



## Eine Renaissance der Astrometrie in der Geodäsie

Kurt Bretterbauer <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, Abteilung Theoretische Geodäsie, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (1), S. 15–20  
1997

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Bretterbauer_VGI_199703,  
Title = {Eine Renaissance der Astrometrie in der Geod{"a}sie},  
Author = {Bretterbauer, Kurt},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {15--20},  
Number = {1},  
Year = {1997},  
Volume = {85}  
}
```





# Eine Renaissance der Astrometrie in der Geodäsie

*Kurt Bretterbauer, Wien*

## Zusammenfassung

Die Astrometrie mit ihren visuellen und photographischen Beobachtungen von Fixsternen zur Bestimmung von Lotrichtungen und Polbewegung war ein bedeutendes Verfahren der klassischen Geodäsie. Auch die Satellitengeodäsie hat sich anfänglich der photographischen Aufnahme der Objekte gegen den Sternenhintergrund bedient. Laser-Distanzmessungen und das Global Positioning System haben die astrometrischen Verfahren nahezu vollständig verdrängt. Die Entwicklung der CCD-Technologie aber hat optische Methoden wieder interessant gemacht. Über Einsatzmöglichkeiten und erste Ergebnisse wird in einem Überblick berichtet.

## Abstract

Astrometry with its visual and photographic observations of stars for determination of plumbline directions and of polar motion has been an important method of classical geodesy. Satellite geodesy in its initial years, too, made use of photographic observations of objects against the star background. Laser ranging and the Global Positioning System have replaced astrometric methods almost completely. The advancement of CCD-technology, however, made optical methods interesting again. The usefulness of the device and first results are discussed in the following survey.

## 1. Einführung

Seit jeher wurde an der Abteilung Theoretische Geodäsie der TU Wien (früher Institut für Höhere Geodäsie und Sphärische Astronomie) die Astrometrie besonders gepflegt. In den Achtzigern wurden von Mitarbeitern der Abteilung auf zahlreichen Feldstationen Lotabweichungen bestimmt und damit ein bedeutender Beitrag zur ersten Version des österreichischen astro-geodätischen Geoides geleistet. Leider ist die internationale geodätische Fachwelt von der astronomischen Lotrichtungsbestimmung weitgehend abgerückt und konzentriert sich auf die Bestimmung von Schwereanomalien. Dies ist nicht ganz verständlich, liefert doch die astronomische Beobachtung zusammen mit einer Gravimetermessung den vollständigen Schwerevektor. Richtig ist allerdings, daß in einer klaren Nacht kaum mehr als zwei, höchstens drei astronomische Feldstationen nach dem klassischen Verfahren der Almukantaratdurchgänge erledigt werden können. Deshalb gibt es in Österreich auch nur einige hundert Lotabweichungspunkte, dagegen mehrere Zehntausend Schwerewerte. Die in den letzten Jahren entwickelten Sensoren zur photoelektrischen Bildaufzeichnung (CCDs) aber könnten Lotrichtungsmessungen wesentlich effizienter und damit wieder interessant machen.

Die Satellitengeodäsie hat während der ersten Jahre ihrer Entwicklung die Objekte durch Pho-

tographie gegen den Sternenhintergrund erfaßt. Bald jedoch wurde dieses durchaus erfolgreiche Verfahren von Methoden der Distanzmessung abgelöst. Distanzmessungen sind wesentlich genauer und laufen vollautomatisch ab. Der hohe Preis der Photoplatten, sofern sie überhaupt noch erzeugt werden, lange Belichtungszeiten für die sehr schwachen Objekte und die langwierige Ausmessung am Komparator haben die Astrophotographie vollends obsolet gemacht. Auch hier bieten die CCD-Kameras neue Beobachtungsmöglichkeiten. Beide Anwendungsgebiete, Lotrichtungsbestimmung und Satellitenbeobachtung, sind ebenfalls automatisierbar. Diese günstigen Aspekte haben den Autor veranlaßt, einen Antrag an den Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank zur Finanzierung einer leistungsfähigen CCD-Kamera zu stellen. Der Antrag wurde als Projekt Nr. 5258: „Beobachtung künstlicher Erdsatelliten mit CCD-Kamera“ (Projektleiter Bretterbauer) genehmigt. Seit Frühjahr 1995 ist diese Anlage erfolgreich im Einsatz.

## 2. Wozu heute noch Astrometrie?

Natürlich muß die Frage gestellt werden, welchen Nutzen astrometrische Beobachtungen bieten, wenn die moderne Geodäsie von hochpräzisen Laserdistanzmessungen, von der Satelliten-Altimetrie, dem Global Positioning System

und von Gravimetrie und Gradiometrie beherrscht wird?

Zunächst bietet jede optische Beobachtung eines außerirdischen künstlichen Objektes, auch wenn sie in der Genauigkeit mit anderen Verfahren nicht konkurrieren kann, einen Beitrag zur Bahnverbesserung und zur Bestimmung der Erdrotationsparameter, insbesondere dann, wenn sie simultan mit einer Distanzmessung erfolgen kann. Besonders lohnende Objekte stellen die Geosynchrone Satelliten dar. Ein wichtiges Problem ist die Überwachung dieser eng positionierter Satelliten zur Vermeidung von Interferenzen der Sendefrequenzen oder gar von Kollisionen und zur Minimierung von nötigen Bahnmanövern. Weiters gibt die Langzeitentwicklung ihrer Bahnen Aufschluß über spezielle Koeffizienten der harmonischen Entwicklung des Erdschwerepotentials. Schließlich bietet die optische Beobachtung die einzige Möglichkeit zur Aufspürung von Weltraumschrott (space debris). Wie wichtig und aktuell dieses Problem ist, beweist die am 24. Juli 1996 erfolgte Kollision des französischen Militärexperimentalsatelliten CERISE mit einem Teil einer alten Ariane-Rakete (Kollisionsgeschwindigkeit  $\approx 50\,000$  km/h).

Aber auch die terrestrische Lotrichtungsbestimmung hat weiter ihre Berechtigung, ist sie doch besonders gut für die Erfassung der Detailstruktur des Geoides geeignet [1]. Es besteht daher die Absicht, eine vorhandene photographische Zenitkamera für den CCD-Einsatz zu adaptieren.

### 3. Die CCD-Kamera der Abteilung Theoretische Geodäsie

Aus den von der Österreichischen Nationalbank bewilligten Mitteln wurde ein Kamerasystem der Fa. Photometrics angekauft. Der CCD-Chip der Fa. SiTe hat  $1024 \times 1024$  Pixel (picture elements) in dünner Ausführung (thinned, auch back illuminated), Pixelgröße  $24\ \mu\text{m}$ . Der Chip zeichnet sich durch sehr geringen Dunkelstrom (0,39 Elektronen pro Sekunde) und geringes Ausleserauschen (7 Elektronen pro Pixel) aus. Er wird durch eine dreistufige Peltierkühlung in wenigen Minuten auf  $-40^\circ\text{C}$  gekühlt. Ein CCD-Chip (Charge Coupled Device = ladungsgekoppeltes Gerät) besteht im wesentlichen aus zahlreichen winzigsten in Matrixform angeordneten Halbleiterkondensatorelementen, in denen durch Lichtwirkung freie Elektronen gebildet werden. Die Zahl der Elektronen ist abhängig von Intensität und Dauer der Belichtung. Die entstandene Ladung kann praktisch ohne Verlust von Zeile zu Zeile verschoben und einem Analog-Digitalwand-

ler zugeführt werden, wo die Elektronen jedes Pixels gezählt und abgespeichert werden. Der Analogprozessor arbeitet mit 16 bit, kann also theoretisch 65 536 Intensitätsstufen unterscheiden. Für Einzelheiten der CCD-Technik im allgemeinen und der oben genannten Kamera im besonderen, muß auf die Literatur verwiesen werden [2], [3], [4]. Ausländische Institute sind dabei, größere CCDs zu installieren. Das ist einerseits eine Frage der finanziellen Mittel, andererseits des technischen Fortschritts, der es erlaubt, immer bessere Geräte zu günstigeren Bedingungen zu erwerben. Im Hinblick auf Preis, Leistung und angestrebte Einsatzmöglichkeiten aber hat sich unsere CCD-Kamera als optimal erwiesen.

Sieht man von relativ billigen CCD-Kameras von Amateurastronomen ab, existiert keine vergleichbare Anlage in Österreich. Es mußte daher die Technik der CCD-Beobachtung und Auswertung von Grund auf entwickelt werden, was auch umfangreiche Programmierungsarbeit bedingte. Dabei konnte auf Erfahrungen der Schweizerischen Station Zimmerwald mit einer älteren CCD-Kamera zurückgegriffen werden [5].

Der Kamerakopf kann mit einem Nikon-Bajonetverschluss an jedes Fernrohr angekoppelt werden. Prinzipiell stehen mehrere Fernrohre zur Verfügung: Ein alter Astrograph an der Sternwarte auf der Türkenschanze ( $f = 3800$  mm, 1:14), die Satellitenkamera BMK 75 (Ballistische Meßkammer) von Zeiß ( $f = 750$  mm, 1:2.5) an der Abteilung Satellitengeodäsie des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften auf dem Lustbühel bei Graz, und schließlich das institutseigene Spiegelteleskop Celestron 80 ( $f = 2800$  mm, 1:10). Adaptionsprobleme gab es nur bei der BMK75, weil diese mit einer automatischen Plattenwechseleinrichtung ausgestattet war und nicht fokussierbar ist. Die Beobachtungen wurden bisher zum größten Teil mit der BMK 75 durchgeführt. Für den freizügig gewährten Zugang zu diesem ausgezeichneten Instrument sei Herrn o. Univ. Prof. Dr. H. Sünkel, dem Leiter der Abteilung Satellitengeodäsie, auch hier Dank gesagt. Die BMK 75 zeichnet sich durch große Lichtstärke und weites Gesichtsfeld aus. Beobachtungen an langbrennweitigen Teleskopen wurden bisher nicht forciert, weil in deren kleinen Gesichtsfeld kaum geeignete Anhaltsterne mit Koordinaten ausreichender Genauigkeit abgebildet werden. Nach Vorliegen neuer Sternkataloge (Hipparcos und Tycho ab Sommer 1997?) wird dieser Nachteil hinfällig.

Es mußte auch ein geeigneter Mitarbeiter gefunden werden, der nicht nur über die fachlichen

Voraussetzungen, sondern auch über das nötige Engagement verfügen sollte, zahllose Nächte fern von Wien den Beobachtungen zu widmen. Dipl. Ing. (jetzt Dr. techn.) Martin Ploner hat diese Aufgabe übernommen; die Ergebnisse seiner bisherigen Arbeiten sind in [3] niedergelegt.

Die Beobachtung bewegter Objekte bedarf einer Zeitregistrierung auf wenige Millisekunden genau. Der Lamellenverschluß der CCD-Kamera ist dazu ungeeignet. Die Zeitskala vermittelt ein GPS-Empfänger, der eine Zeitkarte im Rechner mit extrem hoher Genauigkeit ( $\pm 2 \mu\text{s}$ ) auf UTC (koordinierte Weltzeit) synchronisiert. Die eigentliche Registrierung des Belichtungszeitpunktes erfolgt durch eine spezielle Technik des „Schiebens“; der Vorgang ist in [3] genau beschrieben.

#### 4. Die Beobachtung geostationärer Satelliten

Erdsatelliten, mit Umlaufperiode gleich der Rotationsdauer der Erde (23h 56m 04 s) nennt man „geosynchron“. Hat ihre Bahn außerdem Kreisform und liegt sie in der Äquatorebene, so scheinen solche Satelliten über einem Punkt des Äquators festzustehen, sind also „geostationär“. Das macht sie hervorragend geeignet als Fernseh-, Wetter- und Kommunikationssatelliten. Interessant ist, daß diese Eigenschaft und ihre Einsatzmöglichkeiten schon 1929 von dem Österreicher Norbert Potocnik (Pseudonym H. Noordung) in seinem Buch „Das Problem der Befahrung des Weltraums – Der Raketen-Motor“ beschrieben worden war. Die Zahl der geostationären Satelliten nimmt ständig zu, sodaß diese immer enger positioniert werden müssen. Die letzte von der ESA (European Space Agency) verbreitete

Liste (Februar 1996) weist mehr als 600 Objekte in der Nähe des geostationären Ringes aus. Darunter befinden sich auch zahlreiche auf-gegebene (gestorbene) Satelliten, Raketenteile, Apogäumsmotoren u. a. Solche Objekte entfernen sich zunehmend von der geostationären Bahn, vor allem nimmt ihre Bahnneigung von ursprünglich  $0^\circ$  unter dem Einfluß von Sonne und Mond sehr langsam bis zu einem Maximalwert von rund  $15^\circ$  zu. In der Abbildung 1 sind alle diese Objekte vereinfachend im Moment des Durchganges durch ihren Bahnknoten dargestellt. Tatsächlich können sich die nicht manövierten Objekte über eine Zone von  $15^\circ$  nördlich und südlich des Äquators verteilen.

Besondere Eigenschaften des Erdschwerefeldes (eine leichte Elliptizität des Äquators) führen zur Ausbildung zweier „stabiler“ und zweier „instabiler“ Punkte. Satelliten in der Nähe der stabilen Punkte pendeln um diese herum, während sie in der Nähe der instabilen Punkte zunehmend abdriften. Die Satelliten unterliegen zahlreichen Störbeschleunigungen, sodaß aktive Satelliten durch periodische Bahnmanöver in ihrer Sollposition gehalten werden müssen. Das bedingt auch ihre begrenzte Lebensdauer (Treibstoffvorrat). Die wichtigsten Störungen sind die Anisotropie des Erdschwerefeldes, die Wirkung von Mond und Sonne und der solare Strahlungsdruck. Letzterer ist bei gestorbenen Satelliten besonders schlecht zu modellieren, weil diese nicht mehr stabilisiert sind und daher taumeln, was sich in einem meßbaren Lichtwechsel zeigt. Aber vielleicht könnte gerade die Messung des Lichtwechsels einen Ansatzpunkt zur Modellierung bieten (der CCD-Chip ist auch als Photometer zu verwenden).

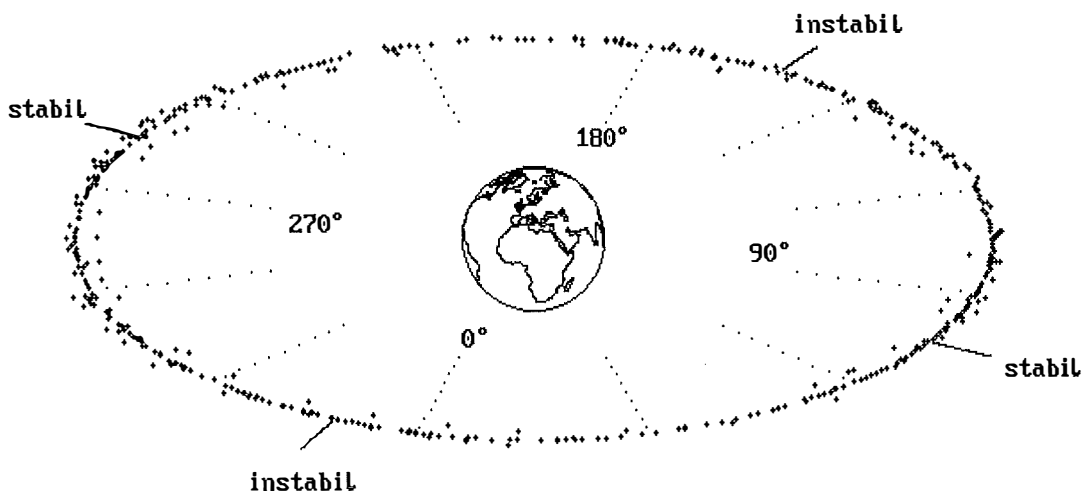


Abb. 1: Der geosynchrone Ring (alle Objekte in ihrem Knoten)

Bei Satelliten, deren Umlaufperiode  $P$  in einem rationalen Verhältnis zur Rotationsdauer  $T$  der Erde steht, treten Resonanzerscheinungen auf. Für Synchronsatelliten ist  $P/T = 1$  (für GPS-Satelliten ist  $P/T = 1/2$ ). Die Ursache der Resonanzen liegt in der Tatsache, daß ein Synchronsatellit immer in der gleichen Position zu Massenunregelmäßigkeiten der Erde steht. Letztere werden hauptsächlich durch die sektoriellen Terme niedriger Ordnung der Kugelfunktionsentwicklung des Schwerepotentials dargestellt. Daher kön-

nen die Werte dieser Terme aus den Beobachtungen von Synchronsatelliten bestimmt werden.

## 5. Beobachtungsergebnisse

Die Beobachtung erfolgt bei feststehendem Fernrohr, das bedeutet, die Satelliten werden als punktförmige Objekte, die Sterne als Strichspuren abgebildet. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Intensitätsverteilungen für einen Satelli-

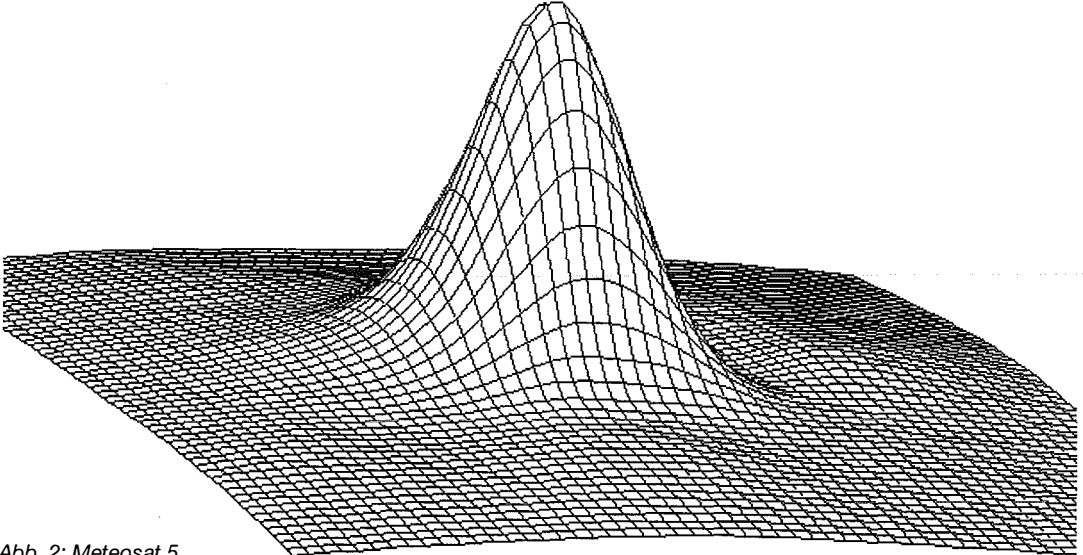


Abb. 2: Meteosat 5

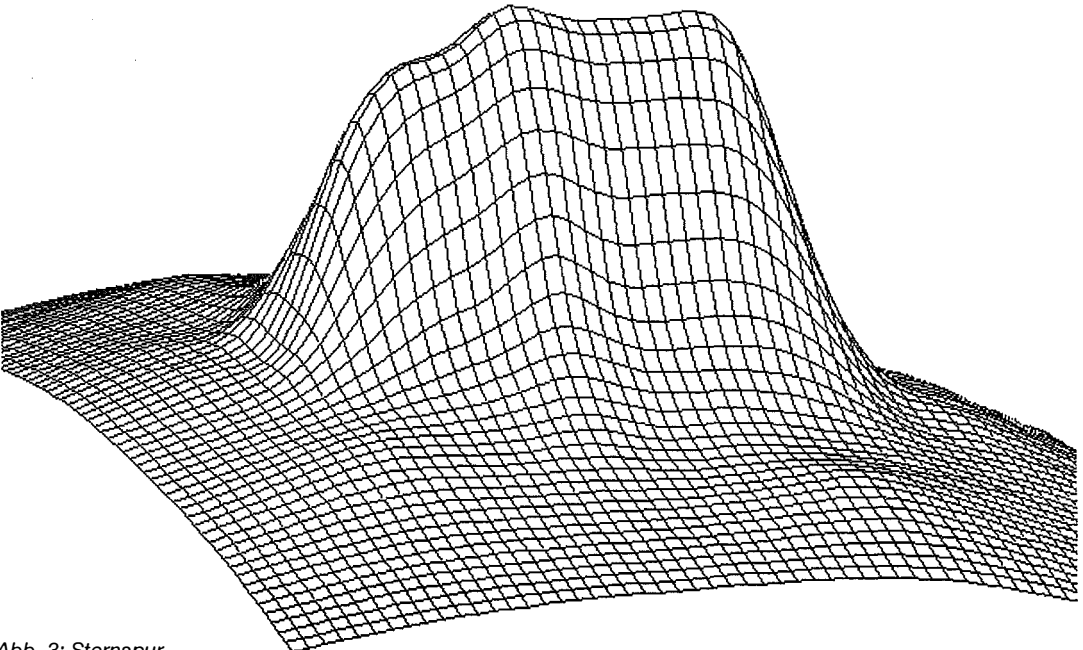


Abb. 3: Sternspur

ten (Meteosat 5) und einen Stern aus einer Aufnahme mit der BMK 75.

Die Belichtungszeiten betragen trotz der geringen Helligkeit der Objekte nur zwischen 1.5 und 3 s. Die scheinbare Helligkeit lag bei den bisher beobachteten Satelliten zwischen 10 (gestorbener russischer Satellit Gorizont 11) und 14 (Meteosat 6). Zum Vergleich: Vega, der hellste Stern des nördlichen Himmels, strahlt rund 400 000 mal heller als Meteosat 6.

Für die Bilder der Objekte (Satelliten, Sterne) muß der optimale Ort auf dem Chip gefunden werden. Dies geschieht durch Annäherung der beobachteten Intensitätsverteilung durch sogen. „point spread functions“. Das sind zweidimensionale Verteilungsfunktionen (z.B. Gauß-Verteilung), deren Parameter durch Ausgleichung bestimmt werden. Damit gelingt die Positionsbestimmung auf deutlich unter einem Zehntel der Pixelgröße. Die bisher erreichte absolute Richtungsgenauigkeit mit der BKM 75 (Pixelgröße 6.6") liegt bei  $\pm 0,5''$ . Darin sind aber auch andere Fehler enthalten, vor allem die Farbkorrektur der Sterne. Bei den relativ großen Zenitdistanzen, in denen von Österreich aus die geostationären Satelliten erscheinen ( $z > 55^\circ$ ) tritt die Dispersion des Lichtes durch die Atmosphäre deutlich in Erscheinung. Dieses Phänomen bedarf noch weiterer Untersuchungen.

Dr. Ploner konnte, trotz der extrem schlechten Witterung des Jahres 1996, hunderte Aufnahmen der aktiven Satelliten Meteosat 5 und 6, und der gestorbener russischen Satelliten Gorizont 11 und Stationar-raduga 8, neben anderen Satelliten, gewinnen und auswerten, wobei Bahnbögen bis zu 61 Tagen überspannt wurden. Da unsere Abteilung derzeit noch über kein eigenes Bahnbestimmungsprogramm verfügt, hat Dr. Ploner die Bahnberechnung an der Schweizer Satellitenstation Zimmerwald mit einem Programm von U. Hugentobler durchgeführt, wofür hier ebenfalls gedankt sei. Die Resultate übertrafen die Erwartungen. So konnte z.B. die halbe große Bahnachse von Meteosat 5 für die Epoche MJD 50265.0 mit einem mittleren Fehler von nur  $\pm 0.16$  m bestimmt werden. Zur Berechnung der vollständig normierten sektoriellen Koeffizienten 2. Ordnung der harmonischen Entwicklung wurden Beobachtungen der Station Zimmerwald von Meteosat 4 und 5 mit den Beobachtungen von Meteosat 5 und 6 des Dr. Ploner kombiniert. Das Ergebnis ist erstaunlich und reicht an die besten bisher bekannten Werte heran:

$$\bar{C}_{22} = 2.43923E - 06 \pm 3.90E - 10$$

$$\bar{S}_{22} = -1.40031E - 06 \pm 9.77E - 11$$

Zum Vergleich die Werte des JGM-3 Modells:

$$\bar{C}_{22} = 2.43926E - 06 \pm 3.65E - 11$$

$$\bar{S}_{22} = -1.40027E - 06 \pm 3.65E - 11$$

## 6. Lotrichtungsbestimmung mit CCD

Etwa um das Jahr 1980 wurde in einem Gemeinschaftsprojekt der Abteilung Theoretische Geodäsie mit dem Geodätischen und Geophysikalischen Forschungsinstitut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften in Sopron die „Sopron-Wiener photographische Zenitkammer“ entwickelt (Abbildung 4). Wien stellte das Objektiv zur Verfügung und entwickelte ein Auswerteprogramm, in der Werkstätte des Soproner Instituts wurden alle mechanischen Teile und die Elektronik konstruiert.

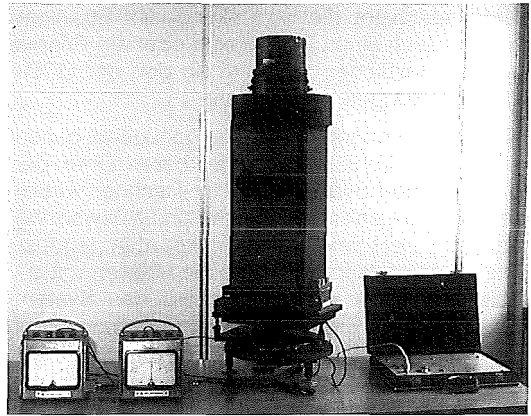


Abb. 4: Die Sopron-Wiener Zenitkammer

### 6.1. Prinzip der Zenitkammer

Eine photographische Kamera wird auf einem drehbaren Untersatz gelagert und mit Hilfe von (elektronischen) Libellen zum Zenit gerichtet. Eine Lotrichtungsbestimmung ist nichts anderes als die Festlegung des Zenits unter den Fixsternen. Durch eine Aufnahme des Sternfeldes auf eine Photoplatte ist der Zenitpunkt aber noch nicht bestimmt. Durch Drehen der Kamera beschreibt die Aufnahmerichtung einen Kegelmantel, dessen Achse zum Zenit weist, sofern die Beziehung zur Lotrichtung durch die Libellen immer gesichert ist. Macht man in mindestens drei Drehpositionen Sternaufnahmen auf ein und dieselbe Platte, so ist der Kegelmantel und damit seine Achse, das ist die Zenitrichtung, eindeutig bestimmt. In der Praxis wurde in vier Lagen belichtet (N, E, S, W). In jeder Lage wurden zur Genauigkeitssteigerung fünf Expositionen mit Zeitregistrierung gemacht. Da bis zu 50 Sterne abgebildet werden, ergab dies ein verwirrendes

Bild mit bis zu 1000 Stempuren, die am Komparator eingemessen werden mußten. Auswerteprogramme wurden in [6] erarbeitet. Eine detaillierte Beschreibung der Sopron-Wiener Zenitkammer mit Beobachtungsergebnissen liegt in [7] vor. Die innere Genauigkeit einer Einzelbestimmung der Lotrichtung war sehr hoch, zwischen  $\pm 0.06''$  und  $\pm 0.14''$  in Breite bzw.  $\pm 0.005$  s und  $\pm 0.009$  s in Länge. Die äußere Genauigkeit dagegen war erheblich schlechter, nämlich  $\pm 1.0''$  in Breite und  $\pm 0.06$  s in Länge. Der Grund dafür wurde in der Analogablesung der elektronischen Libellen vermutet.

## 6.2. Umbau der Sopron-Wiener Zenitkammer auf CCD-Beobachtung

Es ist geplant, diese Zenitkammer für CCD-Beobachtung zu adaptieren. Als einfachste Maßnahme erscheint die Umlenkung des Strahlenganges durch einen Planspiegel oder ein Prisma zu einem seitlichen Ausgang an den der CCD-Kopf angeköpelt werden kann.

Da der Aufnahmeort immer genügend genau bekannt ist, können die scheinbaren Örter der abzubildenden Sterne schon im Rechner vorbereitet werden, sodaß Aufnahme und Auswertung nahezu in „real time“ ablaufen könnten, vorausgesetzt, es werden elektronische Libellen mit digitaler Ablesung eingesetzt. Wird das System mitsamt einem Rechner in einem Fahrzeug mit Schiebedach montiert, könnten so in einer klaren Nacht Dutzende von Lotabweichungsstationen beobachtet werden, was eine außerordentliche Effizienzsteigerung bedeutet. Eine äußere Genauigkeit der einzelnen Lotabweichungen von  $\pm 0.5''$  erscheint ausreichend und realisierbar. Dies würde die Erfassung der Feinstruktur des österreichischen Geoides entscheidend erleichtern. In Verbindung mit einer GPS-Ortsbestimmung erhielte man übrigens absolute Lotabweichungen bezogen auf das mittlere Erdellipsoid.

Ein wichtiges Einsatzgebiet dieser Lotrichtungsbestimmung bietet sich im Rahmen der „Integrierten Geodäsie“ an. In sehr komplexen bewegten Systemen werden Schwere, Lotrichtung, Koordinaten und Höhe kontinuierlich linienförmig registriert [8]. Lage und Höhe durch DGPS, die Schwere durch Beschleunigungsmesser und die Lotrichtung durch Übertragung durch Kreisel. Zur Erreichung der gewünschten Genauigkeit in Lotrichtung und Schwere müssen die Systeme in relativ kurzen Zeitabständen angehalten und neu ausgerichtet werden (genannt ZUPT = zero velocity update). Während dieser Zwischenstops kann eine CCD-Aufnahme mit Zenitkammer erfolgen und ein wesentliches stüt-

zendes Element für die Integrierte Geodäsie liefern. In Österreich existiert kein solches, sehr teures System. Deshalb wird die Kooperation mit einem ausländischen Institut angestrebt.

## 7. Ausblick

Die CCD-Technologie hat eine Renaissance astrometrischer Methoden in der Geodäsie ermöglicht. Schon der erste große Einsatz hat erfreuliche Resultate geliefert und die eingesetzten finanziellen Mittel gerechtfertigt. Hätte man die in Kapitel 5 vorgestellten Beobachtungen photographisch durchführen wollen, wären allein für den Preis der Photoplatten mindestens S 500 000.– aufzuwenden gewesen, ganz abgesehen vom Zeitaufwand für Entwicklung und Auswertung. Nicht zuletzt konnte durch die CCD-Anlage die seit vielen Jahren unbenützte wertvolle BMK 75 auf dem Lustbühel wieder einem sinnvollen Einsatz zugeführt werden.

Viele Probleme harren noch ihrer Bearbeitung, was im Rahmen von Diplomarbeiten vorgesehen ist. Zunächst eine Neubearbeitung des großen Datenmaterials nach Veröffentlichung der neuen Sternkataloge Hipparcos bzw. Tycho unter Berücksichtigung der Farbkorrektur der Sterne. Im Nationalbankprojekt 5258 sind Beobachtungen an langbrennweitigen Teleskopen und Simultanmessungen mit dem Laser-Ranger der Station Lustbühel vorgesehen. Eventuell wären sogar simultane CCD-Beobachtungen mit ausländischen Stationen möglich. Schließlich soll versucht werden, die Beobachtungen auf tiefer orbitierende Satelliten auszudehnen.

## Literatur

- [1] Gerstbach, G.: How to get a European Centimeter Geoid. Phys. and Chem. of the Earth. In print.
- [2] Wernli, H.-R.: Die CCD-Astrokamera für den Amateur. Birkhäuser, Basel, 1995.
- [3] Ploner, M.: CCD-Astrometrie von Objekten des geostationären Ringes. Geowiss. Mitt., Heft 46, TU Wien, 1996.
- [4] Berry, R.: Choosing and Using a CCD-Camera. Willmann-Bell, Inc., Richmond 1992.
- [5] Schildknecht, Th.: Optical Astrometry of Fast Moving Objects Using CCD Detectors. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten der Schweiz, Bd. 49, Zürich, 1994.
- [6] Weber, R.: Entwicklung eines Computerprogramms zur Auswertung von Zenitkammeraufnahmen. Diplomarbeit, TU Wien, 1982.
- [7] Mosor, E.: Über die Erprobung der Sopron-Wiener Zenitkammer. Diplomarbeit, TU Wien, 1986.
- [8] Caspary, Hein, Schödlbauer, Hrg.: Beiträge zur Inertialgeodäsie. Univ. d. Bundeswehr, Schriftenreihe Vermessungswesen, Heft 22, München, 1987.

## Adresse des Autors:

o.Univ.-Prof. Dr. Kurt Bretterbauer, Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, Abteilung Theoretische Geodäsie, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien