Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 42 (1984)

Heft: 203

Artikel: Wandel der Problemstellungen und Lösungsmethoden in der Himmelsmechanik während der letzten 400 Jahre [Schluss]

Autor: Beutler, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899285

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

und auf den Papieren der Horoskope. Also hier wiederum eine Sterndeutung ohne Sterne! Nicht umsonst lehnt sie Kepler als eine unhaltbare These ab. Und der Astrologe Wolfram Geissler gesteht offen: «Das Häusersystem gehört zu den stärksten Zumutungen, welche die Astrologie an den heutigen Menschen stellt». [11])

Direktionen und Transite

Zu den Grundlagen der Astrologie gehören auch die Direktionen und Transite. Man unterscheidet vor allem zwischen der Primärdirektion und der Sekundärdirektion. Zunächst die Primärdirektion. Infolge der Erdrotation verschieben sich die Sterne alle vier Minuten um ein Grad am Himmel. Nach der Meinung der Sterndeuter entsprechen die ersten vier Minuten des Neugeborenen deutungsmässig dem ersten Lebensjahr, von der fünften bis zur achten Minute dem zweiten Lebensjahr und so weiter. In der Sekundärdirektion zählen die Tage. So ist das Horoskop vom 11. Lebenstag hinweisend auf das Schicksal im 11. Lebensjahr, der 20. Lebenstag des Kindes soll das Schicksal im 20. Lebensjahr anzeigen usf. Genau genommen widersprechen sich diese beiden Deutungsmethoden. Aber das hindert den Sterndeuter nicht, in der Praxis sogar beide anzuwenden, je nachdem er die eine oder andere als passender findet.

Über die Zweifelhaftigkeit dieser Direktionen urteilen selbst die Astrologen Schweikert und Weiss wie folgt: «Die Prognose durch Direktionen ist auch heute noch immer das dunkelste, am wenigsten befriedigende Gebiet der Astrologie, und trotz allen in diesen letzten Dezenien erfundenen Methoden haben wir es in der Voraussagung künftiger Ereignisse und deren Eintreffzeit nicht weiter gebracht als die antiken und mittelalterlichen Astrologen». [12])

Und die Transite? Darunter versteht man den Übergang eines Planeten an dem Ort, wo er zur Zeit der Geburt stand. Dann soll – laut astrologischer Ansicht – der betreffende Himmelskörper eine aussergewöhnliche Wirksamkeit entfalten. Wenn die Sonne jährlich am Geburtsort vorbeizieht, glaubt der Sterndeuter durch die dadurch eintretende Gestirnskonstellation in Verbindung mit dem Geburtshoroskop des betreffenden Kunden eine Schicksalsdeutung für das neue Lebensjahr machen zu können (Solarhoroskop). Kann man wirklich glauben, dass dann plötzlich gleich einer Druckknopf-Reaktion Kräfte mobil werden, die bis dahin inaktiv waren oder sozusagen «geschlummert» haben? Das ganze Planetensystem ist ja in dieser Zeit Milliarden von Kilometern weitergezogen, so dass astronomisch gesehen überhaupt nie wieder ein Himmelskörper dort vorbeizieht, wo er einmal war. Nicht umsonst schreibt Dr. Ludwig Reiners hierzu: «Warum glauben die Menschen an astrologische Prophezeiungen? Weil sie nicht wissen, wie diese Voraussagen zustande kommen! Wenn sich die Menschen klar wären, dass die Prophezeiungen der Astrologen auf der willkürlichen Zeitzünder-Hypothese (Direktionen) beruhen und auf der völlig sinnleeren Theorie der Wirkung leerer Stellen (Transite), dann würden sie diesem ganzen System nicht einen Augenblick Aufmerksamkeit schenken». [13])

Adresse des Autors:
Jakob Tobler-Mutti, Gallusstrasse 36, 9000 St. Gallen.

(Fortsetzung in der nächsten Nummer)

Wandel der Problemstellungen und Lösungsmethoden in der Himmelsmechanik während der letzten 400 Jahre

G. BEUTLER

(Schluss)

5. Raumfahrt- und Computerära

Als am 4. Oktober 1957 der erste künstliche Erdsatellit Sputnik 1 piepsend die Erde umkreiste, öffneten sich der Himmelsmechanik neue, alle bisherigen Dimensionen sprengende Fragestellungen.

Die Neuartigkeit und z.T. die Andersartigkeit zeigte sich schon bei den Beobachtungstechniken: Zwar behielten und behalten Richtungsbeobachtungen weiterhin ihre Bedeutung. Zusätzlich werden aber die Distanzen zu den Satelliten mit Pulslasern mit hoher Genauigkeit gemessen; haben die Satelliten Sender an Bord, die sehr genau stabilisierte Frequenzen aussenden, besteht eine weitere Beobachtungsart in der Messung des Dopplereffektes durch Empfänger auf der Erdoberfläche.

Es verlagerten sich aber auch die Schwerpunkte der Fragestellungen: Die Bahnelemente der Satelliten müssen zwar bei jeder Analyse mitbestimmt werden, als Resultate sind sie jedoch meistens von so untergeordneter Bedeutung, dass sie kaum publiziert werden.

Die wichtigsten Parameter sind diejenigen, die

a. die Gravitationsanziehung von der Erde auf den Satelliten und
b. die Erdoberfläche geometrisch bezüglich des Erdschwerpunktes beschreiben.

Man wusste, dass man die Gravitationskräfte mit Hilfe einer Potentialentwicklung beschreiben konnte. Für den wichtigsten Term dieser Entwicklung, die Erdabplattung, kannte man sogar einen guten Näherungswert durch Messungen auf der Erdoberfläche. Waren noch weitere Terme von Bedeutung?

Wenn ja, welche? Dass man die Aufgabe zu Beginn völlig unterschätzte, geht z.B. daraus hervor, dass man nach der kugelförmigen und nach der abgeplatteten Erde von der «birnenförmigen» Erde sprach. Heute hat man solche Bezeich-

nungen längstens verlassen, muss man doch, um die Satellitenbahnen während 14 Tagen durch einen einzigen Bogen darstellen zu können, ungefähr die ersten 1000 Potentialterme bestimmen! Hätte man dies einem Himmelsmechaniker im Jahre 1960 gesagt, er hätte einen für verrückt erklären lassen.

Wie kam es zu dieser «Inflation»? Der wichtigste Grund folgt durch einen Vergleich mit den Problemen im Planetensystem: Die Grösse, die den Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe in der Himmelsmechanik weitgehend festlegt, ist die Anzahl der Umläufe, die ein Himmelskörper um den betreffenden Zentralkörper im betrachteten Zeitintervall ausführt. Ein für die Satellitengeodäsie verwendeter Satellit umkreist die Erde pro Tag etwa 12 mal, in 14 Tagen also 168 mal. Bedenkt man, dass die Umlaufszeit von Jupiter ca. 12 Jahre beträgt, würde das 14 Tagen im Leben des Satelliten entsprechende Zeitintervall im Leben des Jupiter ca. 2000 Jahren entsprechen! Unnötig zu sagen, dass die Probleme in der klassischen Himmelsmechanik dann auch nicht mehr ganz so einfach zu lösen wären! Die Potentialterme sind übrigens formal von der gleichen Art, wie die Planetenmassen in den Grundgleichungen des Planetensystems (3): es sind Grössen, die das Differentialgleichungssystem selbst definieren.

Wenden wir uns noch der zweiten Parameterart zu, den Parametern, die die Erdoberfläche geometrisch bezüglich des Schwerpunktes beschreiben. Im einfachsten - zugleich häufigsten - Fall sind diese Parameter die Koordinaten der Beobachtungsstationen bezüglich eines erdfesten Systems.

Dass man Parameter dieser Art überhaupt bestimmen kann, ist im Grunde genommen klar: jede Beobachtung ist ja auch Funktion des Beobachtungsortes auf der Erdoberfläche. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass erst die Satellitengeodäsie den Anschluss verschiedener Kontinente aneinander mit hoher Genauigkeit (besser als 1 Meter) geleistet hat.

Noch einige Bemerkungen zu den verwendeten Methoden: In der dynamischen Satellitengeodäsie müssen alle Parameterarten (Potentialparameter, Stationskoordinaten, Bahnelemente...) simultan bestimmt werden. Es ist dann keine Seltenheit, dass mehr als 3000 Unbekannte zu bestimmen sind.

Dass sich dies auf die Methoden niederschlagen musste, ist klar: In der klassischen Himmelsmechanik wurde immer wieder versucht, grosse Aufgaben in kleine, übersichtliche und anschauliche Teilprobleme zu unterteilen. In Anbetracht der Fülle der verschiedenen Beobachtungsarten und der vielen Parameterarten erschien dies hier von Anfang an hoffnungslos.

Ein gewisser «Tact», wie Gauss es ausdrückte, konnte nicht genügen, man musste vielmehr «ganz methodische Anweisungen» zum Bestimmen der Unbekannten angeben.

Dabei zeigte es sich, dass die erste Gauss'sche Teilaufgabe (resp. eine sinnvolle Verallgemeinerung dieser Aufgabe) zunächst stark an Bedeutung verlor: die für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Satelliten wurden so intensiv beobachtet, dass man - auch mit zweifelhaftesten Methoden - ohne grosse Probleme genäherte Bahnen berechnen konnte.

Es blieb also «nur» noch die zweite Teilaufgabe, «die genäherte Bahn so verbessern, dass die Differenzen der Rechnung von dem ganzen Vorrath der Beobachtungen so gering als möglich werden», zu lösen.

Die angewandte Methode ist uralt und sehr primitiv: Sämtliche auftretenden Funktionen werden als lineare Funktionen der Parameter dargestellt:

Sei: $\{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$: Menge der zu bestimmenden Parameter

$\{p_1^I, p_2^I, \ldots, p_n^I\}$: bekannte Näherungswerte für diese Parameter

Dann wird die gesuchte Bahn $\vec{r}(t)$ in eine Taylorreihe entwickelt; wobei die Entwicklung nach den linearen Termen abgebrochen wird:

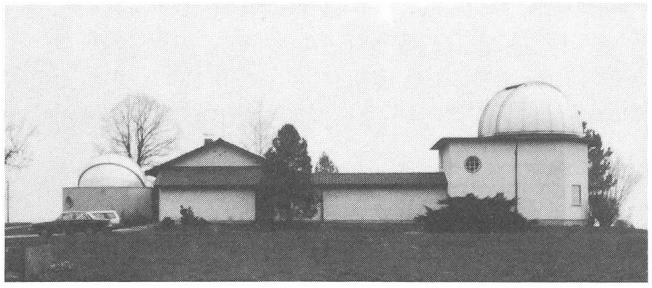
$$\vec{r}(t;p_1, p_2..,p_n) = \vec{r}(t;p_1^I,p_2^I,..,p_n^I) + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial \vec{r}^I}{\partial p_i} \cdot (p_i p_i^I) \quad (9)$$

Würden wir nun lineare Funktionen des Ortsvektors $\vec{r}(t)$ beobachten, würde uns (9) für jede Beobachtung eine lineare Bedingungsgleichung in den gesuchten Parametern $p_i, i = 1,2,\ldots,n$ liefern. Dass diese beobachteten Funktionen (Richtungen, Distanzen,..) nicht lineare Funktionen von $\vec{r}(t)$ sind, erschwert die Aufgabe nur unwesentlich: man muss lediglich diese Funktionen linearisieren.

Eine Aufgabe linearisieren heisst immer, sie durch einen Iterationsprozess lösen: Man muss sich nach der Berechnung der p_i davon überzeugen, ob die in (9) angesetzte Linearisierung in Anbetracht der Beobachtungsgenauigkeit erlaubt war oder nicht. Wenn dies der Fall war, darf man die Lösung der linearisierten Aufgabe als Lösung der ursprünglichen, nicht linearen Aufgabe ansehen. Im andern Falle benützt man die Lösungen als Näherungen für einen neuen Iterationsschritt.

Die Methode ist nicht nur *primitiv,* sie ist auch sehr *durchsichtig.* Berechnet man in (9) die Bahn $\vec{r}(t;p_1,p_2,..,p_n)$ und ihre partiellen Ableitungen mit der Technik der numerischen Integration, ist sie zudem noch sehr *robust* und *sicher.* Mich persönlich hat es immer beunruhigt, dass ich diese allgemeinen Methoden verstanden habe, die Gauss'sche erste Bahnbestimmungsmethode aber nicht. Es hat mich daher sehr beruhigt, als ich sah, dass diese Methode nichts anderes als eine - allerdings sehr geschickte - Vereinfachung einer solchen primitiven Lösungsmethode ist. Ob sich Gauss dessen bewusst war oder nicht, bleibe dahingestellt. Tatsache bleibt, dass man, von dieser modernen Auffassung herkommend, die Gauss'sche Methode für viel komplexere Probleme auf selbstverständliche Art und Weise verallgemeinern kann.

Diese historische Übersicht begann mit Tycho Brahe, dem Mann der Beobachtung; sie endet mit der Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald:



Observatorium Zimmerwald. Kuppel links: Satellitenbeobachtungsstation, Kuppel rechts: Astronomisches Observatorium.

6. Beobachtung heute: Ein Beispiel

Die Universitätssternwarte Zimmerwald besitzt heute zwei Observatorien, ein astronomisches und ein geodynamisches.

Der Aufbau der Satellitenbeobachtungsstation wird durch

Figur 4 veranschaulicht: Im Apparateraum befindet sich als Kernstück ein Nd: YAG - Laser, mit dem sehr kurze (ca. 10^{-9} sec) Lichtpulse mit einer maximalen Rate von 10 Pulsen/sec erzeugt werden. Diese Lichtpulse werden mittels eines Umlenksystems und des sogenannten Sendeteleskopes in Richtung zum Satelliten gesandt. Ein kleiner Teil des Lichtes wird am Satelliten reflektiert und wieder in Richtung zur Sternwarte zurückgeworfen. Das Empfangsteleskop hat die Aufgabe, einen möglichst grossen Prozentsatz des Laserlichts zu sammeln und - via Sekundäroptik - in einen Photomultiplier zu werfen. Dieser Photomultiplier nun erzeugt einen elektrischen Puls, der einen sehr präzisen Zähler stoppt, der gestartet wurde, als der Laserpuls die Sternwarte verliess.

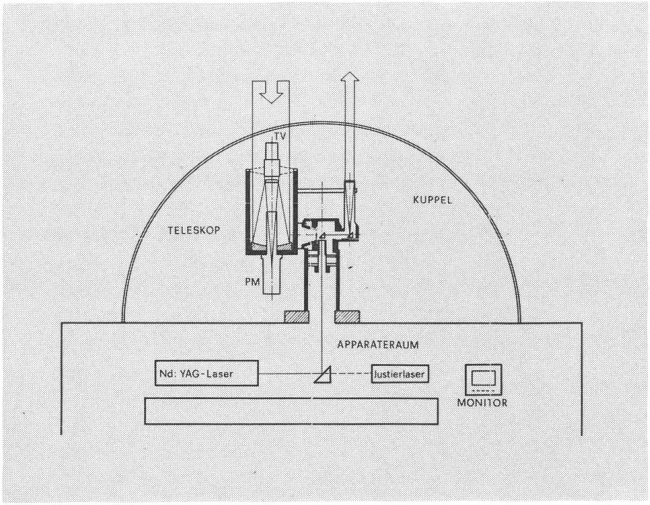


Fig. 4: Schema der Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald.

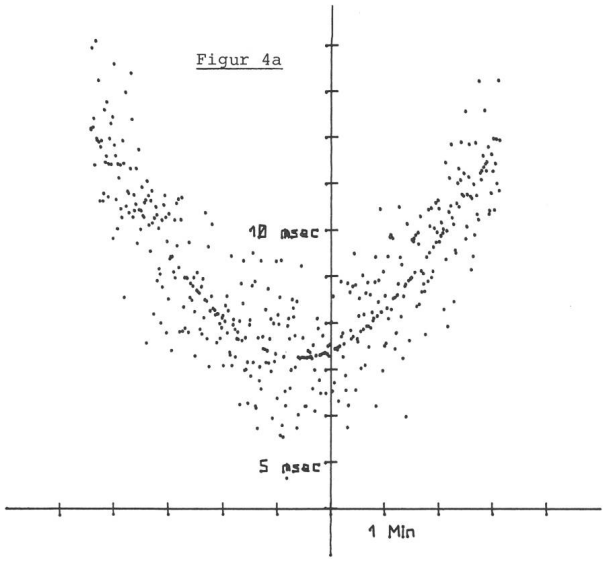


Fig. 4a: Flugzeitmessungen zum Satelliten Starlette ohne *Filter.*

Gemessen wird also zu bestimmten Zeiten die Flugzeit des Signals von der Sternwarte zum Satelliten und zurück.

Noch ein Wort zu den Satelliten: Moderne Laser-Satelliten sind kleine, schwere Kugeln, in deren Oberfläche Prismen eingelassen sind, die die Aufgabe haben, das Licht in dieselbe Richtung zu reflektieren, aus der es einfiel. (Beispiel für die Dimensionen: der französische Forschungssatellit «Starlette» hat einen Durchmesser von 24 cm und eine Masse von 47 kg.)

Diese Flugzeitmessungen nun werden pro Durchgang einige 100 mal wiederholt. Da man - jedenfalls bei sehr weit entfernten Satelliten - nur noch wenige Photonen des ausgesandten Signals zurückerwarten darf, ist die Wahrscheinlichkeit von Störpulsen im Photomultiplier sehr hoch.

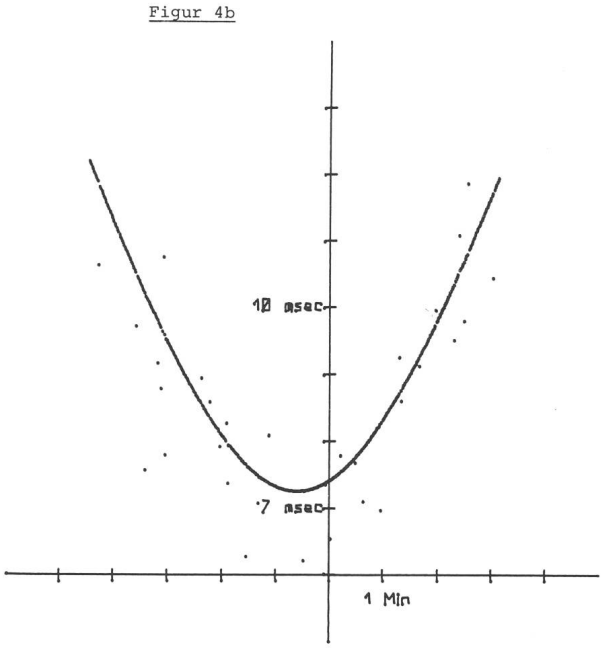
Man darf also nach dem Durchgang ein Bild folgender Art erwarten:

Dies ist natürlich ein ungeheurer Energieverschleiss und man kann sich fragen, ob diese Beobachtungstechnik nicht verbessert werden kann.

Dies ist in der Tat möglich, wenn man schon *vor* der Schussabgabe über eine sehr gute Prognose über die zu erwartende Lichtlaufzeit verfügt. Man kann sich nämlich dann darauf beschränken, den Stopp-Photomultiplier nur während sehr kurzer Zeit (10 bis 100 Nanosekunden) abzufragen, und so die Wahrscheinlichkeit von Störpulsen sehr stark reduzieren.

Dass dies überhaupt möglich ist, ist keineswegs selbstverständlich. Im Grunde genommen müsste man, um eine Prognose dieser Qualität zu erreichen, vor jedem Schuss mit den bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Messungen eine vollständige Bahnbestimmung durchführen. Dies aber ist mit dem Stationsrechner, einem PDP 11/40 Kleincomputer, völlig undenkbar. Eine Lösung war aber trotzdem möglich, und zwar mit dem Instrumentarium des «linearen Optimalfilters» (auch Kalmansche Filtertechnik genannt).

Das Resultat solcher Bemühungen ist in Figur 5b zu sehen: Anstatt bis zu 90% Fehlregistrationen hat man nun mehr als 95% Treffer. Das Bild ist übrigens noch insofern unzutreffend, als das Filter Fehlregistrationen «on-line» erkennt und gar nicht mehr registriert.



Adresse des Autors:
G. Beutler, Astronomisches Institut, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.