Änderungen der Stationskoordinaten	41
4.2. Ergebnisse der Bestimmung von Erdrotationsparametern (H. MONTAG)	43
4.2.1. Allgemeine Betrachtungen	43
4.2.2. Ergebnisse für Polkoordinaten und Tageslängen	45
5. Vergleich mit anderen Lösungen und Wertung der Ergebnisse (H. MONTAG)	50
5.1. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Analysenzentren für Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten	50
5.2. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Methoden	55
5.3. Einschätzung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen	56
6. Literaturverzeichnis	59
Anhang: Tabellen 9 - 12	62

Zusammenfassung

Für die Auswertung der Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten im Rahmen des internationalen MERIT-Projektes fungierte das Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam, als eines der fünf Hauptanalysezentren. Für den insgesamt 14 Monate umfassenden Zeitraum wurden etwa 5000 Durchgänge des Satelliten LAGEOS ausgewertet, die im Standard-Datensatz aus rund 50 000 Normalpunkten bestanden und von etwa 30 Beobachtungsstationen gewonnen wurden.

Die Genauigkeit der Normalpunkte liegt größtenteils weit unterhalb von 1 dm (Lasergeräte 3. Generation), sonst bei etwa 1 dm (Lasergeräte 2. Generation).

Als Kernstück der Auswertung dient das Bahnprogramm POTSDAM-5, das die Satellitenbahn numerisch integriert und damit eine Bahnmodellierung und Parameterbestimmung mit höchster Genauigkeit ermöglicht. Grundlagen des Bahnmodells wie die Realisierung des Inertialsystems, das Verfahren der Integration sowie verwendete Modellkomponenten und -parameter entsprechend den MERIT-Standards werden detailliert beschrieben.

Eine Voraussetzung für die Bestimmung von Erdrotationsparametern bildet ein terrestrisches Bezugssystem höchster Genauigkeit, realisiert durch die Koordinaten der Beobachtungsstationen. Sowohl die eigenen Fehlerabschätzungen als auch der Vergleich mit den Ergebnissen anderer Analysezentren zeigt, daß die Genauigkeit der Stationskoordinaten etwa ± 3 cm beträgt.

Polkoordinaten und die Tageslänge wurden für überlappende 1-, 2-, 3- und 5-Tage-Intervalle bestimmt. Für die 5- und 3-Tage-Auflösung ist die innere Genauigkeit annähernd gleich und liegt bei $\pm 0,0005''$ ($\Delta \pm 1,5$ cm) für die Polkoordinaten und $\pm 0,02$ ms für die Tageslänge. Bei den kürzeren Intervallen, insbesondere bei der 1-Tag-Lösung, zeigt sich eine starke Abhängigkeit von der Dichte und Verteilung der Beobachtungsdaten.

Aus dem Vergleich mit der VLBI-Methode kann für die 5-Tage-Lösung eine "äußere" Genauigkeit von etwa ± 5 cm für die Polkoordinaten und etwa $\pm 0,1$ ms für die Tageslänge abgeschätzt werden.

Summary

In the framework of the international MERIT project the Central Institute for Physics of the Earth, Potsdam, acted as one of the 5 designated analysis centers for the satellite laser ranging method. For the time span of 14 months about 5000 passes of satellite LAGEOS were analysed, which consisted in a standard data set with approximately 50 000 normal points obtained at about 30 observation stations.

The precision of the normal points is mostly below 1 dm (3rd generation laser ranging instruments), otherwise in the order of 1 dm (2nd generation laser ranging instruments).

The orbital program POTSDAM-5, which performs a numerical integration of the orbit and this way permits an orbital modelling and parameter estimation with highest accuracy, serves as the main constituent of analysis. Fundamentals of the orbital model like the realization of the inertial system, a description of the integration as well as the used model components and parameters in conformity with the MERIT Standards are described in detail.

A terrestrial reference system of highest accuracy, realized by the coordinates of the observation stations, is a prerequisite for the determination of earth rotation parameters. The own error estimates as well as the comparisons with the results of other analysis centers show an accuracy of station coordinates of about ± 3 cm.

Pole coordinates and length of day (LOD) were determined for overlapping 1-, 2-, 3- and 5-day-intervals. The precision for the 5- and 3-day-resolution is almost the same and has the order of ± 0.0005 ($= \pm 1.5$ cm) for pole coordinates and ± 0.02 ms for LOD. For the shorter intervals, especially for the 1-day-solution, there exists a strong dependence on data density and distribution. Based on a comparison with results of the VLBI-method an accuracy of the 5-day-solution of about ± 5 cm for pole coordinates and of about ± 0.1 ms for LOD can be estimated.

Резюме

Центральный институт физики Земли в Потсдаме участвовал в международном проекте МЕРИТ как один из главных центров анализа для лазерной локации искусственных спутников Земли. Для всего периода 14 месяцев было обработано примерно 5000 прохождений спутника Лагос, которые содержали в стандартной группе данных примерно 50 000 нормальных мест, полученных приблизительно 30 наблюдательными станциями. Точность нормальных мест в большинстве случаев лучше чем 1 дм (лазерные приборы 3-его поколения), точность остальных около 1 дм (лазерные приборы 2-ого поколения). Основной частью обработки данных служит орбитальная программа Потсдам-5, которая интегрирует орбиту спутника численным методом.

Тем самым она дает возможность моделирования орбиты и определения параметров с высокой точностью.

Детально описываются основы орбитальной модели, как например реализация инерциальной системы, способ интеграции, а также использованные компоненты модели и параметров, соответствующие стандарту МЕРИТ.

Важной препосылкой для определения параметров вращения земли является наземная система относимости наивысочай точности, осуществляющаяся координатами наблюдательных станций. Как собственная оценка точности, как и сравнение с результатами других центров анализа показывают, что точность координат станций составляет приблизительно ± 3 см.

Координаты полюса и продолжительность суток определились для (перекрывающихся) интервалов 1, 2, 3, и 5 дней. Внутренняя точность для интервала 5 и 3 дней почти одинаковая и составляет $\pm 0,0005''$ ($= \pm 1,5$ см) для координат полюса и $\pm 0,02$ мсек для продолжительность суток. Более короткие интервалы, в особенности интервал в 1 день, показывают большую зависимость от плотности и распределения наблюдений. Сравнение результатов с результатами способа РСДБ дает в интервале 5 дней "внешнюю" точность приблизительно ± 5 см для координат полюса и $\pm 0,1$ мсек для продолжительности суток.

1. Einleitung

Die Frage nach der Konstanz der Pole der Rotationsachse der Erde wurde erstmalig aufgrund theoretischer Überlegungen gestellt. Nach der Theorie der Rotation freier Körper mußte sich die Rotationsachse um die Figurenachse drehen, wenn beide nicht übereinstimmten. L. EULER wies 1765 nach, daß bei einer vollkommen starren Kugel von der Größe und Winkelgeschwindigkeit der Erde die Rotationsachse in 305 Tagen um die Hauptträgheitsachse wandern würde, sofern durch Massenverschiebungen beide Achsen irgendwann voneinander getrennt wurden.

Mitte des vorigen Jahrhunderts hatten bekannte Astronomen wie BESSEL, PETERS und andere anhand astronomischer Beobachtungsreihen den Verdacht einer Veränderlichkeit des Pols ausgesprochen. Eine genauere Untersuchung des Phänomens trat erst ein, nachdem F. KÜSTNER bei Arbeiten über die Aberration eine Polhöhenchwankung der Berliner Sternwarte zwischen 1884 und 1885 von $0,20'' \pm 0,04''$ festgestellt hatte. Die von der Internationalen Erdmessung, deren Präsident F.R. HELMERT war, unterstützten einjährigen systematischen Zenitdistanzmessungen 1889/90 in Berlin, Potsdam, Prag und Straßburg bestätigten die Breitenschwankungen zumindest für Mitteleuropa. Daraufhin wurden von der Internationalen Erdmessung gleichzeitige Messungen in Berlin und Honolulu (Hawaii) in den Jahren 1891/92 veranlaßt. Die Ergebnisse bewiesen die Realität der Polschwankungen.

In den Jahren 1891/92 erkannte S.C. CHANDLER, daß die Periodendauer der Breitenschwankungen 427 Tage beträgt. Diese Periodendauer wurde schon 1893 von S. NEWCOMB als die durch die Elastizität der Erde verlängerte EULERSche Periode interpretiert. Detailliertere Beobachtungsergebnisse ermöglichten in den späteren Jahren, genauere quantitative Elastizitätsparameter abzuleiten.

Zur systematischen Untersuchung der neuen Erscheinung wurde durch die Internationale Erdmessung der Internationale Breitendienst (ILS) eingerichtet. Im Jahre 1899 begannen diese Messungen zur kontinuierlichen Überwachung der Polhöhenvariationen auf vier Stationen, die alle auf dem Breitenkreis $39^{\circ}08'$ lagen, nämlich Mizuzawa (Japan), Carloforte (Italien), Gaithersburg und Ukiah (beide USA). Später kamen noch weitere Stationen hinzu, z.B. Kitab (UdSSR). Alle Stationen wurden mit gleichen Zenitteleskopen ausgerüstet und beobachteten die gleichen Sterne nach der HORREBOW-TALCOTT-Methode. Die Genauigkeit einer Breitenbestimmung lag damals bereits bei $\pm 0,15''$. Sie hat sich bis heute nur noch geringfügig verbessert. Die Beobachtungen wurden in den ersten zwei Jahrzehnten im Zentralbureau der Internationalen Erdmessung in Potsdam ausgewertet.

In erweiterter Form werden die Messungen bis zum heutigen Tag fortgeführt und vom International Polar Motion Service (IPMS) in Mizuzawa und dem Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris betreut. Das BIH wurde 1912 zunächst für die Bestimmung der Zeit gegründet. Da die Zeitbestimmung aber von Rotationsschwankungen und Polbewegungen abhängig war, wurden beide Parameter bald in die Untersuchungen einbezogen. Der IPMS entstand 1962 aus dem ILS nach einer Reorganisation und Erweiterung auf etwa 80 weltweit verteilte Stationen. Damit sollte in erster Linie eine Genauigkeitssteigerung erzielt werden. Neben der Variabilität der CHANDLER-Periode ist ein ganzes Spektrum von Variationen des Erdrotationsvektors nachgewiesen worden. Die Entdeckung der Rotationsschwankungen wurde möglich, als mit der Entwicklung der Quarzuhren in den dreißiger Jahren genauere Zeitnormale zur Verfügung standen. Die kontinuierliche Bestimmung der Variationen des Erdrotationsvektors ist die Grundlage für die Lösung einer Vielzahl wissenschaftlicher und praktischer Aufgaben.

In den letzten Jahrzehnten sind die Anforderungen an die Untersuchung des Rotationsverhaltens der Erde als Teil der geodynamischen Erscheinungen beträchtlich gestiegen. Ein

wesentlicher Fortschritt im Verständnis der geodynamischen Prozesse kann erreicht werden, wenn neben detaillierten theoretischen Modellierungen auch neue Meßmethoden eingesetzt werden, die sowohl eine höhere Meßgenauigkeit und zeitliche Auflösung erreichen als auch zu einer Trennung der verschiedenen geodynamischen Phänomene beitragen. Die geforderte Meßgenauigkeit liegt bei 10^{-8} bis 10^{-9} des Erdradius (1 dm bis 1 cm). Diese hohen Meßgenauigkeiten wurden durch die enormen Entwicklungen der kosmisch-geodätischen Meßverfahren ermöglicht. Auch die zeitliche Auflösung der Ergebnisse, die unter Nutzung klassischer astronomischer Messungen bestenfalls 5 Tage betrug, kann mit Hilfe der modernen kosmisch-geodätischen Verfahren beträchtlich erhöht werden. Damit können insbesondere Effekte mit kürzerer Periode wesentlich besser oder gar erstmals nachgewiesen werden. Um die einzelnen geodynamischen Erscheinungen sicher bestimmen zu können, kommt es zusätzlich darauf an, möglichst mehrere präzise Meßverfahren simultan anzuwenden.

Die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verfahren zur Untersuchung der Variationen des Erdrotationsvektors und anderer geodynamischer Phänomene wurden in den letzten Jahren umfassend im Rahmen eines speziellen internationalen Projektes der Internationalen Astronomischen Union (IAU) und Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) eingeschätzt. Dieses MERIT-Projekt (Monitoring of Earth Rotation and Intercompare the Techniques of observations and analysis) diente einerseits einer Genauigkeitssteigerung für den Nachweis und die Überwachung von Polbewegungen und Rotationsschwankungen und andererseits dem Vergleich der verwendeten unterschiedlichen Meß- und Analysemethoden. Insbesondere sollten die klassischen astrometrischen Beobachtungen, die bis dahin von den internationalen Zeit- und Breitendiensten nahezu ausschließlich benutzt wurden, mit den modernen kosmisch-geodätischen Verfahren verglichen und Schlußfolgerungen für die Zukunft der internationalen Dienste abgeleitet werden.

Die Arbeiten des MERIT-Projektes wurden durch eine IAU/IUGG-Joint Working Group on the Rotation of the Earth koordiniert. In Erweiterung der ursprünglichen Zielstellung des MERIT-Projektes wurde eine zusätzliche Joint Working Group (COTES für Conventional Terrestrial Reference System) zur Realisierung und Aufrechterhaltung eines präzisen terrestrischen Referenzsystems geschaffen.

Die Arbeiten dieser Gruppe sind weiterhin konzentriert auf die Transformationsparameter zwischen den verschiedenen terrestrischen und raumfesten (inertialen) Koordinatensystemen. Bereits die vorbereitende Kurzkampagne des MERIT-Projektes, durchgeführt vom 1.8.1980 bis 31.10.1980, kann als sehr erfolgreich eingeschätzt werden.

Die Hauptkampagne wurde vom 1.9.1983 bis 31.10.1984 organisiert und überdeckt somit eine ganze CHANDLER-Periode.

Insgesamt wurden folgende Meßmethoden eingesetzt:

- optische Astrometrie mit mehr als 60 weltweit verteilten Observatorien,
- Dopplermessungen zu künstlichen Erdsatelliten (KES) mit teilweise mehr als 100 Stationen,
- Lasermessungen zu KES (SLR) mit 30 Stationen,
- Mondlasermessungen (LLR) von 3 Stationen,
- Radiointerferometrie mit verbundenen Elementen (CERI) an einer Station und
- Radiointerferometrie mit sehr langer Basis (VLBI) von 5 bzw. 8 (während Intensivkampagne) Stationen.

Für jede Methode wurden neben dem Koordinierungszentrum mehrere Haupt (designated)- und assoziierte Analysenzentren eingesetzt.

Die Hauptanalysenzentren hatten die Aufgabe, alle weltweit erhaltenen Meßdaten zur Bestimmung der Variationen des Erdrotationsvektors auszuwerten und die Ergebnisse für den internationalen Vergleich zugänglich zu machen. In Kooperation mit einem Hauptanalysenzentrum sollten die assoziierten Zentren zumindest einen Teilzeitraum analysieren.

Das Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) wurde als eines von fünf internationalen Hauptanalysezentren für die SLR-Methode anerkannt und gehört zu den vier Hauptzentren, die auf der MERIT-Konferenz im Juli/August 1985 hochpräzise Ergebnisse vorlegen konnten (neben ZIPE noch Center for Space Research (CSR), University of Texas at Austin; Goddard Space Flight Center (GSFC), NASA; Sonderforschungsbereich Satellitengeodäsie (SFB) der BRD). Die im Rahmen der Tätigkeit als MERIT-Analysezentrum erhaltenen globalen SLR-Daten stellen den besten heute vorhandenen Datenfundus dar und sind die Grundlage auch für viele andere Aufgaben. Die Vorbedingung für die Analyse so präziser Daten ist das Vorhandensein eines entsprechend genauen Bahnbestimmungsprogrammes. Diesen hohen Anforderungen wird das Programmsystem POTSDAM-5 gerecht.

Sowohl die Grundlagen als auch die Ergebnisse der hochpräzisen Analyse der SLR-Daten werden in der vorliegenden Arbeit beschrieben. Die erhaltenen Polkoordinaten und Rotationsschwankungen sowie deren zeitliche Variationen zeigen eine Genauigkeitssteigerung gegenüber denen aus klassischen astrometrischen Messungen um mehr als eine Zehnerpotenz, obwohl die Anzahl der SLR-Stationen nur weniger als die Hälfte beträgt. Der Vergleich mit den Ergebnissen anderer SLR-Analysezentren und denen der völlig unabhängigen VLBI-Methode bestätigt die hohe Güte der ZIPE-Resultate. Sie trugen übereinstimmend zu den Schlußfolgerungen der IAU/IUGG-Joint Working Groups bei, deren wesentlicher Inhalt die Schaffung eines neuen internationalen Dienstes zur präzisen Überwachung des Erdrotationsvektors sowie zur Realisierung und Erhaltung je eines präzisen erdfesten und raumfesten Koordinatensystem ist.

2. Das Bahnprogrammsystem POTSDAM-5 zur Analyse der Meßdaten

Für die Bestimmung von geodätischen und geophysikalischen Parametern mit Hilfe von Messungen zu künstlichen Erdsatelliten ist die Modellierung der Satellitenbewegung eine wichtige Voraussetzung. Dabei hängen die Anforderungen an die Satellitenbahnmodellierung von der Meßgenauigkeit und den angestrebten Genauigkeiten bei der Parameterbestimmung ab. Beim heutigen Stand der Technik (Laserentfernungsmessgenauigkeit von wenigen cm) leitet sich daraus die Forderung nach einer Modellierungsgenauigkeit im cm-Niveau ab. Das beinhaltet die Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern bei der Berechnung der wirkenden Kräfte und der Realisierung des Referenzsystems. So kann beispielsweise die Erdoberfläche nicht mehr als starr angenommen werden.

Das Programmsystem POTSDAM-5 ist in der Lage, anhand verschiedener Messungen zu den Satelliten unter anderem verbesserte Bahnelemente der Satelliten, Stations- und Polkoordinaten, terrestrische Strecken, Uhrstände, Meßgeräteparameter und geodynamische Parameter zu bestimmen. Es können Laserentfernungsmessungen ϱ , Dopplermessungen $\Delta\varrho$, photographische Richtungsmessungen α , δ sowie satelliteninterferometrische Messungen genutzt werden. Bei allen weiteren Betrachtungen wird angesichts der in dieser Arbeit behandelten Thematik nur die Laserentfernungsmessung berücksichtigt.

Die Differentialgleichung für die Beschreibung der Satellitenbewegung im Inertialsystem hat die Gestalt

$$(2.1) \quad \ddot{\underline{x}}(t) = \underline{f}(t, \underline{x}, \dot{\underline{x}}, c_1, \dots, c_k),$$

mit den Anfangsbedingungen $\underline{x}(t_0), \dot{\underline{x}}(t_0)$.

Hierbei sind die c_i beliebige Parameter wie Gravitationsfeldparameter von Erde, Mond und Sonne, Atmosphärenreibung u.a.m..

Diese Differentialgleichung wird mit numerischen Integrationsverfahren, an die höchste Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Effektivität gestellt werden müssen, gelöst.

Die Entfernung von der Station zum Satelliten berechnet sich zu

$$(2.2) \quad \varrho = \|\underline{x}(t, p_1, \dots, p_n) - \underline{X}(t, q_1, \dots, q_m)\|,$$

wobei \underline{x} - geozentrischer Positionsvektor des Satelliten

\underline{X} - geozentrischer Stationsvektor

q_i - Parameter, die die Lage der Station beeinflussen

p_i - Parameter, die die Position des Satelliten beeinflussen

$$p_i = c_i \quad i = 1, k$$

$$p_i \text{ für } i = k+1, n \text{ sind } \underline{x}(t_0), \dot{\underline{x}}(t_0)$$

t - Zeit .

Die Differenz zwischen gemessener und berechneter Entfernung $\varrho_0 - \varrho_c$ wird zur Parameterbestimmung verwendet. Daher werden Näherungswerte eingeführt und das linearisierte Problem behandelt.

$$(2.3) \quad \frac{\partial \varrho_c}{\partial t} \Delta t + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varrho_c}{\partial p_i} \Delta p_i + \sum_{i=1}^m \frac{\partial \varrho_c}{\partial q_i} \Delta q_i = \varrho_0 - \varrho_c$$

Während die partiellen Ableitungen $\frac{\partial \underline{x}}{\partial q_i}$ einfache geometrische Beziehungen widerspiegeln, ist die Berechnung von $\frac{\partial \underline{x}}{\partial p_i}$ i.a. komplizierter und basiert auf folgenden Überlegungen.

$$(2.4a) \quad \frac{\partial \ddot{\underline{x}}}{\partial p_i} = \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{p}} \cdot \frac{\partial \underline{p}}{\partial p_i}$$

$$(2.4b) \quad \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial \underline{x}}{\partial p_i} = \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{p}} \cdot \frac{\partial \underline{p}}{\partial p_i}$$

Durch zweifache Integration der Differentialgleichung (2.4b), die parallel mit der Bewegungsgleichung (2.1) gelöst wird, lassen sich die benötigten Ableitungen berechnen.

Auf der Grundlage der Verbesserungsgleichungen (2.3) werden Normalgleichungssysteme für die Bestimmung der Parameter aufgestellt. Hierbei wird nach folgender Technologie vorgefahren. Für jede Station und jeden beobachteten Satellitendurchgang wird eine Normalgleichungsmatrix berechnet und in eine Datei gespeichert (s. Abschn. 2.8). Die Matrix umfaßt alle eventuell zu bestimmenden Parameter.

In einem Nachverarbeitungsteil können verschiedene Auswertevarianten, basierend auf der erstellten Datei, abgearbeitet werden.

So können Kriterien wie zu berücksichtigende Stationen, Satellitendurchgänge, Parameter, Gewichte, Zeitintervalle usw. an dieser Stelle variiert werden. Diese Technologie ermöglicht eine effektive Datenanalyse, da der rechenintensive Teil bis zur Ermittlung der Normalgleichungen nur einmal zu durchlaufen ist.

2.1. Verwendete Konstanten und Parameter

Alle verwendeten Konstanten und Parameter sind in der folgenden Übersicht angegeben. Dabei sei bemerkt, daß die meisten Parameter wie beispielsweise Gezeitenparameter und Schwerfeldparameter wahlfrei sind. In solchen Fällen sind diejenigen Werte angegeben, die bei der Auswertung des MERIT-Materials verwendet wurden.

Für die Zeitangabe wird in der Astronomie eine Zählung in Julianischen Tagen (JD) bzw. Modifizierten Julianischen Tagen (MJD) verwendet, wobei

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2\,400\,000,5 .$$

In POTSDAM-5 werden alle Berechnungen auf die Epoche J 2000.0 (MJD = 51544,5) bezogen.

- Lichtgeschwindigkeit	$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Gravitationskonstante x Erdmasse	$GM = 3,98600448 \cdot 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
- große Halbachse der Erde	$a = 6\,378\,144,11 \text{ m}$
- Abplattung der Erde	$f = 298,257$
- Erdpotential	GEM-L2 (gemäß MERIT-Standards, permanente Tide für $k_2 = 0,29$ eingeschlossen)
- Mond-Erde-Massenverhältnis	$\mu_M = 0,012300034$
- Sonne-Erde-Massenverhältnis	$\mu_S = 332\,946,038$
- gravitative Erdgezeitenparameter	$k_2 = 0,30$, $\varphi = 0^\circ$ (ohne permanente Tide, WAHRSche Korrekturen laut MERIT-Standards)
- Meeresgezeiten	SCHWIDERSKI-Modell (MERIT-Standards)
- Solarkonstante	$\text{flux} = 4,5605 \cdot 10^{-5} \text{ dyn/cm}^2$
- Reflektionskoeffizient (LAGEOS)	$k = 1,17$
- empirische Beschleunigung (LAGEOS)	$e = -3 \cdot 10^{12} \text{ ms}^{-2}$
- Präzession und Nutation	IAU 1980
- Polkoordinaten und UT1 (Ausgangswerte)	BIH, Circular D
- Erdgezeiteneffekte auf Stationsposition	$h_2 = 0,609$, $l_2 = 0,085$ $\delta h_{k_1} = -0,0887$ (einschließlich permanenter Deformation)
- Gezeitenbedingte Variation von UT1	zonale Tiden mit Perioden ≤ 32 Tage (MERIT-Standards)
- Deformation durch Meeresgezeitenbelastung	MERIT-Standards
- Reduktionsmodell	
troposphärische Korrektur	MARINI und MURRAY (1973)
Massenzentrumskorrektur	0,24 m für LAGEOS

2.2. Realisierung der Referenzsysteme

Die Integration der NEWTONschen Bewegungsgleichung wird in einem Inertialsystem durchgeführt, das durch bestimmte Konventionen festgelegt wird (CIS: Conventional Inertial System). Zur Berechnung der auf den Satelliten wirkenden Kräfte und zum Vergleich der berechneten mit der gemessenen Entfernung von der Beobachtungsstation zum Satelliten muß die Erde, insbesondere die Erdoberfläche, im Inertialsystem positioniert werden. Hierfür ist es

zweckmäßig, Punkten auf der Erdoberfläche feste Koordinaten zuzuweisen (CTS: Conventional Terrestrial System). Dazu werden eine z-Achse (CIO-Pol) und eine x-Achse (Nullmeridian) vorgegeben. Die momentane Lage der Rotationsachse der Erde (genauer: Himmelspol) im Inertialsystem wird aufgrund der Kreiseltheorie durch Präzession und Nutation berechnet und ihre Lage bezüglich des CTS-Systems wird durch Messungen bestimmt. Hierdurch und durch Beobachtungen der Rotationsphase der Erde kann ein Punkt des CTS-Systems eindeutig in das CIS-System transformiert werden. Welche Transformationen dabei im einzelnen eine Rolle spielen, soll im folgenden dargelegt werden. Verfeinerungen dieses Konzepts bezüglich einer elastischen Erde werden natürlich auch berücksichtigt.

Als inertielle Zeitskala wird die Internationale Atomzeit (IAT) verwendet.

2.2.1. Realisierung des Inertialsystems (CIS)

Als Inertialsystem wird das mittlere astronomische System J 2000,0 (MJD = 51544,5) (LIESKE u.a., 1977) gewählt. Die x-Achse ist durch den mittleren Frühlingspunkt $\bar{\gamma}_F$ bestimmt, der durch die Ekliptik $J_{2000,0}$ und den mittleren Äquator $J_{2000,0}(\bar{A}_P)$ gebildet wird. Die z-Achse steht senkrecht auf \bar{A}_P , und die y-Achse wird ergänzt (Rechtssystem).

Unter der Realisierung des Inertialsystems sei die Berechnung der Lage der Drehachse der Erde (durch Erdmittelpunkt und Himmelspol bestimmt) sowie der Rotationsphase im Inertialsystem verstanden.

Der Himmelspol ist der beobachtbare Pol der Erde (entspricht etwa der momentanen Drehimpulsachse abzüglich der lunisolaren Effekte (LEICK, 1977)). Die hier geforderte Transformation wird im wesentlichen durch Präzession, Nutation und Sternzeit realisiert. Die Koeffizienten für Präzession und Nutation müssen auf diesen Himmelspol abgestimmt sein, um keine täglichen Perioden in den Messungen zu induzieren.

Präzession und Nutation

Die allgemeine Präzession pro Jahrhundert für J 2000,0 ist:

$$(2.5) \quad p = (5029,0966 + 2,22226 \cdot T)''/\text{Jh.}$$

$$(p = 3,8246989 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ/\text{d})$$

T in Jahrhunderten zu 36525 Tagen seit J 2000,0 gerechnet (dimensionslos).

Der Schnittwinkel zwischen momentaner Ekliptik und mittlerem Äquator (momentanes mittleres System) beträgt:

$$(2.6) \quad \varepsilon_A = 23^\circ 26' 21,448'' - 46,815'' \cdot T - 0,00059'' \cdot T^2.$$

Die Transformation zwischen dem Inertialsystem J 2000,0 und dem momentanen mittleren System erfolgt durch die Präzessionsmatrix

$$(2.7) \quad \underline{P} = \underline{R}_3(-Z_A) \cdot \underline{R}_2(\Theta_A) \cdot \underline{R}_3(-\zeta_A).$$

Die Winkel Z_A , Θ_A , ζ_A sind den Empfehlungen der IAU. 1980 (SEIDELMANN, 1982) entnommen.

Mit der Hilfe der Nutationswinkel $\Delta\psi, \Delta\epsilon$ (ebenfalls IAU 1980) kann nun ein Vektor \underline{x}_M vom momentanen mittleren System in das momentane wahre astronomische System transformiert werden.

$$(2.8a) \quad \underline{x}_W = \underline{R}_1 (-\epsilon_A - \Delta\epsilon) \cdot \underline{R}_3 (-\Delta\psi) \cdot \underline{R}_1 (\epsilon_A) \cdot \underline{x}_M$$

oder

$$(2.8b) \quad \underline{x}_W = \underline{R}_1 (-\Delta\epsilon) \underline{R}_2 (\Delta\nu) \underline{R}_3 (-\Delta\mu) \cdot \underline{x}_M = \underline{N} \cdot \underline{x}_M$$

$$\begin{aligned} \Delta\mu &= \Delta\psi \cdot \cos \epsilon_A \\ \Delta\nu &= \Delta\psi \cdot \sin \epsilon_A \end{aligned}$$

Somit ergibt sich die Transformation

$$(2.9) \quad \underline{x}_W = \underline{N} \underline{P} \underline{x}_R$$

vom Inertialsystem zum wahren System.

Erdrotation

Die Erdrotation wird durch die Sternzeit θ einschließlich der gezeitenbedingten Variation der Erdrotation und der in der UT1-Zeit enthaltene Unregelmäßigkeit modelliert.

Für die mittlere Sternzeit zur Zeit t (in Tagen) gilt

$$(2.10) \quad \begin{aligned} \bar{\theta}(t) &= A + B(t - T_F) + C(t - T_F)^2 \\ A &= 280,460\,618\,38^\circ \\ B &= 360,985\,647\,366\,287^\circ/\text{d} \\ C &= 0,290788 \cdot 10^{-12} \text{ }^\circ/\text{d}^2 \\ T_F &= 51544,5 \end{aligned}$$

und für die wahre Sternzeit

$$(2.11) \quad \theta(t) = \bar{\theta}(t) + \Delta\psi(t) \cdot \cos(\epsilon_A + \Delta\epsilon)$$

Die endgültige Phase der Erdrotation setzt sich dann zusammen aus der Sternzeit und einer Korrektur $d(t)$.

$$(2.12) \quad \theta_G(t) = \theta(t) + d(t)$$

Die Korrektur $d(t)$ ergibt sich aus der gezeitenbedingten Variation der Erdrotation und einer nur meßtechnisch erfaßbaren Unregelmäßigkeit (UT1).

Bei der gezeitenbedingten Variation werden alle Frequenzen im Bereich von 9 bis 32 Tagen berücksichtigt (alle Glieder mit Amplituden $>0,02$ ms) (MELBOURNE, 1983).

2.2.2. Realisierung des terrestrischen Referenzsystem (CTS)

Bei der Realisierung des konventionellen terrestrischen Systems (CTS) spielen im wesentlichen drei Probleme eine Rolle:

- Bewegungen der Rotationsachse im Erdkörper und damit verbunden die Frage der Beobachtbarkeit der Achsen,
- Bewegungen der festen Erde auf Grund von Gezeiteneffekten,
- plattentektonische Bewegungen.

Bei den Modellierungen in POTSDAM-5 werden derzeit die plattentektonischen Bewegungen nicht berücksichtigt.

Auf der Erde wird durch Konvention ein Koordinatensystem (CTS) festgelegt. Um eine Transformation der Stationskoordinaten vom CTS ins CIS durchführen zu können, wird die Lage des Himmelspols im CTS benötigt. Diese kann nur meßtechnisch bestimmt werden und wird durch die Polkoordinaten x_p , y_p angegeben.

Stationsbewegungen durch Gezeiten der festen Erde

Die Veränderung der Stationskoordinaten durch die Gezeiten der festen Erde wird in zwei Schritten durchgeführt. Dabei werden nur die Effekte des Gezeitenpotentials zweiten Grades berücksichtigt (Genauigkeit ≤ 1 cm).

Im ersten Schritt werden die frequenzunabhängigen LOVEschen Parameter verwendet. Der Verschiebungsvektor für die Station ergibt sich dann zu:

$$(2.13) \quad \underline{\Delta r} = \sum_K \mu_K \frac{\|\underline{x}\|^4}{\|\underline{x}_K\|^3} \left\{ 3l_2 \cos \psi_K \cdot \frac{\underline{x}_K}{\|\underline{x}_K\|} + 3 \left[\left(\frac{h_2}{2} - l_2 \right) \cos^2 \psi_K - \frac{h_2}{2} \right] \frac{\underline{x}}{\|\underline{x}\|} \right\}$$

mit \underline{x} , \underline{x}_K geozentrischer Vektor der Station und des Himmelskörpers (Mond, Sonne)
 ψ_K Winkel zwischen Vektoren \underline{x} , \underline{x}_K
 h_2, l_2 LOVEsche und SHIDASche Zahl
 μ_K Massenverhältnis von Himmelskörper zur Erde .

Die Verschiebung ist streng genommen frequenzabhängig und muß demzufolge noch korrigiert werden. Dazu ist es ausreichend (Genauigkeit $\leq 0,005$ m) in einem zweiten Schritt eine Korrektur der Stationshöhe durch Berücksichtigung der K_1 - Tide vorzunehmen (MELBOURNE, 1983):

$$(2.14) \quad \delta h_{STA} = -0.02527 \text{ m} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \sin (\theta_G + \lambda)$$

φ, λ Breite und Länge der Station

Deformation durch Meeresgezeitenbelastung

Die Höhenänderungen der Stationen infolge Belastung durch Meeresgezeiten können einige cm betragen. Für ihre Modellierung wird das in (MELBOURNE, 1983) beschriebene Modell von C. GOAD verwendet. Dieses Modell basiert auf dem Gezeitenmodell von SCHWIDERSKI (1978). Für die Mehrheit der Stationen ergeben sich Höhenänderungen unter 1 cm, jedoch für Stationen in Küstennähe oder auf Inseln können 10 cm erreicht werden. Die Höhenänderung $h(i)$ für eine bestimmte Tide i wird folgendermaßen berechnet:

$$(2.15) \quad h(i) = \text{amp}(i) \cos(\arg(i, t) - \text{phase}(i)) ,$$

wobei $\left. \begin{array}{l} \text{amp } (i) \\ \text{phase } (i) \\ \text{arg } (i, t) \end{array} \right\} - \text{Amplitude, Phase und Argument der Tide } i.$

Die Tiden $M_2, S_2, K_2, N_2, O_1, P_1, K_1$ werden berücksichtigt. Für sie sind alle nötigen Parameter von GOAD berechnet worden.

2.2.3. Zusammenfassung der Transformationen

Bei der Transformation zwischen dem CIS und dem CTS werden unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen gestellt. Für die Berechnung der Residuen, d.h. der Differenz zwischen gemessenen und berechneten Größen, wird eine mit höchster Genauigkeit realisierte Transformation von Vektoren im CTS in das CIS benötigt. Diese Transformation wird einmalig für jeden Meßwert durchgeführt. Geringere Genauigkeitsansprüche werden an die Transformation der Satellitenpositionen vom CIS ins CTS, die für die bei der Bahnintegration sehr häufig benötigte Kraftberechnung erforderlich ist, gestellt.

Transformation vom CIS ins CTS

$$(2.16) \quad \underline{X}_E = \underline{R}_1(-y_p) \cdot \underline{R}_2(-x_p) \cdot \underline{R}_3(\theta_G) \cdot \underline{N} \cdot \underline{P} \cdot \underline{X}_R = \underline{D} \cdot \underline{X}_R$$

Für eine Genauigkeit von 10^{-9} gilt:

$$(2.17) \quad \underline{D} = \begin{pmatrix} \cos \theta_G + \Delta\mu \sin \theta_G & \sin \theta_G - \Delta\mu \cos \theta_G & -\Delta\nu \cos \theta_G - \Delta\epsilon \sin \theta_G + x_p \\ -\sin \theta_G + \Delta\mu \cos \theta_G & \cos \theta_G + \Delta\mu \sin \theta_G & +\Delta\nu \sin \theta_G - \Delta\epsilon \cos \theta_G - y_p \\ -x_p \cos \theta_G - y_p \sin \theta_G + \Delta\nu & -x_p \sin \theta_G + y_p \cos \theta_G + \Delta\epsilon & 1 \end{pmatrix} \cdot \underline{P}$$

Die auf dieser Basis berechnete Kraft im CTS muß dann ins CIS zurück transformiert werden.

$$(2.18) \quad \underline{F}_R = \underline{D}^{-1} \underline{F}_E \approx \underline{D}^T \underline{F}_E$$

Die sich aus dem Kugelterm ergebende Kraft wird direkt im CIS berechnet und somit der Einfluß des Fehlers $\underline{D}^{-1} \approx \underline{D}^T$ vermindert.

Transformation vom CTS ins CIS

$$(2.19) \quad \underline{X}_R = \underline{G} \cdot \underline{P}^T \cdot \underline{N}^T \cdot \underline{R}_3(-\theta_G) \cdot \underline{R}_2(x_p) \cdot \underline{R}_1(y_p) \cdot \underline{X}_E = \underline{G} \cdot \underline{T} \cdot \underline{X}_E$$

Für eine Genauigkeit von mindestens 10^{-11} ist

$$(2.20) \quad \underline{T} = \underline{P}^T \cdot \underline{N}^T \cdot \begin{pmatrix} \cos \theta_G & -\sin \theta_G & -x_p \cos \theta_G - y_p \sin \theta_G \\ \sin \theta_G & \cos \theta_G & -x_p \sin \theta_G + y_p \cos \theta_G \\ x_p & -y_p & 1 \end{pmatrix}$$

Die Matrix \underline{G} beinhaltet alle gezeitenbedingten Transformationen. (Bem.: Die Matrizen \underline{D} und \underline{T} sind inhaltlich identisch, werden aber aufgrund der unterschiedlichen Realisierungs-genauigkeiten verschieden bezeichnet.)

2.3. Position von Mond und Sonne

Neben dem Gravitationsfeld der Erde haben Mond und Sonne den größten Einfluß auf die Satellitenbahn.

Daher sind genaue Positionen für diese Himmelskörper von Bedeutung.

In POTSDAM-5 werden die auf numerischer Integration basierenden und sich auf die Epoche J 2000,0 beziehenden Ephemeriden DE 200/LE 200 benutzt (USNO Circular N. 163, Washington, 1981).

Sie umfassen den Zeitraum von 1800 bis 2050 und bilden das derzeit beste dynamische Modell für die Bewegungen von Sonne, Baryzentrum Erde-Mond, großen Planeten und einigen kleinen Planeten relativ zum Baryzentrum des Sonnensystems (DE 200) sowie für die Bewegung des Mondes relativ zum Geozentrum (LE 200). Als unabhängige Variable bei dieser Integration wurde die Baryzentrische Dynamische Zeit (TDB) verwendet. Sie unterscheidet sich von der Zeitskala TDT (Terrestrische Dynamische Zeit, praktisch gleich der früheren Ephemeridenzeit ET) nur um periodische Anteile, die kleiner als 2 ms sind und für unsere Ansprüche vernachlässigt werden können ($< 0.005''$ für Mondposition). So kann auf einfache Weise die Atomzeit in die benötigte Zeitskala überführt werden.

$$(2.21) \quad TDE \approx TDT = IAT + 32.184 \text{ s} .$$

Die Ephemeriden sind in Form von TSCHEBYSCHESchen Polynomen gegeben, die die kartesischen Koordinaten von Mond, Sonne und Baryzentrum liefern. Es sind Polynome 12. bzw. 15. Grades für Zeitintervalle von jeweils 4, 16 bzw. 32 Tagen.

Die geozentrische Position des Mondes \underline{x}_M ist direkt berechenbar und die der Sonne über die Relation

$$(2.22) \quad \underline{x}_S = \frac{\mu_M}{\mu_M + 1} \underline{x}_M + \underline{x}_S^* + \underline{x}_B .$$

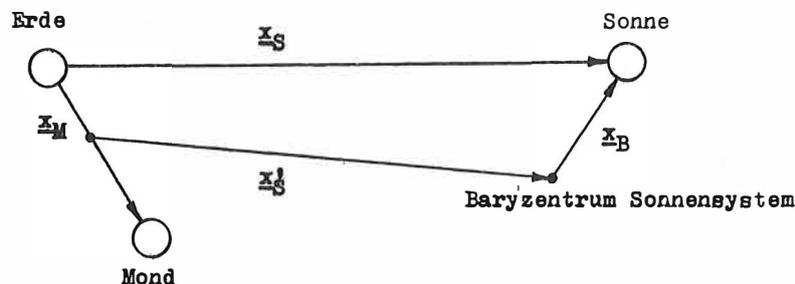


Abb. 1: Berechnung geozentrischer Positionen von Mond und Sonne

2.4. Reduktion der Laserentfernungsmessungen

Im Programm POTSDAM-5 können sowohl reduzierte als auch nichtreduzierte Laserentfernungsmessungen (S bzw. S_{ROH}) verwendet werden. Bei einer Meßgenauigkeit im cm-Bereich wird hohe Reduktionsgenauigkeit gefordert. Die hierfür notwendigen Satellitenbahnelemente sind in vielen Fällen erst während der Bearbeitung im Bahnprogramm mit der nötigen Genauigkeit bekannt.

Hieraus ergibt sich, daß die Reduktion erst innerhalb des Bahnprogramms vorgenommen wird.

Die reduzierte Entfernung \mathcal{S} ergibt sich zu:

$$(2.23) \quad \mathcal{S} = \mathcal{S}_{\text{ROH}} - \Delta\mathcal{S}_R + \Delta\mathcal{S}_M,$$

$\Delta\mathcal{S}_R$ - Refraktionskorrekturen

$\Delta\mathcal{S}_M$ - Korrektur auf Massenmittelpunkt .

Für die Berechnung der Refraktionskorrektur verwenden wir die Formel von MARINI und MURRAY (1978).

$$(2.24) \quad \Delta\mathcal{S}_R = \frac{f(\lambda)}{g(\varphi, h)} \cdot \frac{A+B}{\sin h + B/(A+B)/(\sin h + 0,01)},$$

f, g - Funktionen der Laserfrequenz λ sowie der Breite und Höhe der Station φ, h

h - Höhenwinkel des Satelliten

A, B - Funktionen von Temperatur, Druck und Luftfeuchte

Der Höhenwinkel h wird durch die Bahnrechnung bestimmt und ist somit vom Fehler der Ephemeriden abhängig. Der Höhenwinkelfehler kann über den Entfernungsfehler abgeschätzt werden, wenn nur Fehler in der Längskomponente angenommen werden. Hierüber ergibt sich eine Abschätzung des Refraktionsfehlers:

$$(2.25) \quad (\Delta\mathcal{S}_R) \approx 1,2 \text{ m} \cdot \frac{a^2 - R_E^2 + \mathcal{S}^2}{R_E \cdot \mathcal{S}^2 \cdot \sin^2 h} \cdot \Delta\mathcal{S},$$

a, R_E - große Halbachse der Satellitenbahn und der Erde

Fehler der Atmosphärenparameter sind hier nicht berücksichtigt.

Bei der iterativen Bahnanpassung wird mit reduzierten Daten weitergearbeitet, sobald eine vorgegebene Genauigkeit der Refraktionskorrektur erreicht ist.

Die Massenzentrumskorrektur für den Kugelsatelliten LAGEOS ist eine Konstante:

$$(2.26) \quad \Delta\mathcal{S}_M = 0.2425 \text{ m}.$$

2.5. Numerische Integration der Satellitenbewegungsgleichung und der Variationsgleichungen

Die numerische Integration der Differentialgleichung

$$(2.27) \quad \ddot{\underline{x}} = \underline{f}(t, \underline{x}, \dot{\underline{x}}; c_1, \dots, c_k)$$

mit den Anfangsbedingungen $\underline{x}_0 = \underline{x}(t_0), \dot{\underline{x}}_0 = \dot{\underline{x}}(t_0)$

liefert die gesuchte Satellitenbewegung $\underline{x}(t)$. Die partiellen Ableitungen

$$\frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{x}_0}, \quad \frac{\partial \underline{x}}{\partial \dot{\underline{x}}_0}, \quad \frac{\partial \underline{x}}{\partial c_i}$$

genügen ebenfalls Differentialgleichungen 2. Ordnung, den sogenannten Variationsgleichungen, die man aus (2.27) durch partielle Differentiation gewinnt (s. (2.5)).

Die Differentialgleichungen haben folgende allgemeine Form

$$(2.28) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0, \underline{c})} \right) = \frac{\partial \underline{f}}{\partial (\underline{x}, \dot{\underline{x}}, \underline{c})} \cdot \frac{\partial (\underline{x}, \dot{\underline{x}}, \underline{c})}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0, \underline{c})}$$

und stellen ein System von $3 \cdot (6 + k)$ Differentialgleichungen 2. Ordnung dar. Unter der Voraussetzung, daß die Parameter \underline{c}_i untereinander sowie von \underline{x}_0 , $\dot{\underline{x}}_0$ unabhängig sind, ergeben sich aus (2.28) die Differentialgleichungen

$$(2.29) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right) = \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{x}} \cdot \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right) + \frac{\partial \underline{f}}{\partial \dot{\underline{x}}} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right),$$

$$(2.30) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{c}} \right) = \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{x}} \cdot \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{c}} \right) + \frac{\partial \underline{f}}{\partial \dot{\underline{x}}} \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \dot{\underline{x}}}{\partial \underline{c}} \right) + \frac{\partial \underline{f}}{\partial \underline{c}}.$$

Zur Numerischen Lösung der Systeme (2.29) (2.30) sind pro zu bestimmender partieller Ableitung zwei Anfangsbedingungen erforderlich. Diese sind nicht frei wählbar, sondern liegen aufgrund der Theorie fest. Im einzelnen gilt:

$$(2.31) \quad \left. \frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right|_{t_0} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$(2.32) \quad \left. \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right) \right|_{t_0} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$(2.33) \quad \left. \frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{c}} \right|_{t_0} = \underline{0}, \quad \left. \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{c}} \right) \right|_{t_0} = \underline{0},$$

wobei Zeilen und Spalten der Matrizen folgende Anordnung haben:

$$(2.34) \quad \frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{x}_0} & \frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{y}_0} & \frac{\partial \underline{x}}{\partial \underline{z}_0} & \frac{\partial \underline{x}}{\partial \dot{\underline{x}}_0} & \frac{\partial \underline{x}}{\partial \dot{\underline{y}}_0} & \frac{\partial \underline{x}}{\partial \dot{\underline{z}}_0} \\ \frac{\partial \underline{y}}{\partial \underline{x}_0} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial \underline{z}}{\partial \underline{x}_0} & & & & & \frac{\partial \underline{z}}{\partial \dot{\underline{z}}_0} \end{pmatrix}.$$

Die rechte Seite der Differentialgleichung (2.27) \underline{f} kann bis auf einen Faktor mit der Kraft identifiziert werden, die auf den Satelliten einwirkt (2. NEWTONsches Axiom). Für sie wird im allgemeinen ein Modellansatz verwendet, der die einzelnen Teilkräfte je nach Problemstellung und geforderter Genauigkeit additiv zusammensetzt

$$(2.35) \quad \underline{f} = \underline{f}^K(t, \underline{x}) + \underline{f}^{MS}(t, \underline{x}) + \underline{f}^{GF}(t, \underline{x}) + \underline{f}^{MG}(t, \underline{x}) + \underline{f}^R(t, \underline{x}, \dot{\underline{x}}) + \underline{f}^A(t, \underline{x}, \dot{\underline{x}}).$$

Dabei bedeuten im einzelnen (genauer s. Abschn. 2.6.)

- f^K - Kugelfunktionsentwicklung des Erdschwerefeldes
- f^{MS} - Gravitation von Mond und Sonne
- f^{GF} - Gezeiten der festen Erde
- f^{MG} - Meeresgezeiten
- f^R - Strahlungsdruck
- f^A - Atmosphärenreibung.

Unter Vernachlässigung kleiner Größen ergibt sich aus (2.29)

$$(2.36) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}, \dot{\underline{x}}_0)} \right) = \frac{\partial f^K}{\partial \underline{x}} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right)$$

Als konkrete Parameter (Komponenten des Vektors \underline{c}) sollen hier betrachtet werden

- GM - Gravitationskonstante • Erdmasse
- k_2 - LOVEsche Zahl
- c_D - Atmosphärischer Reibungskoeffizient .

Damit erhalten die Gleichungen (2.30) für diese Parameter folgende Form, wobei kleine Terme vernachlässigt werden:

$$(2.37) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial GM} \right) = \frac{\partial f^K}{\partial \underline{x}} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial GM} \right) + \frac{\partial f^K}{\partial GM}$$

$$(2.38) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial k_2} \right) = \frac{\partial f^K}{\partial \underline{x}} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial k_2} \right) + \frac{\partial f^{GF}}{\partial k_2}$$

$$(2.39) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial c_D} \right) = \frac{\partial f^K}{\partial \underline{x}} \left(\frac{\partial \underline{x}}{\partial c_D} \right) + \frac{\partial f^A}{\partial c_D} .$$

Die Differentialgleichungen (2.27), (2.36) bis (2.39) werden mit numerischen Integrationsverfahren gelöst. Es bieten sich Verfahren an, die die Differentialgleichungen 2. Ordnung direkt lösen. In POTSDAM-5 wird ein implizites Einschrittverfahren von EVERHART (EVERHART, 1974) verwendet.

Unter Anwendung des Prinzips der GAUSSschen Quadratur wird die Anzahl der benötigten Funktionsauswertungen minimiert. Insbesondere besteht die Möglichkeit, bei einem wiederholten Durchlauf durch ein Integrationsintervall nur die Störungen bis C_{20} neu zu berechnen und alle kleineren Störungen aus dem vorhergehenden Durchlauf zu verwenden. Hierbei kann ohne Verlust an signifikanter Genauigkeit bis zu 50 % der Rechenzeit eingespart werden.

Die Variationsgleichungen stellen geringere Anforderungen an das Verfahren als die Bewegungsgleichung (2.27) und somit wird für die Schrittweitensteuerung nur die Gleichung (2.27) berücksichtigt.

2.6. Berechnung der auf den Satelliten wirkenden Beschleunigungen

In diesem Abschnitt werden der Aufbau der Funktion f (s. Gl. (2.35)) und die sich daraus ergebenden Ausdrücke für die Variationsgleichungen im einzelnen beschrieben.

2.6.1. Darstellung der Gravitation der Erde

Das Erdpotential wird als Kugelfunktionsentwicklung im CTS dargestellt:

$$(2.40) \quad V = \text{real} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l R_E^l (C_{lm} - i S_{lm}) V_{l,m}$$

$$(2.41) \quad V_{l,m} = \frac{P_l^m(\sin\varphi) (\cos m\lambda + i \sin m\lambda)}{r^l + 1}$$

Die Beschleunigung im erdfesten System \underline{f}_E^K berechnet sich zu

$$(2.42) \quad \underline{f}_E^K = GM \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial \underline{x}_E} \right)^T$$

und wird mit Gl. (2.18) ins Inertialsystem transformiert, so daß

$$(2.43) \quad \underline{f}^K = GM \cdot \underline{D}^T \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial \underline{x}_E} \right)^T$$

In POTSDAM-5 wird für die Berechnung der partiellen Ableitungen ein in CUNNINGHAM (1970) angegebenes rekursives Verfahren benutzt, daß unmittelbar mit kartesischen Koordinaten arbeitet.

Aufgrund numerischer Probleme und des Auftretens extrem hoher Potenzen (mehrere 100) werden spezielle Abwandlungen des Verfahrens eingesetzt.

Für die Variationsgleichungen (2.36) bis (2.39) werden die Ausdrücke

$$(2.44) \quad \frac{\partial \underline{f}^K}{\partial GM} = \underline{f}^K / GM,$$

$$(2.45) \quad \frac{\partial \underline{f}^K}{\partial \underline{x}} = GM \cdot \underline{D}^T \cdot \underline{W} \cdot \underline{D}$$

benötigt. \underline{W} ist eine (3,3)-Matrix der zweiten partiellen Ableitungen von V nach \underline{x}_E , die ebenfalls rekursiv nach Formeln von CUNNINGHAM berechnet werden.

Wegen der Symmetrie der Matrix \underline{W} und der Gültigkeit der LAPLACE-Gleichung enthält diese nur 5 voneinander unabhängige Elemente. Diese günstige Eigenschaft überträgt sich auch auf die Matrix

$$\frac{\partial \underline{f}^K}{\partial \underline{x}}.$$

2.6.2. Gravitation von Mond und Sonne

Im Abschnitt 2.3. wurde die Berechnung der Positionen von Mond und Sonne beschrieben. Die direkten Beschleunigungen von Mond und Sonne ergeben sich zu:

$$(2.46) \quad \underline{f}^{MS} = GM \cdot \left\{ \mu_M \left(\frac{\underline{x}_M - \underline{x}}{|\underline{x}_M - \underline{x}|^3} - \frac{\underline{x}_M}{|\underline{x}_M|^3} \right) + \mu_S \left(\frac{\underline{x}_S - \underline{x}}{|\underline{x}_S - \underline{x}|^3} - \frac{\underline{x}_S}{|\underline{x}_S|^3} \right) \right\}.$$

2.6.3. Gezeiten der festen Erde

In einem ersten Schritt wird das frequenzunabhängige Gezeitenpotential mit der LOVEschen Zahl k_2 verwendet.

Die Gezeitenwirkung tritt um die Zeit Δt verzögert auf.

Darum müssen die Positionen von Mond und Sonne für einen um Δt früheren Zeitpunkt berechnet werden. Durch die Erdrotation innerhalb von Δt ist außerdem der entsprechende "Flutberg" in Richtung der Erddrehung verschoben. Relativ zu diesem Flutberg werden fiktive Koordinaten $\underline{x}_M^i, \underline{x}_S^i$ für Mond und Sonne angegeben.

Die Gezeitenkraft berechnet sich zu (s. Gl. 2.13)

$$(2.47) \quad \underline{f}^{GF} = k_2 \sum_K \frac{3\mu_K}{|\underline{x}_K|^3 |\underline{x}|^4} \left[\frac{\underline{x}_K^i}{|\underline{x}_K|} \cos \psi_K - \frac{\underline{x}}{|\underline{x}|} \left(\frac{5}{2} \cos^2 \psi_K - \frac{1}{2} \right) \right]$$

In einem zweiten Schritt werden nun Korrekturen berechnet, die für jede Tide den durch Annahme von k_2 gemachten Fehler in Rechnung stellen. Die Korrektur läßt sich am einfachsten durch Variation der Kugelfunktionsparameter des Erdpotentials realisieren (MELBOURNE, 1983).

$$(2.48) \quad \Delta \bar{C}_{1m} - i \Delta \bar{S}_{1m} = A_m \sum_{s(n,m)} (k_s - k_2) \cdot H_s \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}_{n+m} \begin{matrix} \text{gerade} \\ \text{ungerade} \end{matrix} \cdot e^{i\theta_s}$$

Die A_m, k_s, H_s sind Konstanten, die für jede Tide s gegeben sind, und θ_s ist das Gezeitenargument.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Kugelfunktionsglied \bar{C}_{20} zu widmen. Der Mittelwert über die Gezeiteneffekte ist hierfür nicht Null, sondern (HONKASALO-Term):

$$(2.49) \quad m(\Delta \bar{C}_{20}) = A_0 \cdot H_0 \cdot k_2 = (4,4228 \cdot 10^{-8}) \cdot (-0,31455) \cdot k_2$$

Das Erdpotential verwendete \bar{C}_{20} -Glied sollte diesen Wert enthalten, da streng genommen k_2 nicht die zur Null-Frequenz gehörende LOVEsche Zahl ist.

Für die Variationsgleichungen zur Bestimmung von k_2 (2.38) wird benötigt:

$$(2.50) \quad \frac{\partial \underline{f}^{GF}}{\partial k_2} = \underline{f}^{GF} / k_2$$

2.6.4. Meeresgezeiten

Der Einfluß der Meeresgezeiten auf die Bewegung des Satelliten wird am einfachsten durch entsprechende Änderung der Kugelfunktionskoeffizienten des Erdpotentials realisiert.

Die Variationen können folgendermaßen beschrieben werden:

$$(2.51) \quad \Delta \bar{C}_{1m} - i \Delta \bar{S}_{1m} = \bar{F}_{1m} \sum_s \left(\sum_{+}^{\pm} C_{s1m}^{\pm} \mp i S_{s1m}^{\pm} \right) e^{\pm i\theta_s}$$

mit

$$\bar{F}_{1m} = \frac{4\pi G \cdot \rho_w \cdot R_E^2}{GM} \sqrt{\frac{(1+m)!}{(1-m)!(21+1)(2-\delta_{0m})}} \frac{1+k_1^i}{(21+1)}$$

$\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$ (Dichte des Meerwassers)
 k_i^\pm = Auflastdeformationskoeffizienten
 C_{slm}^\pm, S_{slm}^\pm = Meeresgezeitenkoeffizienten für Tide s
 θ_s = Gezeitenargument für Tide s .

Da die C_{slm}^- - und S_{slm}^- -Glieder für Tages- und Halbtagestiden keine langperiodischen Bahnstörungen hervorrufen, werden sie ignoriert.

Für die langperiodischen Tiden können C^- , S^- vernachlässigt werden, wenn die C^+ , S^+ doppelt genommen werden. Langperiodische Störungen werden nur erzeugt für

$m = 0$ bei langperiodischen Tiden
 $m = 1$ bei Tagestiden
 $m = 2$ bei Halbtagestiden .

Die Meeresgezeitenamplituden und deren Einfluß auf die Satellitenbahn verringern sich mit wachsendem Grad, so daß eine Modellierung bis $l = 6$ ausreicht. Die Koeffizienten C_{slm}^+ , S_{slm}^+ ergeben sich aus den SCHWIDERSKISchen Meeresgezeitenamplituden C_{slm}^+ und -phasen ε_{slm}^+ .

Die Tiden S_{sa} , M_m , M_f , Q_1 , O_1 , P_1 , K_1 , N_2 , M_2 , S_2 , K_2 sind in POTSDAM-5 berücksichtigt.

2.6.5. Nichtgravitative Störungen

Die Störbeschleunigungen für den Strahlungsdruck setzen sich zusammen aus dem direkten Strahlungsdruck der Sonne, der Infrarotstrahlung der Erde und dem Albedo.

Es gilt

$$(2.52) \quad \underline{f}^R = \underline{f}_d + \underline{f}_r$$

wobei

$$(2.53) \quad \underline{f}_d = -k \cdot \frac{A}{m} \cdot S \left(\frac{|x_s|}{|x_s - x|} \right)^2 \frac{x_s - x}{|x_s - x|} \delta_1$$

die direkte Strahlung und

$$(2.54) \quad \underline{f}_r = \frac{A}{m} S \left(\frac{R_E}{|x|} \right)^2 \left[k' \cos^2 \varphi + k'' \sin(100^\circ - \psi_s) \cdot \delta_2 \right] \frac{x}{|x|}$$

die Infrarotstrahlung und Albedo sind,

k - Reflektionskoeffizient

S - Strahlungsdruck

k' = 0,25 - Koeffizient der Infrarotstrahlung

k'' = 0,45 - Koeffizient der radialen diffusen Strahlung

δ_1, δ_2 - Schattenfunktionen.

$\frac{A}{m}$ - Querschnitt - Masse - Verhältnis .

Für die Atmosphärenreibung ergibt sich folgende Beschleunigung:

$$(2.55) \quad \underline{f}^A = -\frac{1}{2} C_D \frac{A}{m} \cdot \rho \cdot |\underline{v}| \cdot \underline{v} ,$$

C_D - Reibungskoeffizient

ρ - Atmosphärendichte

\underline{v} - Geschwindigkeitsvektor des Satelliten relativ zur Atmosphäre.

Es ist vorgesehen, die Dichte anhand eines einfachen Schichtmodells oder durch die CIRA-72-Referenzatmosphäre zu berechnen (JACCHIA, 1971).

Der einfache Ausdruck

$$(2.56) \quad \frac{\partial \underline{f}^A}{\partial C_D} = \underline{f}^A / C_D$$

wird in die Variationsgleichungen (2.39) eingesetzt.

Eine sehr präzise Bahnanpassung für den Satelliten LAGEOS erfordert die Berücksichtigung einer empirischen Beschleunigung

$$(2.57) \quad \underline{f}^{EM} = c_T \cdot \frac{\dot{\underline{x}}}{|\dot{\underline{x}}|} .$$

Der Parameter c_T wird durch Ausgleichung bestimmt und hat im Mittel den Wert

$$c_T = -3 \cdot 10^{-12} \text{ ms}^{-2} .$$

2.7. Berechnung der partiellen Ableitungen

Für die Aufstellung der Verbesserungsgleichungen (2.3) werden die partiellen Ableitungen der Meßwerte, in diesem Fall der Entfernungen, nach den gesuchten Parametern benötigt. Ausgehend vom topozentrischen Richtungsvektor von der Station \underline{x} zum Satelliten \underline{x} ,

$$(2.58) \quad \underline{x}_T = \underline{x}_R(t, p_1, \dots, p_n) - \underline{x}_R(t, q_1, \dots, q_m),$$

ergeben sich die benötigten Ableitungen (s. Gleichung (2.2)):

$$(2.59) \quad \rho = \|\underline{x}_T\| = \sqrt{\underline{x}_T^T \cdot \underline{x}_T}$$

$$(2.60) \quad \frac{\partial \rho}{\partial p_i} = \left(\frac{\underline{x}_T}{\rho} \right)^T \frac{\partial \underline{x}_R}{\partial p_i} , \quad \frac{\partial \rho}{\partial q_i} = \left(\frac{\underline{x}_T}{\rho} \right)^T \left(-\frac{\partial \underline{x}_R}{\partial q_i} \right) ,$$

$$(2.61) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = \left(\frac{\underline{x}_T}{\rho} \right)^T \left(\dot{\underline{x}}_R - \frac{\partial \underline{x}_R}{\partial t} \right) .$$

Im folgenden werden nun die partiellen Ableitungen der inertialen Positionen von Station und Satellit nach den im POTSDAM-5 möglichen Parametern betrachtet.

2.7.1. Partielle Ableitungen für Bahnparameter

Die Bahnparameter Anfangsort $\underline{x}_0 = \underline{x}_R(t_0)$ und Anfangsgeschwindigkeit $\dot{\underline{x}}_0 = \dot{\underline{x}}_R(t_0)$ gehören zur Parametermenge $\{p_i\}$. Für die Ausgleichung zur Verbesserung dieser Anfangswerte werden die Ableitungen

$$\frac{\partial \underline{x}_R(t)}{\partial \underline{x}_0}, \quad \frac{\partial \underline{x}_R(t)}{\partial \dot{\underline{x}}_0}$$

benötigt. Sie werden durch numerische Integration (s. Abschnitt 2.6) berechnet. Vielfach wird anstelle von $\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0$ die Darstellung in Form von KEPLERSchen Bahnelementen $\underline{\epsilon} = (\omega, \Omega, i, e, \nu, a)^T$ bevorzugt. Das ermöglicht, einzelne Bahnparameter (z.B. Längskomponente der Bahn) bei der Ausgleichung zu bestimmen. Unter Verwendung der Beziehung

$$(2.62) \quad \frac{\partial \underline{x}_R}{\partial \underline{\epsilon}_0} = \left(\frac{\partial \underline{x}_R}{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)} \right) \cdot \left(\frac{\partial (\underline{x}_0, \dot{\underline{x}}_0)}{\partial \underline{\epsilon}_0} \right)$$

können die durch die Integration bestimmten partiellen Ableitungen nach den Anfangselementen $\underline{\epsilon}_0$ transformiert werden. Die benötigte Transformationsmatrix braucht nur einmal berechnet zu werden. Die darin enthaltenen 36 partiellen Ableitungen sind direkt aus der Darstellung der kartesischen Koordinaten und Geschwindigkeiten durch KEPLERSche Elemente zu gewinnen und stellen geschlossene analytische Ausdrücke dar.

2.7.2. Partielle Ableitungen für Stations- und Polkoordinaten sowie Zeit und Erdrotation

Zur Parametermenge $\{q_i\}$ gehören die Stationskoordinaten r, λ, φ sowie die Polkoordinaten x_p, y_p . Diese Parameter beschreiben die Lage der Station im CTS, so daß für die weiteren Betrachtungen die Transformation (2.19) angewendet werden muß. Dabei können mit hinreichender Genauigkeit die Matrizen $\underline{G}, \underline{P}, \underline{N}$ durch die Einheitsmatrix ersetzt werden. Es gilt

$$(2.63) \quad \underline{x}_R = \underline{T} \cdot \underline{x}_E,$$

$$(2.64) \quad \underline{x}_E = r \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_E \\ y_E \\ z_E \end{pmatrix}.$$

Für die geographischen Koordinaten ergeben sich die Ableitungen ($\varphi \neq 90^\circ, r \neq 0$):

$$(2.65) \quad \frac{\partial \underline{x}_R}{\partial r} = \underline{T} \cdot \frac{\partial \underline{x}_E}{\partial r} = \underline{T} \cdot \frac{\underline{x}_E}{r} = \frac{\underline{x}_R}{r},$$

$$(2.66) \quad \frac{\partial \underline{x}_R}{\partial \varphi} = \underline{T} \cdot \frac{\partial \underline{x}_E}{\partial \varphi} = \underline{T} \cdot r \cdot \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda \\ -\sin \varphi \sin \lambda \\ \cos \varphi \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -z_E \cdot x_R/r^* \\ -z_E \cdot y_R/r^* \\ r^* \end{pmatrix},$$

mit $r^u = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2}$,

$$(2.67) \frac{\partial X_R}{\partial \lambda} = \underline{T} \cdot \frac{\partial X_E}{\partial \lambda} = \underline{T} \begin{pmatrix} -Y_E \\ X_E \\ 0 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -Y_R \\ X_R \\ 0 \end{pmatrix} ,$$

für die Polkoordinaten

$$(2.68) \frac{\partial X_R}{\partial x_p} = \frac{\partial \underline{T}}{\partial x_p} \cdot X_E = \begin{pmatrix} -Z_E \cdot \cos \theta_G \\ -Z_E \cdot \sin \theta_G \\ X_E \end{pmatrix} ,$$

$$(2.69) \frac{\partial X_R}{\partial y_p} = \frac{\partial \underline{T}}{\partial y_p} \cdot X_E = \begin{pmatrix} -Z_E \sin \theta_G \\ Z_E \cos \theta_G \\ -Y_E \end{pmatrix} ,$$

für die Zeit

$$(2.70) \frac{\partial X_R}{\partial t} = \frac{\partial \underline{T}}{\partial \theta_G} \frac{\partial \theta_G}{\partial t} \cdot X_E = \omega_e \cdot \begin{pmatrix} -Y_R \\ X_R \\ 0 \end{pmatrix}$$

mit Winkelgeschwindigkeit der Erde $\omega_e = \frac{\partial \theta_G}{\partial t}$,

und für die Erdrotation analog

$$(2.71) \frac{\partial X_R}{\partial \omega_e} = \frac{\partial X_R}{\partial \theta_G} \cdot \frac{\partial \theta_G}{\partial \omega_e} = \begin{pmatrix} -Y_R \\ X_R \\ 0 \end{pmatrix} (t-t_0)$$

wobei $\theta_G = \omega_e \cdot (t-t_0)$.

2.7.3. Partielle Ableitungen für geodynamische Parameter

In POTSDAM-5 sind zur Zeit die Bestimmungen für GM und k_2 aus der Parametermenge $\{p_i\}$ sowie für h_2 , Deformationsparameter aufgrund von Meeresgezeitenbelastungen und Nutation aus der Parametermenge $\{q_i\}$ möglich.

Die Berechnung der Ableitungen $\partial X_R / \partial GM$ und $\partial X_R / \partial k_2$ erfolgt durch Variationsgleichungen (s. Abschnitt 2.5).

Die Ableitung der Stationshöhe h nach der LOVEschen Zahl k_2 führt zu der Gleichung

$$(2.72) \frac{\partial h}{\partial h_2} = \sum_K \mu_K \frac{\|X\|^4}{2\|X_K\|^3} (3 \cos^2 \psi_K - 1)$$

(s. Gl. (2.13))

und mit ausreichender Näherung kann die Beziehung

$$(2.73) \frac{\partial S}{\partial h_2} = \frac{\partial S}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial h_2} \approx \frac{\partial S}{\partial r} \cdot \frac{\partial h}{\partial h_2} .$$

zur Herleitung der gesuchten Ableitung verwendet werden.

Der Wert $\partial S / \partial r$ ist durch (2.60), (2.65) gegeben.

Auf die anderen Parameter soll hier nicht weiter eingegangen werden.

2.8. Parameterschätzung

Die Laserentfernungsmessung \mathcal{S} hängt i.a. nichtlinear von den gesuchten Parametern ab. Daher werden ausgehend von Näherungswerten die Parameter iterativ verbessert. Es bereitet in der Regel keine Probleme, die Näherungswerte so genau vorzugeben, daß die Lösung durch das Iterationsverfahren berechnet werden kann

In POTSDAM-5 sind folgende Parameter bestimmbar:

- 11 Parameter für Bahnelemente (einschl. Zeitpolynome),
- 2 Parameter für Erdrotation ($\omega_e, \dot{\omega}_e$),
- 2 Parameter für Atmosphärenreibung (C_D, \dot{C}_D),
- 4 Parameter für Polkoordinaten ($x_p, y_p, \dot{x}_p, \dot{y}_p$),
- 4 Parameter für jede Station (r, λ, φ, t),
- Biasparameter (wie konstanter Entfernungsfehler),
- geodynamische Parameter (wie GM, k_2).

Die Bahnparameter können sowohl KEPLERSche Bahnelemente (einschl. Zeitpolynom), als auch Ort und Geschwindigkeit sein.

Im Programm werden zwei Fälle für das Aufstellen der Verbesserungsgleichungen und damit der Normalgleichungen unterschieden. Beide Fälle beinhalten die Grundvariante zur differentiellen Bahnverbesserung. Im Anschluß daran sind zwei Varianten möglich.

Die erste Variante, die sogenannte SINGLE-Pass-Variante, ist für die Auswertung von Doppler-Daten konzipiert, aber auch allgemein einsetzbar. Hier wird für jeden Überflug und für jede Station eine gesonderte Normalgleichungsmatrix aufgestellt, die alle Parameter umfaßt. Diese Matrizen werden in einer Datei gesammelt. Die Datei ist dann Ausgangspunkt für umfassende Analysen, die außerhalb des eigentlichen Bahnprogramms durchgeführt werden. Die Auswertung verschiedener Varianten hinsichtlich Gewichtsfestlegungen, zu berücksichtigender Parameter und Stationen kann so sehr ökonomisch gestaltet werden. Es ist u.a. auch möglich die Zeitintervalle für verschiedene Parameter zu variieren (z.B. Bahnelemente alle 5 Tage, Polkoordinaten alle 1,3 bzw. 5 Tage, Biasparameter nur für je einen Überflug).

Die hier angewandten Algorithmen zur Lösung der Normalgleichungen basieren auf dem HELMERT-Block-Verfahren.

Bei der zweiten Variante (MULTI-Pass-Variante) wird eine Normalgleichungsmatrix für alle in dem Satellitenbogen enthaltenen Messungen aufgestellt. Diese Variante ermöglicht die direkte Bestimmung von Parametern, auch im Wechsel mit erneuten iterativen Bahnverbesserungen. In diesem Fall kann nur ein eingeschränkter Satz von Parametern berücksichtigt werden (z.B. keine Biasparameter).

Wird mit \underline{y} der Vektor aller Parameter bezeichnet und für jeden Meßwert eine Verbesserungsgleichung der Form (2.3) aufgestellt, so ergibt sich folgendes i.a. überbestimmtes Gleichungssystem:

$$(2.74) \quad \underline{A} \underline{dy} = \underline{l} \quad \text{mit} \quad l_i = \mathcal{S}_0^i - \mathcal{S}_c^i, \quad \mathcal{S}_c = \mathcal{S}_c(\underline{y}_0)$$

\underline{y}_0 Näherungswert

\underline{dy} gesuchte Verbesserung .

Die gewichtete klassische Ausgleichung ergibt dann

$$(2.75) \quad \underline{A}^T \underline{P}^{-1} \underline{A} \underline{dy} = \underline{A}^T \underline{P}^{-1} \underline{l}$$

$$(2.76) \quad \underline{N} \underline{dy} = \underline{b}$$

Die verbesserten Parameter

$$(2.77) \quad \underline{y}_1 = \underline{y}_0 + \underline{dy}$$

werden als neue Näherungswerte für eine wiederholte Ausgleichung verwendet. Der Iterationsprozeß ist abgeschlossen, wenn der Wert $\underline{l}^T \underline{l}$ sich nicht mehr signifikant ändert.

Bei der Behandlung des Gleichungssystems (2.76) treten oft Instabilitäten auf. Diese haben zwei Ursachen.

Einmal handelt es sich um eine scheinbare Instabilität, hervorgerufen durch ungünstige Maßeinheiten für die Parameter, und zum anderen um die reale dem Problem innewohnende Instabilität.

Das Maßeinheitenproblem kann durch Normierung der Hauptdiagonale von \underline{N} auf $\underline{1}$ ausgeschaltet werden, die so bestimmten Verbesserungen werden mit \underline{dy}' bezeichnet.

Die Transformation

$$(2.78) \quad \underline{\beta} \underline{N} \underline{\beta} = \underline{\beta} \underline{b}$$

mit der Hauptdiagonalmatrix $\underline{\beta}$, wobei

$$\beta_i = \sqrt{n_{ii}} \quad , \quad \forall_i, \quad n_{ii} = \text{Hauptdiagonalelement von } \underline{N}$$

führt zu einer Matrix mit $n_{ii} = 1$.

Unter Anwendung der Relation

$$(2.79) \quad \underline{dy} = \underline{\beta} \underline{dy}'$$

können Zuschläge für die Originalmaßeinheiten berechnet werden.

Die reale Instabilität kann durch Regularisierung behandelt werden. Bei der Regularisierung nach TICHONOV wird das Gleichungssystem

$$(2.80) \quad (\underline{N} + \alpha \underline{I}) \underline{dy} = \underline{b}$$

gelöst.

Das entspricht einer Minimierung

$$(2.81) \quad \underline{v}^T \underline{P}^{-1} \underline{v} + \alpha \underline{dy}^T \underline{dy} \implies \min$$

wobei

$$\underline{v} = \underline{l} - \underline{A} \underline{dy} \quad .$$

Bei der praktischen Realisierung erweist sich die Normierung von \underline{N} als günstig. Der Einfluß des Faktors α hängt dann nicht vom Betrag des Diagonalelementes ab. Günstig ist außerdem, für jeden Parameter einen besonderen Wert α zuzulassen (keine Einheitsmatrix). Da die Probleme nichtlinear sind, muß die Lösung von (2.80) für $\alpha = 0$ nicht notwendig zu kleineren Residuen $\underline{1}^T \underline{1}$ führen (bei zu großen Schritten \underline{dy}). Für sehr große Werte von ($\alpha \rightarrow \infty$) zeigt der Vektor \underline{dy} zwar in Richtung des steilsten Abstieges von $\underline{1}^T \underline{1}$, hat aber nur einen kleinen Betrag. Durch entsprechende Anzahl von Iterationen kommt man stets zur Lösung. Für praktische Anwendungen muß ein optimaler Wert von α gefunden werden (LEVENBERG-MARQUARDT-Methode).

3. Datenbereitstellung und Archivierung von Laserdaten

3.1. Datenbereitstellung

An der Hauptkampagne des internationalen MERIT-Projektes, die vom September 1983 bis Oktober 1984 stattfand, wurden von insgesamt 39 Laserentfernungsmessstationen (SLR-Stationen) QUICK-LOOK-Daten geliefert (Abb. 2). Von 33 SLR-Stationen lagen die vollständigen Meßdaten vor. Dabei wurden folgende FULL-RATE-Versionen verarbeitet:

September	-	Oktober 1983	Release B
November	-	Dezember 1983	Release C
Januar 1984			Release D
Februar	-	März 1984	Release C
April 1984			Release D
Mai 1984			Release C
Juni	-	Juli 1984	Release B
August 1984			Release C
September	-	Oktober 1984	Release B.

Die Beobachtungsdaten aller an der MERIT-Kampagne beteiligten SLR-Stationen wurden uns im MERIT-Standard-Format (MODIFIED SEASAT DECIMAL FORMAT) zur Verfügung gestellt. Sie waren mit einer Schreiddichte von 1600 bpi im ASCII-Kode auf Magnetbändern gespeichert.

Die Laserentfernungsmessungen zum künstlichen Erdsatelliten LAGEOS wurden in zwei Formen ausgeliefert und zwar als modifizierte Meßwerte (Normalpunkte) und als FULL-RATE-Daten (Rohdaten). Für die Datenaufbereitung und Archivierung von FULL-RATE-Daten bzw. Normalpunkten wurde im ZIPE eine Software entwickelt, deren Strukturdiagramm in Abb. 3 dargestellt ist.

3.2. Archivierung von Laserdaten

3.2.1. Verarbeitung von Normalpunkten

Nach dem Umkopieren der Beobachtungsdaten von 1600 bpi auf 800 bpi und der Konvertierung in den DKOI-Kode konnten die Normalpunkte auf dem ESER-Rechner verarbeitet werden. Die im MERIT-Standard-Format verschlüsselten Informationen wurden dekodiert und nach einigen Umrechnungen durchgangsweise im Binärformat abgespeichert. In jedem Durchgang waren folglich alle modifizierten Meßwerte (Laserentfernungsmessungen) erfaßt, die eine beliebige SLR-Station während eines Überflugs des LAGEOS ermittelt hatte. Allgemeingültige Informationen zum Durchgang (Satellitennummer, Stationsnummer, meteorologische Daten, Zeitpunkt der Messungen, Anzahl der Meßwerte pro Durchgang ...) wurden in einem "Kopfsatz"

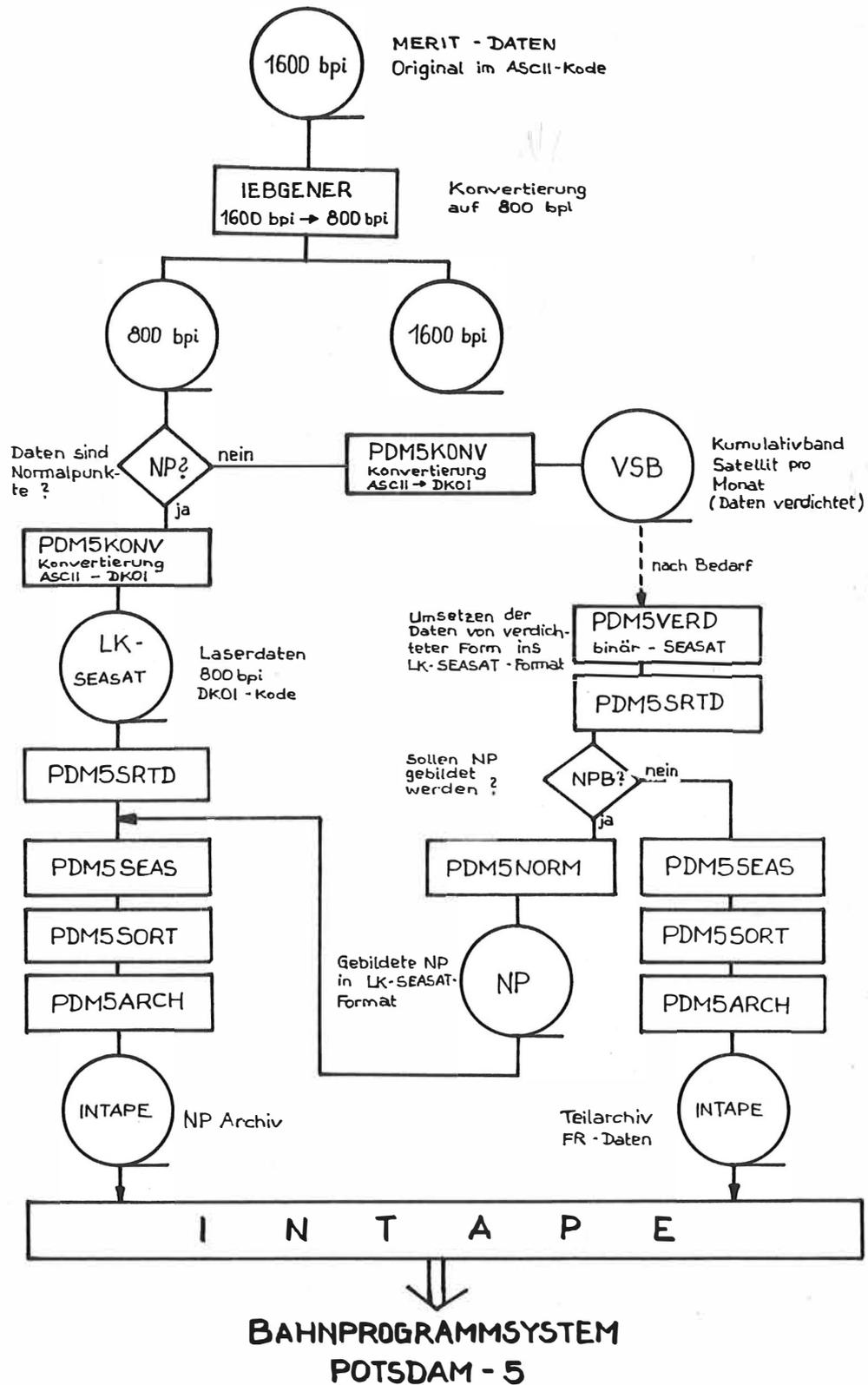


Abb. 3: Übersicht zur Archivierung von Laserentfernungsmessungen

erfaßt, der den Datensätzen mit den einzelnen Meßwerten vorangestellt wurde. Auf diese Art und Weise wurde ein Normalpunktarchiv geschaffen, in dem rund 50000 Normalpunkte aus etwa 5000 Durchgängen gespeichert sind (vgl. Tabelle 1). In diesem Archiv sind alle modifizierten Meßwerte zum LAGEOS für den Zeitraum September 1983 bis Oktober 1984 erfaßt. Das Normalpunktarchiv besteht aus einer sequentiellen Magnetbanddatei mit einem speziellen Satzformat (variabel segmentierte Datensätze).

Alle Daten sind durchgangsweise in zeitlicher Reihenfolge (Kriterium: erster Laserschuß) aufsteigend sortiert. Aus diesem Archiv wurden die für die Bearbeitung gewünschten Beobachtungsdaten ausgewählt und dem Bahnprogrammsystem POTSDAM-5 zu Nutzrechnungen übergeben.

3.2.2. Verarbeitung von FULL-RATE-Daten

Bei der Verarbeitung von FULL-RATE-Daten (Rohdaten) waren noch zusätzlich Arbeitsgänge notwendig. Nach dem Umkopieren auf 800 bpi und der Konvertierung der Daten in den DKOI-Kode mußten aus den gelieferten Daten die Laserentfernungsmessungen (NO ANGLE DATA) herausgelöst werden. Schwierigkeiten bereitete die Tatsache, daß bei der Erfassung von FULL-RATE-Daten kein einheitliches Zeitsystem vorgegeben war und durch Mißverständnisse Beobachtungsdaten einiger beteiligter Stationen falsch im MERIT-Standard-Format kodiert wurden. Um flexibel zu bleiben und eventuelle Korrekturen zum MERIT-Standard-Format verarbeiten zu können, wurden die so erhaltenen Rohdaten original im verschlüsselten Zustand binär abgespeichert. Durch diese Methode wurde das Datenmaterial ohne Informationsverlust auf 40 % des vorher benötigten Speicherplatzes verdichtet.

Im Gegensatz zu den Normalpunkten besteht das FULL-RATE-Archiv aus einer Reihe von Teilarchiven. Dabei enthält jede Datei Laserentfernungsmessungen zum Satelliten LAGEOS für einen Monat.

Innerhalb des Komplexes "Archivierung" wurden eine Reihe von Dienst- und Verarbeitungsprogrammen entwickelt, die eine entsprechende Verarbeitung der archivierten Meßwerte ermöglichen. Damit können einerseits Daten eines beliebigen Zeitraumes ohne großen Aufwand so aufbereitet werden, daß sie als FULL-RATE-Daten in entsprechender Binärstruktur (INTAPE-Struktur) direkt dem Bahnprogramm POTSDAM-5 zugeführt werden können.

Zum anderen besteht die Möglichkeit, aus ausgewählten FULL-RATE-Daten selbst Normalpunkte zu bilden, die schließlich in vorgegebener Binärstruktur dem Bahnprogramm POTSDAM-5 als Eingabe dienen.

3.3. Methode zur Berechnung von Normalpunkten aus Laserentfernungsmessungen

3.3.1. Vorbemerkungen

Moderne Lasermeßsysteme können in jeder Sekunde und öfter die Entfernung zu Satelliten messen. Dadurch entsteht eine sehr große Menge von Daten, die bearbeitet, archiviert und beim Datenaustausch übermittelt werden muß. Bei einem Durchgang des Satelliten LAGEOS fallen z.B. weit mehr als 1000 Meßwerte an. Für die geodätische Auswertung sind aber ca. 30 Werte ausreichend, sofern keine wesentlichen Informationen verlorengehen. Damit können Übertragungs- und Rechenzeiten gering gehalten werden. Es ist deshalb sinnvoll und notwendig, die Daten zu verdichten. Dazu werden die Messungen eines bestimmten Zeitintervalls zu Mittelwerten, den sogenannten Normalpunkten, zusammengefaßt.

Tab. 1: An der Hauptkampagne des internationalen MERIT-Projektes beteiligte SLR-Stationen

Stations- identifi- kation	Länge	Breite	Full-Rate Daten			Normalpunkte			
			Anzahl		Ø Gen.	Durchg.	NP	Monate	Ø Gen.
			Durchg.	Monate	cm				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1072 ZVENGD ^x	36,76	55,70	9	2	>30	-	-	-	-
1148 ONDL ^x	14,80	49,92	3	1	>30	-	-	-	-
1181 POTSDM	13,07	52,38	129	14	19	118	663	14	10
1873 SIMEI Z ^x	33,99	44,41	22	7	>30	5	10	2	-
7062 OTAY	243,17	32,60	27	4	4	24	200	4	4
7082 BERLAK	248,58	41,93	2	1	9	2	11	1	4
7086 MCDON	255,98	30,68	137	14	7	127	1190	14	4
7090 YARAG	115,35	-29,05	286	13	3	278	3271	13	1
7105 GRF105	283,17	39,05	232	14	3	232	2311	14	1
7106 GRF106 ^x	283,17	39,05	1	1	>30	-	-	-	-
7109 QUINC2	239,06	39,98	449	14	3	449	5831	14	1
7110 MNPEAK	243,58	32,89	395	13	3	389	4239	13	1
7112 PLATVL	255,27	40,18	162	13	12	148	1235	13	5
7121 HUAHIN	208,96	-16,73	149	14	9	141	1182	14	4
7122 MAZTLN	253,54	23,34	188	12	9	187	2080	12	3
7210 HOLLAS	203,74	20,71	386	13	4	385	3691	13	1
7220 MONPKZ	243,58	32,89	21	1	8	21	186	1	3
7265 MOJAVE	243,11	35,33	48	3	8	48	438	3	3
7400 SNTAGO	289,33	-33,15	43	3	7	42	340	3	3
7401 CERTOL	289,20	-30,17	53	2	8	52	559	2	2
7805 METFIN	24,39	60,22	54	7	18	43	269	7	13
7810 ZIMMER	7,47	46,88	65	6	8	46	435	6	4
7824 SANFER ^x	353,80	36,47	3	1	>30	-	-	-	-
7831 HELWAN	31,34	29,86	8	2	21	2	10	2	21
7833 KOOTWK	5,81	52,18	73	9	15	72	619	9	9
7834 WETZEL	12,88	49,14	329	14	7	324	2618	14	2
7835 GRASSE	6,92	43,75	105	8	6	52	459	8	2
7837 SHAHAI	121,19	31,10	42	5	15	41	284	4	-
7838 SHO	135,94	33,58	258	13	10	247	1642	13	4
7839 GRAZ	15,49	47,07	185	14	4	182	1505	14	1
7840 RGO	0,34	50,87	336	13	5	334	2957	13	3
7843 ORRLRR	148,94	-35,64	36	1	6	36	277	1	-
7882 CABO	250,14	22,92	7	1	8	7	48	1	3
7886 QUINC3	239,06	39,98	88	4	7	88	891	4	2
7907 ARELAS	288,51	-16,47	438	14	14	427	5600	14	6
7935 DODAIR ^x	139,20	36,00	13	4	19	2	4	2	-
7939 MATERA	16,70	40,64	333	13	14	327	4211	13	5
7940 DIONYS	23,93	38,08	11	2	16	3	17	1	12
8833 KOTWKZ	5,81	52,18	12	2	6	12	111	2	1
Total			5087		5	4886	49380		4

^x Stationen haben nur QUICK-LOOK Daten geliefert
 Daten aus "ANALYSIS OF LASER RANGE DATA" und
 "MERIT MONTHLY CIRCULAR"

An die Normalpunktberechnung werden folgende Forderungen gestellt (HAUCK und LEIGEMANN, 1982):

- Die Normalpunkte sollen die wesentlichen Informationen aus dem ursprünglichen Messungsmaterial enthalten.
- Die Berechnung soll auf der Grundlage eines möglichst einfachen Modells erfolgen.
- Die gegenseitigen Korrelationen der Normalpunkte sollen möglichst vernachlässigbar sein.
- Das Messungsmaterial soll von Fehlmessungen gesäubert werden.
- Das Meßrauschen soll aus den Daten entfernt werden.
- Es sollen keine synthetischen Messungen erzeugt, sondern echte Messungen reduziert werden.

Für diese Verdichtung der Daten können verschiedene Methoden angewendet werden. Eine sichere Möglichkeit ist die Verwendung eines Bahnprogramms mit vollständigem Kräftemodell (Erd- und luni-solares Gravitationsfeld, nichtgravitative Bahnstörungen usw.). Mit Hilfe der Restabweichungen der Meßwerte von der berechneten Satellitenbahn lassen sich die Normalpunkte bilden und Fehlmessungen selektieren.

Ein solches Vorgehen ist aber mit sehr hohem Rechenaufwand verbunden. Ein Ziel bei der Bildung von Normalpunkten war aber gerade die Reduzierung des Rechenaufwandes bei der Anwendung von komplizierten und aufwendigen Bahnmodellen.

Eine weitere Möglichkeit besteht in einer einfacheren Berechnung der Satellitenbahn, wobei z.B. nur die zonale Kugelfunktion J_2 als erste Näherung für das Gravitationspotential der Erde eingeführt wird. Alle anderen Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung und sonstigen Störungen werden vernachlässigt. An die Restabweichungen der Meßwerte zu dieser Bahn werden z.B. stückweise Polynome niedriger Ordnung angepaßt und mit den verbleibenden Abweichungen die Normalpunkte berechnet (GAMBIS, 1984).

Für beide Methoden sind Start- bzw. Näherungswerte für die 6 Bahnelemente und die Stationskoordinaten erforderlich. Deshalb wurden auch Versuche mit Polynom- und anderen Funktionsansätzen gemacht, um die Normalpunkte direkt aus den Rohdaten eines Durchgangs zu berechnen (MASTERS u.a., 1983). Diese Modelle stehen aber in der Regel in keiner Beziehung zur tatsächlichen Satellitenbahn.

3.3.2. Modell

Es ist möglich, einen einfachen Funktionsansatz für die Satellitenbahn zu formulieren, der ohne Startwerte für die Bahnelemente auskommt und auch keine Koordinaten der Beobachtungsstation benötigt (BARTHELMES, 1978). Dazu wird die Abhängigkeit der topozentrischen Entfernung von der Zeit für eine kreisförmige Satellitenbahn dargestellt.

Für den Abstand A des Satelliten von der Station gilt:

$$(3.1) \quad A^2(t) = R_o^2 + R_s^2 - R_o R_s \cos \varphi (1 + \cos i) \cos(\nu t - \omega t + \beta - \gamma) \\ - R_o R_s \cos \varphi (1 - \cos i) \cos(\nu t + \omega t + \beta + \gamma) \\ - 2R_o R_s \sin \varphi \sin i \sin(\omega t + \gamma)$$

Dabei bedeuten

R_0	Erdradius
R_B	Satellitenbahnradius
ω	Winkelgeschwindigkeit der Erde
γ	Winkelgeschwindigkeit des Satelliten
t	Zeit (relativ zu einem beliebigen Nullpunkt)
φ	Breite der Station
i	Bahnneigung des Satelliten
β	Phasenwinkel der Erdrotation
δ	Phasenwinkel der Satellitenbewegung .

Wenn die zeitunabhängigen Glieder in (3.1) zusammengefaßt werden, ergibt sich:

$$(3.2) \quad A^2(t) = a_0 + a_1 \cos(\gamma t - \omega t + \beta - \delta) \\ + a_2 \cos(\gamma t + \omega t + \beta + \delta) \\ + a_3 \sin(\omega t + \delta)$$

Der funktionale Zusammenhang $A^2(t)$ nach (3.1) ist in Abb. 4 dargestellt.

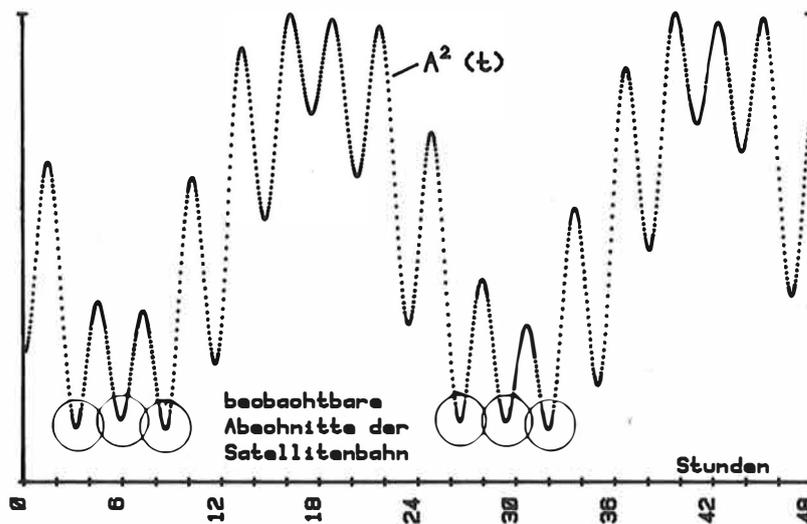


Abb. 4: Darstellung der Entfernungquadrate $A^2(t)$ nach (3.1) fuer den Satelliten LAGEOS ($\varphi = 52^\circ$)

Da das beobachtbare Teilstück der Satellitenbahn nur etwa $1/10$ des Umfanges ausmacht, kann $A^2(t)$ für dieses kurze Bahnstück näherungsweise wie folgt beschrieben werden:

$$(3.3) \quad A^2(t) = c_1 + \bar{c}_2 \cos(\gamma t + \bar{c}_3) + c_4 t$$

oder nach Umformung:

$$(3.4) \quad A^2(t) = c_1 + c_2 \cos \nu t + c_3 \sin \nu t + c_4 t$$

$$\text{mit} \quad c_2 = \bar{c}_2 \cos \bar{c}_3$$

$$c_3 = -\bar{c}_2 \sin \bar{c}_3 \quad .$$

Die Addition des linear von der Zeit abhängigen Gliedes macht sich durch die Asymmetrie des Kurvenstücks $A^2(t)$ im beobachtbaren Bereich, die infolge der Erdrotation und durch eine mögliche Exzentrizität der Satellitenbahn auftritt, erforderlich.

3.3.3. Ausgleichung der genäherten Bahn

Auf der Grundlage von (3.4) wurde ein Ausgleichungsprogramm zur Berechnung einer genäherten Satellitenbahn erstellt. Auf die normalerweise notwendige Linearisierung des Problems kann dabei verzichtet werden, wenn nicht die Entfernungsmessungen sondern deren Quadrate $A^2(t)$ nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen werden. Wenn die Konstante ν vorgegeben wird, ergeben sich c_1 , c_2 , c_3 und c_4 direkt als Lösung eines linearen Problems. Durch sinnvolle Variation läßt sich auch ν bestimmen. Die Kurve $A(t)$ ist dann auf eine bestimmte Art, abweichend vom Prinzip der kleinsten Quadrate, an die Entfernungsmeßwerte angepaßt.

Der Unterschied zur strengen Lösung mit Linearisierung liegt etwa zwei Größenordnungen unterhalb der Anpassungsgenauigkeit dieses einfachen Modells. Da noch eine Weiterbehandlung der Restabweichungen mit Polynomen zur Anpassung mit einer der a priori Meßwertgenauigkeit entsprechenden Genauigkeit angeschlossen wird, hat dieser Unterschied keinen Einfluß auf die Normalpunktgenauigkeit.

3.3.4. Normalpunktberechnung

Auf der Grundlage der beschriebenen Ausgleichung der Satellitenbahn wurde ein Algorithmus zur Berechnung von Normalpunkten entwickelt.

Er umfaßt 3 Hauptschritte:

1. Schritt:

- Anpassung einer Kreisbahn nach (3.4) an die gemessenen Entfernungen je eines Durchgangs
- Berechnung des Ausgangswertes für ν in (4) durch iterative Ausgleichung mit 8 vorher ausgewählten gleichmäßig über das Bahnstück verteilten sicheren Entfernungswerten als Stützpunkte. Der Startwert für ν ist dabei so gewählt, daß alle in Frage kommenden Satellitentypen behandelt werden können.
 - Anpassung der Kurve (3.4) an die Meßwerte. Berechnung von Restabweichungen 1. Ordnung. Es erfolgt eine erste Selektion von groben Fehlmessungen wegen der noch verbliebenen Modellfehler kommt dabei ein 8- σ -Kriterium zur Anwendung.

2. Schritt:

Polynomapproximation der Restabweichungen für je einen Durchgang
 Stückweises Anpassen von Polynomen dritten Grades an die Restabweichungen 1. Ordnung und Berechnung von Restabweichungen 2. Ordnung. Iterative Datenselektion mit einem 3- σ -Kriterium, bis keine Messungen mehr gestrichen werden.

3. Schritt:

Normalpunktberechnung

Die eigentliche Normalpunktberechnung im 3. Schritt erfolgt nach folgendem Prinzip: Die Gesamtzeit jedes zu bearbeitenden Durchgangs wird mit 0 Uhr Weltzeit beginnend in Intervalle eingeteilt. Die Intervalllänge beträgt für den Satelliten LAGEOS 2 Minuten. Dieser Wert entspricht den Empfehlungen zur Datenaufbereitung während der MERIT-Kampagne. Der Mittelwert der Restabweichungen 2. Ordnung wird für jedes Intervall berechnet und anstelle der entsprechenden Restabweichungen als Korrekturwert an die am dichtesten an der Intervallmitte liegende Messung angebracht

$$(3.5) \quad \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} R_i = \bar{R} = \text{korr}$$

$$S_N = S_i - (R_i - \text{korr})$$

S_N	Normalpunktentfernung
S_i	Messung in der Nähe der Intervallmitte
R_i	Restabweichung 2. Ordnung der i-ten Messung
n_j	Anzahl der Messungen im Intervall j

Außerdem werden noch Genauigkeitsmaße zur Einschätzung der Qualität der berechneten Normalpunkte bestimmt.

Berechnung für jedes Intervall j :

$$(3.6) \quad m_j = \pm \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n_j} (\bar{R} - R_i)^2 \right) / (n_j - 1)}$$

$$\bar{m}_j = m_j / \sqrt{n_j}$$

Berechnung für den Durchgang des Satelliten:

$$(3.7) \quad m = \pm \sqrt{\left(\sum_{j=1}^k (\bar{R} - R_i)^2 \right) / (n - k)}$$

$$\bar{m} = \pm \sqrt{\left(\sum_{j=1}^k \bar{m}_j^2 \right) / k}$$

n	Gesamtzahl der Messungen des Durchgangs
k	Anzahl der Intervalle
$m(m_j)$	mittl. Fehler des Normalpunktes im Intervall j
\bar{m}	mittl. Fehler der Normalpunkte eines Durchgangs.

3.3.5. Testrechnungen

Mit dem beschriebenen Verfahren wurden aus dem umfangreichen Datenmaterial der MERIT-Kampagne Normalpunkte berechnet.

Die Methode erwies sich als günstig und schnell. Schwierigkeiten treten dann auf, wenn nur wenig Meßwerte vorliegen, die ungleichmäßig über den beobachteten Bahnbogen verteilt sind.

Es kann dann z.B. zum Streichen echter Messungen kommen.

Hier ist eine nachträgliche interaktive Bearbeitung der Daten notwendig. Da es sich nur um einen sehr geringen Teil der Gesamtdatenmenge handelt, ist der damit verbundene Aufwand vertretbar.

Tabelle 2 zeigt ein Beispiel für ein Protokoll der Berechnung von Normalpunkten für einen Durchgang (Station 7109, Quincy).

Tab. 2: Rechnerprotokoll der Normalpunktberechnung für einen Durchgang des Satelliten LAGEOS

Satellite 7603901		Station 710900		Observations 332	MJD 45732,3555		
Ausreißertest Schranke = 1,811		Sigma = 0,226					
Polynom Anpassung							
Ausreißertest Schranke = 0,124		Sigma = 0,041					
Gestrichen: Nr.:	54	-15,9532605	7,8245709	-0,2330874			
Gestrichen: Nr.:	112	-12,3599535	7,3529576	-0,3342207			
Ausreißertest Schranke = 0,090		Sigma = 0,030					
Anzahl der akzeptierten Messungen: 330							
Nr	Anz	Intervall Mitte	Zeit	Entf	Korr	Fehler d. Beob.	Fehler d. Np
1	4	513,0	513,587145537	8,431280075	0,005	0,033	0,016
2	26	515,0	514,980466887	8,212826224	-0,001	0,024	0,005
3	28	517,0	517,003783120	7,910448933	0,000	0,030	0,006
4	31	519,0	519,023767470	7,629016678	0,001	0,021	0,004
5	35	521,0	520,977086920	7,379519697	-0,001	0,021	0,004
6	36	523,0	522,980407703	7,150172486	-0,001	0,030	0,005
7	36	525,0	525,000396387	6,949648659	0,001	0,036	0,006
8	35	527,0	527,017053820	6,783687452	-0,001	0,026	0,004
9	36	529,0	528,990380370	6,657429584	0,001	0,021	0,003
10	36	531,0	531,007041920	6,567919752	-0,000	0,021	0,003
11	28	533,0	533,030372587	6,520177837	0,000	0,026	0,005
Anz Np 11		Sigma Np 0,007		Sigma Obs 0,026			

Zur Einschätzung der Genauigkeit des Verfahrens wurden die Ergebnisse mit den vom Koordinierungszentrum der Methode Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten der MERIT-Kampagne berechneten Normalpunkten verglichen. Ein Beispiel für einen solchen Vergleich ist in Abbildung 5 grafisch dargestellt. Es handelt sich um Beobachtungen der Station 7834 (Wettzell). Für den dargestellten Durchgang wurde mit Hilfe der vorgestellten Methode ein Fehler der Beobachtungen von $\pm 9,0$ cm berechnet. Dieser Wert entspricht der veröffentlichten Genauigkeit des Meßsystems (CUI, 1984). Die Genauigkeit der aus den Beobachtungen dieses Durchgangs berechneten Normalpunkten ergab sich zu $\pm 3,2$ cm.

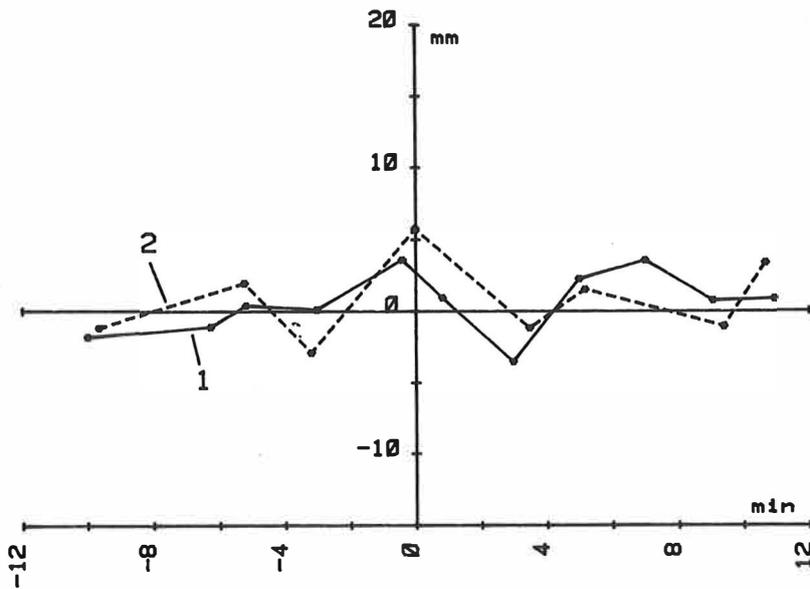


Abb. 5: Vergleich der berechneten Normalpunkte nach der vorgestellten Methode (1) mit denen des Koordinierungszentrums (2)

Obwohl bei beiden Lösungen unterschiedliche Intervallbreiten angewendet wurden (Koordinierungszentrum der Methode Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten: 3 Minuten, vorgestellte Methode: 2 Minuten) und dadurch jeweils andere Gruppen von Meßwerten zu Normalpunkten zusammengefaßt wurden, liegen die Abweichungen der beiden Lösungen weit unterhalb der Datengenauigkeit (Abb. 5).

4. Ergebnisse

4.1. Stationskoordinaten

4.1.1. Bedeutung

Die Koordinaten der Beobachtungsstationen definieren das vereinbarte terrestrische System (engl. Conventional Terrestrial System - CTS). Dieses System ist bei Satellitenmethoden geozentrisch, da sich die Satelliten nach dem 1. KEPLERschen Gesetz um das Massenzentrum der Erde bewegen und somit ein Bezug hierauf möglich ist. Die Richtung der z-Achse definiert den Ursprung des Systems, in dem die Polkoordinaten dargestellt werden.

Ungenauigkeiten der Stationskoordinaten beeinflussen bei numerischen Auswertungen von Satellitenbeobachtungen die ermittelten Werte für andere Parameter, auch die der Erdrotation. Da die Gewinnung von Meßdaten, z.B. aus meteorologischen Gründen, bei den Stationen unregelmäßig erfolgt, weiterhin auch die geometrischen Verhältnisse Satellitenbahn/Station von Durchgang zu Durchgang variieren, sind die durch ungenaue Stationskoordinaten entstehenden Verfälschungen z.B. der Erdrotationsparameter in ihrem statistischen Verhalten schwer abzuschätzen. Das allein begründet den Anspruch auf größte Sorgfalt und höchste Genauigkeit bei der Ableitung von Stationskoordinaten.

Langjährig beobachtende Stationen mit Koordinaten bester Genauigkeit sind auch zukünftig eine entscheidende Grundlage für einen stabilen, homogenen Bezug von Erdrotationsparametern.

4.1.2. Berechnung der Stationskoordinaten

Um eine möglichst gute Übereinstimmung mit dem Ursprung des BIH-Poles zu erreichen, wurden die Polkoordinaten bei einem ersten Berechnungsschritt nicht verbessert, sondern die Ausgangswerte (geglättete Werte des BIH-Zirkulars D) fixiert und nur Bahnelemente und Stationskoordinaten ausgeglichen. Dabei wurden Länge und Breite der Station 7907 konstant gehalten.

Für die Mehrzahl der Stationen existierten nur grobe Näherungskordinaten, trotzdem war eine rasche Konvergenz bei der Koordinatenbestimmung zu verzeichnen. Nur der Nullpunkt der z-Achse wies ein schwächeres Konvergenzverhalten auf - die wahrscheinliche Ursache dürfte in dem geringen Datenumfang von der Südhalbkugel der Erde in den ersten Monaten der Kampagne liegen. Es erwies sich als zweckmäßig, die Koordinatenbestimmung nach Eingang der Meßdaten für weitere 3 Monate jeweils zu wiederholen.

Dem damaligen Stand der Datenlieferung entsprechend wurden für die während der MERIT-Konferenz in Ohio vorgelegten Erdrotationsparameter Stationskoordinaten verwendet, die aus Daten des Intervalls September 1983/Mai 1984 ermittelt wurden (Koordinatensatz SSC (ZIPE) 85 L Ø1, Tab. 3).

Neben dieser zwischenzeitlichen Lösung wurde unter Verwendung aller Daten der MERIT-Kampagne bei gleichzeitiger Bestimmung von Bahnelementen und Erdrotationsparametern eine "Beste Lösung" für die Koordinaten der Stationen ermittelt (Koordinatensatz SSC (ZIPE) 85 L Ø2, Tab. 4). Bei dieser Berechnung wurden die Breite der Stationen 7210 und 7105 sowie die Länge von 7105 auf ihren Ausgangswerten (entsprechend Koordinatensatz SSC (ZIPE) 85 L Ø1) fixiert.

4.1.3. Genauigkeit der Koordinaten

Die innere Genauigkeit der Stationskoordinaten lag in der Größenordnung von $\pm 1...2$ cm. Diese aus der Ausgleichung erhaltenen Genauigkeitsmaße enthalten natürlich nicht den Einfluß von Restfehlern des Modells. Deshalb sind gesonderte Untersuchungen zur Genauigkeitsbewertung der Koordinaten erforderlich.

Eine gute Möglichkeit bietet sich durch eine Unterteilung der Daten in zwei Hälften und eine anschließende zweimalige, mit verschiedenen Daten durchgeführte Koordinatenbestimmung. Die erhaltenen Sätze von Stationskoordinaten können nach einer Helmerttransformation anhand der Restklaffungen in ihrer Genauigkeit bewertet werden.

Bei der Helmerttransformation werden die Koordinaten des Systems 2 in das System 1 transformiert mit:

$$(4.1) \quad \begin{pmatrix} X^1 \\ Y^1 \\ Z^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 1 & \text{Rot}_Z & -\text{Rot}_Y \\ -\text{Rot}_Z & 1 & \text{Rot}_X \\ \text{Rot}_Y & -\text{Rot}_X & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X^2 \\ Y^2 \\ Z^2 \end{pmatrix}$$

Tab. 3: Stationskoordinaten aus den Daten der ersten 9 Monate der Kampagne. Referenz für die berechneten Polkoordinaten. (Name: SSC(ZIPE) 85 L 01)

Station	Nummer	X (m)	Y (m)	Z (m)
Arequipa	7907	1942794.847	-5804076.798	-1796919.573
Matera	7939	4641964.683	1393072.309	4133261.972
Potsdam	1181	3800621.105	882007.218	5028859.444
Wetzell	7834	4075529.942	931783.400	4801618.064
Platteville	7112	-1240676.241	-4720466.667	4094482.849
Huahine	7121	-5345866.730	-2958251.370	-1824624.980
Quincy	7109	-2517233.599	-4198559.747	4076571.745
Maui	7210	-5466005.651	-2404431.248	2242188.469
Simosato	7838	-3822390.105	3699361.437	3507573.198
Ft. Davis	7086	-1330118.086	-5328532.967	3236146.748
Graz	7839	4194426.422	1162696.024	4647246.291
Greenbelt	7105	1130723.066	-4831352.474	3994108.361
Kootwijk	7833	3899224.271	396744.858	5015073.699
Mazatlan	7122	-1660087.158	-5619104.137	2511639.051
Herstmonceux	7840	4033464.097	23664.366	4924304.794
Monument Peak	7110	-2386276.483	-4802358.187	3444883.095
Yaragadee	7090	-2389010.226	5043330.597	-3078527.179
Helwan	7831	4728317.066	2879648.306	3156921.295
Metsahovi	7805	2892594.687	1311809.726	5512609.740
Grasse	7835	4581691.602	556161.733	4389359.119
Mojave	7265	-2356475.632	-4646621.220	3668427.230
Cabo San Lucas	7882	-1997239.207	-5528043.730	2468355.721
Santiago/Chile	7400	1769702.878	-5044613.924	-3468263.387
Kootwijk/MTLRS	8833	3899237.915	396771.103	5015055.079
Cerro Tololo	7401	1815520.650	-5213465.904	-3188002.624

Tab. 4: Stationskoordinaten aus den Daten der gesamten Kampagne. ("Beste Lösung", Name: SSC(ZIPE) 85 L 02)

Station	Nummer	X (m)	Y (m)	Z (m)
Arequipa	7907	1942794.950	-5804076.727	-1796919.508
Matera	7939	4641964.564	1393972.143	4133262.259
Potsdam	1181	3800621.042	882007.083	5028859.677
Wetzell	7834	4075529.850	931783.203	4801618.306
Platteville	7112	-1240676.301	-4720466.747	4094482.843
Huahine	7121	-5345866.745	-2958251.311	-1824624.884
Quincy	7109	-2517233.659	-4198559.837	4076571.745
Maui	7210	-5466005.692	-2404431.266	2242188.486
Simosato	7838	-3822390.148	3699361.349	3507573.412
Ft. Davis	7086	-1330118.108	-5328533.110	3236146.748
Quincy/TLRS-1+	7886	-2517244.878	-4198551.608	4076573.596
Graz	7839	4194426.318	1162695.872	4647246.580
Greenbelt	7105	1130722.956	-4831352.578	3994108.422
Kootwijk	7833	3899224.220	396744.677	5015073.922
Mazatlan	7122	-1660087.192	-5619104.199	2511639.049
Herstmonceux	7840	4033464.011	23664.192	4924305.016
Monument Peak	7110	-2386276.505	-4802358.280	3444883.099
Helwan	7831	4728282.487	2879671.121	3156895.227
Yaragadee	7090	-2389010.237	5043330.736	-3078526.809
Metsahovi	7805	2892594.643	1311809.565	5512609.938
Mojave	7265	-2356475.687	-4646621.314	3668427.209
Cabo San Lucas	7882	-1997239.256	-5528043.742	2468355.768
Santiago/Chile	7400	1769702.934	-5044613.766	-3468263.409
Grasse	7835	4581691.698	556161.513	4389359.390
Kootwijk/MTLRS	8833	3899237.828	396770.941	5015055.290
Cerro Tololo	7401	1815520.637	-5213465.802	-3188002.614
Dionysos	7940	4595216.006	2039466.454	3912613.379
Zimmerwald	7810	4331283.350	567551.369	4633140.118
Quincy/TLRS-1"	7886	-2517240.168	-4198555.698	4076572.179
Shanghai	7837	-2831089.976	4676201.971	3275173.146
Orroral	7843	-4446478.317	2678125.150	-3696251.868

") bis MJD= 45951

+) ab MJD= 45954

wobei 3 Translationen dX , dY , dZ
 3 Rotationen Rot_Z , Rot_Y , Rot_X
 und 1 Maßstab μ
 bestimmt werden.

Die Daten der ersten 9 Monate der Kampagne wurden auf diese Weise analysiert, nachdem sie in 2 Teile geteilt worden waren.

Eine Teilung in 1. und 2. Hälfte ergab eine mittlere Restklaffung der Stationskoordinaten von ± 5 cm.

Eine Teilung der (fortlaufend nummerierten) 5-Tage-Bögen in gerade und ungerade Bögen führte zum Wert von ± 2 cm.

Weiterhin erfolgte eine Helmerttransformation zwischen dem Koordinatensatz, der den abgeleiteten Erdrotationsparametern zugrunde lag (SSC (ZIPE) 85 L Ø1), und der "Besten Lösung" (SSC (ZIPE) 85 L Ø2).

Hier ergab sich eine mittlere Restklaffung der Koordinaten von ± 4 cm (Tab. 5).

Tab. 5: Parameter einer Helmerttransformation zwischen den Koordinaten von Tabelle 3 und 4
 ($m_0 = \pm 0.040$ m)

$dX = + 0.013$ m	± 0.011 m	$Rot_X = + 0.0066''$	$\pm 0.0004''$
$dY = - 0.005$ m	± 0.011 m	$Rot_Y = - 0.0025''$	$\pm 0.0004''$
$dZ = - 0.193$ m	± 0.011 m	$Rot_Z = - 0.0001''$	$\pm 0.0004''$
$= + 3.0 \cdot 10^{-9}$			

Die am ZIPE erarbeiteten Ergebnisse entstanden völlig unabhängig von den Resultaten anderer Analysezentren und wurden wie diese auf der Internationalen Konferenz "Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame" in Columbus vorgestellt. Dadurch gab es die Möglichkeit, die am ZIPE erhaltene Koordinatenlösung mit anderen dort präsentierten Lösungen zu vergleichen.

Dieser Vergleich wurde wieder mit Hilfe der Helmerttransformation durchgeführt, wobei jeder Koordinatensatz mit allen anderen verfügbaren kombiniert wurde. Da nicht jedes Analysezentrum für alle Stationen Koordinaten bestimmt und veröffentlicht hat, war die Anzahl der in allen Lösungen enthaltenen Stationen gleich 14, und nur die Koordinaten dieser Station wurden jeweils verwendet.

Die Ergebnisse in Tab. 6 zeigen, daß die mittleren Restklaffungen für die Ergebnisse der drei Hauptanalysezentren bei etwa ± 3 cm liegen, während die Vergleiche mit der Lösung des Astronomischen Hauptobservatorium der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften (GAOUA) in Kiev und des Operationszentrums der Westeuropäischen Raumfahrtorganisation (ESOC) zu Werten von ± 5 bis ± 6 cm führen.

Damit bestätigen sich die bereits anhand eigener Berechnungen erfolgten Abschätzungen der erzielten Genauigkeiten.

Tab. 6: Parameter der Helmerttransformation zwischen den Koordinatensätzen verschiedener Analysezentren
(Anwendung der Parameter auf die Lösung der Kopfzeile transformiert diese in das System der Lösung der 1. Spalte)

	SFB78	GSFC	GAOUA	ESOC
ZIPE	$m_o = \pm 0,028$ m $dX = +0,002$ m $dY = +0,007$ m $dZ = -0,090$ m $\mu = +3,3 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,1085''$ $Rot_Y = -0,0070''$ $Rot_X = -0,0033''$	$m_o = \pm 0,035$ m $dX = +0,008$ m $dY = -0,012$ m $dZ = -0,142$ m $\mu = +3,8 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,1176''$ $Rot_Y = +0,0039''$ $Rot_X = +0,0167''$	$m_o = \pm 0,047$ m $dX = +0,019$ m $dY = +0,004$ m $dZ = +0,059$ m $\mu = +2,0 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,0185''$ $Rot_Y = +0,0054''$ $Rot_X = -0,0054''$	$m_o = \pm 0,059$ m $dX = -0,013$ m $dY = +0,016$ m $dZ = +0,038$ m $\mu = -0,2 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,3114''$ $Rot_Y = +0,0079''$ $Rot_X = -0,0048''$
SFB78	-	$m_o = \pm 0,033$ m $dX = +0,005$ m $dY = -0,017$ m $dZ = -0,042$ m $\mu = 0,0 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,0091''$ $Rot_Y = +0,0107''$ $Rot_X = +0,0197''$	$m_o = \pm 0,055$ m $dX = +0,017$ m $dY = -0,003$ m $dZ = +0,149$ m $\mu = -1,3 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = +0,0899''$ $Rot_Y = +0,0124''$ $Rot_X = -0,0020''$	$m_o = \pm 0,058$ m $dX = -0,015$ m $dY = +0,009$ m $dZ = +0,128$ m $\mu = -3,5 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,2029''$ $Rot_Y = +0,0149''$ $Rot_X = -0,0014''$
GSFC	-	-	$m_o = \pm 0,057$ m $dX = +0,012$ m $dY = +0,014$ m $dZ = +0,192$ m $\mu = -1,3 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = +0,0991''$ $Rot_Y = +0,0017''$ $Rot_X = -0,0217''$	$m_o = \pm 0,062$ m $dX = -0,020$ m $dY = +0,026$ m $dZ = +0,171$ m $\mu = -3,5 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,1938''$ $Rot_Y = +0,0042''$ $Rot_X = -0,0211''$
GAOUA	-	-	-	$m_o = \pm 0,054$ m $dX = -0,032$ m $dY = +0,012$ m $dZ = -0,021$ m $\mu = -2,2 \cdot 10^{-9}$ $Rot_Z = -0,2928''$ $Rot_Y = +0,0025''$ $Rot_X = +0,0006''$

m_o : mittlerer Fehler

ZIPE : Hauptanalysezentrum, Koordinatensatz von Tab. 3

SFB78 : Hauptanalysezentrum Sonderforschungsbereich 78
Satellitengeodäsie/BRD (REIGBER u.a., 1985)

GSFC : Hauptanalysezentrum Goddard Space Flight Center NASA/USA (SMITH u.a., 1985)

GAOUA : Assoziiertes Analysezentrum Astronomisches Hauptobservatorium der AdW der
Ukrainischen SSR Kiev/Sowjetunion (YATSKIV u.a., 1985)

ESOC : Assoziiertes Analysezentrum European Space Operations Center_ESA/West-
europa (DOW u. AGROTIS, 1985)

Man kann feststellen, daß die Methode der Laserentfernungsmessung zu künstlichen Erdsatelliten die Ableitung globaler Koordinaten mit Subdezimetergenauigkeit gestattet.

Innerhalb der ausgeglichenen Transformationsparameter sind besonders die Drehwinkel um die X- und Y-Achse interessant. Ihre Beträge müßten als konstanter Versatz der Komponenten der Polkoordinatenlösungen der jeweiligen Analysezentren ebenfalls sichtbar werden (Abschn. 4.2.).

4.1.4. Weiterführende Untersuchungen zu zeitlichen Änderungen der Stationskoordinaten

Die erzielten Genauigkeiten in der Bahnmodellierung und in der Parameterbestimmung eröffnen die Möglichkeit, auch Untersuchungen zum Nachweis weiterer geodynamischer Effekte durchzuführen, die sich in Änderungen der Stationspositionen widerspiegeln, sofern sie in der Größenordnung von etwa 1 dm oder darüber liegen. Hier sind vor allem mögliche säkulare Stationsbewegungen und geometrische Effekte der Erdzeiten zu nennen. Nachfolgend sollen einige bisher erzielte Ergebnisse auf diesen Gebieten dargestellt werden.

Die Analyse möglicher Stationsbewegungen besitzt zwei Hauptzielstellungen. Einerseits ist ein homogenes, langfristig stabiles terrestrisches Referenzsystem eine wesentliche Grundlage für präzise, lange Zeitreihen der Erdrotationsparameter.

Andererseits besitzen nachgewiesene Stationsbewegungen für Probleme der globalen oder regionalen Tektonik große Bedeutung.

Unter diesen Aspekten wurden grundsätzliche Fragen und Konzepte zur Analyse von Stationsbewegungen untersucht (DIETRICH, 1985):

- a) Die Bestimmung epochenbezogener Koordinatensätze und ein Vergleich der Koordinaten oder abgeleiteter Parameter (Strecken), die zu verschiedenen Epochen gehören,
- b) Einbeziehung von zeitlich linearen Stationskoordinatenänderungen in die Bestimmung von Stationskoordinaten,
- c) Einbeziehung von Parametern der Plattentektonik (vgl. MINSTER u. JORDAN, 1978) in das Modell der Koordinatenbestimmung.

Da der Zeitraum der MERIT-Kampagne mit 14 Monaten zu kurz ist, um signifikante Parameter abzuleiten, wurden die Daten insbesondere zur Analyse der Genauigkeit der entsprechenden Modellkonzeptionen genutzt. So bestätigt die Ableitung von Distanzen aus Daten aufeinanderfolgender Zeitintervalle die bei der Beurteilung der Stationskoordinaten erhaltenen Genauigkeitsmaße von 3 ... 5 cm (Tab. 7).

Negiert man eventuell vorhandene reale Stationsbewegungen, so reflektieren die erhaltenen Werte für lineare Änderungen der Stationskoordinaten die summarische Wirkung der Modellfehler. Es zeigt sich, daß diese Modellfehler bei einem Datenumfang von 14 Monaten ± 9 cm/Jahr bzw. ± 6 cm/Jahr für die Änderung von Stationskoordinaten in Länge bzw. Breite betragen (Tab. 8, linke Hälfte).

Diese Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß tektonische Bewegungen in der Größenordnung von 5 cm/Jahr nach einem Zeitraum von etwa 5 Jahren nachweisbar sein dürften.

Tab. 7: Distanzen s_i (in Meter) von der Station 7210 zu anderen Stationen mit

$$s_D = s_0 + s_i$$

s_D : sphärische Distanz ($R_{\text{Erde}} = 6370 \text{ km}$)

E_i : Epoche (in MJD)

von 7210 nach	s_0	s_1 $E_1:45634$	s_2 $E_2:45739$	s_3 $E_3:45844$	s_4 $E_4:45950$
7840	11763800	00.43	00.42	00.41	00.51
7090	10944900	22.54	22.59	22.56	22.51
7838	6753200	72.19	72.18	72.18	72.20
7121	4175600	47.52	47.62	47.55	47.49
7112	5310900	17.79	17.79	17.82	17.90
7105	7699500	51.35	51.35	51.36	51.44
7907	10114400	48.69	48.68	48.83	48.91

Tab. 8: Ausgeglichenere horizontale Stationsbewegungen in cm/Jahr (links) sowie stationsbezogene Werte der Loveschen Zahl h (rechts). Für die Berechnung von Stationsbewegungen wurden nur Stationen verwendet, die den gesamten Zeitraum der MERIT-Kampagne aktiv waren.

Station	Nummer	λ	ψ	h	m_h
Herstmonc.	7840	2	- 2	0.54	0.012
Kootwijk	7833	-16	-10	0.62	0.018
Zimmerwald	7810			0.57	0.065
Grasse	7835			0.46	0.043
Wettzell	7834	-12	8	0.63	0.013
Potsdam	1181	4	- 6	0.54	0.081
Graz	7839	-13	2	0.55	0.013
Matera	7939	- 3	- 9	0.70	0.015
Metsahovi	7805			0.77	0.168
Yaragadee	7090	- 4	- 4	0.59	0.012
Shanghai	7837			0.79	0.114
Simosato	7838	- 5	- 2	0.57	0.020
Mau	7210	-10	3	0.65	0.008
Huahine	7121	- 3	7	0.65	0.020
Quincy	7109	- 3	1	0.57	0.008
Mojave	7265			0.57	0.023
Mon. Peak	7110	3	2	0.55	0.008
Mazatlan	7122	5	- 6	0.57	0.016
Plattevil.	7112	8	2	0.56	0.022
Ft. Davis	7086	17	- 2	0.42	0.022
Greenbelt	7105	3	9	0.52	0.010
Arequipa	7907	13	- 3	0.57	0.013
Cerro Tol.	7400			0.73	0.105
Santiago	7401			0.67	0.023
		± 9	± 6	0.582	± 0.011

Die genaue Bahnmodellierung schließt sowohl die gezeitenbedingten Änderungen der auf den Satelliten wirkenden Kräfte als auch die durch Gezeiten der festen Erde hervorgerufenen Änderungen der Stationspositionen ein. Erstere sogenannte gravitative Effekte führen bei nicht perfekter Kenntnis der Kräfte zu langperiodischen Störungen der Satellitenbahn, so daß aus Bahnanalysen auf Parameter des Gezeitenpotentials geschlossen werden kann. Die Änderungen der Stationspositionen durch Festerdegezeiten bewirken eine Änderung der Strecke Station-Satellit, sie werden daher als geometrische Gezeiteneffekte bezeichnet.

Der Nachweis geometrischer Gezeiteneffekte setzt eine sehr genaue Bahnmodellierung voraus. Der erste Versuch, Messungen zu LAGEOS für eine Bestimmung geometrischer Gezeitenparameter, d.h. der LOVEschen Zahl h zu nutzen, erfolgte anhand der Daten der MERIT-Kurzkampagne (DIETRICH u. GENDT, 1985). Hierbei wurde ein Wert $h = 0,56 \pm 0,06$ bestimmt. Aufbauend auf diesen Untersuchungen erfolgte auch eine Analyse des Datenmaterials der MERIT-Hauptkampagne (GENDT u. DIETRICH, 1985). Die Auswertung ergab den Wert der LOVEschen Zahl h zu $h = 0,58 \pm 0,02$. Zusätzlich wurden auch stationsabhängige Werte für h abgeleitet (Tab. 8, rechte Hälfte). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt scheint es aufgrund der auftretenden Meß- und Modellfehler noch nicht gerechtfertigt, die vorhandenen Abweichungen vom Nominalwert $h = 0,61$ als geophysikalisch relevant zu bezeichnen.

Die Forschungen auf dem Gebiet der Gezeiten sollen neben der vertieften Untersuchung der geometrischen auch auf die gravitativen Effekte, insbesondere die Einflüsse der Meeresgezeiten auf die Satellitenbahnen, erweitert werden.

4.2. Ergebnisse der Bestimmung von Erdrotationsparametern

4.2.1. Allgemeine Betrachtungen

Für die Bestimmung hochpräziser Erdrotationsparameter haben wegen der hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Bahnmodellierung Laserentfernungsmessungen zum Satelliten LAGEOS ($H = 6000$ km; $i = 0,004$; $\varnothing 60$ cm; Masse 407 kg) die größte Bedeutung. Deshalb liegen der vorliegenden Analyse nur die LAGEOS - Laserdaten des MERIT-Projektes zugrunde.

Die Genauigkeit dieser Messungen ist für die einzelnen Stationen unterschiedlich; sie liegt zwischen ± 3 cm und ± 30 cm. Für die Genauigkeit der Normalpunkte kann ± 1 cm bis ± 10 cm angenommen werden (s. Abschn. 3.).

Die LAGEOS - Laserdaten erlauben auch entsprechend den Ausführungen im Abschn. 4.1. eine hohe Präzision für die Berechnung der geozentrischen Stationskoordinaten, die wiederum eine Voraussetzung für die Bestimmung entsprechender Erdrotationsparameter sind. Von den Erdrotationsparametern können anhand von Satellitenmethoden die Polkoordinaten und Rotationsschwankungen (Tageslänge oder genauer: Abweichungen der Rotationsdauer von 86 400 Atomsekunden; bezeichnet als LOD = Length of Day) sehr genau bestimmt werden. Die Bestimmung der Zeit selbst setzt eine saubere Trennung der Sternzeit und Rektaszension des aufsteigenden Knotens der Satellitenbahn voraus. Da beide Parameter im Äquator ausgehend von Frühlingspunkt gemessen werden, stößt das auf Schwierigkeiten. Es müßte die absolute Größe der Rektaszension des aufsteigenden Knotens der Satellitenbahn aus den Störungsgleichungen sehr genau bestimmt werden. Wesentlich leichter ist es, die zeitlichen Änderungen der Rektaszension der Bahn genau zu modellieren. Durch fortlaufende Bahnanalyse unter Nutzung entsprechend langer Meßserien, z.B. im Rahmen eines ständigen Dienstes, kann man allerdings durch Integration auch die Zeit selbst erhalten. Sie ist dann - abgesehen von den üblichen Fehlern - nur noch unsicher in bezug auf die Bestimmung der Rektaszension der Satellitenbahn zu Beginn des Zeitraumes. Das

ist prinzipiell ein analoges Problem wie bei der Nutzung des Mondes für Mondlasermessungen oder der Fixsterne in der Astrometrie.

Sowohl für die Bahnverbesserung als auch die Bestimmung anderer Parameter ist es günstig, wenn die Messungen gleichmäßig über die Satellitenbahn verteilt sind. Aus ökonomischen und wissenschaftspolitischen Gründen ist es zweckmäßig, die Anzahl der Stationen ohne Genauigkeitsverlust zu minimieren.

Entsprechende Untersuchungen haben gezeigt, daß bei einer Überdeckung der Bahn mit Messungen von mindestens 60 % gleichwertige Ergebnisse erreicht werden können (MONTAG, 1984). In diesem Sinne ist die Verteilung der Meßstationen während der MERIT-Kampagne (Abschn. 3.1.) und die damit verbundene Bahnüberdeckung mit Messungen ausreichend. An die Verteilung der Stationen werden zur Bestimmung von Polkoordinaten und Rotationschwankungen unterschiedliche Anforderungen gestellt. Will man beide Komponenten der Polkoordinaten bestimmen, so braucht man mindestens zwei Stationen mit einer Längendifferenz von etwa 90° . Um die bahnmechanisch genauer bestimmbare Querkomponente der Satellitenbahn (senkrecht zur Bahnebene) nutzen zu können, ist es notwendig, den Satelliten in der Nähe seiner größten Breite zu beobachten, d.h. die geographische Breite der Stationen sollte annähernd mit der Neigung der Satellitenbahn übereinstimmen. Zur Untersuchung von Rotationschwankungen sind dagegen äquatornahe Stationen am günstigsten, insbesondere bei großen Bahnneigungen. Die Einbeziehung derartiger Stationen in die Polbestimmung erlaubt auch die Trennung der Polbewegungskomponente in λ von den Rotationsschwankungen. Da Laserentfernungsmessungen im Zenit die Querkomponente nur sehr ungenau bestimmen können, ist es vom meßtechnischen Standpunkt aus in beiden Fällen notwendig, auch zenitferne Durchgänge zu messen. Während alle äquatornahen Stationen unabhängig von der geographischen Länge in gleicher Weise zur Bestimmung von Rotationsschwankungen beitragen, sind für die Ableitung der beiden Komponenten der Polbewegung jeweils unterschiedliche Stationen relevant. Stationen in der Nähe der Meridiane 0° und 180° beeinflussen nahezu ausschließlich die x-Komponente des Pols, dagegen bestimmen Stationen in der Nähe der Meridiane 90° und 270° vorrangig die y-Komponente.

Es wurde einleitend erwähnt, daß es für geodynamische Untersuchungen wichtig ist, sowohl eine höhere Genauigkeit als auch eine bessere Zeitauflösung für die Erdrotationsparameter zu erhalten. Bei der Nutzung der Bahnanalysen künstlicher Erdsatelliten ist die Zeitauflösung der abzuleitenden Erdrotationsparameter im allgemeinen mit der Länge des Zeitintervalls verknüpft, für das Messungen zur Parameterschätzung einbezogen werden. Der Prozeß der Bahnverbesserung kann für den gleichen Zeitraum simultan oder für einen längeren Bahnbogen mit entsprechenden Messungen erfolgen. Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Zeitauflösung besteht in der Einführung von Zeitpolynomkoeffizienten für die abzuleitenden Erdrotationsparameter als Unbekannte. Obwohl diese Option im Bahnprogrammsystem POTSDAM-5 vorgesehen ist, wurde sie für die vorliegende Analyse nicht angewendet. Vielmehr wurden kürzere Bahnbögen genutzt, um eine höhere Zeitauflösung zu erreichen.

Als Grundintervall für die Zeitauflösung wurden 5 Tage gewählt. Das entspricht der bisher möglichen Zeitauflösung unter Nutzung klassischer astrometrischer Beobachtungen. Es wurden darüber hinaus Polkoordinaten und Werte der Tageslänge mit einer zeitlichen Auflösung von 3 Tagen, 2 Tagen und 1 Tag bestimmt. Um Stabilitätsprobleme zu vermeiden, die durch den teilweise sehr geringen Umfang und die ungünstige Verteilung der Messungen für Intervalle von 1 Tag verursacht werden können, wurden für die Bestimmung der Erdrotationsparameter mit einer Auflösung von 1 Tag grundsätzlich die Satellitenbahnen vorher für jeweilige Bögen von 5 Tagen modelliert.

4.2.2. Ergebnisse für Polkoordinaten und Tageslängen

Unter Nutzung der Laserdaten der MERIT-Kampagne zum Satelliten LAGEOS wurden verschiedene Serien von Erdrotationsparametern berechnet und in Tabellen 9 bis 12 (s. Anhang) zusammengestellt. Alle Serien beinhalten sich überlappende Ergebnisse, wobei die Überlappung der halben Länge der Zeitauflösung entspricht. Damit enthalten diese Tabellen doppelt so viele Ergebnisse wie das Satellitenkommunikationssystem MARK III, da dort nur sich nicht überlappende Erdrotationsparameter eingespeist wurden. Die ZIPE-Ergebnisse sind im MARK III-System unter der Bezeichnung ERP (ZIPE) 86 L 01 (5-Tage-Werte), 86 L 02 (3-Tage-Werte), 86 L 03 (2-Tage-Werte) und 86 L 04 (Tageswerte) abgespeichert. Die Überlappung der Resultate in den Tabellen 9 - 12 bedeutet einerseits, daß jeweils zwei aufeinander folgende Ergebnisse miteinander korreliert sind und andererseits, daß die Epochen für die erhaltenen Ergebnisse im Abstand der halben Zeitauflösung aufeinander folgen, sofern die Meßdaten zeitlich homogen verteilt sind. Ein Maß für die zeitliche Inhomogenität der Daten ist die Abweichung der Epoche in der jeweiligen Spalte 2 (Tab. 9 -12), die dem aus der Einteilung der Intervalle resultierenden Sollwert entspricht, von der realen Epoche (Summe Spalte 2 + 3), die sich aus der zeitlichen Verteilung der ungewichteten Messungen ergibt. Trotz der Nutzung ungewichteter Messungen wird über die Anzahl der Messungen der einzelnen Stationen eine automatische Wichtung wirksam. Da die Stationen mit größerer Meßgenauigkeit im allgemeinen auch mehr Daten geliefert haben, trägt diese automatische Wichtung den Realitäten annähernd Rechnung.

Die Spalte 4 der Tab. 9 - 12 enthält jeweils die Anzahl der Durchgänge und Stationen, die für den entsprechenden Bahnbogen verwendet wurden; Spalte 5 zeigt dagegen diejenigen, die hauptsächlich für die Bestimmung der x-Komponente des Pols wirksam werden (Stationen mit einer geographischen Länge von $0^\circ \pm 45^\circ$ und $180^\circ \pm 45^\circ$). Die Differenz der Spalten 4 und 5 ist dann ein Indiz für die Sicherheit der Ableitung der y_p -Komponente. Für die Bestimmung der Tageslänge sind die meisten Stationen relevant, da sie überwiegend in niederen Breiten gelegen sind (kleiner als 40°).

Mit Hilfe der Spalte 1 ist es weiterhin möglich, die Menge der Daten in Abhängigkeit vom Wochentag einzuschätzen (1 in Sp. 1 bedeutet, daß die Epoche in Sp. 1 auf einen Montag fällt).

Die Spalten 6 bis 12 der Tabellen 9 - 12 enthalten Ergebnisse der Bahnanalyse und zwar die mittlere Restabweichung der Bahnanpassung, sowie die Polkoordinaten und die Tageslänge mit ihren inneren Genauigkeitsmaßen. Bei allen Ergebnissen der Spalten 7, 9 und 11 wurden als Näherungen die BIH-Werte (geglättete Werte der kombinierten Lösung, Circular D) benutzt.

Die Tab. 9 (Anhang) mit den Ergebnissen für Mittelwerte von 5 Tagen zeigt, daß infolge ungleicher Verteilung der Meßdaten Abweichungen von der nominellen Epoche von mehr als 1 Tag auftreten können (Sp. 3). Eine der Ursachen für die Inhomogenität der Verteilung der Daten ist der sogenannte Wochenendeffekt (weniger Messungen am Wochenende), der unter Zuhilfenahme der Spalte 1 eingeschätzt werden kann. Aus den Spalten 4 und 5 ist erkennbar, daß die Verteilung der Meßstationen als recht gut eingeschätzt werden kann. Im allgemeinen ist nahezu die gleiche Anzahl der Stationen und Durchgänge hauptsächlich wirksam für die Bestimmung von x_p und y_p (in den meisten Fällen je 5 bis 7 Stationen und 15 bis 30 Durchgänge). Stärkere Abweichungen von diesem Verhalten deuten wiederum in einigen Fällen auf größere Irregularitäten der Verteilung der Messungen.

Die mittleren quadratischen Restabweichungen (Sp. 6) der Bahnanpassung liegen bei oder unter ± 10 cm (Gesamtmittel ± 9 cm). Sie haben sich im Verlauf der MERIT-Kampagne etwas verbessert, was auf eine Überwindung von Anfangsschwierigkeiten bei einigen Meßstationen hindeutet. Dieser Bahnanpassungsfehler scheint noch systematische Meßfehler zu enthalten. Der Einfluß der durch das Programm POTSDAM-5 realisierten Bahnmodellierung dürfte in der Größenordnung einiger Zentimeter liegen. Die Standardabweichungen für die Polkoordinaten

schwanken zwischen $\pm 0,5$ cm und $\pm 1,5$ cm (Sp. 8 und 10) und diejenigen für die Tageslänge (Sp. 12) zwischen $\pm 0,01$ ms und $\pm 0,04$ ms.

In Tab. 9 sind zusätzlich die Ergebnisse einer alternativen Lösungsvariante für die gleichen Zeitintervalle enthalten (Spalten 6A, 7A, 9A, 11A). Dabei wurden folgende unterschiedliche Bedingungen eingeführt:

1. Statt des vorläufigen Stationskoordinatensatzes SSC (ZIPE) 85 L 01 (abgeleitet aus den Meßdaten von September 1983 bis Mai 1984) wurden die Koordinaten aus der besten Lösung (Satz SSC (ZIPE) 85 L 02) benutzt, die unter Einbeziehung der Messungen der gesamten MERIT-Hauptkampagne erhalten wurden.
Allerdings wurden die Systemrotationen um die drei Koordinatenachsen auf das System der Stationskoordinaten SSC (ZIPE) 85 L 01 zurückgedreht.
2. Als bessere Näherungswerte für die Polkoordinaten wurden die Ergebnisse der vorhergehenden Lösung (Sp. 7 und 9) eingeführt. Für die Zeit UT wurden aber die gleichen BIH-Werte als Startwerte beibehalten.
3. Für den gesamten Bahnverbesserungsprozeß wurden Bögen mit einer Länge von 32,5 Tagen statt 5 Tagen zugrunde gelegt. Ausgehend von dieser verbesserten Bahn wurden in jeweiligen Subintervallen von 5 Tagen die Polkoordinaten und Tageslängen sowie auch nochmals die Bahnparameter durch Ausgleichung in einem Schritt bestimmt.

Die Genauigkeit der Bahnanpassung für einen 32,5-Tage-Bogen schwankt zwischen ± 24 cm und ± 52 cm; im Mittel beträgt sie ± 35 cm. Die mittleren quadratischen Restabweichungen der Bahnanpassung sind nach der Ausgleichung für die 5-Tage-Intervalle bei dieser Lösungsvariante (Sp. 6a) um 5 % bis 10 % besser als bei der ursprünglichen Lösung (Sp. 6) und betragen im Mittel 8,5 cm. Entsprechend sind die Standardabweichungen für die Polkoordinaten und die Tageslänge etwas geringer. In Tab. 9 sind nur die Differenzen zwischen der ursprünglichen Lösung und der alternativen Lösungsvariante für die Polkoordinaten (Sp. 7A und 9A) und die Tageslänge (Sp. 11A) aufgeführt (Vorzeichen: alternative Lösungsvariante minus Lösungen in Sp. 7, 9 bzw. 11). Diese Differenzen zeigen für die beiden Polkomponenten maximale Werte von $0,005''$ (15 cm) und sind im Mittel kleiner als $0,001''$. Für die Tageslänge erreichen die Differenzen ein Maximum von 0,1 ms und liegen im Durchschnitt unter 0,04 ms.

Zusätzliche Teilvarianten haben demonstriert, daß die drei unterschiedlichen Bedingungen im Durchschnitt etwa gleiche Anteile an den Differenzen haben.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind die Differenzen für die Polkoordinaten in den ersten 2 bis 3 Monaten der MERIT-Kampagne wesentlich größer als in der übrigen Zeit; im letzten halben Jahr (ab Beginn der Intensivkampagne) liegen die durchschnittlichen absoluten Differenzen bei $0,0007''$ (2 cm). Das deutet auf numerische Stabilitätsprobleme zumindest als Teilursachen hin, die bei Verwendung von weniger und inhomogeneren Daten stärker in Erscheinung treten. Im allgemeinen sind die Differenzen zwischen den beiden Lösungsvarianten nur wenig größer als die Standardabweichungen für die Parameter aus einer Lösung, womit die Realität dieses inneren Genauigkeitsmaßes bestätigt wird.

Der Vergleich der beiden Lösungsvarianten zeigt auch, daß im allgemeinen die Genauigkeit des vorläufigen Satzes der Stationskoordinaten für diese Untersuchungen ausreichend war, die BIH-Werte als Näherungswerte verwendet werden können und daß für den Bahnverbesserungsprozeß auch längere Bahnbögen benutzt werden können.

Für die 3-Tage-, 2-Tage- und 1-Tag-Lösungen ist in den folgenden Tabellen keine alternative Variante angegeben. Die Spalten der Tabellen enthalten analoge Angaben, Die Ergebnisse der Lösungen mit einer zeitlichen Auflösung von 3 Tagen (Tab. 10) haben Standardabweichungen, die im allgemeinen nur kaum größer sind als für die 5-Tage-Lösungen, obwohl natürlich die Anzahl der Meßdaten beträchtlich geringer ist. Allerdings erreicht die Standardabweichung in einigen Fällen mit ungünstiger Datenverteilung (zu wenig relevante Durchgänge für den speziellen Parameter) mehr als das Dreifache des durchschnittlichen Betrages. Dieser Effekt ist natürlicherweise noch wesentlich stärker ausgeprägt bei den Lösungen für 2 Tage und 1 Tag (Tab. 11 und 12). Bei den 2-Tage- und insbesondere 1-Tag-Lösungen kommt es vor, daß nur sehr wenige (z.T. sogar 0) **relevante Satellitendurchgänge** für einen zu bestimmenden Parameter gemessen wurden. Derartige Resultate können natürlich auch stärker durch systematische Effekte beeinflußt sein. Deshalb sollten die Angaben der Spalten 3 bis 5 der Tabellen stets bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt werden. In den meisten Fällen wirken sich unzureichende Anzahl und Verteilung der Meßdaten auch entsprechend auf die Standardabweichung der Ergebnisse aus. Diese Standardabweichungen überschreiten deshalb in mehreren Fällen (vor allem bei 1-Tag-Lösungen) den in den Spalten der Tabellen aus Formatgründen maximal angebbaren Wert von 0,0999* für die Polkoordinaten und 9,99 ms für die Tageslänge (in den Spalten 8, 10 und 12 dann jeweils die drei Ziffern 999 angegeben). Wie oben erwähnt, wurde wegen der teilweise sehr ungünstigen Datenverteilung für die 1-Tag-Lösungen der Bahnverbesserungsprozeß anhand von 5-Tage-Bögen durchgeführt. Die Ergebnisse in den Tabellen zeigen auch, daß infolge der Verbesserung der Meßdaten im Verlaufe der MERIT-Hauptkampagne, insbesondere während und nach der Intensivkampagne (MJD 45 791 - 45 882), die Standardabweichungen kleiner werden.

Als Beispiel sind für den Zeitraum vom 26.3.1984 bis 14.6.1984 (innerhalb der Intensivkampagne) alle Ergebnisse des ZIPE in den Abb. 6 und 7 dargestellt. Die Abb. 6 zeigt die Polkoordinaten als Differenzen zur geglätteten kombinierten Lösung des BIH, während in Abb. 7 alle absoluten Werte der Tageslänge (Abweichungen von 86 400 Atomsekunden) aufgetragen sind. Für alle drei Parameter sind auch die minimalen und maximalen Standardabweichungen angegeben.

Der Verlauf der Kurve der 5-Tage-Lösung variiert für beide Polkoordinaten im Bereich von etwa 20 cm um die geglättete kombinierte BIH-Lösung (Abszissenachse).

Die Ergebnisse mit einer Zeitauflösung von 3 Tagen, 2 Tagen und 1 Tag zeigen im allgemeinen das gleiche Verhalten. Allerdings deuten einzelne Werte der 1-Tag-Lösungen auf größere systematische Effekte in der Größenordnung von einigen Dezimetern. Im allgemeinen sind die Abweichungen der 1-Tag-Lösungen kleiner als 10 cm.

Die Kurve für LOD bewegt sich zwischen 2,2 ms und 1,2 ms. Sie scheint durch eine Fluktuation mit einer Periode von 10 bis 15 Tagen überlagert zu sein. Die Schwankungen der 3-Tage-Lösungen und die 5-Tage-Lösungen sind im allgemeinen kleiner als 0,1 ms. Stärkere Abweichungen zeigen auch hier wieder die Lösungen für jeweils 1 Tag.

Eine detaillierte Interpretation aller nachgewiesenen Erscheinungen ist in späteren Arbeiten vorgesehen.

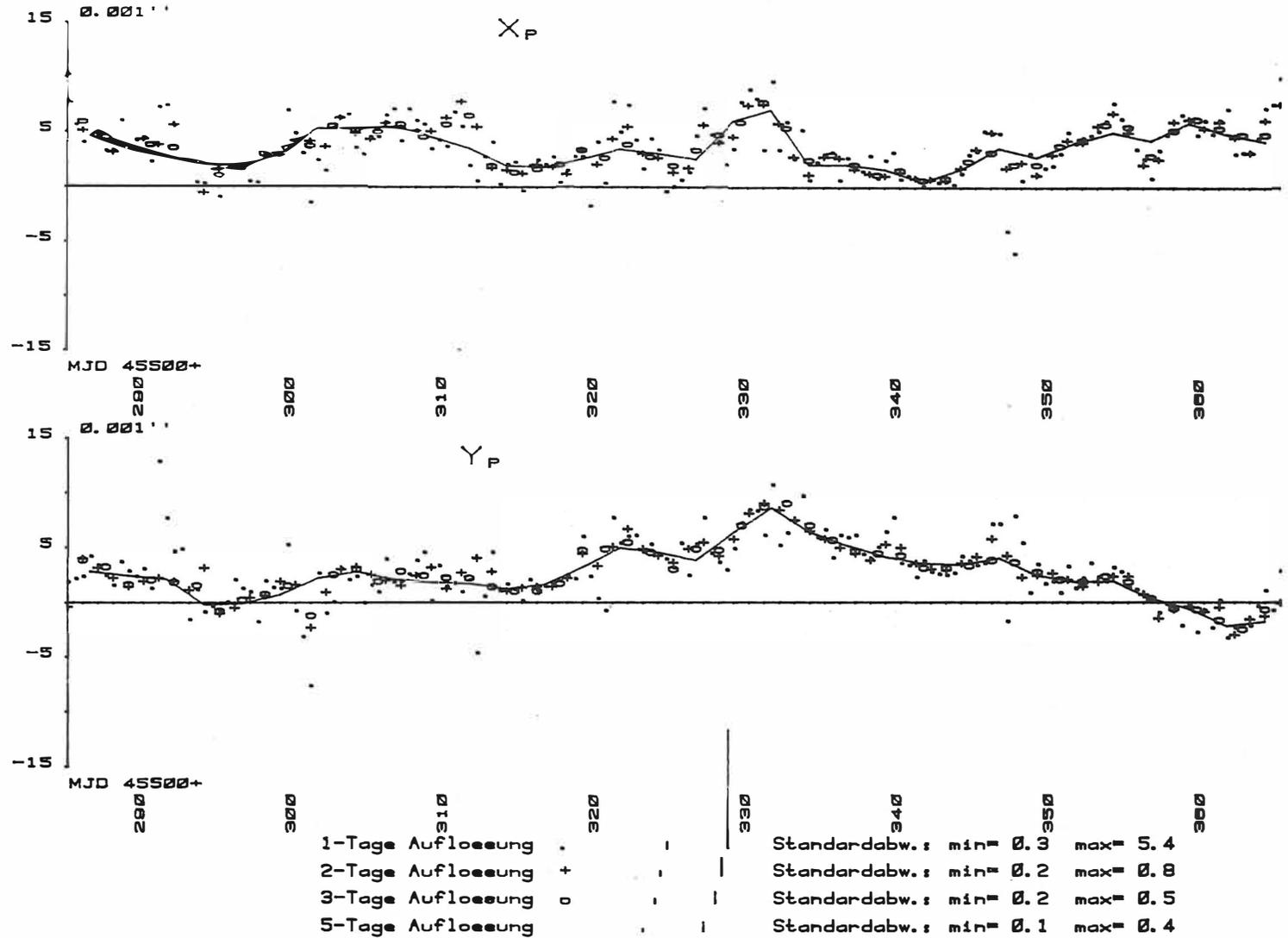


Abb. 6 : ZIPE-Ergebnisse fuer die Polkoordinaten x_p und y_p mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung als Differenzen zur geglätteten BIH-Lösung, berechnet anhand der LAGEOS-Laserdaten fuer den Zeitraum 26.3.1984 bis 14.6.1984

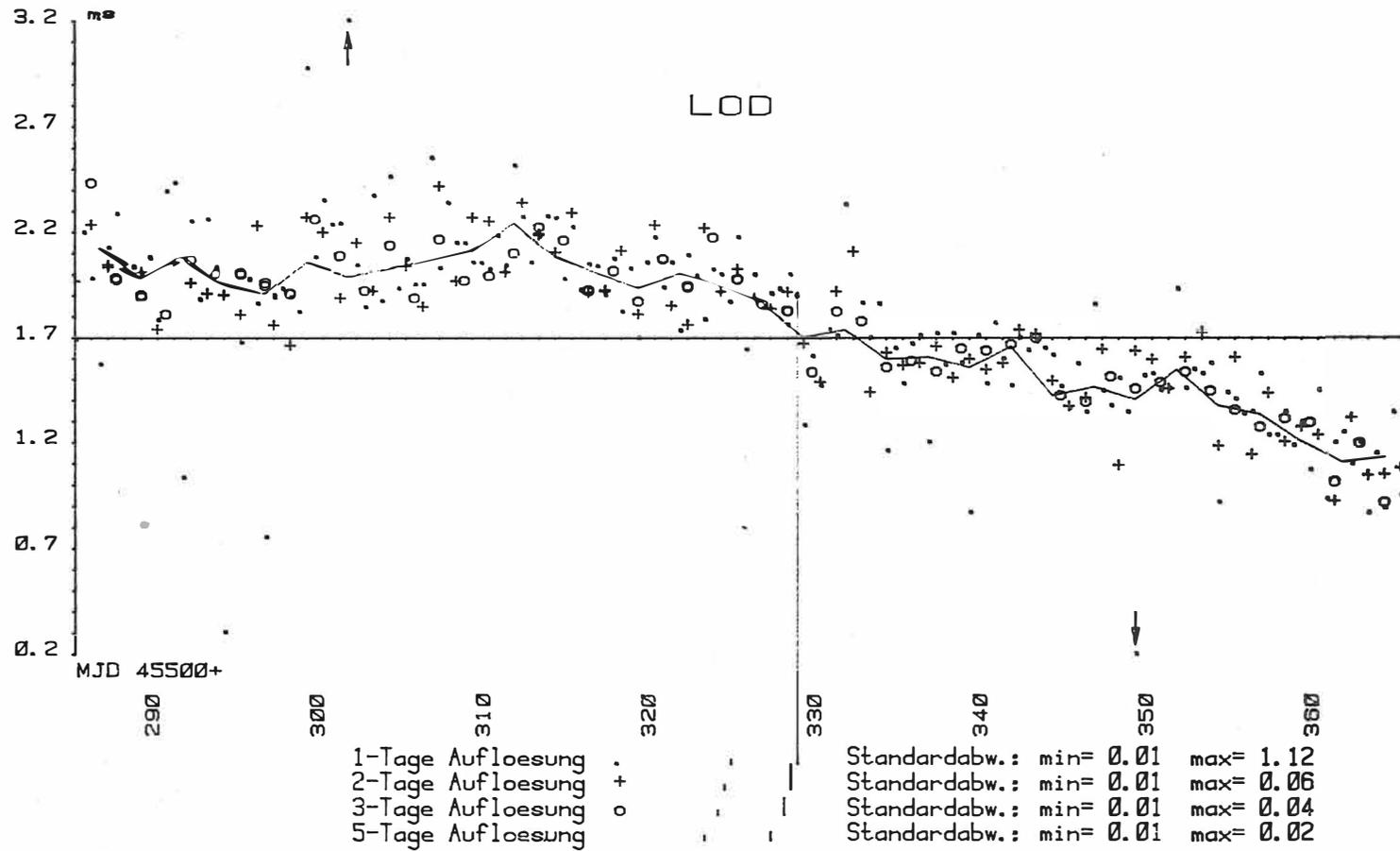


Abb. 7 : ZIPE-Ergebnisse fuer LOD mit unterschiedlicher zeitlicher Aufloesung, berechnet anhand der LAGEOS-Laserdaten fuer den Zeitraum 26. 3. 1984 bis 14. 6. 1984

5. Vergleich mit anderen Lösungen und Wertung der Ergebnisse

5.1. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Analysenzentren für Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten

Die Laserentfernungsmessungen der MERIT-Kampagne zum Satelliten LAGEOS wurden entsprechend der Zielstellung des MERIT-Projektes von verschiedenen Haupt- und assoziierten Analysenzentren ausgewertet.

Bei der Verwendung der gleichen Meßdaten, weitgehend gleichen Konstanten und Parametern (MERIT-Standards) und unterschiedlichen Bahnprogrammen sollten aus den Vergleichen der Ergebnisse auch Schlußfolgerungen über die Analysenmethode abgeleitet werden.

Die Erdrotationsparameter realisieren gemeinsam mit den Stationskoordinaten (Abschn. 4.1.) ein konventionelles terrestrisches System (CTS). Zwei unabhängige Realisierungen sind im allgemeinen nicht identisch. Läßt man die Translationen und den Maßstabsfaktor zwischen zwei Koordinatensystemen außer acht, so erhält man analog Gl. (4.1) für die Transformation zwischen zwei terrestrischen Systemen \underline{x}^1 und \underline{x}^2

$$(5.1) \quad \underline{x}^2 = \underline{R}_x(\text{Rot}_x) \underline{R}_y(\text{Rot}_y) \underline{R}_z(\text{Rot}_z) \underline{x}^1 .$$

Ähnlich sind die Beziehungen zwischen zwei vereinbarten Inertialsystemen (CIS):

$$(5.2) \quad \underline{x}^2 = \underline{R}_x(\text{rot}_x) \underline{R}_y(\text{rot}_y) \underline{R}_z(\text{rot}_z) \underline{x}^1 .$$

Dabei sind \underline{R} Rotationsmatrizen, $\text{Rot}_{x,y,z}$ kleine Rotationswinkel zwischen zwei CTS und $\text{rot}_{x,y,z}$ entsprechende Rotationswinkel zwischen zwei CIS.

Die Transformation zwischen CIS und CTS ist bekanntlich

$$(5.3) \quad \underline{x}^1 = \underline{S}^1 \underline{N} \underline{P} \underline{x}^1$$

und

$$(5.4) \quad \underline{x}^2 = \underline{S}^2 \underline{N} \underline{P} \underline{x}^2 ,$$

wobei die Nutationsmatrix \underline{N} und Präzessionsmatrix \underline{P} in beiden Fällen als gleich angenommen werden soll. Die Rotationsmatrix der Erde ist

$$(5.5) \quad \underline{S} = \underline{R}_y(-x_p) \underline{R}_x(-y_p) \underline{R}_z(\theta) .$$

Setzt man Gl. (5.1) für die linke Seite von Gl. (5.4) und Gl. (5.2) für die rechte Seite, so erhält man nach einigen Umformungen und Vernachlässigung von Gliedern 2. Ordnung (MUELLER u.a., 1982)

$$(5.6) \quad -\Delta y_p = -(y_p^1 - y_p^2) = -\text{Rot}_x + \text{rot}_x \cos \theta + \text{rot}_y \sin \theta$$

$$-\Delta x_p = -(x_p^1 - x_p^2) = -\text{Rot}_y - \text{rot}_x \sin \theta + \text{rot}_y \cos \theta$$

$$\omega \Delta \text{UT1} = \omega (\text{UT1}^1 - \text{UT1}^2) = -\text{Rot}_z + \text{rot}_z .$$

Aus der letzten der Gln. (5.6) ergibt sich diejenige für die Tageslänge. Man erkennt aus den Gln. (5.6), daß die Differenzen zwischen den terrestrischen Systemen (Winkel $\text{Rot}_{x,y,z}$) konstante systematische Differenzen in allen Erdrotationsparametern verursachen. In gleicher Weise wirkt die CIS-Differenz rot_z für die Zeit. Bei den Differenzen der Polkoordinaten treten die CIS-Differenzen rot_x und rot_y zusätzlich mit Tagesperioden auf. Da die Ergebnisse für die Erdrotationsparameter Mittelwerte von 1 bis 5 Tagen darstellen, können letztere aus den Vergleichen nicht erhalten werden. Wohl aber können aus den Vergleichen der Polkoordinaten die kleinen Winkel Rot_x und Rot_y sowie aus den Vergleichen der Tageslänge die Veränderung der Differenz $\text{rot}_z - \text{Rot}_z$ abgeschätzt werden.

Die folgenden Vergleiche beruhen auf den Ergebnissen, die die verschiedenen Analysenzentren in das Satellitenkommunikationssystem MARK III eingespeist haben. Als Beispiel sind für einen Teilzeitraum, und zwar vom 26.3.1984 (45 785) bis 14.6.1984 (45 865), die Ergebnisse folgender Zentren in Abb. 8 und 9 dargestellt:

- Hauptanalysenzentren Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam (ZIPE), Lösung 86 L 01), Center for Space Research (CSR, Lösung 85 L 07) der University of Texas at Austin, USA (TAPLEY u.a., 1985) und Sonderforschungsbereich Satellitengeodäsie der BRD (DGFII, Lösung 85 L 04) in München (REIGBER u.a., 1985) sowie
- Assoziierte Analysenzentren Astronomisches Hauptobservatorium der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften (GAOUA, Lösung 85 L 02) in Kiev (YATSKIV u.a., 1985), National Aerospace Laboratory (NAL, Lösung 85 L 02) in Japan (MURATA und SHIGU, 1985) und Shanghai Observatory (SHA, Lösung 85 L 01), Academia Sinica, VR China (HE MIAOFU u.a., 1985).

Da alle Zentren gemeinsam nur 5-Tage-Mittelwerte veröffentlicht haben, wurden nur diese verglichen. Eine Ausnahme bildet die CSR-Lösung 85 L 07 mit 3-Tage-Werten.

Die Polkoordinaten in Abb. 8 sind als Differenzen zur geglätteten kombinierten Lösung des BIH aufgetragen. Gegenüber dieser Lösung (Abszissenachse) sind Differenzen bis etwa 0,01" (0,3 m) zu verzeichnen. Dabei sind konstante Verschiebungen der gesamten Kurven einbezogen. Diese konstanten Verschiebungen werden durch die Differenzen der Referenzsysteme hervorgerufen, die von den einzelnen Analysenzentren - realisiert durch die Stationskoordinatensätze - benutzt wurden (Winkel Rot_x bzw. Rot_y entsprechend Gl. (5.6)).

Da alle Zentren bei der Bestimmung der Stationkoordinaten den BIH-Pol zwar in irgendeiner Weise als Näherungswert eingeführt haben, ansonsten aber keine einheitlichen Bedingungen benutzt wurden, konnte von vornherein keine Übereinstimmung der Referenzsysteme erwartet werden. Die konstanten Differenzen zwischen den einzelnen SLR-Lösungen untereinander und zur geglätteten kombinierten BIH-Lösung liegen für die x-Komponente des Pols (Winkel Rot_y) zwischen nahezu 0 und etwa 0,01". Dabei sind zwei Gruppen zu erkennen, die Lösungen des ZIPE und GAOUA einerseits und die übrigen Lösungen andererseits.

Für die y_p -Komponente sind die konstanten Differenzen in der gleichen Größenordnung, jedoch sind die einzelnen Lösungen kontinuierlicher verteilt. Die nicht dargestellte Lösung des Hauptanalysenzentrums Goddard Space Flight Center (GSFC) der NASA (SMITH u.a., 1985) zeigt für die y_p -Komponente konstante Abweichungen von nahezu 0,02". Insgesamt bestätigen die konstanten Differenzen in beiden Komponenten des Pols die Rotationswinkel zwischen den Koordinatensystemen (Abschn. 4.1.).

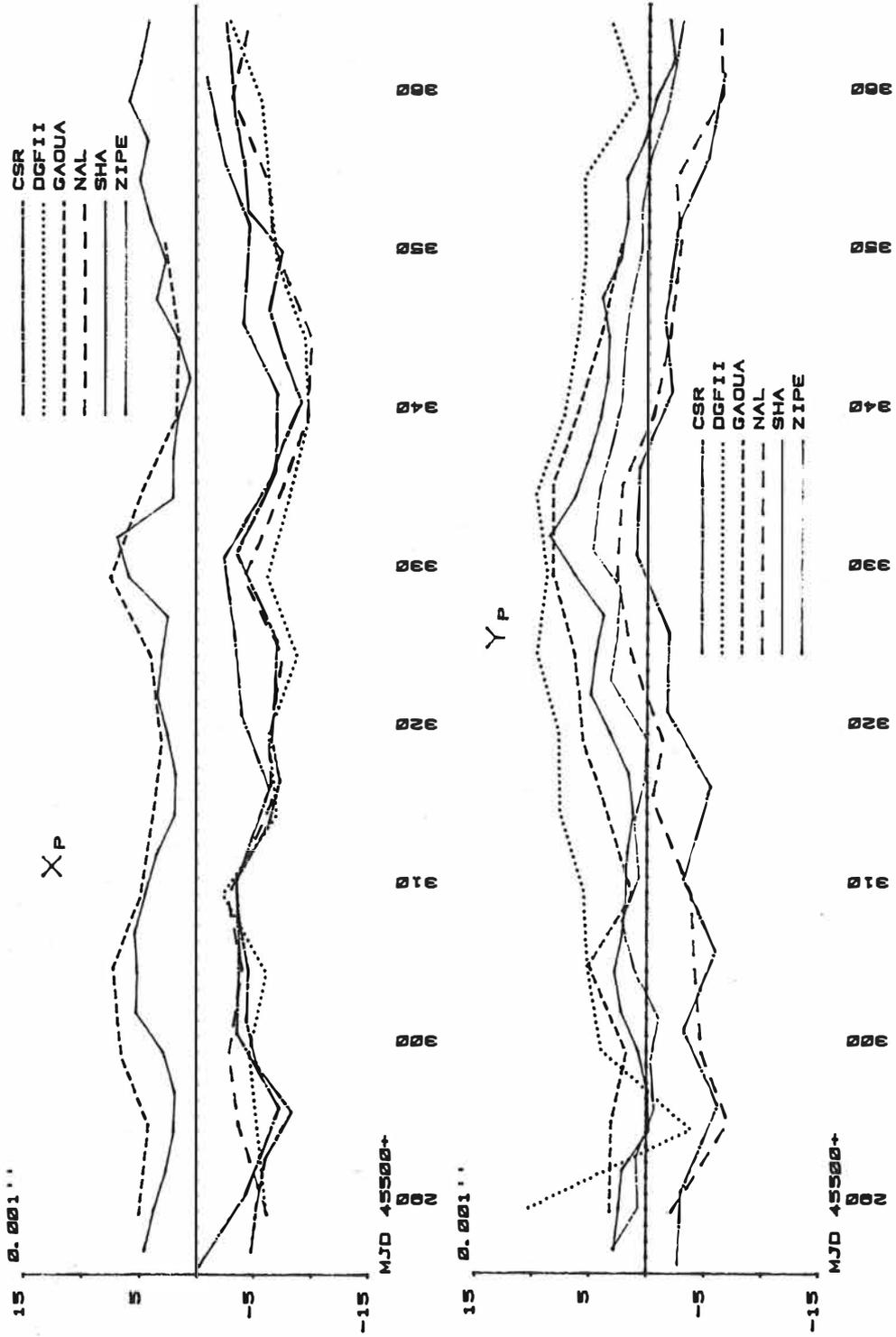


Abb. 8: Vergleich verschiedener SLR-Lösungen fuer die Polkoordinaten x_p und y_p als Differenz zur geglätteten BIH-Lösung (Auflösung 5 Tage)

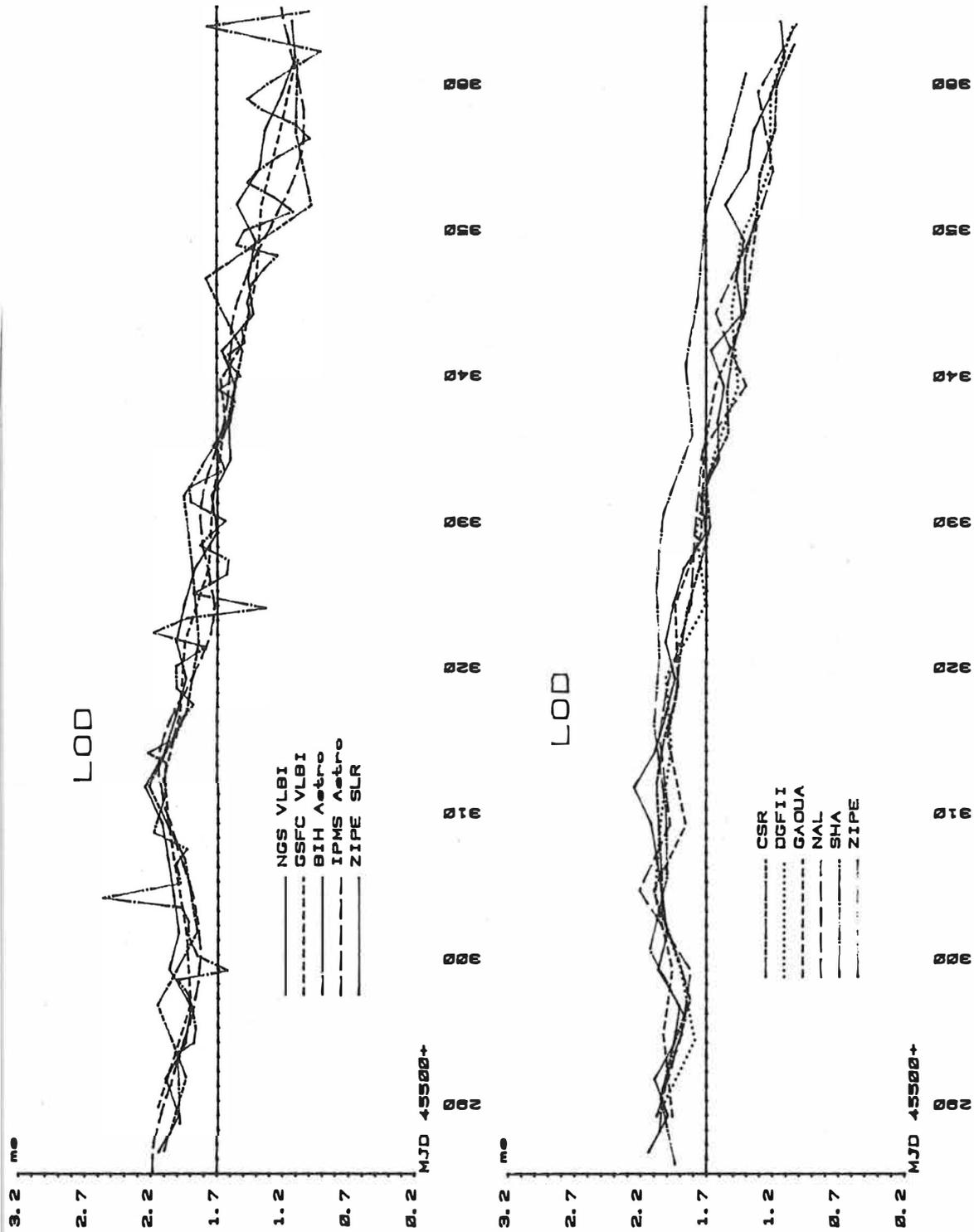


Abb. 9: Vergleich der SLR-Lösung (ZIPE) fuer LOD mit anderen Verfahren (oben) und mit anderen SLR-Lösungen (unten)

Wichtiger für die Einschätzung der Genauigkeit und Effektivität der Methode zur Bestimmung der Erdrotationsparameter ist der Vergleich des Verlaufs der jeweiligen Kurven. Es kann festgestellt werden, daß die Kurven nicht nur im dargestellten Zeitraum mit wenigen Ausnahmen in hohem Maße parallel verlaufen. Das deutet einerseits auf die Qualität der SLR-Methode und gibt andererseits Hinweise auf das tatsächliche Verhalten der Polbewegungen. Die Abweichungen von der Parallelität (im Sinne der Abweichung von der jeweils mittleren Kurve) betragen maximal (von einzelnen Ausreißern abgesehen) zwischen den Kurven

ZIPE - CSR	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,002''$ für y_p ,
ZIPE - DGFII	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,005''$ für y_p ,
ZIPE - GAOUA	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,002''$ für y_p ,
ZIPE - NAL	etwa $\pm 0,004''$ für beide Polkomponenten ,
ZIPE - SHA	etwa $\pm 0,002''$ für x_p und $\pm 0,003''$ für y_p ,
CSR - DGFII	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,005''$ für y_p und
CSR - GAOUA	etwa $\pm 0,003''$ für beide Komponenten der Polkoordinaten.

Die mittleren Abweichungen von der Parallelität zwischen den Ergebniskurven dieser jeweiligen Lösungspaare liegen für beide Komponenten des Pols bei oder unter $\pm 0,001''$ (3 cm). Zwischen der Lösung des ZIPE einerseits und den Ergebnissen des CSR, GAOUA und SHA andererseits sind diese mittleren Abweichungen nur etwa ± 2 cm. Somit kann geschlußfolgert werden, daß bei sorgfältiger Analyse der LAGEOS-Daten die Fehlereinflüsse, die aus den unterschiedlichen Methoden und Softwarepaketen für die Bestimmung der Polkoordinaten resultieren, im allgemeinen besser als ± 3 cm sind.

Außer den in Abb. 8 dargestellten Ergebnissen liegen insbesondere für die ersten Monate der Kampagne noch Ergebnisse weiterer assoziierter Analysenzentren vor, und zwar der Universität Padua gemeinsam mit Telespazio (im Mark II - Kommunikationssystem als UPAD, 85 L 01 enthalten), Italien (CAPORALI u.a., 1985), des Operationszentrums der westeuropäischen Raumfahrtorganisation ESOC (DOW und AGROTIS, 1985) sowie der Universität Nottingham (ASHKENAZI, 1985). Während die ESOC-Ergebnisse einen ähnlichen parallelen Verlauf wie die obigen Ergebnisse zeigen, deuten die Ergebnisse der übrigen beiden Zentren mit Differenzen bis $\pm 0,03''$ auf Unsicherheiten dieser Lösungen (von UPAD allerdings 2-Tage-Mittelwerte).

Die entsprechenden Ergebnisse für die Abweichungen der Dauer der Erdrotation von 86 400 Atomsekunden (Tageslänge LOD) sind in Abb. 9 (unten) dargestellt. Es zeigt sich, daß die ZIPE-Lösung meist innerhalb der übrigen Lösungen liegt. Die maximalen Differenzen zwischen den einzelnen Lösungen liegen im allgemeinen in der Größenordnung von 0,3 ms. Etwas größere Abweichungen mit dem doppelten Betrag zeigen teilweise die Ergebnisse der SHA-Lösung. Mit Ausnahme der letzteren sind die mittleren Differenzen zwischen je zwei SLR-Lösungen für LOD kleiner als $\pm 0,1$ ms.

5.2. Vergleich der Ergebnisse verschiedener Methoden

Der Vergleich der Ergebnisse mit denen anderer Verfahren ermöglicht Abschätzungen der äußeren Genauigkeit der Bestimmung der Erdrotationsparameter anhand von Laserentfernungsmessungen zu KES. Von den Meßmethoden, die am MERIT-Projekt teilgenommen haben, wurden hier nur die VLBI und die optische Astronomie einbezogen. Die VLBI stellt heute die genaueste Methode dar, und die optische Astrometrie ist deshalb besonders interessant, weil die internationalen Dienste diese Methode bisher benutzten. Die Dopplermessungen zu KES erreichen nicht die Genauigkeit der Lasermessungen, und auch konzeptionell bietet diese Methode keine Vorteile gegenüber der SLR-Methode.

Ähnliches trifft für den Vergleich der CERI-Methode mit der VLBI zu. Interessant wäre noch der umfassende Vergleich mit den Ergebnissen aus Mondlasermessungen. Da während der MERIT-Hauptkampagne aber nur wenig LLR-Daten erhalten wurden, konnten die Polkoordinaten nicht genügend genau bestimmt werden, und für die Tageslänge wurden nur wenige relativ ungenaue Ergebnisse im MARK III - Kommunikationssystem bereitgestellt. Für alle Vergleiche wurden nur Ergebnisse, die im MARK III - System gespeichert sind, herangezogen. Das sind die VLBI-Lösungen des National Geodetic Survey der USA (NGS, Lösung 85 R 03) und des Goddard Space Flight Centers (GSFC, Lösung 85 R 01) sowie die astrometrischen Lösungen des BIH (84 A 02) und des IPMS (85 A 01). Einige Erläuterungen zu diesen Lösungen sind in den Papers zur MERIT-Konferenz in Columbus, 1985, enthalten (ROBERTSON und CARTER, 1985; FEISSEL, 1985; FEISSEL und LI ZHENGXIN, 1985; YOKOYAMA u.a., 1985; CALAME, 1985; DICKEY u.a., 1985).

Die Polkoordinaten aus den verschiedenen Lösungen sind als Beispiel für den gleichen Zeitabschnitt in Abb. 10 dargestellt. Obwohl auch hier wieder der Verlauf der Kurven für den Vergleich und die Einschätzung der Methoden die vorrangige Rolle spielt, kann man feststellen, daß auch die konstanten Systemverschiebungen, hervorgerufen durch Differenzen der Referenzsysteme, zwischen der SLR-Lösung des ZIPE und den beiden dargestellten VLBI-Lösungen des NGS und GSFC geringer sind als zwischen den verschiedenen SLR-Lösungen (Abb. 8). Das spricht für die Realisierung des Referenzsystems durch das ZIPE. Diese konstanten Differenzen zwischen der SLR-Lösung des ZIPE und den VLBI-Lösungen liegen für die x_p -Komponente unter $0,003''$ und für die y_p -Komponente bei $0,005''$.

Der Verlauf der SLR-Lösung des ZIPE ist abgesehen von einzelnen Ausreißern nahezu parallel zu den VLBI-Lösungen. Die Abweichungen liegen in der gleichen Größenordnung wie zwischen den beiden VLBI-Lösungen. Bei der Einschätzung der beiden VLBI-Lösungen muß berücksichtigt werden, daß die zeitliche Auflösung für die Lösung des NGS höher ist und die damit verbundene jeweils geringere Anzahl der Messungen teilweise zu einer größeren Streuung der Ergebnisse geführt hat. Diese Streuung im Sinne einer kurzzeitigen Oszillation beträgt maximal etwa $\pm 0,003''$. Den gleichen Betrag erreichen die Abweichungen der beiden VLBI-Kurven von der Parallelität in Form von längerperiodischen Schwankungen (Wochen). Die maximalen Abweichungen von der Parallelität zwischen der SLR-Lösung des ZIPE und den VLBI-Lösungen (wieder bezogen auf eine jeweils mittlere Kurve) betragen:

SLR, ZIPE - VLBI, NGS	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,004''$ für y_p ,
SLR, ZIPE - VLBI, GSFC	etwa $\pm 0,003''$ für x_p und $\pm 0,005''$ für y_p .

Die mittleren Abweichungen von der Parallelität der Kurven dieser Lösungen liegen für beide Komponenten des Pols nur bei $\pm 0,001''$.

Um mehr als eine Größenordnung größer sind die Schwankungen der Ergebnisse der optischen Astrometrie, wie sie vom BIH anhand umfangreicher weltweiter Daten bestimmt wurden (Ausschnitt in Abb. 10). Sie erreichen maximale Werte von $\pm 0,05''$ (1,5 m). Die Überstarke Filterung bzw. Dämpfung der ebenfalls aus astrometrischen Messungen bestimmten IPMS-Kurve täuscht eine höhere Genauigkeit vor. Die tatsächliche Genauigkeit dürfte nur geringfügig besser als diejenigen der BIH-Lösung sein. Ein Indiz dafür ist das teilweise starke Wegdriften der IPMS-Lösung, das auch in Abb. 10 erkennbar ist. Dabei soll die vorhandene Systemverschiebung zwischen den beiden astrometrischen Lösungen, die auf den gleichen Daten beruhen, aus oben erwähnten Gründen hier nicht interessieren.

Die verschiedenen Lösungen für LOD sind im oberen Teil der Abb. 9 ausschnittsweise dargestellt. Sowohl hier als auch in dem nicht dargestellten Zeitraum zeigt sich, daß die Lösungen der verschiedenen Methoden für LOD teilweise noch enger beieinander liegen als die verschiedenen SLR-Lösungen. Lediglich die VLBI-Ergebnisse des NGS zeigen ebenso wie bei den Polkoordinaten größere Spitzen, die u.a. durch die benutzten sehr kurzen Meßzeiträume bedingt sein dürften.

Die Abweichungen der SLR-Lösung des ZIPE von den VLBI-Lösungen des NGS und GSFC betragen von wenigen Ausnahmen abgesehen maximal etwa $\pm 0,7$ ms bzw. $\pm 0,3$ ms. In der Größenordnung von $\pm 0,5$ ms liegen die maximalen Abweichungen zwischen der SLR-Lösung des ZIPE und der BIH-Lösung aus astrometrischen Daten. Die Astrolösung des IPMS liegt mit maximalen Abweichungen von etwa $\pm 0,3$ ms etwas näher an der SLR-Lösung des ZIPE. Die mittleren Differenzen der Tageslänge betragen zwischen der SLR-Lösung des ZIPE und der VLBI-Lösung des NGS etwa $\pm 0,2$ ms. Sie sind aber besser als $\pm 0,1$ ms zwischen der ZIPE-SLR-Lösung und den VLBI-Ergebnissen des GSFC. Die mittleren Differenzen zwischen den astrometrischen Lösungen des BIH und IPMS einerseits und den SLR-Ergebnissen des ZIPE andererseits betragen $\pm 0,2$ ms bzw. $\pm 0,1$ ms. Hieraus ist erkennbar, daß die Unterschiede der potentiellen Möglichkeiten zwischen den modernen Methoden und der Astrometrie für die Bestimmung der Tageslänge nicht so groß sind wie für die Ableitung der Polkoordinaten.

5.3. Einschätzung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die Analyse der Laserentfernungsmessungen des MERIT-Projektes zum Satelliten LAGEOS hat die Potenz dieser Daten für die Schaffung eines präzisen terrestrischen Referenzsystems überzeugend demonstriert. Unter Nutzung eines präzisen Bahnbestimmungsprogrammes können die verschiedenen Parameter mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern bestimmt werden. Dabei hat sich in Übereinstimmung mit anderen Anwendungen des Bahnprogrammkomplexes POTSDAM-5 ein Faktor von etwa 3 bis 5 für die Beziehung zwischen innerer und äußerer Genauigkeit der abgeleiteten Parameter ergeben.

Die Bestimmung der Stationskoordinaten mit einer Genauigkeit von etwa ± 3 cm hat nicht nur für die Realisierung eines modernen terrestrischen Referenzsystems eine große Bedeutung, sondern wurde auch für weitergehende Untersuchungen von Krustendeformationen und Gezeitenparametern benutzt. Die erreichte Genauigkeit von etwa ± 5 cm für die Überwachung der Polbewegungen und Rotationsschwankungen (1 dm entspricht 0,22 ms am Äquator)

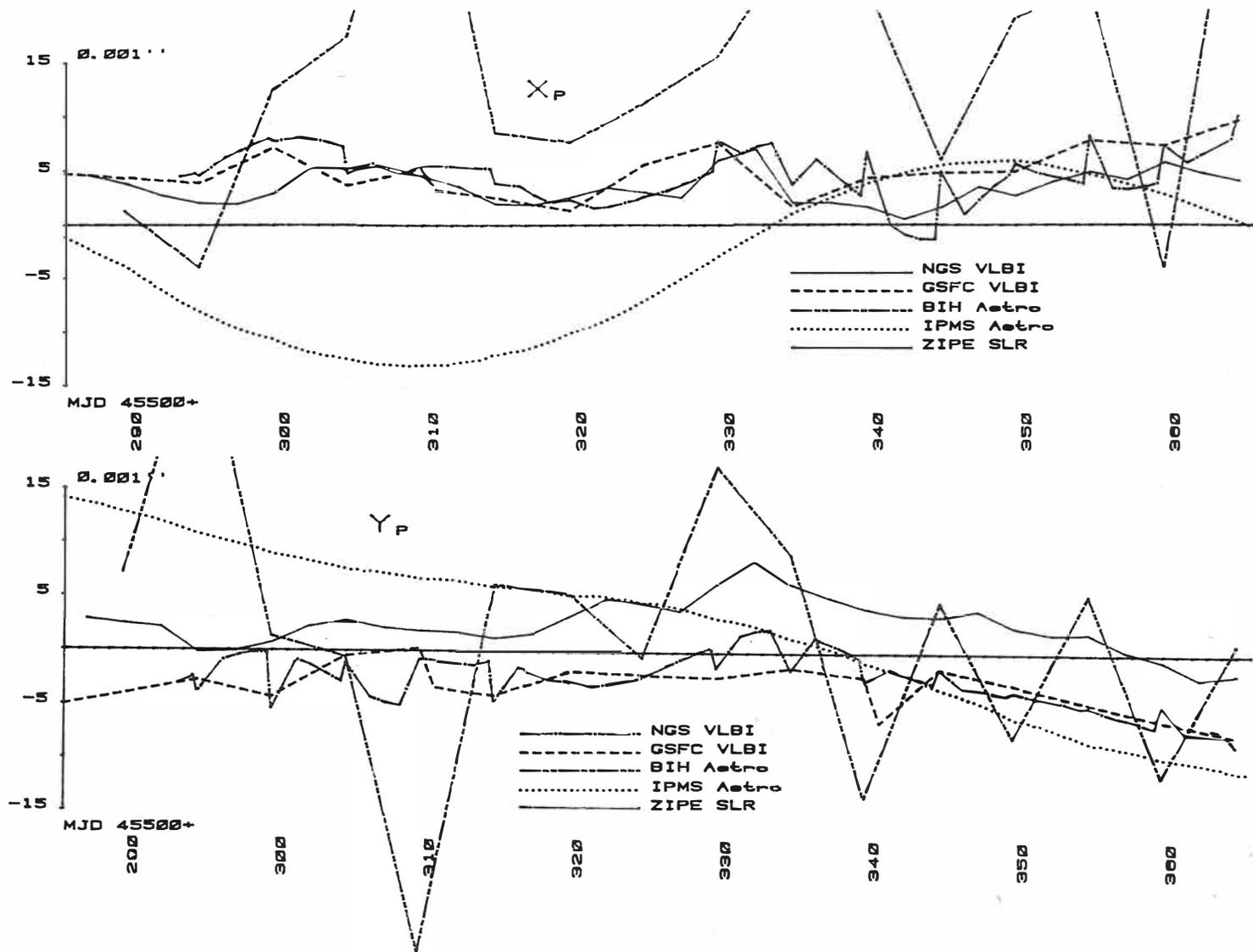


Abb. 10: Vergleich der SLR-Lösung (ZIPE) fuer die Polkoordinaten x_p und y_p als Differenz zur geglaetteten BIH-Lösung mit anderen Verfahren

hat neue Möglichkeiten zur Untersuchung der planetaren Dynamik der Erde aufgezeigt. Dabei stellt auch die erzielte höhere zeitliche Auflösung der Ergebnisse einen wesentlichen Fortschritt dar. Bei ausreichender Anzahl und günstiger Verteilung entsprechend genauer Meßdaten kann diese zeitliche Auflösung ohne Genauigkeitsverlust für die Ergebnisse bis auf einen Tag gegenüber 5 Tagen bei astrometrischen Messungen verbessert werden.

Die Ergebnisse der SLR-Methode für die Polbewegungen und Rotationsschwankungen werden im wesentlichen von der VLBI-Methode bestätigt. Sie zeigen eine Feinstruktur von Fluktuationen des Erdrotationsvektors, die unterhalb des Nachweisbereiches der klassischen astrometrischen Methode liegt und somit nicht nachweisbar war. Die detaillierte Interpretation dieser Fluktuationen kann zu einer Trennung der verschiedenen geodynamischen Parameter und damit zu einem besseren Verständnis der dynamischen Prozesse der Erde beitragen.

Die Bedeutung und Signifikanz dieser Ergebnisse für wissenschaftliche und praktisch-operative Aufgaben wachsen mit der Verlängerung der Serie und der weiteren Genauigkeitssteigerung. Folgerichtig hat die Joint Working Group der IAU und IUGG in Auswertung des MERIT-Projektes die Schaffung eines neuen internationalen Dienstes zur Realisierung und Erhaltung eines präzisen terrestrischen Referenzsystems, einschließlich der Überwachung von rotationsgebundener Zeit UT (auch Tageslänge) und Polbewegungen, sowie eines Inertialsystems (celestial) bzw. raumfesten Systems, einschließlich der Bestimmung von Präzession und Nutation, beschlossen. Zur Erfüllung dieser Aufgaben wird die Methode der Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten eine wesentliche Rolle spielen. Abgesehen von einer weiteren Einbeziehung von ausgewählten astrometrischen Daten während einer Übergangsperiode sind für den neuen Dienst außerdem Lasermessungen zum Mond und VLBI vorgesehen. **Damit ist einerseits eine Beschränkung auf die leistungsfähigsten Methoden, andererseits auch eine genügende Redundanz für die Bestimmung der einzelnen Parameter gewährleistet.**

6. Literaturverzeichnis

- BARTHELMES, F.: Zum Erkennen von groben Fehlern bei Lasermessungen zu Satelliten.
Verm. Techn. Berlin 26 (1978) 9, - S. 5 - 8.
- CALAME, O.: MERIT Coordinator report on lunar laser ranging.
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- CAPORALI, A.; PALUTAN, F.; CENCI, A.; CASOTTO, S.: Pole position from laser ranging to LAGEOS.
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- CUI, C.: Überprüfung und Datenkomprimierung (Normalpunkte) von Laserentfernungsmessungen nach Satelliten
Veröff. Bayer. Komm. Internat. Erdm., Astron.-Geod. Arb. -, München (1984) 45. - S. 41 - 51
- CUNNINGHAM, L.E.: On the computation of spherical harmonic terms needed during the numerical integration of the orbital motion of an artificial satellite
Celestial Mechanics. - Dordrecht (1970) 2. - S. 207 - 216.
- DICKEY, J.O.; WILLIAMS, J.G.; NEWHALL, X.X.: Fifteen years of lunar laser ranging: Accomplishments and future challenges
JPL Geodesy and Geophysics Reprint. - Pasadena, California (1985) 121
- DIETRICH, R.: On the adjustment of crustal motion parameters in satellite geodetic networks
Paper Int. Symp. of the Commission on Recent Crustal Movements, Budapest, 1985
- DIETRICH, R.; GENDT, G.: An attempt to detect geometric tidal information using LAGEOS laser ranging data.
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde. - Potsdam (1985) 81 T.I. - S. 77 - 81
- DOW, J.-M.; AGROTIS, L.G.: Earth rotation, station coordinate and orbit solutions from lageos during MERIT Campaign
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- EVERHART, E.: An efficient integrator of very high order and accuracy with appendix listing of RADAU
Denver Res. Inst., Technical Report. - Denver, Col., 1974
- FEISSEL, M.: MERIT Campaigns, report of the Coordinating Centre at BIH
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- FEISSEL, M.; LI ZHENGXIN: Precision and accuracy of earth rotation determinations derived at BIH from optical astrometry
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- GAMBIS, D.: Compression of LAGEOS laser data
Bull. geod. - Paris 58 (1984) 4. - S. 518 - 526.

- GENDT, G.: Further improvement of the orbital programm system POTSDAM-5 and their utilization in geodetic-geodynamic investigations
 Observ. Artif. Earth Sat. 23
 Publ. Astr. Inst. Czechosl. Acad. Sc. - Prag (1984) 58. - S. 421 - 427.
- GENDT, G.; DIETRICH, R.: Geometrical tidal effects from LAGEOS laser ranging data
 Paper 10. Int. Symp. Erdgezeiten, Madrid, Spanien, 1985
- GENDT, G.; MONTAG, H.: The programm POTSDAM-4 for differential improvement of orbital elements and other parameters
 Advances Space Research. - COSPAR 1 (1981) 6. - S. 43 - 56.
- HAUOK, H.; LELGEMANN, D.: Die Bildung der Datenmittelwerte (normalpoints) aus Laser-entfernungsmessungen.
 Veröff. Bayer. Komm. Internat. Erd., Astron.-Geod. Arb. - München (1982)42. - S. 137 - 141.
- HE MIAOFU; HUANG CHENG; FONG CHUGONG; ZHU SHENGYUAN: A series of ERP from LAGEOS during the MERIT campaign.
 Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- JACCHIA, L.G.: Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles
 Smith Astrophys. Obs. Spec. Rep. - Cambridge, Mass. (1971) 332.
- LEICK, A.: The observability of the Celestial Pole and its nutations
 Rep. Dep. Geod. Sc. - Columbus (1977) 262.
- LIESKE, J.H.; LEDERLE, T.; FRICKE, W.; MORANDO, B.: Expressions for the precession quantities based up on the IAU (1976) system of astronomical constants
 Astron. Astrophys. - Berlin (West)/Heidelberg/New York/Tokyo 58 (1977) S. 1 - 16
- MARINI, J.W.; MURRAY, C.W.: Correction of laser range tracking data for atmospheric refraction at elevations above 10 degress
 NASA GSFC Doc. - Greenbelt, Md., (1973) - X-591-73-351
- MASTERS, E.G.; STOLZ, A.; HIRSCH, B.: On filtering and compressing LAGEOS Laser range data
 Bull. Geod. - Paris 57 (1983). - S. 121 - 130.
- MELBOURNE, W.; ANDERLE, R.; FEISSEL, M.; KING, R.; MECARTHY, D.; SMITH, D.; TAPLEY, B.; VICENTE, R.: Projekt MERIT Standards
 US Naval Obs. Circ. - Washington (1983) 167.
- MINSTER, J.B.; Jordan, T.H.: Present day plate motions.
 J. Geoph. Res. - Washington 83 (1978), B 11. - S. 5331 - 5353
- MONTAG, H.: Zur Untersuchung des Erdrotationsvektors mit Hilfe von Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten.
 Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde. - Potsdam (1984) 80

- MONTAG, H.; GENDT, G.; DIETRICH, R.; Kurth, K.: Investigation of polar motion and the length of day by means of SLR data of the MERIT-Campaign
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- MONTAG, H.; GENDT, G.; DIETRICH, R.; KURTH, K.: Precise earth-rotation parameters derived by satellite laser ranging
Gerl. Beitr. Geophysik. - Leipzig 95 (1986) 3
- MUELLER, I.I.; ZHU, S.Y.; BOCK, Y.: Reference frame requirements and the MERIT-campaign.
Ohio State Univ. Rep. Dep. geod. Sc. and Surv. - Columbus (1982) 329
- MURATA, M.; SHINGU, H.: Determination of polar motion and earth rotation from laser tracking of LAGEOS and Starlette
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- REIGBER, C.; MÜLLER, H.; SCHWINTZER, P.; MASSMANN, F.H.; PAVLIS, E.C.: Earth orientation results of the SFB 78/DGFI Analysis Center from MERIT lageos laser ranging data
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- ROBERTSON, D.S.; CARTER, W.E.: Earth orientation determinations from VLBI observations
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- SCHUTZ, B.; EANES, R.; TAPLEY, B.: The SLR operational center series ERP (CSR) 84 L 02
Paper Inter. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- SCHWIDERSKI, E.W.: Global Ocean Tides, Part 1, A detailed hydrodynamical model
Rep. U.S. Nav. Surf. Weap. Cent. - Dahlgren (1978) TR-3866.
- SEIDELMANN, P.K.: 1980 IAU theory of nutation: The final report of the IAU working group on nutation
Celestial Mechanics. - Dordrecht (1982) 27. - S. 79 - 106
- SMITH, D.E.; CHRISTODOULIDIS, D.C.: Polar motion and length of day determination from satellite laser ranging
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- TAPLEY, B.; EANES, R.; SCHUTZ, B.: Center for Space Research analysis center results using LAGEOS SLR data
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- WILKINS, G.A.; MUELLER, I.I.: Joint summary report of the IAU/IUGG working groups MERIT and COTES
Paper 19. IAU Generalversammlung Dehli, Indien, 1985
- YATSKIV, Ya.S.; TARADY, V.K.; NURUTDINOV, K.Kh.; TSEISIS, M.L.: Earth rotation parameters computed by the SLR associate analysis center at main astronomical observatory of the ukrainian academy of sciences
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985
- YOKOYAMA, K.; TANIKAWA, K.; MANABE, S.: IPMS earth orientation parameters by optical astrometry
Paper Int. Conf. Earth Rotation and Terrestrial Reference Frame, Columbus, Ohio, 1985

Tab. 9: Polkoordinaten (x_p , y_p) und Tageslänge (LOD) für 50 % überlappende 5-Tage-Lösungen

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	OF _A	$x_p \Delta \pm s$			$y_p \Delta \pm s$			LOD $\Delta \pm s$		
	MJD	FD	GESAMT	FUER x_p			MM	MM	0,0001"			0,01 MS			
1	2	3	4	5	6	6A	7	7A	8	9	9A	10	11	11A	12
1	45581.5	19	22(9)	9(5)	136	121	3044	-48	8	1551	-82	5	134	5	2
3	45584.0	64	36(10)	14(6)	97	90	2981	-70	4	1470	-107	3	150	3	2
6	45586.5	-81	33(9)	13(5)	83	85	2948	-32	4	1418	-17	3	161	3	2
1	45589.0	48	28(6)	14(4)	103	98	2849	-23	5	1247	-20	4	184	1	2
4	45591.5	13	49(7)	21(4)	106	88	2795	-33	4	1181	-21	3	177	2	2
6	45594.0	-32	43(9)	13(4)	114	88	2756	-33	4	1102	-23	3	162	7	2
2	45596.5	32	39(8)	7(3)	95	99	2672	-16	4	1005	-23	3	159	2	2
4	45599.0	-24	44(11)	14(6)	97	101	2600	-27	4	942	-29	3	184	0	2
7	45601.5	-27	31(11)	11(5)	100	78	2504	-25	5	856	-23	3	190	4	2
2	45604.0	66	40(13)	15(7)	98	91	2379	-23	4	773	-18	3	183	1	2
5	45606.5	-71	38(14)	21(8)	97	95	2338	-14	4	754	-1	4	183	2	2
7	45609.0	68	27(12)	15(7)	93	86	2189	-18	4	652	-14	4	176	17	2
3	45611.5	70	47(13)	18(7)	84	84	2122	-13	3	553	-17	2	212	7	2
5	45614.0	-29	56(14)	25(7)	102	89	2069	-9	3	515	-18	3	220	5	2
1	45616.5	-27	45(14)	20(7)	103	96	1996	-1	4	454	-24	3	219	5	1
3	45619.0	46	54(14)	26(8)	101	89	1858	-10	4	392	-20	3	212	5	2
6	45621.5	-26	54(14)	28(8)	97	95	1791	-15	3	353	-20	3	197	6	2
1	45624.0	6	54(14)	19(8)	100	103	1677	-16	4	330	-20	3	194	6	1
4	45626.5	-6	55(15)	25(9)	97	86	1589	-8	4	312	-3	3	188	4	2
6	45629.0	-1	54(12)	33(9)	97	91	1464	-8	4	269	-8	3	212	6	2
2	45631.5	-2	63(12)	37(7)	118	96	1358	-3	4	198	-40	3	214	4	2
4	45634.0	27	90(16)	50(10)	110	89	1206	-5	3	196	-11	3	225	3	2
7	45636.5	-52	77(18)	38(10)	104	95	1129	-16	3	181	-12	3	220	4	1
2	45639.0	22	54(14)	21(6)	94	103	1001	-11	4	152	-15	3	241	7	1
5	45641.5	-38	50(13)	21(5)	95	86	924	-20	4	150	-6	3	265	5	2
7	45644.0	11	41(10)	11(3)	119	87	782	-23	6	166	-10	3	264	6	2
3	45646.5	31	52(12)	14(6)	106	103	659	-23	4	137	-16	3	238	3	2
5	45649.0	-29	50(15)	20(8)	119	102	568	-35	5	159	7	3	232	7	2
1	45651.5	-4	42(13)	25(8)	112	109	451	-12	5	162	-14	4	230	6	2
3	45654.0	33	51(15)	29(8)	92	120	335	-21	4	152	-3	3	231	3	2
6	45656.5	-56	42(14)	26(8)	78	67	271	-3	3	188	9	3	235	2	1
1	45659.0	61	44(14)	28(8)	85	79	87	-13	3	196	-8	3	234	3	1
4	45661.5	-45	52(13)	30(7)	114	101	24	-7	4	227	-2	4	227	-5	2
6	45664.0	-91	27(8)	16(6)	96	81	-66	-8	4	245	-4	4	192	7	2
2	45666.5	44	24(7)	14(4)	95	90	-216	-20	4	283	-18	4	199	1	2
4	45669.0	25	43(10)	30(6)	106	94	-310	-13	4	310	-10	4	206	4	2
7	45671.5	-2	45(10)	32(6)	115	95	-404	-14	5	346	-8	4	215	-2	2
2	45674.0	47	53(10)	34(6)	96	93	-526	-12	4	375	-14	3	191	8	2
5	45676.5	-32	58(12)	37(6)	109	107	-581	-25	4	410	-1	3	179	5	1
7	45679.0	-11	45(12)	27(6)	120	94	-661	-17	5	443	-6	4	186	5	2
3	45681.5	24	48(13)	30(7)	128	122	-730	3	5	490	-18	5	195	2	3
5	45684.0	-21	48(9)	28(5)	127	118	-819	-19	6	544	-18	4	201	3	2
1	45686.5	5	42(13)	19(6)	130	108	-884	-5	6	594	-3	5	207	1	2
3	45689.0	15	39(13)	16(6)	88	121	-970	-9	4	653	-2	3	186	0	2
6	45691.5	-29	29(12)	17(6)	81	81	-1019	-20	3	714	-5	4	187	2	2
1	45694.0	-28	19(8)	16(5)	106	85	-1077	-15	4	758	-12	7	180	9	2
4	45696.5	80	35(11)	25(6)	79	89	-1180	-34	3	831	-29	4	201	-3	2
6	45699.0	-53	36(10)	25(5)	83	103	-1201	-22	3	878	-26	4	185	6	2
2	45701.5	41	26(8)	23(6)	90	93	-1278	20	3	948	6	5	187	9	2
4	45704.0	25	38(11)	22(7)	67	91	-1353	6	3	1003	9	3	180	-1	1
7	45706.5	-84	29(9)	13(6)	71	69	-1415	-2	3	1049	32	3	173	-1	2
2	45709.0	113	41(10)	18(5)	57	79	-1535	3	2	1195	26	2	170	8	1
5	45711.5	-38	52(11)	21(6)	77	73	-1559	-8	3	1203	-8	2	167	7	1
7	45714.0	33	37(10)	20(5)	115	55	-1622	-5	4	1304	13	4	149	3	2
3	45716.5	37	53(14)	30(7)	82	75	-1653	2	3	1375	0	3	146	0	2
5	45719.0	-38	54(14)	22(7)	90	106	-1697	0	3	1438	4	3	136	-1	2
1	45721.5	-54	37(10)	14(5)	91	96	-1749	13	4	1546	21	3	138	-1	2
3	45724.0	66	58(13)	19(7)	84	88	-1858	-2	3	1653	-2	2	137	4	1
6	45726.5	-43	60(12)	21(7)	80	81	-1885	-7	3	1702	-1	2	142	-2	1
1	45729.0	19	40(11)	16(6)	77	78	-1962	-12	3	1801	7	3	124	1	1
4	45731.5	-12	40(12)	11(5)	67	78	-1987	-15	3	1876	-5	2	121	1	2
6	45734.0	-72	26(15)	8(7)	62	96	-2028	-9	4	1939	-4	3	140	-1	2
2	45736.5	66	34(12)	11(6)	62	64	-2107	-10	3	2044	-11	2	152	4	1
4	45739.0	4	55(12)	18(5)	64	76	-2130	-22	2	2118	-16	2	179	7	1
7	45741.5	-23	49(11)	30(6)	84	77	-2171	-1	3	2209	40	3	172	1	2
2	45744.0	-4	35(8)	26(5)	102	66	-2192	2	4	2258	19	5	166	-3	3
5	45746.5	39	41(10)	24(5)	91	80	-2225	1	4	2376	2	4	163	3	2
7	45749.0	5	50(10)	27(5)	92	93	-2265	2	3	2440	7	3	161	3	2

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	OF _Δ	X _p Δ ± S			Y _p Δ ± S			LOD Δ ± S		
	MJD	FD	GESAMT	FUER X _p			MM	MM	7	7A	8	9	9A	10	11
1	2	3	4	5	6	6A	7	7A	8	9	9A	10	11	11A	12

3	45751.5	-1	47(13)	21(6)	109	113	-2274	5	4	2532	-8	4	171	1	2
5	45754.0	-42	43(12)	14(5)	98	94	-2310	-2	5	2601	-1	3	173	0	2
1	45756.5	-11	38(13)	10(5)	109	123	-2380	-49	6	2721	-15	4	162	1	2
3	45759.0	41	56(15)	24(6)	109	111	-2361	-12	4	2830	-18	4	172	2	2
6	45761.5	-62	55(13)	27(6)	111	122	-2356	9	4	2896	-4	4	178	0	2
1	45764.0	-18	30(12)	14(7)	100	124	-2385	-7	5	3022	-9	4	200	-2	2
4	45766.5	36	32(12)	19(7)	76	81	-2404	-13	3	3137	-1	4	208	3	2
6	45769.0	-14	35(11)	25(7)	92	102	-2396	1	4	3229	-5	4	222	1	3
2	45771.5	-8	40(13)	28(8)	101	90	-2360	6	4	3319	-15	4	197	3	2
4	45774.0	-17	40(12)	29(8)	97	92	-2334	-5	4	3432	-1	4	199	1	2
7	45776.5	-26	30(11)	25(7)	97	101	-2292	-11	5	3535	-9	6	178	6	4
2	45779.0	72	57(13)	37(6)	112	96	-2246	0	4	3712	-9	4	203	5	3
5	45781.5	-38	76(15)	45(8)	103	108	-2240	-7	3	3751	-5	3	222	3	2
7	45784.0	-28	50(16)	32(9)	81	113	-2217	4	3	3839	4	3	196	3	2
3	45786.5	37	44(15)	22(7)	70	80	-2151	15	3	3965	13	2	213	-12	2
5	45789.0	-16	46(14)	23(7)	76	91	-2123	-9	2	4036	-6	3	199	3	1
1	45791.5	-22	37(12)	23(7)	80	75	-2078	-3	3	4127	12	3	209	3	2
3	45794.0	41	46(12)	15(5)	83	82	-2012	-3	4	4223	2	3	194	2	1
6	45796.5	-8	57(12)	14(5)	77	74	-1965	-10	3	4298	4	2	190	3	1
1	45799.0	-22	50(14)	16(8)	85	81	-1901	-9	3	4392	8	3	206	-1	2
4	45801.5	34	65(16)	31(9)	100	92	-1798	3	3	4512	-2	3	199	1	1
6	45804.0	19	89(16)	42(9)	83	78	-1737	-1	2	4599	4	2	203	5	1
2	45806.5	-5	93(18)	48(10)	83	76	-1669	-7	2	4664	-7	2	207	6	1
4	45809.0	-32	72(18)	48(12)	84	74	-1616	-7	3	4732	-4	3	211	6	2
7	45811.5	5	53(15)	38(10)	103	97	-1536	2	3	4817	-2	4	224	2	2
2	45814.0	71	79(17)	46(10)	90	84	-1454	-5	3	4905	-10	2	208	2	1
5	45816.5	-5	101(17)	59(10)	85	92	-1396	-13	2	4959	-14	2	200	4	1
7	45819.0	-51	66(17)	40(9)	88	93	-1323	-3	3	5032	-14	3	193	13	1
3	45821.5	43	55(16)	28(9)	89	80	-1191	-1	3	5135	4	3	200	-1	1
5	45824.0	-8	63(15)	27(8)	81	85	-1124	7	3	5179	-3	2	195	2	1
1	45826.5	-3	56(13)	21(8)	77	78	-1039	-35	3	5231	-18	2	187	4	1
3	45829.0	3	57(12)	27(7)	77	78	-913	-13	3	5314	-4	2	170	6	1
6	45831.5	-31	54(14)	30(8)	77	76	-824	1	3	5380	10	3	174	3	1
1	45834.0	51	64(15)	30(7)	86	76	-750	-11	3	5421	-13	3	160	6	1
4	45836.5	15	90(16)	43(8)	77	69	-668	-7	2	5447	-2	2	161	3	1
6	45839.0	-5	89(15)	40(7)	77	76	-583	-4	2	5475	-1	2	155	8	1
2	45841.5	26	99(16)	33(8)	79	82	-484	-12	2	5509	5	2	165	1	1
4	45844.0	-3	100(14)	27(6)	75	73	-387	-6	2	5537	-3	1	142	8	1
7	45846.5	-47	58(14)	14(6)	78	73	-284	0	3	5565	5	2	146	6	1
2	45849.0	101	64(16)	19(7)	86	68	-130	-1	3	5589	2	2	140	4	1
5	45851.5	16	102(15)	37(6)	89	89	-48	-4	2	5595	1	2	154	4	1
7	45854.0	-12	95(14)	35(6)	79	82	53	-10	2	5611	-2	2	137	7	1
3	45856.5	-18	75(12)	25(6)	82	85	150	-13	3	5600	-4	2	133	3	1
5	45859.0	15	69(15)	23(6)	74	86	283	-4	3	5597	3	2	120	4	1
1	45861.5	-9	70(16)	22(6)	84	79	369	1	3	5578	0	2	110	11	1
3	45864.0	29	70(17)	24(8)	92	73	483	1	3	5576	-1	2	113	9	1
6	45866.5	-11	69(16)	35(7)	77	74	587	-2	2	5572	-2	2	123	6	1
1	45869.0	24	79(15)	39(7)	74	84	703	2	2	5556	0	2	117	3	1
4	45871.5	-51	75(16)	38(9)	82	77	777	-5	3	5550	-3	2	110	6	1
6	45874.0	-38	49(11)	31(8)	81	71	881	-3	3	5540	-6	3	113	4	1
2	45876.5	37	64(14)	40(9)	94	70	1014	-16	3	5516	1	3	115	8	1
4	45879.0	-17	79(14)	40(8)	87	72	1094	-8	2	5495	-10	2	115	8	1
7	45881.5	-50	56(15)	28(9)	73	69	1202	-15	2	5464	-12	2	104	3	1
2	45884.0	9	47(14)	32(10)	75	68	1349	-13	3	5423	-8	3	61	10	2
5	45886.5	-3	54(12)	35(9)	76	77	1443	-16	3	5376	-21	3	55	4	1
7	45889.0	12	59(13)	40(8)	94	74	1557	-6	3	5322	-20	3	56	9	1
3	45891.5	32	70(13)	43(7)	88	69	1645	-16	3	5259	-15	2	87	3	1
5	45894.0	-51	63(14)	29(7)	82	77	1712	-9	3	5225	-22	2	75	8	2
1	45896.5	-18	48(17)	16(8)	89	80	1821	-24	4	5147	-10	3	84	1	2
3	45899.0	38	54(12)	18(4)	74	66	1947	-12	3	5076	-9	2	77	6	1
6	45901.5	-3	56(14)	25(6)	72	60	2020	-22	2	5012	-12	2	82	3	1
1	45904.0	37	62(15)	33(8)	86	68	2137	-16	3	4941	-7	3	97	4	1
4	45906.5	-24	61(16)	29(8)	85	71	2213	-13	3	4888	-15	2	110	1	1
6	45909.0	3	48(12)	23(5)	85	65	2327	-12	3	4826	-15	3	113	6	2
2	45911.5	28	74(15)	38(8)	83	74	2411	-3	2	4746	-6	2	111	3	1
4	45914.0	-3	92(20)	42(10)	80	77	2479	-11	2	4676	-15	2	108	8	1
7	45916.5	-33	68(16)	35(9)	92	78	2541	-21	3	4601	-21	3	91	8	2
2	45919.0	69	79(19)	38(9)	97	75	2651	-8	3	4502	-17	3	116	2	1

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	OF _Δ	X _p Δ ± S			Y _p Δ ± S			LOD Δ ± S		
	MJD	FD	GESAMT FUER X _p				MM	MM	0,0001 ^a			0,0001 ^a			0,01 MS
1	2	3	4	5	6	6A	7	7A	8	9	9A	10	11	11A	12
5	45921.5	-22	95(14)	38(6)	83	66	2707	0	2	4443	-5	2	123	4	1
7	45924.0	0	68(13)	30(7)	82	75	2785	-7	3	4347	-6	2	125	5	1
3	45926.5	50	74(17)	34(8)	80	70	2870	-8	3	4245	-22	2	142	3	1
5	45929.0	-33	70(16)	31(8)	85	70	2916	-3	3	4203	-13	2	146	7	2
1	45931.5	20	65(17)	31(9)	95	79	2990	7	3	4096	-4	3	145	11	2
3	45934.0	36	92(19)	35(9)	95	73	3009	-4	3	3976	-14	2	140	8	1
6	45936.5	-66	80(18)	21(8)	89	72	3032	-1	3	3914	-13	2	133	3	1
1	45939.0	48	73(17)	25(8)	96	71	3047	1	4	3773	-9	2	140	7	1
4	45941.5	3	96(19)	37(8)	97	92	3055	-14	3	3692	-16	2	146	4	1
6	45944.0	-26	85(18)	41(8)	99	105	3080	-6	3	3614	-4	3	158	3	2
2	45946.5	-11	74(16)	42(9)	116	85	3090	-21	4	3526	-11	3	167	5	2
4	45949.0	6	78(18)	37(8)	90	84	3108	-23	3	3430	-14	2	161	4	2
7	45951.5	-28	56(16)	24(8)	78	66	3136	-15	3	3336	-13	2	141	2	1
2	45954.0	63	72(16)	28(7)	77	72	3156	-9	2	3207	-11	2	149	-4	1
5	45956.5	-42	86(17)	32(7)	83	68	3163	-9	2	3145	-4	2	151	3	1
7	45959.0	5	58(15)	23(5)	103	67	3175	-5	4	3020	-6	3	167	5	1
3	45961.5	41	64(13)	20(6)	88	74	3206	-6	3	2908	-12	2	189	-4	1
5	45964.0	-14	84(16)	24(6)	87	68	3224	-13	3	2843	-6	2	177	-1	1
1	45966.5	-29	76(17)	23(7)	77	72	3222	-16	3	2749	-10	2	163	1	1
3	45969.0	23	74(14)	24(7)	84	72	3226	-13	3	2634	-8	2	174	4	1
6	45971.5	-69	62(14)	24(7)	92	84	3232	-10	3	2575	-3	3	175	6	2
1	45974.0	60	55(15)	23(7)	110	86	3186	-11	4	2424	2	4	219	3	2
4	45976.5	12	75(17)	29(10)	79	68	3176	-3	3	2355	4	2	208	-3	1
6	45979.0	-51	62(19)	24(9)	66	89	3162	-8	3	2287	-8	2	186	5	1
2	45981.5	24	74(21)	21(9)	83	64	3101	-9	3	2158	1	2	180	9	1
4	45984.0	-5	78(21)	23(10)	74	60	3073	-5	3	2076	2	2	182	3	1
7	45986.5	-3	60(21)	29(10)	94	81	3018	-21	4	1986	-1	3	196	3	2
2	45989.0	41	83(18)	43(8)	119	63	2964	-11	4	1874	4	3	185	2	2
5	45991.5	-24	93(21)	47(10)	103	87	2956	11	3	1824	0	3	184	4	1
7	45994.0	-41	65(18)	36(10)	93	96	2901	3	3	1757	-7	3	192	1	1
3	45996.5	46	74(16)	30(8)	103	88	2866	-8	4	1651	-19	3	191	0	2
5	45999.0	-17	84(19)	38(9)	108	77	2843	-2	3	1586	-5	3	200	1	2
1	46001.5	11	82(18)	47(9)	125	93	2767	1	4	1478	-10	4	200	6	2
3	46004.0	-34	64(16)	38(9)	94	81	2690	-2	4	1428	-5	3	189	-2	3

Erläuterung der Symbole:

W - Tag der Woche für das MJD der Epoche

FD - Abweichungen von der nominellen Epoche der Sp. 2 in 0,01 Tagen

OF - mittlere quadratische Bahnanpassung

S - Standardabweichung

Δ - Werte zu einer Alternativlösung

Tab. 10: Polkoordinaten (x_p, y_p) und Tageslänge (LOD) für 50 % überlappende 3-Tage-Lösungen

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$x_p \pm S$		$y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER x_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45582.0	80	9(6)	4(4)	92	3047	10	1536	6	153	4
4	45585.0	11	29(9)	11(5)	90	2964	4	1455	3	157	3
7	45588.0	-43	10(4)	4(2)	60	2837	5	1453	4	177	2
3	45591.0	10	32(7)	15(4)	99	2803	4	1196	4	172	3
6	45594.0	-48	21(5)	7(2)	114	2757	6	1112	5	158	3
2	45597.0	10	31(8)	5(3)	97	2657	5	986	3	155	2
5	45600.0	0	23(10)	11(5)	91	2554	5	899	4	182	2
1	45603.0	71	20(9)	4(3)	87	2416	5	806	4	178	2
4	45606.0	-12	24(12)	15(7)	82	2339	5	741	4	164	4
7	45609.0	-15	10(7)	6(5)	97	2240	9	703	9	167	6
3	45612.0	0	38(12)	14(6)	79	2139	3	574	3	213	3
6	45615.0	-46	31(14)	16(7)	93	2051	4	493	3	224	2
2	45618.0	43	29(13)	12(7)	96	1909	5	394	4	213	2
5	45621.0	23	36(13)	20(7)	89	1794	4	370	3	196	3
1	45624.0	28	27(12)	8(6)	91	1668	5	345	3	186	3
4	45627.0	13	34(12)	17(8)	89	1556	5	308	4	178	3
7	45630.0	-5	32(10)	21(7)	86	1423	4	240	4	199	3
3	45633.0	22	48(13)	22(7)	94	1259	4	193	3	214	2
6	45636.0	-12	51(16)	31(10)	95	1135	4	204	3	211	2
2	45639.0	19	33(11)	11(4)	98	1005	5	154	4	242	3
5	45642.0	-7	31(12)	13(5)	91	887	4	158	3	275	2
1	45645.0	56	23(8)	5(2)	95	736	7	119	4	239	2
4	45648.0	-1	36(13)	12(6)	105	596	5	148	3	243	2
7	45651.0	4	21(8)	14(5)	99	496	6	171	5	241	4
3	45654.0	9	32(14)	15(7)	72	345	4	163	3	217	3
6	45657.0	-53	21(11)	16(7)	61	247	4	179	4	213	5
2	45660.0	10	36(13)	21(7)	78	72	3	202	3	239	2
5	45663.0	-20	24(8)	15(6)	95	-55	4	247	5	204	2
1	45666.0	65	11(5)	6(3)	96	-226	6	282	6	199	4
4	45669.0	36	28(9)	19(6)	96	-312	5	325	5	222	4
7	45672.0	25	21(8)	15(5)	87	-422	5	355	5	203	3
3	45675.0	-5	40(10)	25(6)	88	-547	4	391	3	187	3
6	45678.0	-15	27(9)	17(5)	113	-642	6	443	5	176	3
2	45681.0	0	27(11)	16(6)	130	-704	7	475	6	197	4
5	45684.0	-3	35(9)	21(5)	109	-826	5	549	5	202	4
1	45687.0	32	18(9)	6(3)	85	-919	8	619	4	196	3
4	45690.0	-29	25(12)	11(5)	81	-984	4	686	3	174	2
7	45693.0	-15	12(7)	9(4)	75	-1052	4	748	6	199	2
3	45696.0	64	17(8)	12(4)	88	-1166	6	811	7	196	6
6	45699.0	-48	21(8)	14(5)	60	-1194	3	871	4	218	4
2	45702.0	37	19(6)	17(5)	89	-1284	4	952	6	203	4
5	45705.0	8	24(8)	10(5)	48	-1394	3	1025	2	167	1
1	45708.0	79	14(8)	6(4)	48	-1493	3	1158	3	109	5
4	45711.0	7	36(11)	14(6)	74	-1558	3	1210	3	167	3
7	45714.0	-2	16(7)	10(4)	94	-1617	5	1289	5	144	4
3	45717.0	14	41(13)	19(6)	73	-1667	3	1389	3	154	2
6	45720.0	-34	27(10)	11(5)	84	-1715	4	1472	3	155	3

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$x_p \pm S$		$y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER x_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45580.5	-39	10(5)	4(3)	91	3013	8	1616	6	23	2
3	45583.5	23	20(8)	7(5)	87	3010	5	1502	4	139	3
6	45586.5	-49	24(9)	12(5)	85	2926	4	1411	4	164	4
2	45589.5	50	15(4)	6(2)	101	2834	6	1249	5	179	3
5	45592.5	-13	34(7)	15(4)	91	2779	4	1148	3	188	2
1	45595.5	35	20(7)	2(2)	91	2712	5	1043	4	154	3
4	45598.5	-17	28(10)	9(5)	91	2612	4	951	3	159	2
7	45601.5	-48	14(7)	6(3)	81	2515	7	850	4	180	3
3	45604.5	1	32(12)	10(6)	84	2382	4	775	3	185	2
6	45607.5	-51	16(9)	14(7)	87	2295	5	738	7	209	5
2	45610.5	65	20(12)	8(6)	66	2155	4	577	3	193	3
5	45613.5	0	43(14)	17(7)	90	2088	3	529	3	215	2
1	45616.5	-20	19(11)	9(6)	82	1992	5	436	4	237	4
4	45619.5	-24	33(14)	19(8)	87	1863	4	400	3	207	3
7	45622.5	-50	33(12)	15(7)	86	1769	4	359	3	164	3
3	45625.5	-2	32(13)	11(7)	91	1625	5	318	3	192	2
6	45628.5	-11	34(12)	21(9)	88	1496	4	283	3	212	3
2	45631.5	-1	37(10)	22(6)	109	1350	5	223	4	227	3
5	45634.5	-2	61(16)	33(10)	91	1212	4	190	3	237	2
1	45637.5	-36	32(13)	14(6)	98	1074	5	156	4	216	2
4	45640.5	-3	36(13)	16(5)	80	957	4	140	3	246	2
7	45643.5	-49	19(8)	8(3)	72	853	5	198	3	276	2
3	45646.5	8	38(11)	10(5)	104	662	5	137	3	232	3
6	45649.5	-19	28(13)	12(7)	112	541	6	154	4	223	4
2	45652.5	0	26(11)	17(7)	93	402	6	145	5	225	2
5	45655.5	0	35(12)	19(6)	74	288	4	179	3	240	2
1	45658.5	46	23(12)	16(7)	68	122	4	179	4	247	3
4	45661.5	-9	33(11)	19(7)	89	6	4	235	3	232	4
7	45664.5	-40	11(6)	7(4)	56	-114	4	265	4	181	5
3	45667.5	27	18(7)	11(4)	93	-249	5	294	5	182	3
6	45670.5	-34	26(8)	19(5)	93	-350	5	331	5	222	2
2	45673.5	27	34(10)	22(6)	87	-490	4	378	4	210	3
5	45676.5	-12	34(9)	22(4)	81	-579	3	399	3	185	2
1	45679.5	-1	26(11)	15(6)	126	-665	7	464	6	185	4
4	45682.5	13	31(10)	21(6)	124	-763	6	508	6	200	4
7	45685.5	-43	23(8)	12(4)	104	-861	7	595	5	191	3
3	45688.5	9	27(12)	12(5)	84	-955	4	638	3	185	4
6	45691.5	8	17(7)	8(3)	69	-1028	4	723	4	192	4
2	45694.5	6	8(4)	8(4)	68	-1157	5	667	12	111	9
5	45697.5	20	29(10)	19(5)	72	-1190	3	838	4	195	2
1	45700.5	20	13(4)	12(3)	80	-1234	4	936	6	190	2
4	45703.5	25	24(11)	16(7)	65	-1343	3	995	4	206	4
7	45706.5	-50	15(7)	7(4)	44	-1459	3	1051	3	162	3
3	45709.5	22	24(8)	10(4)	56	-1521	3	1174	3	174	2
6	45712.5	-52	31(10)	12(5)	83	-1579	4	1227	3	160	3
2	45715.5	29	25(7)	18(4)	72	-1626	3	1357	4	129	3
5	45718.5	-11	42(14)	17(7)	84	-1680	4	1421	3	141	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	45723.0	27	24(8)	7(3)	80	-1804	4	1577	4	152	3
5	45726.0	-6	44(11)	15(6)	77	-1838	3	1690	2	147	2
1	45729.0	17	20(8)	10(4)	64	-1962	4	1789	4	189	4
4	45732.0	-2	29(12)	7(5)	56	-2004	3	1895	2	118	2
7	45735.0	9	8(7)	5(5)	76	-2065	7	2025	8	174	4
3	45738.0	13	34(9)	9(3)	51	-2118	3	2067	2	163	1
6	45741.0	-16	27(9)	15(5)	81	-2149	4	2202	3	165	3
2	45744.0	-22	23(7)	17(4)	73	-2202	4	2282	4	193	4
5	45747.0	30	31(10)	17(5)	68	-2254	4	2377	3	177	2
1	45750.0	22	26(9)	14(5)	104	-2269	5	2494	5	150	2
4	45753.0	1	33(11)	11(4)	75	-2303	4	2590	3	177	2
7	45756.0	-11	17(8)	5(3)	109	-2406	10	2707	7	164	4
3	45759.0	16	38(15)	15(6)	97	-2351	5	2831	4	180	3
6	45762.0	-30	29(11)	15(6)	96	-2370	5	2939	4	172	5
2	45765.0	27	13(7)	6(4)	59	-2389	5	3070	4	242	2
5	45768.0	15	23(10)	16(6)	71	-2411	3	3182	5	229	3
1	45771.0	4	21(11)	16(8)	76	-2354	4	3314	4	214	4
4	45774.0	-5	25(12)	16(6)	82	-2334	5	3442	5	215	4
7	45777.0	-14	15(6)	14(5)	76	-2273	4	3584	7	188	6
3	45780.0	17	48(13)	29(6)	106	-2233	4	3723	4	200	3
6	45783.0	-32	33(13)	21(7)	81	-2243	4	3794	4	206	3
2	45786.0	40	29(14)	17(7)	69	-2148	3	3957	3	243	4
5	45789.0	5	28(11)	11(4)	66	-2121	3	4036	3	190	2
1	45792.0	15	22(11)	15(7)	63	-2048	3	4158	4	207	2
4	45795.0	23	31(10)	7(3)	82	-2002	5	4248	3	200	2
7	45798.0	12	37(10)	9(4)	61	-1914	3	4368	2	191	1
3	45801.0	21	27(12)	13(7)	99	-1830	5	4458	5	209	3
6	45804.0	5	60(15)	26(8)	66	-1742	2	4596	2	214	2
2	45807.0	15	55(16)	31(9)	82	-1647	3	4694	3	217	2
5	45810.0	-19	36(15)	28(10)	83	-1570	4	4770	4	199	2
1	45813.0	38	33(9)	22(6)	99	-1497	4	4869	5	222	4
4	45816.0	9	68(17)	38(10)	82	-1410	2	4943	2	192	2
7	45819.0	-30	36(14)	23(8)	79	-1307	4	5052	3	187	3
3	45822.0	33	37(13)	18(7)	79	-1172	4	5149	3	194	2
6	45825.0	-2	34(11)	12(6)	66	-1097	3	5188	2	198	1
2	45828.0	17	34(9)	16(6)	70	-955	3	5278	3	183	2
5	45831.0	-38	30(10)	16(5)	63	-837	3	5370	3	183	2
1	45834.0	28	46(14)	23(7)	84	-755	3	5423	3	156	2
4	45837.0	19	54(13)	26(6)	67	-646	2	5450	2	154	1
7	45840.0	4	50(13)	19(7)	79	-541	3	5492	2	163	2
3	45843.0	8	67(14)	20(6)	68	-429	2	5523	2	169	1
6	45846.0	-8	38(11)	9(5)	78	-292	4	5563	2	139	2
2	45849.0	47	36(14)	11(6)	83	-160	4	5588	3	145	3
5	45852.0	-1	70(15)	25(6)	80	-32	2	5596	2	153	1
1	45855.0	4	49(11)	17(6)	82	109	3	5613	2	135	1
4	45858.0	22	42(13)	13(5)	65	239	3	5595	2	131	2
7	45861.0	-2	38(12)	11(3)	76	356	3	5583	2	101	2
3	45864.0	-12	38(14)	14(8)	91	471	4	5589	3	92	3
6	45867.0	-26	44(14)	22(5)	70	609	3	5574	2	115	3
2	45870.0	-2	56(14)	26(7)	70	726	2	5547	2	96	1
5	45873.0	-4	36(10)	22(7)	87	860	4	5547	4	117	2
1	45876.0	34	30(11)	19(8)	75	992	3	5534	4	101	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45721.5	-18	17(9)	8(4)	62	-1772	4	1554	3	123	3
4	45724.5	20	37(11)	12(6)	77	-1846	3	1664	3	132	2
7	45727.5	-39	31(10)	12(5)	75	-1902	3	1734	3	129	3
3	45730.5	17	26(10)	11(5)	62	-1981	4	1860	3	129	3
6	45733.5	-52	20(10)	2(2)	56	-2000	4	1951	3	111	2
2	45736.5	43	17(10)	7(4)	47	-2127	3	2017	3	162	3
5	45739.5	-21	37(11)	15(5)	69	-2129	3	2129	3	184	2
1	45742.5	2	27(9)	20(5)	86	-2192	4	2245	5	166	3
4	45745.5	15	19(7)	9(3)	89	-2192	5	2338	5	163	3
7	45748.5	-21	29(9)	20(5)	68	-2252	3	2416	3	166	3
3	45751.5	-11	34(10)	15(4)	104	-2267	6	2543	4	176	4
6	45754.5	-28	24(9)	5(3)	76	-2333	5	2624	3	183	3
2	45757.5	22	21(11)	6(4)	98	-2422	9	2757	6	153	4
5	45760.5	-17	41(13)	19(6)	103	-2359	4	2864	4	176	2
1	45763.5	-43	17(9)	9(5)	110	-2358	8	2984	6	137	4
4	45766.5	-15	19(9)	13(6)	77	-2376	5	3136	6	206	5
7	45769.5	-30	23(10)	17(6)	76	-2391	4	3245	4	201	4
3	45772.5	3	27(9)	17(5)	84	-2348	4	3374	4	194	2
6	45775.5	9	19(9)	16(6)	88	-2310	5	3500	7	211	4
2	45778.5	51	26(10)	18(5)	117	-2265	7	3650	7	233	9
5	45781.5	-22	48(13)	30(8)	99	-2241	4	3759	4	245	4
1	45784.5	-29	27(12)	16(6)	68	-2206	4	3860	4	184	3
4	45787.5	-9	32(12)	13(5)	63	-2142	3	3990	2	198	2
7	45790.5	-29	23(10)	15(6)	79	-2090	3	4086	5	181	2
3	45793.5	-8	25(10)	8(4)	75	-2032	5	4204	4	200	2
6	45796.5	-2	37(11)	11(4)	64	-1965	3	4303	3	195	2
2	45799.5	-9	33(12)	10(6)	83	-1879	3	4423	3	226	3
5	45802.5	40	44(14)	24(8)	82	-1768	4	4553	3	192	2
1	45805.5	-18	54(15)	25(8)	70	-1707	3	4626	2	189	1
4	45808.5	-19	57(17)	38(11)	83	-1625	3	4727	3	197	2
7	45811.5	-14	23(7)	15(4)	93	-1513	4	4816	5	210	4
3	45814.5	12	53(16)	33(10)	86	-1462	3	4902	3	216	2
6	45817.5	-26	62(16)	36(9)	86	-1367	3	4982	2	201	2
2	45820.5	7	25(11)	13(6)	78	-1247	5	5100	4	207	2
5	45823.5	-15	41(13)	19(7)	81	-1147	3	5166	3	217	2
1	45826.5	-11	36(10)	14(6)	66	-1033	3	5239	3	186	2
4	45829.5	7	38(11)	17(6)	74	-894	3	5332	3	154	2
7	45832.5	23	27(10)	18(6)	86	-782	4	5414	5	178	2
3	45835.5	4	52(15)	21(7)	76	-700	3	5433	2	159	1
6	45838.5	-11	55(14)	28(6)	68	-609	2	5469	2	165	2
2	45841.5	21	60(15)	19(7)	75	-485	3	5504	2	166	2
5	45844.5	-32	53(14)	15(6)	63	-370	2	5539	2	142	2
1	45847.5	-45	30(12)	8(5)	83	-257	4	5573	3	151	2
4	45850.5	36	61(15)	22(6)	85	-84	3	5592	2	148	2
7	45853.5	-10	59(14)	22(6)	76	41	3	5612	2	144	2
3	45856.5	-7	42(10)	10(4)	75	141	3	5600	2	127	2
6	45859.5	-10	46(14)	18(5)	65	297	3	5596	2	129	2
2	45862.5	6	40(14)	11(6)	89	417	4	5573	3	119	2
5	45865.5	14	45(15)	21(7)	70	558	3	5571	2	133	2
1	45868.5	26	45(15)	22(7)	70	675	3	5555	2	129	2
4	45871.5	-20	44(16)	22(9)	80	798	3	5556	3	113	2
7	45874.5	-15	28(10)	17(7)	67	904	3	5520	3	120	2

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD + S	
	MJD	FD	GESAMT FUER X_p			MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	45879.0	3	53(12)	26(7)	73	1092	2	5487	2	107	2
7	45882.0	3	26(12)	18(7)	69	1263	3	5469	4	86	2
3	45885.0	-8	31(10)	19(7)	66	1381	3	5395	3	41	2
6	45888.0	-14	31(11)	22(8)	73	1500	3	5341	3	34	2
2	45891.0	8	42(12)	27(7)	76	1618	3	5278	3	83	3
5	45894.0	-14	49(14)	20(7)	82	1731	3	5219	2	65	3
1	45897.0	69	18(11)	7(3)	60	1871	4	5121	3	114	2
4	45900.0	22	37(12)	12(4)	71	1977	3	5054	2	77	1
7	45903.0	-4	29(10)	17(6)	66	2071	3	4971	3	85	2
3	45906.0	-10	44(14)	21(8)	76	2200	3	4902	2	108	2
6	45909.0	14	28(9)	13(4)	81	2322	4	4815	3	108	3
2	45912.0	25	49(12)	23(5)	76	2427	3	4735	2	104	2
5	45915.0	16	52(16)	24(9)	72	2508	3	4635	2	96	1
1	45918.0	40	35(16)	20(8)	97	2595	5	4565	5	124	4
4	45921.0	7	65(13)	29(6)	72	2694	2	4448	2	101	2
7	45924.0	-34	25(10)	11(5)	78	2782	5	4358	3	120	2
3	45927.0	0	59(16)	24(7)	79	2872	3	4243	2	145	2
6	45930.0	-28	34(16)	16(8)	76	2935	4	4181	3	140	2
2	45933.0	36	51(17)	22(9)	88	2999	3	4022	3	126	3
5	45936.0	2	59(17)	15(7)	82	3034	3	3924	2	130	2
1	45939.0	63	34(15)	16(6)	104	3037	5	3776	4	113	4
4	45942.0	8	57(17)	17(7)	86	3065	4	3664	3	124	2
7	45945.0	-21	48(14)	30(8)	89	3086	4	3590	3	169	3
3	45948.0	8	49(15)	25(8)	75	3088	3	3464	3	180	2
6	45951.0	-32	32(16)	13(8)	81	3141	4	3369	3	145	2
2	45954.0	26	49(13)	19(5)	73	3157	3	3224	2	154	2
5	45957.0	-6	51(15)	21(7)	81	3147	3	3107	3	155	2
1	45960.0	64	27(11)	10(4)	68	3186	4	2967	3	185	1
4	45963.0	3	51(16)	12(6)	78	3219	3	2868	2	168	2
7	45966.0	-47	43(15)	15(6)	76	3218	3	2788	3	145	2
3	45969.0	6	54(13)	19(6)	81	3223	3	2640	2	176	2
6	45972.0	-12	28(13)	13(7)	67	3236	3	2534	3	176	3
2	45975.0	44	41(14)	14(6)	75	3168	4	2391	3	240	1
5	45978.0	5	49(16)	19(9)	54	3159	2	2304	2	198	1
1	45981.0	24	30(15)	9(6)	73	3096	5	2175	3	178	4
4	45984.0	-22	50(18)	11(7)	71	3060	4	2091	3	189	3
7	45987.0	-21	36(15)	22(8)	89	3005	4	1972	4	220	4
3	45990.0	14	60(18)	29(8)	94	2968	4	1851	3	176	2
6	45993.0	-28	43(17)	26(9)	82	2929	3	1781	4	181	2
2	45996.0	13	39(14)	16(7)	79	2852	4	1685	3	199	2
5	45999.0	0	60(18)	27(9)	97	2833	4	1587	3	212	2
1	46002.0	27	37(12)	20(5)	78	2685	5	1471	4	229	2
4	46005.0	-82	35(13)	24(8)	95	2668	4	1408	4	199	3

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD + S	
	MJD	FD	GESAMT FUER X_p			MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45877.5	20	47(13)	30(8)	85	1040	3	5515	3	124	2
6	45880.5	-42	41(12)	17(6)	71	1160	3	5475	3	118	1
2	45883.5	4	31(11)	20(7)	70	1320	3	5436	3	80	3
5	45886.5	0	31(10)	21(7)	68	1443	3	5375	3	65	3
1	45889.5	25	35(12)	25(7)	84	1578	4	5289	4	73	2
4	45892.5	11	46(11)	25(6)	71	1679	3	5245	2	83	1
7	45895.5	-59	27(13)	8(6)	87	1788	6	5190	4	56	2
3	45898.5	-1	32(12)	12(4)	64	1908	4	5094	3	77	3
6	45901.5	-19	38(12)	17(6)	77	2010	3	5018	3	75	3
2	45904.5	33	41(14)	23(8)	78	2148	3	4926	3	94	2
5	45907.5	-1	29(11)	12(5)	68	2254	3	4850	3	123	2
1	45910.5	10	38(11)	21(6)	73	2373	3	4785	3	102	1
4	45913.5	-21	49(16)	22(8)	79	2465	3	4707	2	96	2
7	45916.5	-43	46(13)	22(6)	76	2545	3	4614	3	89	2
3	45919.5	16	53(17)	26(9)	85	2655	3	4493	3	125	2
6	45922.5	-35	51(12)	19(5)	76	2730	3	4414	2	139	2
2	45925.5	56	37(14)	19(7)	76	2840	3	4270	3	119	3
5	45928.5	-6	50(16)	20(8)	70	2909	3	4204	2	128	2
1	45931.5	16	30(15)	18(9)	73	3003	4	4112	4	159	3
4	45934.5	-7	61(18)	22(8)	78	3021	3	3978	2	141	2
7	45937.5	-46	41(12)	8(4)	71	3063	4	3902	2	120	2
3	45940.5	-13	53(18)	20(8)	96	3047	4	3739	3	149	2
6	45943.5	-18	62(18)	26(8)	87	3071	3	3625	2	162	2
2	45946.5	14	38(12)	27(8)	95	3079	4	3517	4	185	4
5	45949.5	-4	50(15)	21(8)	71	3110	3	3407	2	131	2
1	45952.5	-1	25(11)	11(5)	62	3141	3	3290	3	124	2
4	45955.5	-13	61(16)	23(7)	67	3166	2	3175	2	145	1
7	45958.5	-42	31(12)	11(5)	70	3178	4	3062	3	146	2
3	45961.5	17	45(13)	15(6)	77	3198	3	2916	2	201	2
6	45964.5	-6	58(15)	15(5)	71	3221	3	2820	2	182	2
2	45967.5	34	34(13)	12(6)	68	3236	3	2687	3	173	1
5	45970.5	-21	47(13)	17(7)	72	3217	3	2600	2	173	2
1	45973.5	-3	22(9)	8(3)	96	3220	6	2469	5	224	4
4	45976.5	-12	51(15)	22(8)	61	3167	2	2361	2	202	2
7	45979.5	-40	39(17)	13(7)	65	3162	4	2268	3	180	3
3	45982.5	22	51(20)	14(8)	66	3091	4	2122	2	190	1
6	45985.5	12	38(17)	16(8)	80	3029	5	2012	4	199	3
2	45988.5	33	43(16)	25(8)	95	2980	4	1888	4	184	3
5	45991.5	-3	62(21)	29(10)	96	2956	4	1822	3	186	3
1	45994.5	-14	28(11)	14(5)	75	2892	4	1729	4	177	3
4	45997.5	10	56(16)	22(8)	92	2860	4	1621	3	183	2
7	46000.5	-40	40(15)	22(8)	77	2819	4	1554	4	226	1
3	46003.5	24	58(16)	35(9)	89	2691	4	1427	3	194	2

Erläuterung der Symbole s. Tab. 9

Tab. 11: Polkoordinaten (x_p, y_p) und Tageslänge (LOD) für 50 % überlappende 2-Tage-Lösungen

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	45580.0	-56	10(5)	4(3)	74	2953	7	1690	5	-149	2
1	45582.0	-12	3(1)	0(0)	38	2908	23	1505	9	334	6
3	45584.0	-9	18(8)	7(5)	83	3011	5	1510	4	104	5
5	45586.0	-13	23(9)	11(5)	85	2935	5	1424	4	155	5
7	45588.0	-92	3(3)	2(2)	7	2108	1	1442	2	99999	
2	45590.0	0	15(4)	6(2)	99	2827	6	1257	5	180	2
4	45592.0	1	25(7)	12(4)	79	2788	4	1173	3	200	3
6	45594.0	-31	13(5)	4(2)	90	2749	6	1116	5	107	5
1	45596.0	19	16(6)	1(1)	83	2703	5	1015	4	124	4
3	45598.0	-15	19(7)	5(3)	88	2624	5	963	4	157	2
5	45600.0	-11	16(9)	7(4)	76	2573	5	889	4	211	2
7	45602.0	-40	8(4)	4(2)	80	2474	9	906	7	192	6
2	45604.0	-3	21(10)	5(4)	83	2402	4	791	4	158	3
4	45606.0	-12	18(11)	11(7)	84	2330	6	740	5	161	5
6	45608.0	-35	8(7)	7(6)	94	2265	7	772	10	216	5
1	45610.0	43	6(4)	2(2)	21	2086	4	603	2	414	2
3	45612.0	-13	27(12)	11(6)	72	2136	3	562	3	214	4
5	45614.0	-5	31(14)	13(7)	87	2060	4	517	3	222	5
7	45616.0	-34	10(7)	6(5)	57	2003	5	543	4	211	4
2	45618.0	1	19(10)	7(4)	88	1932	5	420	4	224	2
4	45620.0	-20	22(13)	14(8)	78	1848	4	391	4	217	2
6	45622.0	-31	25(11)	11(6)	88	1782	4	362	3	172	5
1	45624.0	-9	16(10)	6(5)	89	1671	6	340	4	208	8
3	45626.0	-7	23(11)	8(5)	79	1613	5	301	4	201	3
5	45628.0	-9	24(12)	15(9)	85	1518	6	299	4	193	3
7	45630.0	-20	25(10)	16(7)	83	1425	4	219	4	217	1
2	45632.0	-1	24(10)	14(6)	104	1303	6	204	5	215	4
4	45634.0	6	38(12)	19(7)	78	1235	4	191	3	250	4
6	45636.0	-15	35(14)	23(8)	92	1140	4	195	4	230	3
1	45638.0	-6	20(9)	5(3)	81	999	6	173	4	230	2
3	45640.0	-5	23(10)	11(4)	86	976	5	151	4	241	2
5	45642.0	-15	24(10)	10(4)	74	906	4	158	3	284	4
7	45644.0	-11	8(5)	3(2)	56	823	6	223	3	372	4
2	45646.0	-10	23(8)	5(2)	90	700	7	133	4	241	3
4	45648.0	-18	27(12)	9(6)	105	597	6	151	4	230	3
6	45650.0	-9	16(8)	8(5)	115	550	8	182	7	264	3
1	45652.0	3	15(6)	11(4)	84	426	7	118	6	199	5
3	45654.0	-17	21(11)	10(5)	69	351	5	163	3	205	4
5	45656.0	-7	26(11)	16(6)	70	267	4	180	4	229	4
7	45658.0	-2	8(5)	8(5)	49	158	4	263	5	272	3
2	45660.0	-1	27(11)	15(6)	65	91	3	200	3	238	1
4	45662.0	-6	22(9)	13(6)	86	-9	4	222	4	223	5
6	45664.0	-1	10(6)	7(4)	52	-116	4	273	5	168	7
1	45666.0	28	4(3)	1(1)	72	-468	8	-1954	7	-380	8
3	45668.0	0	15(6)	10(4)	79	-250	5	276	5	174	2
5	45670.0	0	23(8)	16(5)	91	-343	5	324	5	204	2
7	45672.0	8	10(6)	9(5)	81	-414	8	278	11	246	7

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X \pm S$		$Y \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X		MM	0,0001	0,0001	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45581.0	1	1(1)	0(0)	33	3337999		1788999		-291999	
2	45583.0	26	12(7)	5(4)	95	3043	7	1548	5	153	3
4	45585.0	8	20(7)	7(4)	86	2967	5	1440	4	149	4
6	45587.0	-36	12(7)	6(4)	61	2905	5	1393	5	208	4
1	45589.0	50	8(4)	3(2)	27	2845	3	1307	2	190	3
3	45591.0	4	21(6)	11(4)	77	2811	4	1188	3	131	3
5	45593.0	-18	22(6)	9(3)	91	2760	5	1122	4	167	2
7	45595.0	5	9(3)	1(1)	84	2747	7	1068	5	173	3
2	45597.0	-1	23(7)	3(2)	87	2664	5	985	3	172	4
4	45599.0	-9	17(9)	8(4)	96	2602	6	930	5	171	6
6	45601.0	-22	11(6)	5(3)	84	2524	8	860	5	187	4
1	45603.0	20	11(5)	2(1)	72	2437	5	818	4	202	2
3	45605.0	-4	23(12)	8(6)	78	2386	5	752	4	195	3
5	45607.0	-30	14(8)	12(6)	57	2303	4	730	5	233	6
7	45609.0	-75	3(3)	3(3)	96	3016	17	7288	49	233	37
2	45611.0	15	20(12)	8(6)	66	2155	4	577	3	193	3
4	45613.0	-1	27(13)	10(7)	81	2106	4	555	3	219	2
6	45615.0	-36	23(14)	13(7)	79	2062	4	510	4	227	4
1	45617.0	-1	12(7)	3(2)	79	1980	6	392	5	224	7
3	45619.0	-8	22(12)	12(7)	88	1877	5	396	4	206	3
5	45621.0	9	26(13)	14(7)	82	1802	4	372	3	198	5
7	45623.0	-22	18(7)	8(4)	84	1727	6	328	4	157	3
2	45625.0	-3	22(12)	8(6)	96	1651	6	316	4	188	3
4	45627.0	-6	23(10)	10(6)	82	1569	5	293	4	175	4
6	45629.0	-18	22(11)	15(8)	86	1473	5	255	4	218	6
1	45631.0	-14	21(6)	14(4)	69	1383	4	236	4	227	3
3	45633.0	-13	32(12)	17(7)	98	1285	5	183	4	229	2
5	45635.0	-13	46(16)	25(10)	80	1193	4	193	3	217	2
7	45637.0	-31	22(10)	13(6)	94	1095	5	175	5	219	5
2	45639.0	1	21(9)	6(3)	89	1022	6	151	4	244	6
4	45641.0	-8	25(12)	11(5)	78	929	4	135	3	245	3
6	45643.0	-36	15(7)	6(3)	66	879	5	183	3	276	2
1	45645.0	6	13(6)	3(1)	86	787	8	133	4	195	3
3	45647.0	-1	28(11)	8(5)	106	639	6	138	4	220	5
5	45649.0	-18	20(12)	8(6)	110	571	7	141	5	164	7
7	45651.0	-34	17(8)	11(5)	82	531	6	153	5	225	4
2	45653.0	-17	19(11)	12(7)	87	381	6	151	5	235	4
4	45655.0	-4	20(12)	9(6)	74	319	5	172	4	249	3
6	45657.0	-41	19(10)	14(6)	59	240	4	174	4	199	5
1	45659.0	33	20(11)	13(6)	63	113	4	196	3	237	6
3	45661.0	-8	25(11)	15(7)	69	32	4	227	3	241	4
5	45663.0	-36	13(7)	8(5)	88	-58	5	211	6	155	3
7	45665.0	-55	6(3)	3(2)	48	-211	5	285	4	41	5
2	45667.0	4	10(6)	6(4)	88	-285	6	322	6	136	6
4	45669.0	5	21(9)	14(6)	69	-286	4	311	4	249	5
6	45671.0	-36	15(7)	12(5)	89	-347	6	313	6	231	4
1	45673.0	28	19(7)	13(4)	82	-468	5	362	5	201	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	45674.0	-6	29(10)	18(6)	84	-494	4	386	4	192	5
4	45676.0	-13	24(8)	16(4)	78	-569	4	385	4	168	3
6	45678.0	-14	19(9)	12(5)	111	-626	7	445	6	165	3
1	45680.0	4	18(9)	10(4)	106	-690	8	443	6	153	3
3	45682.0	1	21(10)	13(6)	132	-733	10	480	7	216	8
5	45684.0	-6	23(8)	15(5)	94	-828	6	550	5	201	8
7	45686.0	-31	11(6)	6(4)	107	-879	10	583	8	202	6
2	45688.0	26	19(11)	7(4)	72	-928	5	633	3	218	4
4	45690.0	-46	11(8)	7(5)	47	-1011	4	669	3	197	1
6	45692.0	-27	15(7)	7(3)	66	-1038	4	725	4	196	5
1	45694.0	15	5(2)	5(2)	64	-1057	6	908	14	29	16
3	45696.0	14	8(4)	8(4)	74	-1165	6	771	13	212	14
5	45698.0	-4	25(10)	15(5)	64	-1200	3	851	4	206	2
7	45700.0	-36	8(4)	7(3)	60	-1228	5	820	7	74	2
2	45702.0	-30	9(4)	9(4)	69	-1121	4	1150	7	158	7
4	45704.0	-13	21(11)	13(7)	63	-1354	3	991	4	207	5
6	45706.0	-9	14(7)	6(4)	36	-1462	3	1041	2	160	3
1	45708.0	19	6(4)	4(3)	10	-1649	2	2361	2	-2771	1
3	45710.0	-10	21(8)	9(4)	54	-1528	3	1178	3	174	1
5	45712.0	-34	24(10)	8(5)	78	-1575	4	1222	3	168	4
7	45714.0	-11	11(6)	8(4)	82	-1644	7	1291	6	124	8
2	45716.0	10	21(7)	14(4)	65	-1632	3	1365	3	147	4
4	45718.0	-16	29(14)	13(7)	65	-1684	4	1407	3	160	2
6	45720.0	-28	21(8)	8(4)	85	-1710	5	1507	4	182	2
1	45722.0	5	9(4)	4(2)	43	-1834	4	1576	3	158	5
3	45724.0	3	20(9)	7(5)	60	-1786	4	1667	3	118	4
5	45726.0	-19	34(11)	11(6)	73	-1895	3	1677	3	143	2
7	45728.0	-7	15(6)	6(3)	52	-1935	5	1770	3	129	2
2	45730.0	0	13(8)	6(4)	55	-1972	5	1839	4	160	2
4	45732.0	-22	22(10)	5(3)	59	-2000	4	1895	3	110	4
6	45734.0	-19	10(6)	2(2)	48	-2040	6	2031	4	85	5
1	45736.0	-28	5(4)	5(4)	27	-1904	4	1577	9	614	6
3	45738.0	-19	26(9)	6(3)	51	-2121	3	2052	2	163	1
5	45740.0	-13	23(10)	11(5)	64	-2138	4	2162	3	184	2
7	45742.0	-19	18(7)	13(5)	86	-2148	7	2262	7	162	11
2	45744.0	-28	16(5)	12(3)	61	-2210	3	2299	4	180	5
4	45746.0	19	13(6)	5(2)	71	-2237	6	2352	5	226	7
6	45748.0	2	22(9)	15(5)	53	-2253	3	2410	3	157	2
1	45750.0	10	17(7)	9(4)	99	-2264	6	2451	6	122	3
3	45752.0	-9	23(8)	10(3)	97	-2253	8	2571	5	198	6
5	45754.0	-13	18(9)	3(3)	59	-2333	4	2610	3	174	4
7	45756.0	-12	11(5)	5(3)	83	-2353	11	2641	6	156	5
2	45758.0	12	16(10)	3(3)	64	-2375	8	2802	5	127	3
4	45760.0	-8	32(13)	17(6)	111	-2352	6	2846	6	202	3
6	45762.0	-20	23(11)	9(6)	79	-2378	5	2945	4	186	5
1	45764.0	-9	5(3)	3(2)	41	-2316	5	3078	4	414	9
3	45766.0	11	14(9)	9(6)	80	-2368	5	3128	6	213	6
5	45768.0	22	16(7)	10(3)	36	-2405	2	3193	3	210	3
7	45770.0	-24	13(7)	11(5)	72	-2400	5	3311	7	203	3
2	45772.0	16	18(8)	11(5)	78	-2349	4	3363	4	179	4
4	45774.0	1	14(8)	9(5)	80	-2295	8	3477	6	165	10
6	45776.0	-6	14(7)	12(5)	78	-2286	5	3553	8	178	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45675.0	-5	29(10)	18(6)	89	-548	4	384	4	185	4
5	45677.0	3	21(7)	14(3)	71	-607	4	410	4	194	3
7	45679.0	-21	16(7)	11(5)	108	-673	9	503	7	224	7
2	45681.0	-19	18(10)	9(6)	112	-696	7	454	5	155	5
4	45683.0	4	23(9)	16(5)	99	-780	6	529	5	181	3
6	45685.0	-21	20(8)	11(4)	109	-879	8	602	7	155	5
1	45687.0	-15	9(5)	3(2)	78	-919	10	606	5	132	10
3	45689.0	-18	23(11)	11(5)	81	-966	4	651	4	180	5
5	45691.0	32	12(7)	5(3)	66	-1039	5	718	5	176	6
7	45693.0	-7	9(6)	7(4)	72	-1106	5	727	7	181	3
2	45695.0	-12	6(4)	6(4)	44	-1177	4	640	10	192	6
4	45697.0	15	17(8)	11(4)	77	-1164	5	821	6	175	5
6	45699.0	-40	17(7)	12(5)	56	-1199	3	876	3	219	4
1	45701.0	39	8(2)	8(2)	62	-1100	3	1000	6	270	8
3	45703.0	12	14(6)	12(5)	62	-1309	4	987	6	229	5
5	45705.0	-16	18(7)	8(4)	54	-1388	3	1016	3	182	2
7	45707.0	-47	7(4)	3(2)	20	-1409	3	1102	3	235	8
2	45709.0	24	14(7)	6(3)	44	-1500	3	1161	3	160	6
4	45711.0	-3	28(10)	12(5)	48	-1563	3	1216	2	174	2
6	45713.0	-26	15(7)	6(3)	96	-1571	8	1235	6	153	3
1	45715.0	10	12(4)	10(3)	69	-1617	4	1312	6	152	3
3	45717.0	-7	28(10)	12(4)	67	-1659	3	1376	3	142	3
5	45719.0	-5	28(12)	14(6)	85	-1703	5	1450	4	142	6
7	45721.0	-17	12(8)	6(4)	54	-1747	4	1527	3	84	2
2	45723.0	0	12(6)	4(2)	66	-1857	6	1586	5	132	4
4	45725.0	0	30(11)	10(6)	73	-1868	4	1676	3	134	2
6	45727.0	-24	25(10)	9(5)	69	-1893	4	1732	3	129	4
1	45729.0	-4	12(5)	7(4)	63	-1948	5	1780	5	150	12
3	45731.0	0	21(9)	8(5)	53	-1990	4	1877	3	124	4
5	45733.0	-42	15(7)	0(0)	47	-1999	5	1905	2	127	2
7	45735.0	-29	6(5)	3(3)	57	-2096	7	1891	7	-309	8
2	45737.0	17	15(10)	5(4)	44	-2124	3	2022	3	130	3
4	45739.0	-21	27(9)	12(4)	57	-2109	3	2120	3	169	2
6	45741.0	-25	20(9)	8(5)	62	-2153	4	2188	3	154	3
1	45743.0	3	18(7)	16(5)	79	-2188	5	2263	8	170	6
3	45745.0	-16	10(4)	6(2)	66	-2202	5	2290	5	170	5
5	45747.0	4	22(9)	11(5)	69	-2258	5	2367	4	163	4
7	45749.0	-32	18(6)	14(4)	70	-2248	4	2436	5	154	6
2	45751.0	-1	22(8)	10(4)	108	-2267	7	2525	5	150	5
4	45753.0	-20	19(8)	7(3)	70	-2302	5	2571	3	157	2
6	45755.0	-26	17(9)	4(3)	79	-2375	8	2650	5	182	4
1	45757.0	-3	10(6)	3(1)	78	-2402	9	2714	6	169	6
3	45759.0	9	25(12)	11(6)	81	-2368	5	2843	4	207	6
5	45761.0	-17	27(11)	12(5)	104	-2371	5	2872	5	170	5
7	45763.0	-31	14(8)	8(5)	93	-2369	7	2971	6	152	3
2	45765.0	15	10(7)	4(4)	43	-2326	6	2985	3	229	3
4	45767.0	-16	13(7)	11(5)	82	-2391	5	3153	10	245	16
6	45769.0	-4	19(10)	13(6)	70	-2401	4	3224	4	178	5
1	45771.0	24	14(9)	10(6)	65	-2355	4	3334	4	242	9
3	45773.0	-4	19(9)	13(5)	87	-2337	6	3400	6	189	3
5	45775.0	21	15(8)	12(5)	86	-2347	7	3482	9	219	5
7	45777.0	14	10(5)	9(4)	56	-2263	4	3590	7	239	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45778.0	-6	12(5)	10(3)	91	-2274	9	3393	23	-5	17
3	45780.0	-1	38(13)	24(6)	99	-2244	5	3712	5	194	3
5	45782.0	-11	25(10)	15(6)	105	-2238	6	3766	6	241	9
7	45784.0	-49	19(10)	10(5)	64	-2216	5	3842	4	109	5
2	45786.0	0	18(10)	11(5)	56	-2163	4	3943	4	223	5
4	45788.0	-18	23(10)	7(4)	58	-2149	3	3996	2	203	2
6	45790.0	8	20(10)	13(6)	73	-2088	3	4080	4	174	2
1	45792.0	26	10(6)	8(4)	69	-2025	6	4164	6	196	4
3	45794.0	-11	18(7)	2(1)	70	-2050	6	4237	4	190	6
5	45796.0	-17	21(8)	7(3)	60	-1981	5	4273	3	223	3
7	45798.0	-22	26(10)	7(4)	62	-1924	3	4355	3	166	2
2	45800.0	-9	22(11)	7(5)	84	-1859	4	4441	4	220	2
4	45802.0	28	23(9)	13(5)	84	-1803	6	4515	6	215	5
6	45804.0	-16	43(13)	19(6)	69	-1751	3	4591	2	227	4
1	45806.0	-15	33(14)	16(8)	71	-1684	3	4644	3	185	2
3	45808.0	-5	40(16)	24(10)	80	-1631	4	4715	3	197	2
5	45810.0	-15	25(14)	18(9)	82	-1563	4	4761	6	225	3
7	45812.0	0	16(6)	10(4)	86	-1504	5	4854	8	234	6
2	45814.0	-10	31(12)	21(9)	94	-1485	5	4881	4	210	5
4	45816.0	-2	53(16)	30(9)	82	-1409	3	4944	3	191	3
6	45818.0	-10	32(14)	19(8)	74	-1354	3	5005	3	211	2
1	45820.0	-47	13(8)	6(4)	76	-1290	7	5060	5	223	2
3	45822.0	0	29(12)	16(7)	70	-1168	4	5153	3	176	3
5	45824.0	-19	25(10)	11(5)	69	-1132	3	5173	3	192	4
7	45826.0	-10	24(9)	9(5)	63	-1066	4	5227	3	189	3
2	45828.0	4	23(9)	9(6)	74	-967	4	5270	3	192	2
4	45830.0	-7	28(9)	13(4)	58	-865	3	5350	2	149	1
6	45832.0	8	15(7)	11(4)	65	-802	4	5395	6	211	3
1	45834.0	16	29(12)	14(7)	82	-772	4	5416	4	163	5
3	45836.0	0	35(12)	14(5)	76	-686	3	5433	3	158	3
5	45838.0	-2	39(13)	22(6)	66	-624	2	5455	2	151	2
7	45840.0	-10	31(11)	12(6)	75	-548	5	5497	3	154	2
2	45842.0	9	46(15)	15(7)	72	-468	3	5508	2	173	2
4	45844.0	-22	38(13)	12(5)	67	-393	3	5536	2	149	3
6	45846.0	-7	32(10)	6(4)	70	-274	4	5582	2	141	3
1	45848.0	10	13(6)	5(3)	74	-213	7	5571	5	109	4
3	45850.0	22	34(14)	13(6)	86	-119	4	5592	3	159	2
5	45852.0	-12	49(15)	16(6)	76	-39	3	5592	2	160	3
7	45854.0	-6	38(12)	17(6)	77	73	3	5615	3	118	4
2	45856.0	-11	28(9)	5(3)	78	111	4	5603	3	114	3
4	45858.0	-4	30(11)	12(5)	63	236	4	5593	2	120	2
6	45860.0	-5	31(12)	12(4)	57	313	3	5593	2	123	1
1	45862.0	4	25(12)	6(4)	84	393	5	5569	3	131	4
3	45864.0	-12	27(11)	10(6)	80	484	4	5583	3	105	5
5	45866.0	14	34(13)	16(5)	66	573	3	5566	3	165	4
7	45868.0	-1	25(12)	14(6)	61	666	3	5592	3	94	2
2	45870.0	-10	36(10)	14(5)	70	732	3	5552	2	86	1
4	45872.0	-13	28(14)	16(9)	76	823	4	5559	4	98	4
6	45874.0	0	23(10)	13(7)	70	889	4	5516	4	116	6
1	45876.0	14	19(8)	13(6)	50	965	3	5518	3	109	3
3	45878.0	-5	35(12)	21(7)	87	1055	3	5515	4	141	2
5	45880.0	-15	32(11)	11(5)	68	1146	3	5475	2	117	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	45779.0	35	21(10)	13(5)	117	-2255	7	3674	8	252	14
4	45781.0	-6	38(13)	25(8)	101	-2235	5	3753	5	232	5
6	45783.0	-12	25(11)	13(5)	64	-2247	4	3804	3	214	3
1	45785.0	16	13(8)	10(6)	71	-2153	6	3867	7	196	5
3	45787.0	-9	20(11)	10(5)	60	-2149	3	3970	3	204	3
5	45789.0	-13	21(9)	8(3)	60	-2124	3	4028	3	202	4
7	45791.0	-26	16(7)	10(4)	66	-2078	4	4108	5	206	3
2	45793.0	-14	15(8)	8(4)	57	-2042	4	4179	4	191	2
4	45795.0	-10	21(9)	3(2)	81	-2003	6	4234	4	181	3
6	45797.0	-6	27(11)	8(4)	63	-1950	4	4323	3	176	3
1	45799.0	-9	25(9)	6(3)	58	-1898	3	4408	2	227	3
3	45801.0	-22	15(11)	8(7)	94	-1837	7	4432	7	189	4
5	45803.0	1	38(14)	20(8)	81	-1758	4	4561	3	192	2
7	45805.0	-10	37(12)	15(6)	58	-1725	2	4619	2	204	2
2	45807.0	-1	39(16)	20(9)	72	-1655	3	4676	3	242	5
4	45809.0	-18	36(14)	27(9)	84	-1607	4	4750	4	227	4
6	45811.0	-2	16(7)	11(4)	91	-1513	5	4810	5	201	6
1	45813.0	34	21(7)	15(5)	105	-1500	6	4882	7	219	5
3	45815.0	7	40(14)	23(8)	72	-1448	3	4917	3	229	2
5	45817.0	-20	49(15)	29(9)	87	-1384	3	4966	3	192	4
7	45819.0	-25	24(12)	12(6)	78	-1305	4	5050	4	181	4
2	45821.0	27	15(7)	8(4)	62	-1205	5	5119	4	185	6
4	45823.0	2	31(13)	15(7)	79	-1155	3	5160	3	222	2
6	45825.0	-7	24(9)	8(4)	60	-1104	3	5193	3	203	2
1	45827.0	0	23(8)	9(4)	57	-988	3	5259	3	184	2
3	45829.0	16	26(8)	12(5)	73	-923	4	5311	3	167	4
5	45831.0	-18	20(9)	9(5)	58	-832	4	5377	3	192	2
7	45833.0	24	20(9)	14(6)	85	-789	5	5409	6	144	4
2	45835.0	-2	34(13)	13(6)	73	-724	4	5423	3	157	2
4	45837.0	-2	40(12)	22(6)	66	-658	3	5444	3	166	3
6	45839.0	-11	34(13)	14(6)	64	-592	3	5485	2	159	3
1	45841.0	-1	31(12)	8(6)	73	-510	4	5498	3	157	3
3	45843.0	-7	51(13)	16(5)	70	-436	3	5519	2	171	1
5	45845.0	-13	29(10)	7(4)	54	-331	3	5555	2	137	2
7	45847.0	-29	25(11)	5(4)	83	-274	5	5576	3	164	4
2	45849.0	31	16(9)	9(5)	74	-175	4	5584	4	163	4
4	45851.0	6	51(15)	16(6)	82	-71	3	5592	2	145	3
6	45853.0	-10	42(14)	15(6)	74	19	3	5603	2	172	2
1	45855.0	-5	35(10)	13(6)	75	100	3	5617	3	160	2
3	45857.0	-4	26(10)	5(4)	56	160	3	5583	2	143	3
5	45859.0	-4	31(13)	12(5)	59	278	3	5600	2	127	3
7	45861.0	-8	26(11)	7(3)	73	360	4	5595	3	92	4
2	45863.0	4	30(12)	9(6)	86	421	4	5581	3	104	3
4	45865.0	-4	25(13)	12(7)	65	546	4	5590	3	108	3
6	45867.0	-27	31(12)	14(4)	73	607	3	5577	3	109	4
1	45869.0	18	35(11)	19(6)	62	685	3	5548	2	100	3
3	45871.0	-15	35(14)	18(7)	70	772	3	5557	3	129	3
5	45873.0	-22	21(8)	13(5)	87	871	5	5555	5	113	3
7	45875.0	-21	17(8)	10(6)	58	925	3	5521	4	108	2
2	45877.0	21	28(9)	18(6)	80	1025	4	5522	4	100	4
4	45879.0	-4	38(11)	19(6)	67	1082	3	5477	3	116	3
6	45881.0	-26	23(11)	10(5)	69	1212	4	5479	3	142	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45882.0	22	19(10)	13(6)	72	1249	5	5459	5	94	5
2	45884.0	19	22(8)	13(5)	62	1353	3	5425	3	68	4
4	45886.0	-2	20(9)	13(6)	62	1421	3	5389	3	67	3
6	45888.0	1	21(11)	15(8)	69	1511	4	5341	4	47	3
1	45890.0	27	25(10)	19(7)	77	1604	4	5273	4	121	3
3	45892.0	13	32(10)	20(6)	56	1661	2	5254	2	69	3
5	45894.0	-13	32(14)	11(7)	83	1743	5	5220	3	72	5
7	45896.0	-37	10(7)	3(2)	78	1763	9	5134	5	38	6
2	45898.0	14	21(12)	8(4)	61	1876	4	5092	3	117	3
4	45900.0	5	23(11)	9(4)	57	1964	3	5061	3	104	1
6	45902.0	-22	26(10)	11(5)	79	2038	5	5003	3	96	5
1	45904.0	15	24(9)	16(6)	56	2133	3	4943	3	88	4
3	45906.0	-27	25(12)	10(6)	65	2208	3	4904	3	117	3
5	45908.0	-12	21(9)	9(4)	64	2271	3	4842	3	118	2
7	45910.0	-7	24(9)	12(4)	73	2348	4	4806	3	86	1
2	45912.0	11	35(11)	20(5)	76	2425	4	4733	3	130	3
4	45914.0	-20	30(13)	13(7)	66	2481	4	4698	3	117	4
6	45916.0	-20	36(13)	15(6)	67	2528	3	4611	2	88	2
1	45918.0	13	18(8)	14(6)	107	2573	7	4585	9	104	5
3	45920.0	1	45(14)	19(6)	69	2677	3	4486	3	118	1
5	45922.0	-22	38(11)	17(5)	74	2714	3	4430	3	143	3
7	45924.0	-35	17(7)	5(2)	64	2800	5	4377	4	158	4
2	45926.0	20	33(14)	16(7)	78	2844	4	4263	3	124	3
4	45928.0	11	38(14)	16(7)	66	2914	3	4216	3	157	2
6	45930.0	-11	23(12)	9(5)	65	2948	4	4178	3	147	2
1	45932.0	36	19(11)	13(8)	73	3010	5	4073	5	162	4
3	45934.0	4	45(17)	17(8)	75	3018	3	3997	2	150	3
5	45936.0	-10	38(17)	8(7)	64	3036	4	3930	2	125	3
7	45938.0	-36	21(12)	6(4)	66	3041	5	3877	3	124	2
2	45940.0	-2	33(16)	16(7)	96	3041	5	3749	4	124	2
4	45942.0	-2	41(15)	11(6)	83	3077	4	3676	3	125	4
6	45944.0	-1	40(17)	19(8)	71	3071	3	3611	3	180	5
1	45946.0	2	27(11)	20(8)	102	3085	6	3540	6	183	6
3	45948.0	0	30(13)	15(7)	68	3092	3	3467	3	170	2
5	45950.0	-4	31(14)	13(8)	70	3119	4	3390	3	118	1
7	45952.0	2	17(10)	8(4)	60	3129	4	3318	3	127	3
2	45954.0	20	32(12)	12(5)	66	3158	3	3227	3	172	3
4	45956.0	-14	39(15)	15(7)	65	3164	3	3158	2	151	2
6	45958.0	-24	26(10)	9(4)	71	3170	4	3071	3	122	2
1	45960.0	31	16(8)	7(4)	53	3192	4	2980	3	200	2
3	45962.0	-6	35(13)	10(6)	71	3213	4	2903	2	204	2
5	45964.0	-6	40(14)	9(4)	70	3217	3	2836	3	192	3
7	45966.0	-34	27(13)	8(5)	66	3227	3	2793	3	147	2
2	45968.0	18	25(13)	9(6)	63	3233	4	2667	3	187	2
4	45970.0	-15	33(12)	11(6)	70	3217	4	2624	3	179	2
6	45972.0	-18	24(12)	12(7)	62	3234	3	2549	3	151	5
1	45974.0	16	13(7)	3(2)	92	3227	11	2440	7	233	10
3	45976.0	0	38(15)	18(8)	56	3177	3	2374	2	209	2
5	45978.0	-1	29(11)	10(6)	53	3139	3	2303	2	193	2
7	45980.0	-36	24(14)	8(4)	57	3134	4	2258	3	137	2
2	45982.0	15	30(14)	9(5)	62	3108	4	2133	3	187	3
4	45984.0	-38	31(14)	5(4)	60	3063	5	2103	3	177	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45883.0	-4	16(10)	12(7)	61	1306	4	5431	4	42	3
3	45885.0	-5	23(9)	14(6)	62	1379	3	5402	3	55	3
5	45887.0	9	23(10)	16(7)	70	1466	4	5363	4	77	4
7	45889.0	-8	21(8)	16(5)	72	1515	4	5292	4	41	5
2	45891.0	-1	31(12)	19(7)	72	1625	3	5282	3	88	4
4	45893.0	3	30(10)	16(5)	68	1695	3	5237	3	100	4
6	45895.0	-28	25(12)	7(6)	87	1805	7	5204	4	42	4
1	45897.0	34	10(7)	6(3)	60	1832	5	5126	5	39	5
3	45899.0	-18	25(11)	8(3)	51	1922	4	5086	2	57	4
5	45901.0	2	29(12)	13(6)	79	2005	4	5031	3	70	4
7	45903.0	6	18(8)	10(4)	53	2076	3	4970	3	93	2
2	45905.0	20	33(14)	18(8)	77	2167	4	4917	3	103	2
4	45907.0	-3	20(8)	9(4)	59	2240	4	4859	3	121	3
6	45909.0	5	24(9)	11(4)	77	2323	4	4824	4	138	5
1	45911.0	29	23(8)	14(5)	55	2400	3	4767	3	123	3
3	45913.0	-6	36(13)	17(7)	79	2455	4	4719	3	91	2
5	45915.0	6	39(16)	17(9)	68	2523	3	4652	2	114	2
7	45917.0	-28	22(11)	12(5)	67	2588	5	4601	4	110	5
2	45919.0	5	26(14)	15(8)	92	2638	5	4517	5	132	6
4	45921.0	2	49(13)	21(6)	69	2694	3	4453	2	107	2
6	45923.0	-8	29(10)	10(5)	76	2769	5	4397	3	141	2
1	45925.0	24	17(8)	11(5)	53	2839	4	4310	3	72	2
3	45927.0	-17	35(14)	14(7)	72	2865	4	4245	3	163	4
5	45929.0	-20	35(16)	13(8)	70	2922	4	4202	3	147	4
7	45931.0	-10	18(11)	9(6)	56	2973	4	4155	3	163	3
2	45933.0	15	36(16)	18(8)	80	2996	4	4016	3	78	3
4	45935.0	-16	39(15)	13(6)	68	3015	3	3956	2	133	2
6	45937.0	-29	34(9)	3(2)	55	3087	3	3927	2	121	4
1	45939.0	42	22(8)	15(5)	111	3066	6	3754	7	104	8
3	45941.0	-13	38(16)	10(7)	71	3070	5	3734	3	172	4
5	45943.0	-18	44(15)	17(6)	83	3065	4	3634	3	155	2
7	45945.0	-11	32(14)	19(8)	83	3089	4	3587	4	169	3
2	45947.0	11	24(10)	16(6)	79	3075	4	3508	4	172	4
4	45949.0	-9	35(13)	14(7)	60	3105	3	3422	2	181	5
6	45951.0	-28	24(12)	9(5)	68	3148	4	3371	3	187	3
1	45953.0	8	17(6)	9(4)	54	3142	3	3259	3	140	2
3	45955.0	3	45(13)	17(5)	65	3170	3	3187	2	154	1
5	45957.0	-1	33(12)	13(5)	72	3156	3	3102	3	176	3
7	45959.0	-16	15(10)	5(4)	55	3183	4	3027	3	196	4
2	45961.0	15	27(11)	9(4)	62	3190	4	2938	3	208	3
4	45963.0	-12	33(12)	9(5)	71	3225	4	2870	3	175	2
6	45965.0	-8	43(14)	12(5)	66	3217	3	2800	2	176	2
1	45967.0	22	18(8)	7(4)	68	3219	6	2722	4	176	4
3	45969.0	0	38(11)	15(5)	71	3231	3	2652	3	188	3
5	45971.0	-11	27(12)	8(6)	59	3240	3	2574	2	188	2
7	45973.0	-23	15(7)	7(3)	66	3235	5	2497	4	261	3
2	45975.0	25	28(12)	9(6)	64	3192	4	2410	3	237	2
4	45977.0	-8	32(12)	15(7)	48	3167	2	2342	2	176	3
6	45979.0	-10	33(15)	11(6)	54	3155	3	2264	3	191	3
1	45981.0	-1	14(7)	5(3)	62	3113	6	2174	4	187	5
3	45983.0	-4	43(18)	10(7)	62	3088	4	2119	2	187	2
5	45985.0	3	25(17)	9(6)	64	3032	5	2059	4	187	3

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$V_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	45986.0	-2	28(13)	15(7)	76	3022	4	2000	4	220	4
1	45988.0	7	23(12)	13(6)	84	2990	5	1923	5	197	4
3	45990.0	-3	40(16)	19(8)	82	2974	4	1855	3	179	1
5	45992.0	-15	44(19)	22(9)	87	2951	4	1810	4	195	4
7	45994.0	6	17(7)	11(4)	57	2905	3	1746	3	189	4
2	45996.0	15	25(12)	11(7)	73	2839	5	1680	4	202	4
4	45998.0	5	42(14)	15(7)	86	2864	4	1609	4	193	2
6	46000.0	-5	33(15)	19(8)	72	2821	4	1557	3	232	1
1	46002.0	35	22(10)	11(5)	63	2733	6	1485	5	295	4
3	46004.0	-1	43(13)	27(8)	91	2684	4	1419	4	188	3

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$V_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45987.0	-2	26(11)	16(5)	72	3008	4	1968	4	206	5
2	45989.0	28	31(14)	17(7)	79	2985	4	1866	4	177	5
4	45991.0	14	49(21)	22(10)	89	2952	4	1829	3	190	4
6	45993.0	-3	24(10)	13(4)	63	2946	4	1799	4	209	2
1	45995.0	-11	19(9)	8(4)	77	2877	6	1717	5	179	3
3	45997.0	2	35(15)	13(7)	86	2858	5	1638	4	196	3
5	45999.0	-4	40(15)	20(8)	91	2838	4	1607	4	218	4
7	46001.0	-35	22(11)	11(4)	61	2807	4	1542	4	227	2
2	46003.0	29	42(15)	25(8)	84	2709	4	1439	4	191	7
4	46005.0	-47	17(11)	11(7)	64	2671	4	1418	3	227	2

Erläuterung der Symbole s. Tab. 9

Tab. 12: Polkoordinaten (x_p, y_p) und Tageslänge (LOD) für 50 % überlappende Lösungen von 1 Tag

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45582.0	29	2(1)	0(0)	72	4852890	977302	-21	83		
2	45583.0	27	6(6)	4(4)	104	3064 13	1538 11	84	9		
3	45584.0	0	10(5)	3(2)	71	2982 7	1518 5	131	7		
4	45585.0	5	11(6)	5(3)	94	2972 6	1449 5	182	7		
5	45586.0	5	10(6)	4(3)	86	2926 8	1429 8	165	4		
6	45587.0	-14	7(3)	4(2)	85	2928 12	1377 11	183	4		
1	45589.0	122	3(1)	0(0)	79	3135 45	1158 19	416	28		
2	45590.0	-2	9(4)	5(2)	69	2818 6	1182 5	199	3		
3	45591.0	1	10(6)	6(4)	67	2808 5	1147 5	177	2		
4	45592.0	0	15(7)	6(4)	99	2763 7	1183 5	166	2		
5	45593.0	-4	12(5)	6(2)	101	2753 7	1118 5	146	4		
6	45594.0	-4	6(2)	1(1)	59	2736 7	1092 7	111	12		
7	45595.0	2	5(2)	0(0)	141	2781 20	1090 11	162	7		
1	45596.0	12	8(6)	1(1)	83	2723 7	1015 5	135	2		
2	45597.0	2	14(6)	1(1)	82	2647 8	1002 5	158	2		
3	45598.0	-1	9(5)	3(2)	103	2635 8	967 6	180	5		
4	45599.0	16	10(9)	5(4)	94	2584 8	926 8	165	18		
5	45600.0	2	7(5)	2(1)	80	2570 10	906 6	196	4		
6	45601.0	-6	7(4)	5(3)	105	2506 11	861 8	186	3		
7	45602.0	40	2(2)	0(0)	42	2507 8	914 7	208	2		
1	45603.0	29	7(5)	2(1)	86	2437 8	818 6	191	4		
2	45604.0	21	12(8)	2(2)	96	2383 9	800 7	231	15		
3	45605.0	0	10(7)	3(2)	77	2331 9	790 6	192	10		
4	45606.0	-3	11(9)	9(7)	97	2328 7	784 8	165	3		
5	45607.0	-2	5(4)	5(4)	31	2249 3	708 7	203	1		
6	45608.0	-16	5(5)	4(4)	126	2228 12	755 15	167	9		
7	45609.0	-47	1(1)	1(1)	44	2606999	908999	632999			
1	45610.0	28	5(4)	2(2)	31	2099 21	534 6	134	6		
2	45611.0	15	13(9)	5(4)	61	2170 5	610 3	162	1		
3	45612.0	8	14(11)	6(5)	95	2119 5	558 6	210	2		
4	45613.0	9	12(8)	4(4)	91	2091 8	568 7	208	5		
5	45614.0	6	19(13)	9(6)	97	2061 6	501 4	251	9		
6	45615.0	5	9(7)	7(5)	66	2023 6	476 7	200	6		
7	45616.0	15	4(3)	1(1)	119	1969 15	397 10	238	3		
1	45617.0	32	8(6)	1(1)	93	1970 8	388 7	204	3		
2	45618.0	23	9(8)	4(4)	87	1900 9	418 7	208	4		
3	45619.0	8	13(9)	8(5)	107	1850 8	410 7	209	8		
4	45620.0	11	10(9)	6(5)	76	1835 6	395 6	220	8		
5	45621.0	18	16(10)	9(5)	112	1776 9	368 6	213	3		
6	45622.0	1	11(8)	6(5)	107	1766 7	363 7	184	2		
7	45623.0	7	8(5)	2(2)	74	1704 9	353 6	196	7		
1	45624.0	15	10(7)	3(3)	94	1655 8	336 5	190	13		
2	45625.0	27	11(9)	3(3)	90	1668 10	286 6	188	4		
3	45626.0	11	12(8)	4(4)	100	1587 9	291 7	194	2		
4	45627.0	9	10(7)	5(4)	79	1553 7	306 5	204	2		
5	45628.0	6	14(9)	9(7)	109	1496 10	296 7	229	7		
6	45629.0	11	13(8)	9(6)	84	1465 6	273 5	200	11		

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001	0,0001	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	45579.5	-7	9(5)	4(3)	137	3061 12	1560 9	146	3		
7	45581.5	-49	1(1)	0(0)	40	4832999	1288999	-157999			
1	45582.5	-21	2(1)	0(0)	81	4066359	1236116	361	94		
2	45583.5	-4	10(7)	5(4)	110	3028 9	1507 8	119	3		
4	45584.5	2	9(5)	2(2)	63	2970 6	1486 4	150	2		
5	45585.5	-10	12(7)	6(4)	97	2972 7	1444 6	134	6		
6	45586.5	-2	11(7)	5(4)	72	2910 8	1365 7	204	11		
7	45587.5	-43	2(2)	2(2)	40	2908 8	1357 12	193	4		
1	45589.5	0	7(4)	3(2)	63	2822 6	1318 4	179	1		
2	45590.5	-5	8(4)	4(2)	112	2802 9	1209 8	154	5		
3	45591.5	-3	13(6)	7(4)	57	2815 3	1194 3	96	9		
4	45592.5	-4	13(6)	6(3)	86	2772 6	1127 5	197	3		
5	45593.5	-18	10(5)	4(2)	120	2756 9	1093 7	190	3		
6	45594.5	-1	4(3)	1(1)	64	2759 8	1099 7	169	2		
7	45595.5	0	5(2)	0(0)	74	2708 8	1080 5	159	4		
2	45596.5	1	11(6)	1(1)	96	2700 9	1004 7	53	40		
3	45597.5	-5	12(6)	2(2)	81	2631 8	973 4	156	4		
4	45598.5	-14	8(5)	4(2)	108	2634 9	952 8	160	3		
5	45599.5	-13	9(9)	4(4)	90	2589 8	953 8	234	3		
6	45600.5	2	7(5)	3(2)	85	2542 10	892 5	262	4		
7	45601.5	-31	5(3)	3(2)	100	2430 20	892 13	599	38		
1	45602.5	-10	3(3)	1(1)	31	2475 6	820 5	96	3		
2	45603.5	-12	9(5)	2(1)	98	2421 8	775 6	152	2		
3	45604.5	-10	12(9)	3(3)	86	2390 7	800 6	186	3		
4	45605.5	4	11(8)	5(4)	81	2336 8	767 6	170	5		
5	45606.5	-17	8(7)	7(6)	73	2293 9	639 11	500	47		
6	45607.5	-22	6(5)	5(4)	59	2282 6	701 8	200	6		
7	45608.5	-26	3(3)	3(3)	151	2237 23	640 95	165	36		
1	45610.5	-7	6(4)	2(2)	66	2171 11	625 6	187	7		
2	45611.5	-4	14(11)	6(5)	76	2135 5	591 4	218	5		
3	45612.5	-16	13(10)	5(4)	74	2135 5	548 4	249	9		
4	45613.5	0	15(9)	6(4)	88	2062 6	515 5	216	2		
5	45614.5	-11	17(13)	8(6)	97	2080 7	552 6	238	2		
6	45615.5	-26	7(6)	6(5)	59	2034 7	511 8	241	6		
7	45616.5	-12	3(2)	0(0)	78	1959 16	446 8	225	27		
1	45617.5	-18	9(7)	3(2)	93	1966 8	400 7	242	8		
2	45618.5	-9	11(7)	5(3)	106	1902 8	375 7	211	2		
3	45619.5	-11	11(9)	7(6)	101	1846 8	398 7	217	2		
4	45620.5	-17	11(10)	7(6)	76	1834 6	381 7	205	6		
5	45621.5	-11	16(11)	8(6)	87	1784 6	357 4	173	12		
6	45622.5	-17	10(6)	4(3)	96	1768 8	337 7	166	6		
7	45623.5	-16	8(7)	4(4)	70	1703 8	345 6	157	3		
1	45624.5	-16	9(6)	3(3)	111	1674 10	358 6	193	2		
2	45625.5	-8	13(9)	5(4)	86	1636 7	319 5	197	4		
3	45626.5	-3	11(7)	4(3)	88	1585 7	328 6	221	16		
4	45627.5	-7	13(8)	7(5)	85	1560 9	293 5	175	4		
5	45628.5	-18	12(9)	9(7)	97	1503 8	255 7	191	3		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45630.0	15	10(7)	6(4)	89	1413	8	232	7	229	5
1	45631.0	-6	11(6)	7(4)	97	1338	9	199	9	210	4
2	45632.0	13	15(8)	7(4)	124	1301	9	195	7	214	3
3	45633.0	2	15(9)	8(5)	119	1266	9	200	8	213	6
4	45634.0	12	19(10)	7(5)	76	1232	4	212	3	222	7
5	45635.0	9	22(13)	12(8)	101	1179	7	194	5	225	3
6	45636.0	3	22(12)	17(8)	123	1100	7	176	8	226	4
7	45637.0	8	9(7)	4(4)	79	1067	7	201	5	223	2
1	45638.0	10	11(6)	2(1)	89	1003	11	150	6	180	7
2	45639.0	2	11(8)	4(3)	91	1038	10	143	5	300	16
3	45640.0	0	13(9)	6(4)	87	987	6	154	5	266	3
4	45641.0	9	13(10)	6(5)	78	926	6	126	6	257	2
5	45642.0	12	14(8)	5(3)	112	888	9	207	6	294	3
6	45643.0	12	6(4)	3(2)	66	842	8	167	5	324	5
7	45644.0	26	4(4)	2(2)	74	803	11	175	9	164	33
1	45645.0	27	9(5)	2(1)	114	726	18	141	7	230	4
2	45646.0	21	11(7)	1(1)	121	679	12	110	7	242	3
3	45647.0	19	17(11)	6(5)	129	630	11	155	6	234	3
4	45648.0	7	11(8)	3(3)	85	589	7	151	5	236	4
5	45649.0	9	9(7)	3(3)	101	550	9	149	7	243	19
6	45650.0	24	9(6)	5(3)	136	507	12	195	9	217	6
7	45651.0	4	6(5)	4(4)	117	575	23	235	14	232	4
1	45652.0	5	7(4)	6(3)	129	483	15	115	16	278	9
2	45653.0	15	13(9)	7(5)	75	374	6	153	5	294	4
3	45654.0	20	8(6)	4(4)	60	380	8	102	5	109	13
4	45655.0	13	12(9)	4(3)	85	292	7	160	6	218	5
5	45656.0	12	13(9)	9(6)	86	256	7	182	6	210	2
6	45657.0	-16	7(4)	6(3)	72	110	11	136	13	228	3
7	45658.0	-24	2(2)	2(2)	39	173	6	249	10	230	3
1	45659.0	10	12(5)	8(3)	69	126	5	169	5	199	13
2	45660.0	1	13(9)	5(4)	59	89	5	210	3	222	3
3	45661.0	2	13(9)	8(6)	86	18	7	221	5	239	2
4	45662.0	1	13(8)	9(6)	104	-2	7	227	8	196	2
5	45663.0	-20	5(3)	3(2)	54	-72	7	244	6	194	3
6	45664.0	1	7(5)	4(3)	83	-116	6	268	8	267	18
7	45665.0	-11	2(2)	1(1)	64	-113	20	306	9	263	10
1	45666.0	15	1(1)	0(0)	100	2233999		-514999		420999	
2	45667.0	15	8(5)	5(3)	113	-210	8	299	9	199	3
3	45668.0	20	5(4)	4(3)	57	-244	6	327	13	144	15
4	45669.0	3	11(6)	7(4)	73	-294	6	342	7	273	11
5	45670.0	-2	14(6)	9(3)	106	-352	7	310	7	225	5
6	45671.0	-1	8(5)	7(4)	90	-388	9	326	11	227	3
7	45672.0	25	2(2)	1(1)	127	19017999		-6177999		-1561099	
1	45673.0	10	12(6)	8(3)	102	-460	9	365	7	197	4
2	45674.0	7	15(8)	9(5)	68	-516	5	395	4	223	7
3	45675.0	3	16(7)	10(3)	104	-555	7	369	6	180	7
4	45676.0	4	10(5)	7(3)	80	-582	6	370	7	187	3
5	45677.0	0	11(6)	7(3)	99	-628	9	431	8	187	3
6	45678.0	-1	13(7)	8(3)	133	-631	12	445	9	184	6
7	45679.0	3	5(4)	3(2)	88	-715	11	463	10	180	18
1	45680.0	6	11(6)	7(3)	112	-655	10	475	10	206	6
2	45681.0	-9	8(6)	4(4)	102	-703	10	446	7	177	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	45629.5	-24	11(7)	7(5)	133	1474	9	255	9	213	3
7	45630.5	-12	14(6)	9(4)	83	1421	7	238	6	224	4
1	45631.5	-12	8(6)	6(4)	60	1334	5	219	5	261	13
2	45632.5	-12	17(9)	9(5)	138	1301	9	180	8	219	6
3	45633.5	-12	16(10)	9(6)	94	1298	7	140	5	232	3
4	45634.5	-2	23(12)	11(7)	89	1211	5	218	4	232	1
5	45635.5	-11	24(13)	15(8)	86	1173	6	200	4	250	3
6	45636.5	-23	12(9)	9(6)	98	1102	6	170	8	316	23
7	45637.5	-9	10(6)	4(3)	101	1053	9	172	7	190	5
1	45638.5	-5	10(6)	1(1)	129	978	23	131	8	220	6
3	45639.5	1	11(7)	5(3)	92	993	7	156	6	248	3
4	45640.5	-13	12(8)	6(3)	97	935	9	154	6	252	4
5	45641.5	-12	14(9)	6(4)	66	926	5	139	4	250	12
6	45642.5	-12	11(6)	5(3)	97	868	8	161	6	265	6
7	45643.5	-18	4(3)	1(1)	108	844	16	153	9	283	4
1	45644.5	-6	4(3)	2(1)	76	818	11	90	10	223	5
2	45645.5	-16	10(6)	2(1)	99	740	13	131	6	224	4
3	45646.5	-15	13(8)	3(2)	89	701	8	131	5	143	16
4	45647.5	-11	16(11)	6(5)	116	615	9	141	5	251	6
5	45648.5	-4	12(9)	4(4)	106	575	9	145	6	248	2
6	45649.5	-14	8(7)	4(4)	146	573	16	223	14	255	6
7	45650.5	-19	9(7)	5(4)	94	535	9	183	7	243	5
1	45651.5	-24	8(5)	6(4)	79	515	16	149	9	270	20
2	45652.5	-8	8(6)	6(4)	91	406	10	123	8	187	6
3	45653.5	-23	12(8)	7(5)	88	354	7	193	6	213	2
4	45654.5	-12	10(8)	4(4)	77	348	10	204	5	247	2
5	45655.5	-8	11(7)	6(4)	74	300	6	186	6	237	5
6	45656.5	-16	16(9)	11(5)	66	244	5	175	4	195	14
7	45657.5	-12	4(4)	4(4)	65	244	8	204	10	231	6
1	45658.5	26	5(3)	5(3)	83	145	9	200	10	228	3
2	45659.5	-4	16(9)	9(4)	110	127	9	205	7	247	3
3	45660.5	5	12(9)	7(6)	68	45	5	236	4	233	4
4	45661.5	-6	14(9)	9(6)	73	23	6	215	5	218	11
5	45662.5	-19	9(5)	5(3)	130	-45	9	248	9	230	8
6	45663.5	9	5(4)	4(3)	97	-147	9	302	16	190	5
7	45664.5	-21	5(3)	3(2)	89	-101	10	243	10	204	3
1	45665.5	-30	1(1)	0(0)	66	-108999		3759999		2053991	
2	45666.5	14	3(3)	1(1)	97	-246	11	287	11	231	19
3	45667.5	-27	7(5)	5(4)	90	-221	7	296	8	182	7
4	45668.5	0	9(6)	6(4)	81	-265	7	261	8	180	3
5	45669.5	1	12(7)	8(4)	91	-347	8	395	7	238	2
6	45670.5	-5	12(6)	9(4)	107	-322	8	306	8	228	5
7	45671.5	-15	4(3)	4(3)	52	-372	9	422	27	66	64
1	45672.5	13	6(4)	5(3)	117	-385	48	287	45	235	26
2	45673.5	-5	14(7)	9(4)	92	-482	7	344	6	190	3
3	45674.5	-6	16(9)	10(6)	101	-535	7	421	7	189	2
4	45675.5	-5	14(6)	9(3)	90	-547	6	384	6	176	3
5	45676.5	0	11(5)	8(3)	58	-594	5	397	5	3	22
6	45677.5	-4	11(6)	7(3)	81	-620	7	423	6	180	4
7	45678.5	-11	9(6)	6(4)	154	-634	15	479	12	167	4
1	45679.5	-9	8(5)	6(3)	80	-680	15	477	12	170	4
2	45680.5	-18	11(8)	5(4)	132	-685	11	461	8	170	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45682.0	3	10(7)	6(4)	172	-761	18	509	14	191	5
4	45683.0	-7	13(8)	8(5)	105	-768	9	512	8	206	7
5	45684.0	-4	12(7)	8(4)	79	-841	7	583	6	222	14
6	45685.0	-6	12(8)	6(4)	127	-866	12	564	10	211	7
7	45686.0	7	4(3)	1(1)	105	-797	23	522	11	230	4
1	45687.0	20	6(4)	2(1)	97	-937	14	578	10	186	6
2	45688.0	26	9(7)	3(2)	80	-899	16	612	8	218	8
3	45689.0	0	15(8)	8(4)	78	-968	4	664	4	155	8
4	45690.0	41	3(3)	2(2)	56	-1002	26	663	10	182	5
5	45691.0	32	8(5)	2(1)	87	-1010	10	691	9	183	2
6	45692.0	12	8(6)	5(3)	63	-1016	4	720	5	224	2
7	45693.0	100	0(0)	0(0)	106	-1387	11	1028	26	57137	
2	45695.0	108	3(2)	3(2)	77	-1624	64	-140181		-550136	
3	45696.0	12	4(2)	4(2)	62	-1139	6	731	12	165	2
4	45697.0	20	11(6)	6(2)	88	-1171	9	834	9	199	3
5	45698.0	16	15(8)	9(5)	67	-1197	4	858	6	210	5
6	45699.0	4	7(3)	6(2)	66	-1205	5	896	6	228	9
1	45701.0	106	5(2)	5(2)	94	-1248	40	1273138		281	40
2	45702.0	-1	4(2)	4(2)	78	-1256	24	937	83	195	24
3	45703.0	18	10(5)	8(4)	80	-1311	6	986	9	205	8
4	45704.0	14	9(7)	4(4)	64	-1362	6	1009	8	137	23
5	45705.0	9	9(5)	4(3)	41	-1382	4	1029	3	171	2
6	45706.0	14	8(4)	2(1)	38	-1443	5	1029	4	175	2
7	45707.0	6	2(1)	2(1)	40	-1473	11	-771325		959141	
1	45708.0	46	1(1)	0(0)	1	-1251403		1025191		149310	
2	45709.0	17	11(7)	4(3)	51	-1493	4	1174	4	126	8
3	45710.0	15	11(6)	5(3)	49	-1535	4	1185	4	171	2
4	45711.0	21	18(9)	7(4)	52	-1582	4	1231	3	170	1
5	45712.0	6	9(6)	2(1)	145	-1521	18	1263	10	203	6
6	45713.0	11	8(5)	3(2)	104	-1541	11	1257	8	224	6
7	45714.0	11	2(1)	2(1)	43	-1629	9	1332	24	119130	
1	45715.0	8	6(3)	5(2)	94	-1644	7	1346	13	106	7
2	45716.0	15	14(7)	8(4)	98	-1676	5	1350	6	114	2
3	45717.0	12	14(9)	4(3)	77	-1648	6	1411	5	148	2
4	45718.0	6	14(10)	7(5)	75	-1692	6	1421	5	139	4
5	45719.0	11	15(7)	6(3)	97	-1670	8	1429	6	131	18
6	45720.0	2	10(6)	4(2)	92	-1740	7	1466	6	151	3
7	45721.0	16	4(3)	2(2)	47	-1775	8	1492	7	143	4
1	45722.0	-1	7(4)	3(2)	120	-1796	12	1547	12	150	7
2	45723.0	8	7(4)	2(1)	57	-1843	6	1610	5	112	4
3	45724.0	19	11(7)	3(3)	58	-1797	7	1638	5	197	14
4	45725.0	14	18(8)	6(3)	84	-1888	6	1665	4	162	3
5	45726.0	12	18(10)	6(5)	66	-1903	4	1686	4	156	1
6	45727.0	5	10(5)	3(2)	89	-1892	10	1757	6	139	3
7	45728.0	3	5(3)	3(2)	59	-1950	10	1775	7	99	7
1	45729.0	-1	8(4)	5(3)	65	-1947	6	1769	7	162	19
2	45730.0	18	7(5)	2(2)	37	-2006	9	1804	6	146	5
3	45731.0	17	11(7)	4(3)	72	-2015	7	1847	5	138	2
4	45732.0	14	13(10)	3(3)	50	-1991	5	1901	3	86	2
5	45733.0	27	5(3)	0(0)	41	-2009	12	1925	7	32	9
6	45734.0	34	3(2)	0(0)	30	-1993	30	1961	20	344	54
7	45735.0	6	3(3)	3(3)	97	-2059	19	2383	73	533	51

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45681.5	-5	8(7)	5(5)	124	-669	15	461	10	50	42
4	45682.5	-4	13(9)	8(5)	139	-753	14	498	11	232	9
5	45683.5	-2	11(6)	9(5)	113	-788	9	540	9	208	4
6	45684.5	-3	13(6)	7(3)	123	-837	13	617	10	188	5
7	45685.5	-25	8(6)	5(4)	145	-873	15	561	17	201	8
1	45686.5	-9	4(3)	1(1)	84	-924	18	609	8	158	18
2	45687.5	-23	5(5)	2(2)	80	-935	13	578	8	144	12
3	45688.5	3	15(10)	6(4)	111	-935	7	598	6	211	2
4	45689.5	-19	9(6)	6(4)	70	-950	5	701	6	181	2
5	45690.5	-9	2(2)	1(1)	58	-963	27	715	11	188	7
6	45691.5	-3	10(6)	4(2)	66	-1042	5	713	5	96	15
7	45692.5	-19	6(5)	4(3)	78	-1064	6	740	8	211	6
1	45693.5	44	3(2)	3(2)	108	-1192107		332352		85	85
2	45694.5	3	3(2)	3(2)	76	-1103	28	1004111		193	29
3	45695.5	-11	3(2)	3(2)	48	-1232	11	748	25	209	16
4	45696.5	9	5(3)	5(3)	78	-1142	7	817	14	161	24
5	45697.5	-6	13(8)	7(4)	82	-1186	7	830	8	193	5
6	45698.5	-16	13(7)	9(5)	59	-1210	3	857	4	193	1
7	45699.5	-18	5(3)	4(2)	63	-1200	6	830	9	219	2
1	45700.5	38	3(2)	3(2)	88	-2955740		-4617999		5992999	
2	45701.5	-4	6(2)	6(2)	69	-1188	4	1089	7	157	10
3	45702.5	3	4(3)	4(3)	37	-1320	7	962	22	60	14
4	45703.5	-26	11(6)	9(5)	62	-1348	4	981	6	134	3
5	45704.5	-7	11(7)	5(4)	78	-1356	7	1015	7	187	2
6	45705.5	-4	8(5)	4(3)	37	-1468	4	1037	3	171	3
7	45706.5	-8	6(4)	2(2)	27	-1417	5	1056	4	325	15
1	45707.5	-37	2(1)	2(1)	8	-1549	2	4310380		4341474	
2	45708.5	4	4(3)	2(2)	62	-1354	35	1217	20	261	7
3	45709.5	-7	11(7)	5(3)	57	-1510	5	1159	4	178	2
4	45710.5	-10	11(6)	5(3)	53	-1555	5	1190	4	179	2
5	45711.5	-19	17(10)	7(5)	48	-1579	3	1218	2	219	13
6	45712.5	-18	8(5)	2(1)	105	-1550	12	1234	7	143	7
7	45713.5	-22	7(5)	4(3)	96	-1558	16	1204	10	178	5
1	45714.5	10	5(2)	5(2)	71	-1545	9	1377	33	113	12
2	45715.5	2	8(4)	6(3)	86	-1608	6	1331	9	126	6
3	45716.5	-13	14(7)	9(4)	67	-1647	4	1374	4	92	14
4	45717.5	-11	15(9)	4(3)	64	-1672	5	1379	4	153	3
5	45718.5	-13	15(9)	10(5)	92	-1712	8	1412	7	163	3
6	45719.5	-11	14(6)	5(3)	99	-1682	8	1500	6	156	3
7	45720.5	-11	8(6)	4(3)	76	-1735	7	1539	6	150	3
1	45721.5	9	4(3)	2(2)	57	-1844	8	1527	7	-90	35
2	45722.5	-8	5(3)	2(1)	49	-1772	8	1584	5	131	6
3	45723.5	-9	7(5)	2(2)	85	-1798	10	1629	8	124	3
4	45724.5	-7	13(8)	5(4)	61	-1834	5	1693	4	147	2
5	45725.5	-17	18(10)	6(5)	77	-1891	6	1688	4	128	3
6	45726.5	-14	17(9)	6(4)	66	-1894	4	1713	3	28	11
7	45727.5	-5	9(5)	3(2)	74	-1905	9	1734	5	172	6
1	45728.5	12	7(4)	4(3)	60	-1895	7	1753	6	140	3
2	45729.5	-16	5(3)	3(2)	64	-1959	8	1856	14	126	5
3	45730.5	-8	8(6)	3(3)	56	-1953	9	1866	6	118	5
4	45731.5	-11	13(7)	5(3)	51	-2026	5	1853	4	-19	11
5	45732.5	-28	10(7)	0(0)	59	-1977	7	1877	4	147	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45736.0	27	2(2)	2(2)	65	-2127	11	1874	19	182	4
2	45737.0	25	12(8)	2(2)	49	-2126	6	2029	3	139	2
3	45738.0	22	13(7)	3(2)	55	-2110	5	2074	4	134	2
4	45739.0	18	9(6)	4(2)	49	-2119	4	2148	4	116	9
5	45740.0	9	14(8)	7(4)	78	-2141	7	2168	5	233	7
6	45741.0	5	8(4)	2(1)	57	-2177	5	2190	4	193	2
7	45742.0	-1	6(4)	6(4)	117	-2129	14	2222	29	208	11
1	45743.0	10	11(6)	9(4)	80	-2169	7	2313	21	147	19
2	45744.0	1	8(3)	6(2)	67	-2205	6	2295	8	102	16
3	45745.0	-2	5(4)	2(2)	93	-2222	13	2309	14	113	12
4	45746.0	19	7(5)	3(2)	83	-2286	9	2319	7	132	3
5	45747.0	-8	9(6)	2(2)	76	-2276	16	2363	8	183	4
6	45748.0	1	17(9)	12(5)	57	-2258	4	2394	4	213	3
7	45749.0	3	8(4)	6(3)	79	-2238	7	2449	7	-108	27
1	45750.0	15	8(4)	3(1)	78	-2255	8	2489	8	115	5
2	45751.0	-1	11(7)	5(4)	120	-2280	10	2532	8	132	3
3	45752.0	-2	13(6)	6(2)	99	-2260	12	2570	8	182	3
4	45753.0	-1	11(6)	3(1)	68	-2301	6	2590	4	170	4
5	45754.0	20	11(7)	2(2)	53	-2349	5	2628	3	216	10
6	45755.0	-1	7(4)	1(1)	83	-2378	24	2651	11	179	9
7	45756.0	-3	5(3)	2(2)	117	-2314	27	2597	14	175	7
1	45757.0	-11	7(4)	3(1)	109	-2368	14	2731	14	149	4
2	45758.0	11	9(7)	1(1)	93	-2408	13	2759	8	172	6
3	45759.0	14	11(8)	4(4)	70	-2337	8	2847	7	109	17
4	45760.0	-6	20(11)	11(5)	106	-2342	7	2844	7	165	5
5	45761.0	1	13(8)	7(4)	117	-2367	8	2896	8	174	3
6	45762.0	3	12(7)	3(3)	82	-2358	11	2970	6	157	3
7	45763.0	-11	6(5)	5(4)	118	-2374	15	2996	18	128	19
1	45764.0	24	3(2)	2(1)	171	-2362	28	3044	19	176	70
2	45765.0	12	7(5)	2(2)	50	-2347	13	3090	7	237	5
3	45766.0	-11	5(4)	3(2)	36	-2405	4	3068	5	242	2
4	45767.0	-1	7(4)	6(3)	103	-2415	12	3164	36	212	13
5	45768.0	12	7(5)	5(3)	52	-2404	4	3219	6	240	5
6	45769.0	-7	10(7)	5(3)	59	-2408	6	3189	5	293	11
7	45770.0	-5	7(4)	7(4)	98	-2412	11	3319	19	187	15
1	45771.0	9	5(4)	2(1)	54	-2308	7	3320	5	203	2
2	45772.0	-3	10(6)	7(4)	99	-2327	7	3369	8	158	3
3	45773.0	-7	12(8)	7(4)	75	-2351	6	3389	7	155	5
4	45774.0	-20	6(4)	4(3)	87	-2299	19	3399	10	82	21
5	45775.0	3	8(5)	5(2)	82	-2361	9	3456	9	252	6
6	45776.0	-7	6(4)	6(4)	84	-2319	12	3529	41	217	13
7	45777.0	-6	4(2)	4(2)	78	-2299	10	3566	16	181	8
1	45778.0	-9	5(3)	4(2)	95	-2353	12	3379	37	406	33
2	45779.0	8	11(8)	5(3)	119	-2255	11	3700	11	125	52
3	45780.0	7	20(10)	12(5)	104	-2237	7	3718	6	210	6
4	45781.0	1	19(9)	12(5)	103	-2215	7	3770	7	200	3
5	45782.0	3	16(8)	12(6)	104	-2238	8	3751	9	210	4
6	45783.0	7	13(8)	4(2)	63	-2242	5	3821	4	220	4
7	45784.0	-2	5(3)	5(3)	25	-2193	3	3908	5	533	79
1	45785.0	19	7(5)	4(3)	101	-2128	19	3890	13	168	11
2	45786.0	10	11(8)	7(5)	45	-2173	4	3931	4	197	1
3	45787.0	15	12(7)	6(3)	76	-2147	5	3981	6	213	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	45733.5	-23	5(3)	0(0)	43	-2019	16	1941	8	125	5
7	45734.5	-3	5(4)	2(2)	75	-1994	18	2025	11	191	6
1	45735.5	-34	2(2)	2(2)	45	-2036	40	2234	155	54	77
2	45736.5	-23	3(3)	3(3)	63	-2084	19	1999	52	266	82
3	45737.5	-19	13(8)	3(2)	39	-2135	4	2032	2	128	3
4	45738.5	-21	14(8)	4(3)	53	-2124	5	2045	4	150	2
5	45739.5	-14	13(8)	8(4)	63	-2121	6	2167	5	172	2
6	45740.5	-18	11(8)	4(4)	69	-2148	6	2172	4	147	4
7	45741.5	-13	10(5)	5(3)	55	-2144	6	2230	5	164	15
1	45742.5	-13	9(5)	9(5)	136	-2228	23	2175	53	88	44
2	45743.5	-14	10(5)	8(3)	70	-2229	5	2245	7	177	3
3	45744.5	-11	6(3)	4(2)	109	-2128	11	2272	14	171	5
4	45745.5	-3	4(3)	2(1)	71	-2229	10	2336	8	215	8
5	45746.5	-3	10(6)	4(2)	81	-2250	8	2350	7	268	32
6	45747.5	12	12(8)	7(5)	65	-2256	6	2384	5	143	4
7	45748.5	-14	11(6)	9(4)	65	-2250	5	2430	6	167	2
1	45749.5	-21	7(3)	5(2)	129	-2229	12	2421	14	153	4
2	45750.5	0	11(6)	5(3)	105	-2281	8	2512	7	137	5
3	45751.5	0	11(6)	5(3)	111	-2240	11	2547	8	165	28
4	45752.5	-16	12(6)	5(2)	88	-2258	12	2587	7	189	7
5	45753.5	-21	8(6)	2(2)	80	-2312	8	2585	6	193	3
6	45754.5	-13	11(7)	2(2)	76	-2378	11	2673	6	194	3
7	45755.5	-17	6(4)	2(2)	88	-2322	20	2699	10	213	6
1	45756.5	-1	5(2)	3(1)	154	-2268	32	2667	18	432	108
2	45757.5	-9	5(4)	0(0)	45	-2457	9	2680	5	135	5
3	45758.5	-3	11(9)	3(3)	101	-2364	21	2830	12	111	6
4	45759.5	2	15(10)	8(6)	99	-2338	7	2838	6	181	3
5	45760.5	-13	18(9)	10(4)	143	-2337	10	2869	12	179	7
6	45761.5	-18	10(7)	2(2)	68	-2389	5	2914	5	187	13
7	45762.5	-5	13(8)	7(5)	109	-2353	11	2962	8	189	7
1	45763.5	-20	2(2)	2(2)	39	-2372	6	2958	7	152	3
2	45764.5	0	3(2)	1(1)	82	-2325	21	3075	13	242	9
3	45765.5	-3	7(6)	3(3)	53	-2346	10	3086	7	234	5
4	45766.5	9	8(5)	7(4)	94	-2428	7	3133	12	183	22
5	45767.5	-2	6(4)	5(3)	39	-2420	7	3135	23	151	29
6	45768.5	-6	11(6)	6(2)	52	-2412	4	3200	4	201	2
7	45769.5	-4	9(7)	7(5)	129	-2384	13	3274	17	196	6
1	45770.5	-2	5(3)	5(3)	64	-2341	12	3248	14	216	13
2	45771.5	17	9(6)	5(3)	72	-2341	6	3346	6	250	18
3	45772.5	8	10(7)	7(4)	87	-2361	7	3377	7	202	5
4	45773.5	-5	9(6)	6(4)	101	-2344	13	3378	11	190	4
5	45774.5	19	6(5)	4(3)	79	-2364	14	3437	9	258	6
6	45775.5	3	10(6)	8(4)	89	-2305	9	3539	15	180	7
7	45776.5	8	5(3)	5(3)	39	-2268	4	3529	6	255	16
1	45777.5	21	6(3)	5(2)	80	-2270	11	3567	37	143	29
2	45778.5	-3	7(5)	5(3)	145	-2426	89	2775	373	-253	151
3	45779.5	-4	15(10)	8(5)	111	-2260	7	3684	8	205	3
4	45780.5	-6	24(11)	16(6)	88	-2231	6	3734	5	200	5
5	45781.5	2	15(9)	10(6)	123	-2223	9	3787	9	247	24
6	45782.5	-3	11(6)	6(3)	70	-2271	7	3781	6	244	7
7	45783.5	-24	15(9)	7(4)	62	-2235	6	3818	4	244	2
1	45784.5	-22	5(4)	4(3)	100	-2145	19	3962	87	227	27

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	45788.0	18	12(6)	2(1)	53	-2141	5	4003	3	205	4	
5	45789.0	14	8(4)	6(3)	56	-2118	5	4052	6	200	15	
6	45790.0	14	8(4)	3(1)	83	-2086	6	4093	7	178	4	
7	45791.0	-10	7(4)	7(4)	84	-2040	14	4220	49	243	18	
1	45792.0	13	6(5)	5(4)	82	-2029	10	4186	10	225	3	
2	45793.0	13	9(5)	3(2)	44	-2035	4	4162	4	226	3	
3	45794.0	22	11(7)	1(1)	93	-2034	11	4210	8	30	18	
4	45795.0	29	9(5)	1(1)	46	-2020	7	4250	4	167	3	
5	45796.0	11	13(7)	5(2)	76	-1974	7	4308	5	186	2	
6	45797.0	26	14(7)	4(2)	62	-1960	5	4339	5	189	2	
7	45798.0	14	12(7)	3(2)	81	-1915	6	4381	5	189	4	
1	45799.0	21	13(7)	2(2)	42	-1892	6	4412	3	297	17	
2	45800.0	2	8(5)	3(1)	101	-1850	7	4421	8	235	4	
3	45801.0	-6	6(6)	4(4)	117	-1889	19	4383	15	224	7	
4	45802.0	15	13(8)	6(4)	97	-1829	9	4492	8	204	3	
5	45803.0	13	23(11)	11(5)	78	-1755	5	4566	4	237	4	
6	45804.0	12	22(12)	10(6)	73	-1756	5	4591	4	246	16	
7	45805.0	9	17(9)	5(4)	50	-1717	3	4615	3	207	2	
1	45806.0	10	18(10)	10(6)	90	-1669	5	4671	6	195	2	
2	45807.0	11	16(9)	8(5)	61	-1664	5	4683	4	203	2	
3	45808.0	7	21(11)	13(7)	87	-1618	6	4733	5	215	4	
4	45809.0	1	18(11)	14(8)	83	-1617	5	4725	6	205	46	
5	45810.0	0	10(7)	8(6)	77	-1584	7	4768	7	202	6	
6	45811.0	3	8(5)	6(3)	91	-1535	7	4793	10	204	3	
7	45812.0	-5	5(4)	4(3)	95	-1555	10	4765	18	227	7	
1	45813.0	7	12(6)	8(4)	118	-1485	9	4891	12	218	6	
2	45814.0	2	17(9)	11(6)	89	-1476	6	4890	5	226	23	
3	45815.0	10	20(13)	11(8)	58	-1463	3	4906	3	222	2	
4	45816.0	10	28(13)	13(7)	84	-1401	4	4943	3	204	1	
5	45817.0	1	22(10)	14(7)	83	-1368	4	4974	4	190	2	
6	45818.0	7	19(10)	13(7)	72	-1346	5	5012	4	182	3	
7	45819.0	2	12(8)	8(5)	90	-1302	7	5072	7	169	16	
1	45820.0	-4	5(4)	2(2)	59	-1254	9	5040	6	217	7	
2	45821.0	23	8(6)	3(3)	68	-1172	9	5144	5	205	2	
3	45822.0	3	13(6)	7(3)	78	-1147	7	5147	5	209	2	
4	45823.0	5	17(9)	9(5)	71	-1168	4	5158	4	178	4	
5	45824.0	9	13(7)	6(4)	75	-1115	5	5181	4	200	10	
6	45825.0	12	13(7)	4(3)	71	-1111	7	5192	5	218	3	
7	45826.0	5	10(6)	2(2)	59	-1065	5	5207	4	200	2	
1	45827.0	1	12(5)	6(3)	66	-972	5	5281	5	191	2	
2	45828.0	-5	9(5)	4(3)	49	-969	4	5262	3	176	2	
3	45829.0	10	15(8)	7(5)	83	-936	6	5300	6	128	15	
4	45830.0	7	18(8)	8(3)	62	-845	4	5356	3	147	2	
5	45831.0	4	6(5)	4(3)	75	-864	14	5352	12	171	5	
6	45832.0	-7	6(4)	4(2)	61	-832	9	5361	10	170	3	
7	45833.0	-6	10(6)	7(5)	81	-803	6	5403	7	170	5	
1	45834.0	13	16(9)	7(5)	91	-779	7	5415	5	116	14	
2	45835.0	8	21(12)	10(6)	79	-718	5	5433	4	148	2	
3	45836.0	9	14(7)	5(3)	77	-702	6	5445	4	171	2	
4	45837.0	2	20(10)	13(5)	62	-657	4	5461	4	172	1	
5	45838.0	7	21(13)	9(6)	66	-604	4	5458	3	172	3	
6	45839.0	7	20(10)	10(6)	72	-571	5	5498	4	86	14	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	45785.5	3	9(7)	6(5)	55	-2166	10	3907	6	219	6	
3	45786.5	-14	10(7)	6(4)	60	-2161	5	3959	5	156	13	
4	45787.5	-19	11(8)	4(3)	58	-2157	4	3978	3	228	4	
5	45788.5	-13	13(7)	3(2)	60	-2108	6	4031	4	203	2	
6	45789.5	-4	9(5)	6(3)	79	-2104	5	4060	7	208	2	
7	45790.5	10	12(7)	7(4)	76	-2097	5	4093	7	239	4	
1	45791.5	-4	3(2)	2(1)	84	-2026	15	4189	54	1031	12	
2	45792.5	-4	8(6)	6(4)	93	-2052	10	4200	9	188	5	
3	45793.5	-19	8(4)	2(1)	39	-2054	7	4196	6	203	3	
4	45794.5	-22	10(6)	0(0)	105	-2019	14	4218	9	193	3	
5	45795.5	-5	11(7)	3(2)	56	-1991	6	4264	4	197	3	
6	45796.5	-27	11(7)	4(3)	70	-1972	7	4304	5	75	16	
7	45797.5	-10	16(8)	4(3)	62	-1958	5	4317	4	193	3	
1	45798.5	-18	11(7)	3(2)	63	-1909	5	4382	4	182	2	
2	45799.5	-13	14(8)	3(2)	84	-1846	6	4458	5	208	2	
3	45800.5	3	9(7)	4(4)	106	-1855	9	4414	8	223	4	
4	45801.5	9	7(6)	4(4)	73	-1833	17	4508	16	325	47	
5	45802.5	-9	17(9)	9(5)	96	-1783	8	4511	8	184	6	
6	45803.5	-9	22(12)	11(6)	92	-1745	5	4565	4	187	2	
7	45804.5	-16	22(11)	9(5)	64	-1755	5	4575	3	193	2	
1	45805.5	-10	16(10)	6(5)	68	-1708	4	4619	4	195	2	
2	45806.5	-10	18(12)	10(7)	81	-1655	6	4660	5	255	16	
3	45807.5	-6	22(12)	11(7)	79	-1625	6	4700	5	234	6	
4	45808.5	-8	19(12)	13(8)	90	-1611	5	4751	5	215	2	
5	45809.5	-9	18(11)	14(8)	76	-1596	7	4769	10	205	4	
6	45810.5	-3	8(6)	5(4)	89	-1538	6	4785	7	218	6	
7	45811.5	3	9(6)	6(4)	94	-1553	8	4819	9	251	15	
1	45812.5	22	8(5)	5(3)	78	-1508	15	4840	47	205	21	
2	45813.5	3	14(7)	10(5)	117	-1508	8	4869	8	227	2	
3	45814.5	-10	18(9)	11(7)	85	-1460	7	4897	6	197	2	
4	45815.5	-4	23(13)	12(7)	73	-1428	4	4935	4	192	3	
5	45816.5	-6	31(13)	18(7)	90	-1394	4	4956	4	203	9	
6	45817.5	-12	19(11)	12(7)	85	-1380	6	4987	5	207	5	
7	45818.5	-14	14(10)	7(6)	86	-1323	6	5017	5	202	2	
1	45819.5	-10	11(8)	5(4)	88	-1332	8	5046	7	205	2	
2	45820.5	-43	3(3)	1(1)	41	-1287	11	5032	7	193	7	
3	45821.5	-4	13(7)	7(4)	70	-1193	6	5127	4	173	9	
4	45822.5	0	17(10)	9(5)	91	-1162	6	5160	6	199	4	
5	45823.5	-4	15(8)	7(5)	80	-1127	5	5175	4	202	2	
6	45824.5	-11	11(6)	4(2)	68	-1142	6	5184	4	187	1	
7	45825.5	-13	14(8)	5(4)	67	-1096	5	5221	5	164	3	
1	45826.5	0	11(6)	4(3)	67	-1016	6	5246	5	184	12	
2	45827.5	0	13(6)	5(3)	58	-979	4	5261	4	193	3	
3	45828.5	14	11(6)	4(3)	89	-965	7	5272	6	190	2	
4	45829.5	2	16(6)	8(3)	65	-877	5	5333	4	161	1	
5	45830.5	-11	13(8)	6(4)	54	-842	4	5361	3	174	2	
6	45831.5	8	8(6)	4(3)	69	-784	9	5409	8	233	13	
7	45832.5	17	8(5)	7(4)	69	-779	6	5386	10	187	4	
1	45833.5	8	12(8)	7(5)	100	-753	7	5438	8	186	3	
2	45834.5	5	18(10)	7(5)	74	-745	6	5418	4	165	1	
3	45835.5	-11	17(9)	6(3)	90	-704	6	5414	5	167	3	
4	45836.5	-1	19(11)	8(5)	65	-668	4	5451	3	120	8	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45840.0	4	14(6)	6(3)	70	-549	6	5485	5	147	3
1	45841.0	12	17(9)	4(3)	91	-505	9	5487	5	159	2
2	45842.0	21	24(10)	6(3)	62	-464	3	5507	3	169	1
3	45843.0	8	26(11)	10(5)	70	-432	3	5516	3	167	2
4	45844.0	6	19(10)	4(3)	73	-387	6	5545	3	161	13
5	45845.0	16	17(7)	5(3)	60	-322	4	5550	3	136	2
6	45846.0	22	17(8)	2(2)	81	-263	6	5598	4	134	1
7	45847.0	14	6(4)	2(1)	59	-315	10	5520	7	144	4
1	45848.0	-5	7(5)	2(2)	85	-235	12	5600	8	150	5
2	45849.0	4	4(3)	2(1)	80	-187	7	5592	9	-42	36
3	45850.0	8	25(13)	7(5)	81	-135	5	5583	4	152	3
4	45851.0	10	24(14)	6(5)	78	-62	4	5604	3	145	1
5	45852.0	8	24(14)	8(6)	71	-26	4	5600	3	145	1
6	45853.0	5	23(12)	11(6)	75	21	4	5608	4	152	3
7	45854.0	9	17(7)	6(3)	85	88	6	5624	4	91	10
1	45855.0	7	17(9)	8(5)	57	108	4	5608	3	140	3
2	45856.0	3	17(8)	5(3)	82	121	5	5602	4	134	1
3	45857.0	18	11(6)	1(1)	69	177	8	5589	4	123	2
4	45858.0	9	18(9)	9(4)	69	234	5	5596	4	134	4
5	45859.0	12	14(6)	4(2)	65	284	6	5601	4	129	12
6	45860.0	10	15(9)	6(3)	60	326	4	5594	3	144	3
7	45861.0	8	13(7)	4(3)	91	367	7	5601	5	119	2
1	45862.0	19	11(5)	1(1)	85	384	8	5574	5	109	2
2	45863.0	9	18(9)	6(4)	96	423	6	5575	5	86	5
3	45864.0	8	13(8)	5(4)	74	504	6	5605	5	89	8
4	45865.0	11	9(8)	4(4)	76	577	10	5618	7	95	6
5	45866.0	9	21(10)	9(4)	85	557	5	5570	4	127	2
6	45867.0	0	15(6)	9(3)	74	631	4	5581	5	130	2
7	45868.0	12	10(8)	6(4)	55	669	6	5587	6	112	7
1	45869.0	8	20(9)	9(5)	58	671	4	5545	3	129	8
2	45870.0	7	21(10)	10(5)	79	751	5	5556	4	98	3
3	45871.0	9	16(12)	8(5)	61	761	4	5535	4	106	2
4	45872.0	1	13(8)	8(5)	97	830	7	5550	8	122	2
5	45873.0	9	11(7)	7(4)	85	875	8	5548	7	122	8
6	45874.0	5	13(6)	8(4)	70	908	7	5541	6	40	19
7	45875.0	-3	7(6)	5(4)	53	947	7	5539	7	106	4
1	45876.0	-5	7(4)	5(3)	55	957	5	5528	5	116	2
2	45877.0	3	17(8)	10(5)	103	1025	6	5509	6	134	2
3	45878.0	8	19(10)	12(5)	83	1054	5	5505	5	129	4
4	45879.0	4	20(10)	12(6)	66	1087	4	5485	4	82	10
5	45880.0	1	16(8)	4(3)	73	1146	5	5476	4	96	3
6	45881.0	0	10(8)	5(4)	71	1229	6	5492	5	123	2
7	45882.0	3	6(5)	5(4)	81	1236	9	5440	10	118	5
1	45883.0	-2	10(8)	8(6)	82	1289	7	5431	10	112	6
2	45884.0	3	10(6)	5(3)	66	1351	5	5428	5	67	14
3	45885.0	2	12(7)	7(4)	51	1392	4	5398	4	51	3
4	45886.0	0	10(6)	8(5)	90	1421	9	5360	10	46	3
5	45887.0	3	14(8)	10(5)	94	1464	6	5333	6	13	3
6	45888.0	8	10(7)	6(4)	78	1466	7	5311	6	19	6
7	45889.0	0	8(5)	7(4)	70	1519	7	5285	8	85	30
1	45890.0	8	13(8)	9(6)	75	1581	6	5295	7	94	4
2	45891.0	3	16(11)	10(7)	95	1628	6	5301	5	99	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	45837.5	-7	22(9)	14(6)	77	-643	5	5452	4	157	4
6	45838.5	-3	18(12)	8(6)	69	-609	3	5475	3	158	1
7	45839.5	-9	17(8)	7(4)	85	-549	7	5517	5	170	2
1	45840.5	-2	15(8)	5(4)	76	-528	7	5489	5	176	4
2	45841.5	-8	17(9)	4(3)	73	-502	5	5506	4	146	13
3	45842.5	-4	30(12)	11(5)	75	-457	4	5508	3	163	2
4	45843.5	-8	25(11)	8(5)	69	-421	4	5522	3	164	1
5	45844.5	-9	14(9)	4(3)	64	-355	5	5546	3	146	2
6	45845.5	-22	15(7)	3(3)	52	-299	5	5553	3	157	2
7	45846.5	-11	18(9)	4(3)	86	-257	6	5599	4	185	16
1	45847.5	16	8(5)	2(2)	83	-314	33	5621	14	137	8
2	45848.5	4	6(4)	4(2)	76	-187	6	5562	9	134	3
3	45849.5	30	11(8)	6(4)	99	-149	8	5580	7	151	4
4	45850.5	-6	24(12)	7(5)	98	-109	7	5577	5	144	4
5	45851.5	-3	28(15)	10(6)	76	-57	4	5588	3	192	8
6	45852.5	-4	22(12)	6(5)	72	-8	4	5618	3	154	3
7	45853.5	-13	21(10)	10(4)	91	43	5	5607	4	157	2
1	45854.5	-2	18(9)	8(5)	69	93	4	5620	4	143	1
2	45855.5	2	17(7)	5(3)	90	109	6	5607	4	133	4
3	45856.5	-17	12(6)	0(0)	65	117	6	5597	4	152	9
4	45857.5	-1	14(9)	5(4)	52	204	4	5597	3	123	3
5	45858.5	-13	16(8)	7(3)	80	259	7	5579	5	118	2
6	45859.5	0	16(9)	6(4)	61	288	4	5575	3	106	1
7	45860.5	-2	16(9)	6(3)	78	330	6	5577	5	93	5
1	45861.5	-8	11(8)	2(2)	77	392	6	5567	4	124	10
2	45862.5	10	15(8)	4(3)	95	402	7	5576	5	119	4
3	45863.5	-8	16(8)	5(4)	91	450	7	5592	5	114	2
4	45864.5	-10	12(9)	6(5)	69	523	6	5586	5	134	2
5	45865.5	12	14(10)	7(5)	76	552	7	5577	5	132	5
6	45866.5	-11	21(10)	10(3)	72	587	4	5568	4	117	12
7	45867.5	-13	11(7)	4(3)	82	636	6	5571	6	103	5
1	45868.5	9	15(8)	11(5)	69	653	5	5561	5	111	2
2	45869.5	-4	21(9)	9(5)	66	709	4	5545	3	117	1
3	45870.5	-6	16(9)	6(4)	79	767	6	5559	4	127	3
4	45871.5	-15	19(12)	12(7)	60	784	5	5549	4	107	15
5	45872.5	-13	10(6)	5(3)	98	843	8	5547	7	75	6
6	45873.5	-7	12(8)	8(5)	88	875	7	5552	9	115	3
7	45874.5	-10	12(7)	6(5)	82	935	8	5507	7	110	2
1	45875.5	-3	6(5)	4(3)	45	947	4	5486	5	97	3
2	45876.5	13	13(8)	9(6)	56	983	4	5518	5	160	11
3	45877.5	-4	16(7)	9(4)	88	1052	5	5522	5	111	4
4	45878.5	-5	20(11)	13(6)	85	1058	5	5524	5	125	2
5	45879.5	-10	19(9)	7(5)	64	1116	4	5480	3	120	1
6	45880.5	-7	14(10)	4(4)	69	1195	5	5470	4	136	3
7	45881.5	-7	10(7)	6(4)	72	1224	8	5473	8	90	23
1	45882.5	12	10(7)	8(5)	75	1260	6	5451	9	85	6
2	45883.5	12	7(6)	5(4)	63	1336	5	5432	6	83	2
3	45884.5	0	15(7)	8(4)	71	1363	5	5417	5	56	2
4	45885.5	-12	9(6)	6(4)	64	1392	5	5382	5	75	4
5	45886.5	12	12(8)	8(5)	68	1442	5	5365	5	143	12
6	45887.5	3	12(9)	9(6)	63	1492	6	5367	5	58	4
7	45888.5	5	10(7)	6(4)	87	1545	7	5339	6	53	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45892.0	-1	14(8)	9(5)	72	1645	5	5248	4	79	2
4	45893.0	4	20(10)	11(5)	63	1695	4	5243	3	66	7
5	45894.0	11	19(10)	5(3)	87	1744	6	5210	4	80	6
6	45895.0	13	10(8)	4(4)	107	1842	20	5238	11	55	7
7	45896.0	-16	1(1)	1(1)	15	1827	20	9881999	1751999		
1	45897.0	8	6(5)	3(2)	66	1842	9	5149	6	75	5
2	45898.0	14	12(9)	4(3)	61	1892	5	5089	4	49	5
3	45899.0	13	13(9)	3(3)	48	1935	5	5080	3	45	8
4	45900.0	23	10(6)	4(2)	66	1968	6	5062	5	95	4
5	45901.0	12	15(9)	5(4)	86	2015	6	5028	5	75	2
6	45902.0	4	14(8)	8(5)	93	2017	7	4971	6	102	3
7	45903.0	4	4(3)	3(2)	66	2037	8	4937	8	107	9
1	45904.0	3	11(7)	6(4)	60	2086	4	4954	4	-24	13
2	45905.0	7	19(11)	9(6)	85	2164	5	4937	4	85	3
3	45906.0	4	14(10)	7(6)	67	2227	5	4892	4	96	2
4	45907.0	18	11(6)	5(3)	75	2220	6	4843	5	120	2
5	45908.0	25	9(6)	4(3)	78	2278	6	4847	5	81	6
6	45909.0	23	12(6)	3(2)	93	2343	8	4816	6	120	12
7	45910.0	-7	8(4)	6(3)	76	2364	6	4793	8	105	4
1	45911.0	1	9(6)	5(3)	55	2379	4	4778	4	94	2
2	45912.0	5	22(11)	10(5)	88	2419	5	4718	4	119	2
3	45913.0	4	18(10)	8(5)	75	2449	5	4710	4	133	3
4	45914.0	6	14(10)	7(6)	70	2494	5	4695	4	-38	14
5	45915.0	15	21(12)	7(6)	70	2529	5	4652	3	73	2
6	45916.0	8	17(10)	10(5)	71	2528	4	4603	4	83	2
7	45917.0	1	7(5)	4(3)	143	2561	31	4600	25	170	8
1	45918.0	-3	11(6)	9(4)	144	2570	13	4623	16	150	10
2	45919.0	13	18(12)	8(6)	68	2640	5	4517	4	-3	11
3	45920.0	12	22(9)	9(3)	64	2680	4	4483	4	88	2
4	45921.0	5	24(12)	11(6)	84	2678	5	4447	4	93	2
5	45922.0	1	21(10)	11(5)	78	2724	5	4423	4	100	2
6	45923.0	8	17(10)	6(5)	83	2761	7	4371	5	87	3
7	45924.0	3	3(2)	2(1)	57	2786	8	4313	14	391	64
1	45925.0	8	5(2)	3(1)	74	2820	8	4305	7	137	4
2	45926.0	8	23(11)	9(5)	86	2838	5	4268	4	133	1
3	45927.0	6	15(10)	8(5)	84	2842	8	4209	6	131	3
4	45928.0	8	22(12)	8(5)	67	2921	5	4211	3	151	4
5	45929.0	1	17(14)	8(7)	68	2910	5	4195	4	93	17
6	45930.0	11	12(9)	5(4)	83	2951	8	4186	6	131	5
7	45931.0	-5	6(3)	4(2)	66	2991	10	4160	9	147	2
1	45932.0	-11	6(5)	4(3)	138	2989	14	4053	14	105	7
2	45933.0	5	23(16)	11(8)	92	2993	5	4002	4	132	4
3	45934.0	10	22(12)	7(5)	84	2998	5	3988	4	74	18
4	45935.0	3	20(13)	9(6)	61	3001	5	3958	3	135	3
5	45936.0	8	21(12)	4(4)	99	3039	6	3928	4	146	2
6	45937.0	14	18(9)	2(2)	65	3081	7	3877	3	148	2
7	45938.0	96	2(2)	1(1)	127	3153	13	3462	11	83	32
1	45939.0	97	11(5)	7(3)	96	3029	7	3796	5	121	4
3	45941.0	109	21(12)	7(5)	75	3084	6	3694	4	142	2
4	45942.0	16	22(13)	6(4)	92	3096	7	3644	5	159	2
5	45943.0	10	16(11)	6(4)	82	3050	7	3606	5	167	6
6	45944.0	2	23(11)	11(6)	65	3080	4	3619	3	98	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45889.5	2	11(6)	10(5)	93	1499	8	5255	11	121	4
2	45890.5	3	15(10)	10(7)	98	1598	6	5275	7	103	5
3	45891.5	7	17(10)	10(6)	56	1641	4	5266	4	93	9
4	45892.5	9	16(8)	11(5)	59	1679	3	5249	3	76	3
5	45893.5	-3	15(8)	6(3)	101	1709	7	5239	5	84	2
6	45894.5	-16	18(12)	6(6)	92	1786	9	5225	5	80	2
7	45895.5	-20	8(6)	2(2)	107	1804	23	5192	12	98	12
1	45896.5	39	2(2)	1(1)	19	1831	4	5143	4	117	12
2	45897.5	-1	8(6)	5(3)	71	1844	7	5122	8	85	5
3	45898.5	-4	14(10)	4(3)	71	1920	8	5080	4	78	2
4	45899.5	-10	11(7)	4(2)	57	1927	6	5037	4	90	1
5	45900.5	-3	13(9)	6(4)	64	1966	5	5040	4	70	4
6	45901.5	-1	17(10)	7(5)	81	2046	6	5024	5	164	16
7	45902.5	-19	10(6)	5(3)	67	2049	6	5005	5	85	5
1	45903.5	15	9(7)	6(4)	54	2119	4	4966	4	76	2
2	45904.5	15	16(9)	11(6)	101	2124	8	4920	8	107	2
3	45905.5	-6	18(11)	8(6)	69	2205	4	4916	3	118	3
4	45906.5	1	8(6)	3(3)	61	2229	6	4880	5	161	21
5	45907.5	-18	12(6)	6(3)	66	2251	5	4845	4	107	4
6	45908.5	-7	10(7)	4(3)	90	2290	7	4850	7	117	3
7	45909.5	-1	15(7)	7(3)	92	2327	6	4776	5	108	2
1	45910.5	11	10(6)	6(3)	57	2359	4	4778	5	121	3
2	45911.5	20	14(8)	9(5)	63	2401	4	4758	4	157	12
3	45912.5	-7	20(10)	10(5)	87	2438	6	4717	4	120	3
4	45913.5	-11	17(10)	8(6)	73	2477	5	4725	4	114	2
5	45914.5	-5	14(11)	6(6)	78	2515	7	4658	5	96	2
6	45915.5	-9	25(12)	11(5)	77	2519	5	4616	3	94	3
7	45916.5	-18	12(9)	5(4)	55	2537	5	4594	4	103	13
1	45917.5	12	10(6)	7(4)	95	2613	13	4617	12	97	7
2	45918.5	-6	9(6)	8(5)	144	2565	12	4516	18	78	6
3	45919.5	-4	18(11)	8(5)	90	2659	6	4497	6	116	2
4	45920.5	-5	27(12)	11(5)	75	2687	5	4462	4	122	3
5	45921.5	-6	23(11)	10(5)	68	2700	3	4443	3	157	8
6	45922.5	-3	16(9)	8(5)	88	2748	7	4419	5	131	4
7	45923.5	-15	14(7)	3(2)	88	2782	8	4374	6	131	3
1	45924.5	16	4(3)	3(2)	62	2772	8	4307	8	120	4
2	45925.5	8	13(7)	8(4)	79	2831	7	4276	5	139	4
3	45926.5	-5	21(11)	8(5)	81	2856	5	4254	4	170	10
4	45927.5	7	15(12)	7(6)	58	2881	6	4222	4	161	4
5	45928.5	-6	23(14)	9(7)	71	2918	4	4216	3	146	2
6	45929.5	-9	13(11)	5(5)	81	2932	9	4159	7	143	3
7	45930.5	-9	11(8)	5(4)	87	2994	8	4153	6	177	5
1	45931.5	11	7(5)	4(3)	63	2973	6	4151	8	296	15
2	45932.5	31	13(10)	9(7)	75	3004	7	4047	6	146	5
3	45933.5	-10	23(13)	9(6)	106	3009	7	4033	5	132	2
4	45934.5	-6	23(13)	8(5)	77	3012	4	3959	3	140	1
5	45935.5	2	17(13)	6(6)	73	3024	6	3927	4	125	4
6	45936.5	-23	21(9)	2(2)	68	3055	6	3928	3	133	13
7	45937.5	-34	14(8)	1(1)	69	3085	8	3945	4	138	6
1	45938.5	26	7(4)	5(3)	109	3164	18	3535	13	133	5
2	45939.5	11	16(8)	11(5)	131	3028	8	3766	9	142	3
3	45940.5	-7	18(13)	6(5)	61	3039	6	3712	4	142	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45945.0	-9	11(7)	8(5)	85	3089	7	3589	8	171	5
1	45946.0	-6	15(9)	12(7)	117	3101	8	3578	11	184	4
2	45947.0	-3	14(10)	9(6)	122	3075	10	3514	9	179	3
3	45948.0	4	15(11)	7(6)	67	3075	5	3447	4	161	5
4	45949.0	-1	20(12)	9(6)	45	3099	3	3417	3	214	10
5	45950.0	0	15(10)	4(4)	96	3127	7	3402	5	139	4
6	45951.0	6	15(10)	9(5)	87	3128	8	3374	6	166	3
7	45952.0	0	3(2)	1(1)	40	3348	12	3145	7	146	1
1	45953.0	-2	11(6)	7(4)	83	3118	7	3289	7	159	5
2	45954.0	10	17(8)	4(2)	61	3160	4	3240	3	102	11
3	45955.0	4	22(11)	9(4)	70	3172	4	3187	3	150	2
4	45956.0	2	20(13)	8(6)	74	3141	5	3149	4	152	1
5	45957.0	6	17(10)	7(4)	105	3157	7	3076	6	123	2
6	45958.0	11	15(10)	7(4)	77	3143	6	3022	5	144	4
7	45959.0	6	3(3)	2(2)	44	3102	32	2837	42	1441265	
1	45960.0	-16	6(5)	3(3)	44	3191	5	3005	4	190	3
2	45961.0	2	20(10)	7(3)	111	3181	7	2972	6	197	2
3	45962.0	6	18(10)	7(5)	87	3246	8	2897	4	183	3
4	45963.0	0	18(10)	4(3)	73	3228	5	2862	3	169	2
5	45964.0	5	16(10)	2(1)	70	3195	5	2838	4	177	11
6	45965.0	7	27(12)	8(4)	82	3216	5	2814	4	175	2
7	45966.0	-1	8(5)	4(3)	104	3276	10	2808	10	181	3
1	45967.0	-15	9(5)	3(2)	77	3216	10	2704	7	137	4
2	45968.0	7	18(11)	7(5)	82	3250	5	2650	4	181	3
3	45969.0	6	17(10)	7(4)	63	3210	4	2638	4	209	9
4	45970.0	0	21(10)	7(4)	73	3226	5	2636	4	167	3
5	45971.0	18	13(9)	3(3)	72	3200	6	2599	4	174	1
6	45972.0	1	9(8)	6(5)	137	3238	14	2508	12	214	6
7	45973.0	-11	7(4)	4(2)	134	3203	13	2468	14	188	11
1	45974.0	2	9(6)	3(2)	90	3158	15	2491	12	-123	37
2	45975.0	5	14(7)	3(2)	56	3166	6	2430	4	212	3
3	45976.0	0	20(12)	9(6)	85	3158	6	2374	4	218	2
4	45977.0	1	19(12)	10(7)	58	3169	4	2345	3	194	1
5	45978.0	8	14(8)	4(3)	53	3172	5	2303	3	193	3
6	45979.0	6	18(12)	7(5)	56	3157	5	2258	4	156	12
7	45980.0	-9	10(7)	4(3)	91	3137	11	2278	9	203	10
1	45981.0	-16	5(4)	2(1)	61	3134	11	2179	7	178	3
2	45982.0	7	16(10)	4(3)	56	3134	6	2139	3	197	2
3	45983.0	7	26(13)	6(4)	70	3085	5	2121	4	178	3
4	45984.0	3	16(10)	3(3)	61	3067	7	2070	4	183	17
5	45985.0	22	10(8)	2(2)	69	2995	12	2030	9	206	6
6	45986.0	-3	14(11)	9(7)	72	3037	6	1993	5	178	2
7	45987.0	-5	12(6)	8(3)	146	2964	12	2002	12	184	4
1	45988.0	-15	11(8)	6(4)	123	2940	10	1870	11	192	9
2	45989.0	11	16(9)	7(4)	73	2992	6	1871	5	213	13
3	45990.0	-3	19(13)	12(8)	79	2961	5	1853	4	183	3
4	45991.0	3	26(16)	11(7)	130	2947	8	1839	7	184	3
5	45992.0	-3	26(15)	13(8)	97	2932	6	1797	5	195	2
6	45993.0	1	8(5)	7(4)	67	2914	6	1764	7	225	6
7	45994.0	-5	9(4)	6(3)	53	2899	5	1797	6	57	15
1	45995.0	-7	11(6)	6(3)	93	2855	11	1722	7	165	5
2	45996.0	9	13(10)	5(5)	76	2780	7	1702	5	195	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	45941.5	-20	20(11)	4(4)	85	3107	8	3711	5	150	16
5	45942.5	-16	22(13)	7(4)	83	3065	5	3665	4	163	4
6	45943.5	-3	22(14)	10(6)	88	3046	8	3639	6	150	2
7	45944.5	-7	19(11)	9(6)	108	3105	6	3587	5	167	2
1	45945.5	20	14(9)	11(7)	114	3067	9	3546	12	181	7
2	45946.5	-1	13(9)	9(6)	96	3083	11	3531	8	138	20
3	45947.5	-5	12(8)	8(5)	88	3045	6	3481	7	164	5
4	45948.5	2	19(12)	8(6)	117	3115	8	3468	6	145	3
5	45949.5	-15	16(10)	6(5)	77	3116	6	3399	5	152	2
6	45950.5	-9	16(9)	7(4)	72	3153	6	3390	4	171	3
7	45951.5	-26	8(6)	2(1)	66	3139	9	3364	4	179	21
1	45952.5	21	9(5)	6(3)	73	3153	6	3269	7	129	4
2	45953.5	-1	9(5)	4(3)	64	3147	6	3256	5	111	2
3	45954.5	-1	23(11)	8(4)	74	3171	4	3208	3	155	1
4	45955.5	-1	23(12)	9(5)	68	3174	4	3157	3	168	2
5	45956.5	-4	17(10)	6(4)	64	3152	4	3141	4	234	14
6	45957.5	-6	17(10)	7(4)	92	3165	6	3103	5	162	4
7	45958.5	-16	10(7)	3(2)	71	3139	9	3096	6	129	3
1	45959.5	11	5(4)	2(2)	92	3157	13	3006	8	175	4
2	45960.5	21	11(7)	5(3)	99	3187	9	2949	9	190	6
3	45961.5	-11	17(10)	4(4)	67	3210	5	2925	4	208	9
4	45962.5	-6	19(10)	6(4)	76	3208	6	2891	4	200	3
5	45963.5	-15	15(7)	3(2)	95	3225	7	2848	5	184	2
6	45964.5	-6	25(13)	6(4)	73	3161	7	2768	4	155	2
7	45965.5	-15	19(11)	6(4)	63	3223	4	2779	3	166	2
1	45966.5	6	9(6)	3(3)	86	3217	12	2764	7	236	20
2	45967.5	21	9(7)	4(3)	60	3201	8	2690	5	163	3
3	45968.5	-5	17(11)	6(5)	70	3237	5	2666	4	159	1
4	45969.5	-1	21(10)	9(5)	89	3203	6	2608	6	170	2
5	45970.5	-15	13(8)	2(2)	51	3270	5	2605	3	200	2
6	45971.5	-10	15(10)	7(6)	60	3226	4	2554	4	240	9
7	45972.5	-3	9(6)	5(3)	97	3232	8	2570	9	165	8
1	45973.5	-8	6(5)	2(2)	67	3348	10	2438	8	171	4
2	45974.5	-2	8(5)	1(1)	113	3274	20	2416	10	220	3
3	45975.5	9	20(11)	8(5)	71	3170	5	2391	4	195	3
4	45976.5	1	19(11)	11(7)	49	3185	3	2352	3	199	10
5	45977.5	-12	13(8)	4(3)	49	3134	4	2328	3	209	3
6	45978.5	-1	16(11)	6(6)	85	3132	10	2281	6	208	3
7	45979.5	-13	18(11)	6(3)	81	3111	7	2196	6	166	3
1	45980.5	-15	7(5)	2(1)	69	3158	11	2227	6	167	5
2	45981.5	-2	8(6)	4(3)	63	3120	8	2136	6	171	14
3	45982.5	-8	22(12)	5(4)	64	3107	5	2130	3	200	4
4	45983.5	-12	22(13)	5(4)	67	3029	7	2114	3	206	2
5	45984.5	-31	10(6)	1(1)	92	3125	22	2111	11	195	5
6	45985.5	-5	15(13)	8(7)	77	3016	7	2029	6	202	4
7	45986.5	0	14(8)	8(4)	75	3029	6	1993	6	274	15
1	45987.5	9	13(7)	8(4)	83	3008	6	1916	8	207	6
2	45988.5	18	11(8)	5(3)	109	3115	13	1934	9	212	4
3	45989.5	1	21(12)	12(7)	95	2967	6	1860	5	178	2
4	45990.5	4	19(14)	7(6)	93	2971	6	1843	5	184	4
5	45991.5	1	31(19)	15(9)	86	2932	6	1835	5	236	12
6	45992.5	-3	14(9)	7(4)	103	2969	8	1812	8	177	5

08

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	45997.0	0	17(12)	6(5)	107	2873	10	1610	7	187	3
4	45998.0	1	24(12)	8(5)	92	2866	6	1594	5	218	3
5	45999.0	0	19(11)	9(5)	69	2816	5	1606	5	157	11
6	46000.0	3	19(13)	11(6)	94	2811	6	1592	6	203	3
7	46001.0	-16	8(4)	5(2)	112	2875	12	1587	15	244	6
1	46002.0	2	9(6)	4(3)	142	2707	26	1493	28	90	35
2	46003.0	1	21(11)	11(5)	54	2730	4	1446	3	161	10
3	46004.0	-7	25(12)	17(8)	94	2681	5	1410	6	187	3
4	46005.0	-18	11(8)	8(6)	94	2636	10	1424	7	209	5

Erläuterung der Symbole s. Tab. 9

W	EPOCHE		ANZAHL DER DURCHG. (STAT.)		OF	$X_p \pm S$		$Y_p \pm S$		LOD $\pm S$	
	MJD	FD	GESAMT	FUER X_p		MM	0,0001"	0,0001"	0,01 MS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	45993.5	10	10(5)	6(3)	87	2953	7	1782	8	215	3
1	45994.5	7	8(5)	5(3)	119	2870	11	1728	10	177	4
2	45995.5	-11	11(7)	3(2)	86	2863	15	1740	9	189	5
3	45996.5	-3	15(11)	8(7)	86	2852	8	1648	8	204	19
4	45997.5	2	21(11)	6(4)	87	2872	6	1621	5	213	3
5	45998.5	-5	22(11)	9(5)	97	2857	6	1632	6	194	2
6	45999.5	2	19(13)	11(7)	138	2817	10	1539	9	179	3
7	46000.5	-7	15(9)	8(3)	101	2805	7	1483	7	160	4
1	46001.5	5	7(5)	3(2)	75	2744	13	1533	16	343	44
2	46002.5	16	15(10)	8(5)	73	2696	8	1482	7	257	4
3	46003.5	5	27(12)	17(7)	133	2726	7	1422	8	221	3

NOTIZEN