



CCD und Geodätische Astronomie – Zur Nutzbarkeit von CCD für Lot- und Azimutmessungen

Gottfried Gerstbach ¹

¹ *Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, TU Wien, Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **84** (1), S. 63–68

1996

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Gerstbach_VGI_199616,  
Title = {CCD und Geod{\'a}tische Astronomie -- Zur Nutzbarkeit von CCD f{\'u}r  
Lot- und Azimutmessungen},  
Author = {Gerstbach, Gottfried},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{\'u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {63--68},  
Number = {1},  
Year = {1996},  
Volume = {84}  
}
```





CCD und Geodätische Astronomie – Zur Nutzbarkeit von CCD für Lot- und Azimutmessungen

Gottfried Gerstbach, Wien

Zusammenfassung

Aufgrund der Erfahrungen von Astronomen und Geodäten bei Richtungsbeobachtungen hoher Satelliten und von Tests mit Videotheodoliten wird abgeschätzt, ob astrogeodätische Messungen (Lotabweichung, Azimut) mittels CCD-Technik zu automatisieren und zu beschleunigen sind. Ersteres ist zu bejahen, letzteres hängt stark vom Beobachtungsvorgang ab. Beim Einsatz üblicher Instrumente sind Kompromisse bei Größe, Kühlung oder Auslesung der CCD-Elemente einzugehen. Liniensensoren bieten Vorteile gegenüber Flächensensoren. Genaueste visuelle Messungen lassen sich noch nicht ersetzen, doch dürfte die absehbare Pixel-Verkleinerung in 5–10 Jahren etwa $\pm 0.2''$ ermöglichen.

Summary

Based on the experiences of astronomers and geodesists observing distant satellites and first tests of videotheodolites the author analyses the use of CCD for astro-geodetic measurements (vertical deflections, azimuths). Automation will be possible, but the speed of measurements depends on the observation scheme. Compromises in size, cooling or reading the devices will be necessary. Using transportable instruments with line sensors, the CCD accuracy will be less than the visual one but may reach $\pm 0.2''$ within 5–10 years assuming the development of smaller pixels.

1. Einleitung und Motivation

Die Bedeutung astrogeodätischer Messungen erreichte zwischen etwa 1970 und 1985 einen Höhepunkt, nahm aber seither langsam ab. Die Gründe hierfür sind mehrere:

- a) Geoidbestimmung: flächendeckende Genauigkeiten von ± 5 – 10 cm sind in vielen flacheren Ländern erreicht (oft GPS-gestützt), gelten aber im Gebirge und für ± 1 – 5 cm als aufwendig.
- b) Terrestrische Netze und ihre Orientierung nehmen wegen GPS und anderen Techniken etwas an Bedeutung ab – und parallel dazu das Bewußtsein, daß viele terrestrische Meßgrößen wegen Lotabweichung zu reduzieren sind.
- c) Beobachtungserfahrung in astro-geodätischen Methoden kann wegen GIS und anderer neuer Studieninhalte nicht mehr an allen Hochschulen erworben werden.
- d) Moderne Gravimetrie scheint etwa 10mal wirtschaftlicher als Lotabweichungsmessung zu sein – im Gebirge kehrt sich das Verhältnis jedoch um [Gerstbach 1990].
- e) Inertialmethoden haben zwar hohe Lagegenauigkeiten gebracht, die Hoffnung auf Lotabweichungen besser als $1''$ haben sich jedoch nicht erfüllt [Schwarz 1995].

- f) Digitale Terrainmodelle: vielfach besteht die Ansicht, daß Lotabweichungen mit DTM auf mindestens $\pm 1''$ interpolierbar sind; tatsächlich bewirken Dichteanomalien weitere 1 – $5''$.

Aus diesen und weiteren Gründen ist die vor 1960 festzustellende Scheu vor astrogeodätischen Messungen wieder im Zunehmen. Ermutigt durch erfolgreiche Astrometrie mit CCD an großen Teleskopen und durch geodätische und militärische Entwicklung von Star-Trackern, möchte ich daher zu entsprechender Weiterentwicklung astrogeodätischer Feldmethoden beitragen. Einschlägige Diplomarbeiten und Dissertationen sind an der TU Wien und anderen Hochschulen im Gange. Ich nehme an, daß damit die Gründe a, c, d und f wegfallen werden und die Wirtschaftlichkeit genauer terrestrischer Netze steigt.

2. Einführung in die CCD-Technik

Das Prinzip „Charge-Coupled Device“ wurde von W. Boyle und G. Smith 1969 erfunden und 1974 patentiert. Starke Entwicklungsimpulse gab die Entscheidung, die Galileo-Jupitersonde und das Hubble Space Telescope mit großflächigen CCDs für Videobilder auszurüsten.

CCD-Systeme wandeln Lichtquanten in Ladungen um und bestehen aus Sensor, Auslese-

vorrichtung, Schnittstelle zum PC und Software. Meist gehören auch Kameragehäuse und Objektiv(e) dazu. Sehr verbreitet sind z.B. die Kameras ST-4 und ST-6 [Sütterlin, Köberl 1994] und DCS von Kodak. Größere Sensoren werden u.a. von den Firmen Dalsa, EEV, Fairchild, JVC, Kodak, SiTe-Tektronix, Sony, TI und Thomson hergestellt [Gruen/Kahmen 1993–95, Deuerling 1995]. Sie bestehen aus tausenden kleinen „Pixeln“ (35–150 pro mm), sind aber derzeit auf einige cm bzw. cm² Größe beschränkt.

Prinzipiell könnten statt CCD auch „position sensitive devices“ [Reider 1995], Fotomultiplier oder Lawinendiioden [z.B. Weilguny 1986] verwendet werden, doch sind dabei Empfindlichkeits-, Kühlungs- und andere Probleme zu lösen. Transfer Devices (CTD) hätten gegenüber Ladungskopplung den Vorteil direkter Pixel-Adressierung, brauchen aber Kühlung und längere Auslesezeit [Dittrich 1990].

CCD-Systeme gibt es als Fläche („array“, bis 100.000 S/cm²) oder als Linie (Zeilensensor, „strip“, bis ca. 20.000 S/Zoll). Die Sensoren bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium, dessen regelmäßige Kristallstruktur durch die eng aneinanderliegenden Elektronenschalen auf Lichtquanten mit feinen Potentialänderungen reagiert (Valenz- und Leitungselektronen). Dieses p- und n-dotierte Si ist durch eine Isolatorschicht (SiO₂) getrennt. Jeder Bildpunkt („Pixel“, etwa 6–30 µm) hat 3 winzige n-Si-Elektroden und wird vom nächsten Pixel durch „channel stops“ abgegrenzt. An die mittleren Elektroden wird positivere Spannung als an die Außenelektroden angelegt, was „Potentialtöpfe“ mit Elektronendefizit erzeugt.

Dringt nun ein Photon in das Silizium ein, ändern sich diese Potentiale. Da die gleichartigen Elektroden jeder Reihe verbunden sind, können belichtete Stellen an ihrer Spannung erkannt und mit Dioden und Analog-Digital-Wandler (Schieberegister, Abb.1) zeilenweise ausgelesen, d.h. gezählt werden. Die Auslesezeit beträgt etwa 10⁻⁵ s pro Pixel, kann aber bei großen Sensoren fast 1 Minute dauern [Deuerling 1995].

Gegenüber fotografischen Filmen erreicht CCD Ähnliches bei Auflösung (einige µm) und Dynamikumfang (10³ bis 10⁵), aber wesentlich höhere Empfindlichkeit (Quanteneffizienz 40–85% statt 1–5%), Linearität und automatischen Datenfluß [Kahmen/Gruen 1995, Claus 1995]. Daher sind viele Anwendungen bei Prozeßsteue-

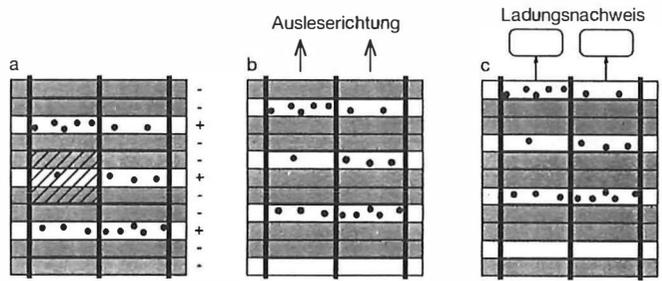


Abb. 1: Auslesen (Verschieben) der Elektronen durch Umpolen der Spannung nach der Belichtung des Sensors. Schraffiert: Potentialtopf (Pixel)

rung und Überwachung möglich (z.B. Objekterkennung auf Fließbändern; Kontrolle von Produkten, Hangrutschungen), was die (noch) hohen Preise weiter senken wird.

Nachteilige Effekte gibt es wohl, sie können aber teilweise gut beherrscht werden: Dunkelstrom (thermisches Elektronen-Rauschen) durch Kühlung, Statistik und Reduktion; ungleiche Pixelempfindlichkeit durch „flat field reduction“ (gleichmäßig leuchtende Fläche); Auflösung durch Bildverarbeitungsprogramme („Zentroid“) auf etwa 0.1 Pixel oder 1–2 µm (bei 7–30 µm Pixelgröße); unsymmetrische Ziele aber etwa 0.2 Pixel [Prinz 1995]. Für ruhende Bilder eventuell Microscanning [Claus 1995]. Kleines Gesichtsfeld (einige cm²) durch variable Vergrößerung, Steuerungssoftware oder Macroscanning [diverse Firmen; Lenz 1993]. Zeitregistrierung (ungleichmäßiges Öffnen und Schließen des Verschlusses, bis 10 ms) durch Hardware-Software-Kombinationen wie z.B. Shutter-Temperaturfühler, Timing Card oder Signalprozessor-Zeitnehmung durch Verschieben einiger CCD-Zeilen [Schildknecht 1994, Zeiß BMK, Ploner 1995]. Übliche PC-Uhren (auch mit DCF-Funk) haben nach Untersuchungen des Autors quasizufällige Fehler um ±0.05s, die aber mit GPS-Zeitsignalen auf einige µs reduzierbar sind. Fehlende Farbe (einige Dutzend bis 2¹⁶ Graustufen) wenn nötig durch Filteraufnahmen, aber spektral beschränkt auf 0,4–1 µm [Kraus 1990] bzw. 0,5–0,9 µm [Fritsch/Hobbie 1995]. Manche dünne „backside (illuminated) Chips“ erreichen 0,3 µm [Fa. SiTe 1994]. Leserauschen (Ladungstransport, Verstärkung, Digitalisierung; etwa 5–50 Elektronen/Pixel) nur teilweise vermindert durch statistische Methoden und gute Wahl von Quantifizierung (Graustufen), Dynamikumfang und Auslesezyklus[Ge1] [Deuerling, Ploner 1995]; Photon Noise oder Shot Noise (proportional $\sqrt{\text{Photonenzahl}}$ wegen Poissonverteilung);

nicht verminderbar; begrenzender Faktor bei kurzen Belichtungszeiten [Schildknecht 1994].

Die Pixelmatrix hat hohe Regelmäßigkeit ($< 0.1 \mu\text{m}$), sodaß Verzerrungseffekte entfallen. Die Effizienz des Ladungstransports liegt bei 99.999%, wird allerdings durch das o.a. Lese-rauschen im A-D-Wandler relativiert. Einziges Problem ist manchmal die trotz kleinem Gesichtsfeld hohe Datenrate, die schnelle Computer und Speicher ab 500 MB benötigt. Bei Zeilenelementen ist der Datenfluß wesentlich geringer, was für manche geodätische Meßmethoden zu idealen Verhältnissen führt (Kapitel 5).

3. Zur CCD-Astrometrie an mittleren und großen Teleskopen

In letzter Zeit sind einige CCD-Projekte bekannt geworden, die neben astrophysikalischen Beobachtungen auch präzise Richtungsmessungen zum Gegenstand haben. Demnach erbringen Teleskope mit Brennweiten von 1–5 m Genauigkeiten weit unter $\pm 1''$, die bei passender Hintergrundbeleuchtung und Kühlung auch an schwachen Objekten (Sterne und hohe Satelliten jenseits 15^m) erzielbar sind. So berichtet T.Schildknecht [1994, 1995], daß der 50cm-Cassegrainspiegel in Zimmerwald/Schweiz erlaubt, Synchronsatelliten auf $0.2''$ einzumessen und niedrige (rasch bewegte) Satelliten auf immerhin $0.5''$. Genauigkeiten um $0.3''$ erzielen Meyer und Raab [1995] auch an Kometen oder Planetoiden mit dem 30/150 cm-Reflektor der Privatsternwarte Davidschlag (OO). Die Reichweite umfaßt Objekte bis zur Magnitudo 17–19, also ca. 100mal schwächere Objekte, als sie in diesem Teleskop visuell sichtbar wären. Ploner [1995] belegt diese Genauigkeit auch bei Meteoriten (37.000 km Höhe, 14–16^m), der sich wie andere Synchronsatelliten um $< 0.1''/s$ bewegt.

Generell werden die Meßfehler an größeren Teleskopen weniger von der Apertur als vom Seeing bestimmt. Mit Ausnahme klimatisch extrem günstiger Standorte kann der Einfluß der Luftunruhe mit 1–3'' veranschlagt werden, läßt sich jedoch wegen seiner eher zufälligen Natur durch längere Meßdauer vermindern. Einen gewissen positiven Effekt hat das Seeing dadurch, daß jeder Stern mehrere bis Dutzende Pixel beleuchtet und daher die Zentroide durch spezielle Verfahren auf Zehntel oder weniger der Pixelgröße meßbar sind. Die theoretische 2%-Genauigkeit vieler Algorithmen [Gruen/Kahmen 1993] kann allerdings in der Praxis (Referenzbild-, Kontrastprobleme, unsymmetrische Ziele . . .) 10mal schlechter sein.

Durch weiter fortgeschrittene Mittel der digitalen Bildverarbeitung [Buil 1991, Köberl 1994, Prinz 1995] lassen sich Kontrast, Rauschen und systematische Bildfehler optimieren bzw. reduzieren. Einen gewissen Engpaß stellt hierbei der Rechner dar, doch sind bei nicht allzuhoher Datenrate (Bewegung) moderne Notebooks mit 500MB-Platte für Speicherung von Einzelbildern gerade ausreichend. Ein bekanntes, vielfältiges Bildverarbeitungsprogramm ist MIDAS von ESO (europ. Südsternwarte), das u.a. unter Linux läuft [Köberl 1994]. Es enthält neben Routinen zur geometrisch-radiometrischen Reduktion und Analyse von CCD-Bildern (Kapitel 2) auch Datenbank-, statistische und grafische Funktionen. Zum Datenaustausch wird das genormte FITS-Format verwendet.

Die Astronomie entwickelte automatische Meßverfahren wegen ihrer Großteleskope schon seit Jahrzehnten, z.B. lichtelektrische Fotometer (1912), Fotomultiplier, Komparatoren und selbsttätige Meridiankreise [Herrmann 1993]. Demgegenüber ist in der Geodäsie die visuelle Messung schwieriger ersetzbar – einerseits wegen der kleineren Instrumente, andererseits wegen interaktiver Arbeits- und Entscheidungsschritte. Auch wird die Automatisierung eher durch Verringerung der Fehler als der Meßdauer motiviert. So beeinflußt die Reaktionszeit des Beobachters astronomische Längen um 0.1–0.4 s, je nach Personentypus. Sie bleibt zwar innerhalb etwa ± 0.03 s konstant [Bretterbauer/Gerstbach 1983], wird aber durch „unpersönliche Mikrometer“ auf etwa 0.05 ± 0.01 s verkleinert. Neben anderen lichtelektrischen Methoden dürfte daher auch CCD in 5–10 Jahren die Geodätische Astronomie befruchten.

Die astrometrischen Video-Anwendungen haben gegenüber Tagesbeobachtungen etwa in der Ingenieurgeodäsie [Wieser 1995] den Vorteil höheren Kontrastes, weshalb die Anforderungen an Kühlung und andere Hardwarekomponenten geringer sind. Deshalb wird der astro-geodätische Einsatz kleiner, feldtauglicher Instrumente sinnvoll. Von den CCD-Meßsystemen geodätischer Hersteller scheiden aber jene aus, die zur Zielsuche Reflektoren benötigen. Auch starke Nachvergrößerung oder Infrarot-Sensibilisierung ist für Gestirnmessungen ungünstig.

4. Geodätische Anwendung an transportablen Instrumenten

In der Geodäsie werden meist tragbare Instrumente kleiner Öffnung (4–5cm) eingesetzt. Diese stellen bei CCD-Anwendung hohe Anforderun-

gen an Signalqualität, -kontrast und Rauschen sowie an Miniaturisierung, Wetterfestigkeit und geringen Energieverbrauch aller Hardwarekomponenten. Die Ingenieurgeodäsie verwendet CCD zur Steuerung im Maschinen- und Tunnelbau (auch Infrarot) und zur Bauwerks- oder Hangüberwachung [Gruen/Kahmen 1993, Katowski 1989, Leica 1995]. Messungen bei Tageslicht sind freilich wegen Kontrast und hohem „Dunkel“ Strom schwieriger und erfordern spezielle Methoden der Bildverarbeitung, Rektifizierung und/oder Sensibilisierung. An der TU Wien werden automatische Ziel- und Meßmethoden mit motorisierten Videotheodoliten entwickelt [Mischke, Wieser 1995], unter anderem für Monitoring im Bergbau.

Neuere GIS-Meßsysteme wie das kanadische VISAT [Schwarz 1995] verwenden mehrere zueinander fixierte Videokameras auf bewegten, GPS- und inertial gestützten Plattformen. Die bildverarbeiteten Schnitte sind cm-genau bis 50 m Distanz, doch dauert die Nachbearbeitung der enormen Datenmengen (viele GByte pro Häuserblock) noch etwa 50mal länger als die Meßfahrt.

Astro-geodätische Messungen zu Sonne oder Sternen setzen zwar auch gewisse Erfahrung voraus, sind aber wegen guter Kontraste und definierter Ziele einer Automatisierung durch CCD eher zugänglich. Bei mittleren Ansprüchen (1–3 mgon) ist astronomische Orientierung mit der Sonne sehr ökonomisch, wenn bei Polygonzügen, freier Stationierung oder kleinen Netzen Sichthindernisse oder Festpunkt mangel auftreten [Gerstbach / Peters 1985]. Mit Theodolit und Armbanduhr in wenigen Minuten durchführbar, verbessern sie auch die Netzgüte. Die Wetterbedingungen Mitteleuropas lassen die visuelle Methode an 50–70 % der Außendiensttage zu. Ihre Automatisierung mit Notebook oder Palmtop scheint bis 1998 möglich. Sie erfordert Servotheodolite mit Routinen u.a. zur Zielung bei variablem Kontrast und Spiegelungen.

Höhere Genauigkeiten (0.3–1.5" oder 0.1–0.5 mgon) sind mittels Sterne zu erzielen. Für Orientierungen ist der Polarstern optimal (bei klarem Himmel oft auch tagsüber meßbar), zur Lotabweichungsbestimmung die Methode gleicher Höhen (Theodolit oder Ni2-Astrolab). Pixelgrößen von 7 µm entsprechen bei solchen Instrumenten (Brennweiten um 30 cm) etwa 5". Geeignete Sterne sind auf 0.1 Pixel zentrierbar [Schildknecht, Ploner 1995], sodaß derartige Entwicklungen etwa $\pm 0.5''$ erwarten lassen (die 0.3"-Genauigkeit leicht diffuser Objekte bei 1.5 m Brennweite [Meyer/Raab 1995] ergäbe im

Theodolit 0.5–1"). Mit 10–20 gemessenen Sterndurchgängen wären also Ergebnisse auf $\pm 0.3''$ möglich.

Wie diese Abschätzung zeigt, erreicht CCD die Güte visueller Beobachtungen noch nicht ganz (ähnliches gilt bei Richtungsmessungen am Distanzsignal [Aeschlimann 1992]). Für cm-Geoidbestimmung oder Orientierung großer Netze [Bretterbauer/Gerstbach 1983, Gerstbach 1990] sind $\pm 0.2''$ optimal, um trotz genauer, rascher Messung typische Interpolationseffekte von 0.3–1" [Bauer 1995] zu berücksichtigen. Visuell lassen sich 0.15" durch Optimierung von Beobachtungsanordnung und Auswertemodell in 40–60m erzielen [Gerstbach 1976], was bei CCD mehrere Stunden Meßdauer [Dittrich 1990] oder weitere Miniaturisierung und Automatisierung erfordern würde.

Während der Arbeit an diesem Artikel erschien die Dissertation [Schirmer 1994]: ein Universaltheodolit DKM3-A (kompaktes 8 cm-Spiegellin senferrohr; samt Zubehör von 2–3 Personen tragbar) wurde auf CCD umgebaut, kalibriert und an Lot- und Azimutmessungen erprobt. Die Genauigkeit erreicht $\pm 0.4''$ und könnte bei Motorisierung und vollelektronischer Ablesung noch etwas steigen. Auch von dieser Seite her sind demnach mit üblichen Informatiktheodoliten $\pm 0.5''$ zu erwarten, wenn die mechanische Stabilität der Videometrie ausreicht.

5. Entwicklungsarbeiten an der TU Wien

Das Institut für theoretische Geodäsie und Geophysik der TU Wien erforscht seit längerem die Möglichkeiten, das Geoid von 5 cm auf 1 cm-Genauigkeit zu bringen: durch Optimierung der Lotabweichungsmessung, gravimetrisch-geologische Modellbildung, FFT und GPS [Bretterbauer/Gerstbach 1983, Gerstbach 1976/90, Walter/Weber 1993, Bauer 1995]. Hinsichtlich CCD laufen derzeit Entwicklungen zur Astrometrie hoher Satelliten [Ploner 1995], Software-Kooperationen mit der Universität Bern [s. Schildknecht 1995] und Arbeiten des Verfassers zur Geodätischen Astronomie mit Zeilensensoren [Deuerling 1995].

Das nächste Ziel ist die halbautomatische Lotabweichungsmessung nach der Methode gleicher Höhen auf $\pm 0.5''$ (über Ergebnisse wird Ende 1996 berichtet). Visuell sind mit tragbaren Astrolabien $\pm 0.15''$ erreichbar, wenn systematische Fehlerquellen in Messung und Auswertung vermieden werden [Gerstbach 1976]. Mit CCD

ist diese Genauigkeit in 5–10 Jahren (weitere Pixelverkleinerung, bessere Software) möglich.

Bei der Methode gleicher Höhen genügen Zeilen- statt Flächensensoren, weil Sterndurchgänge in konstanter Zenitdistanz gemessen werden. Die Auflösung von 10 μm -Pixeln ist 6–8", läßt sich aber bei guter Optik durch Methoden der Bildverarbeitung auf mindestens 1" steigern, bei Zeilendurchgängen auf 1–2". Durch die ohnehin nötige Überbestimmung (15–20 statt 3 Sterne) sind die erwähnten 0.3–0.5" in knapp einer Stunde erreichbar. Bei automatischem Datenfluß zu einem Notebook oder Palmtop und guter Auswertesoftware kann man sicher sein, den Meßpunkt erst bei gewünschter Güte der Lotabweichung zu verlassen [Zahradnik/Weber 1986].

In späteren Projektstadien ist an automatische Ansteuerung der Sterne mit Schrittmotoren oder motorisierten Theodoliten gedacht, wodurch die Genauigkeit und Methodenvielfalt jene bei [Schirmer 1994] übertreffen könnte. Die vollautomatische Sternauswahl ist wegen verschachtelter Entscheidungsprozesse zwar schwierig zu programmieren [Gerstbach 1976], aber durch vorbereitete Ephemeriden ersetzbar. Astrolabmessungen könnten ferner durch mehrere parallele Zeilensensoren verbessert oder beschleunigt werden. Die Verwendung kurzer Zeilen braucht zwar gute Steuerung, ermöglicht aber raschere Auslese- und Meßzyklen.

Die hohe Lichtempfindlichkeit von CCD-Sensoren reicht bei genügendem Kontrast (Sternbeobachtung nach der Dämmerung) bis Magnitudo 6 (Grenze der freiägigen Sicht), sodaß zweimal mehr Sterne zur Verfügung stehen, als für zügiges Messen nötig sind. Bei 3^m [Grenzhelligkeit Weißgony 1986] fallen etwa 10^8 Photonen pro Sekunde ein, also in z.B. 10^{-4} s immer noch viel mehr, um auch ohne Kühlung das Rauschen zu übersteigen. So kann der Fokalbereich den Sensor ohne wesentlichen Umbau aufnehmen; die Instrumente bleiben kompakt, thermisch stabil und handlich.

Zusammenfassend sei festgestellt, daß die CCD-Technik den visuellen Methoden in Meßgenauigkeit und -dauer noch etwas unterlegen ist. In einigen Jahren kann sie jedoch zur Automatisierung und breiten Anwendung astro-geodätischer Methoden führen. Ohne die eingangs genannten Einschränkungen werden daher Lot-, Azimut- und Geoidbestimmungen rasch und wohl auch bei Tag möglich sein, was die Attraktivität terrestrischer Präzisionsnetze wieder heben und ihre sinnvolle Kombination mit GPS weiter fördern wird.

VGI 1/96

GPS SHOW

**Trimble-
Vermessungstechnik
kommt
in Ihre
Nähe**



-  **Sie sehen Trimble-Vermessungsprodukte.**
-  **Sie testen Trimble-Vermessungsprodukte.**
-  **Fachleute erläutern Ihnen alles über Trimble-Vermessungstechnik und sagen Ihnen, wie Sie sie in Ihrem Arbeitsbereich am besten einsetzen.**

Trimble GPS-Show 1996 in:

■ Egerkingen (CH) 27. Febr.	■ Frankfurt/M. 23. April
■ Stuttgart 29. Febr.	■ Köln 25. April
■ Augsburg 12. März	■ Hannover 07. Mai
■ Leipzig 14. März	■ Hamburg 08. Mai
■ Linz (A) 19. März	■ Berlin 09. Mai
■ Klagenfurt (A) 21. März	

Am besten, Sie faxen/schicken uns die ganze Anzeige. Die genaue Anschrift des Veranstaltungsortes und das Tagesprogramm des von Ihnen gewünschten Termins erhalten Sie dann umgehend per Fax oder per Post.



Trimble

DIE GPS LÖSUNG

Trimble Deutschland GmbH
Moselstr. 27 - 63452 Hanau (Nord)
Tel. (06181) 90020 - Fax 900222

Ja, ich komme zur Trimble GPS-SHOW

am _____ in _____

Name _____

Anschrift _____

Tel.: _____ Fax: _____

Literatur

- [1] *Aeschlimann H., Clement A., 1992*: Die automatische Meßanlage Vicosoprano. Vermessung, Fotogrammetrie, Kulturtechnik 7/92, S. 392–397, Luzern.
- [2] *Bauer Ch., 1995*: Diplomarbeit „Bestimmung eines Geoidprofils in Tirol mit GPS und Nivellement“. Inst. für Theoret. Geodäsie und Geophysik, TU Wien.
- [3] *Bretterbauer K., Gerstbach G., 1983*: Die astro-geodätischen Arbeiten der TU Wien. Das Geoid in Österreich, ÖKIE neue Folge Band III, S. 61–72, Graz.
- [4] *Buil C., 1991*: CCD-Astronomy – Construction and Use of an Astronomical CCD-Camera. Willmann-Bell Inc., Richmond.
- [5] *Claus M., 1995*: Demands on Elektro-optical Cameras for Sensing and Mapping. Photogr.Week '95, S. 37–44, Wichmann/Heidelberg.
- [6] *Deuerling W., 1995*: Einsatzmöglichkeiten von CCD-Sensoren in geodätischen Instrumenten. Vortrag 24.4.95, Erdmessungsseminar der TU Wien.
- [7] *Dittrich J., 1990*: Automatisches Sternsensor-System auf der Grundlage von Charge Transfer Devices (CTD). Vermessungstechnik 38/4, S. 143, Berlin.
- [8] *diverse Firmen, 1994/95*: Prospekte, Datenblätter etc. zu CCD-Arrays und zu Linienelementen. EU und USA.
- [9] *Fa. Leica, 1995*: Prospekte und Datenblätter der Systeme TM3000, TPS, APS und Space. Heerbrugg.
- [10] *Fritsch D., Hobbie D. (Hsg) 1995*: Photogrammetric Week '95. Tagungsband (Univ. Stuttgart Okt.95), Wichmann-Verlag Heidelberg.
- [11] *Gerstbach G., 1976*: Beiträge zur Optimierung von Astrolab-Beobachtungen. Geowiss.Mitt. Band 7, S. 103–134, TU Wien.
- [12] *Gerstbach G., Peters K., 1985*: Astronomische Orientierungen in der Kataster- und Ingenieurvermessung. Vermessungswesen und Raumordnung 47/1, S. 20–38, Bonn.
- [13] *Gerstbach G., 1990*: Ein Weg zum Zentimeter-Geoid in Österreich. Wie GPS und „Astro-geologisches Geoid“ das Nivellement ersetzen können. ÖZVuPh 78/1, S. 14–38, Wien.
- [14] *Gruen A., Kahmen H. (Hsg) 1993*: Optical 3-D Measurement Techniques II. Wichmann, Karlsruhe.
- [15] *Herrmann J., 1993*: Atlas zur Astronomie. 11. Auflage, dtv-Verlag München.
- [16] *Kahmen H., Gruen A. (Hsg) 1995*: Optical 3-D Measurement Techniques III. Tagungsband, Wien – Zürich.
- [17] *Katowski O., 1989*: Deformationsmessung an Bauwerken mit dem automatischen Theodolitmeß-System ATMS. Opt.3-D-Measurement Techniques I, Wichmann, Karlsruhe.
- [18] *Köberl Th., 1994*: Elektronische Datenerfassung in der Astronomie: Wesen und Ergebnisse der CCD-Technik. Sternbote 37/5, S. 86–98, Wien.
- [19] *Kraus K. et al., 1990*: Fernerkundung, Band 1 und 2. Dümmler-Verlag, Bonn.
- [20] *Lenz R. und U., 1993*: New developments in high resolution image acquisition with CCD area sensors. Opt.3D-Measurement Techniques II, S. 53–62, Wichmann, Karlsruhe.
- [21] *Meyer E., Raab H., 1995*: Persönliche Mitteilungen zu CCD-Astrometrie; Sternfreundeforum etc., OÖ / Wien.
- [22] *Mischke Alfred, 1995*: Persönliche Mitteilungen; Vorarbeiten zur Dissertation über ein dynamisches ing.-geodätisches Meßsystem mit Videotheodoliten.
- [23] *Ploner M., 1995*: Persönliche Mitteilungen; Vorarbeiten zur Dissertation über Bahnbestimmung von Synchronsatelliten durch CCD-Astrometrie, TU Wien.
- [24] *Prinz R., 1995*: Persönliche Mitteilungen u. Diplomarbeit „Aerotriangulation mit digitalen Bildern“. Inst. für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien.
- [25] *Reider Georg, 1995*: Persönliche Mitteilungen zu CCD- und verwandten Techniken. Elektrotechn. Institut, TU Wien.
- [26] *Schildknecht Th., 1994*: Optical Astrometry of Fast Moving Objects using CCD Detectors. Geodät.-geophys. Arb. Schweiz, Band 49, Dissertation ETH Zürich.
- [27] *Schildknecht Th., 1995*: CCD-Astrometrie von Objekten im geostationären Ring. Vortrag 9.3.95, TU Wien
- [28] *Schirmer W., 1994*: Universaltheodolit und CCD-Kamera – ein unpersönliches Meßsystem für astronomisch-geodätische Beobachtungen. DGK Reihe C/427, München.
- [29] *Schwarz K.-P., 1995*: VISAT – ein kinematisches Meßsystem für hochgenaue GIS-Anwendungen. Vortrag 18.10.95 TU Wien, sowie persönliche Mitteilungen.
- [30] *Sütterlin P., 1994*: Neue Verarbeitungstechniken für CCD-Bilder. Sterne und Weltraum 33/4, S. 311–313, München.
- [31] *Walter G., Weber R., 1993*: Geoidstudie Imst. Bericht an die ÖKIE-Geoidkommission, TU Wien/Graz.
- [32] *Weilguny Roland, 1986*: Aufbau eines piezoelektrischen Positionsdetektors zur automatischen Registrierung von Sterndurchgängen. Dissertation, Fak.f.Elektrotechnik bzw. Naturwiss., TU Wien
- [33] *Wieser Andreas, 1995*: Persönliche Mitteilungen zur Diplomarbeit „Entwicklung und Programmierung eines automatischen Meßsystems mit Videotheodolit“. Abt.Ingenieur-geodäsie, TU Wien.
- [34] *Zahradnik D., Weber R., 1986*: Eine automatisierte Zeitnehmung für astronomische Feldbeobachtung nach der Methode gleicher Höhen. ZfV 9/1986, S. 432–435, Stuttgart.

Anschrift der Autoren:

Univ.-Doz. Dr. Gottfried Gerstbach, Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik, TU Wien, Gußhausstraße 27–29, 1040 Wien.