

25 Jahre IGI, vom CPNS zu CCNS und AEROcontrol

ALBRECHT GRIMM, Kreuztal

Keywords: aerial photogrammetry, aerial survey flight missions, mission planning, guidance and sensor management, GPS/ IMU; laser scanner, IGI, CCNS, AEROcontrol

Summary: 25 years of IGI – from CPNS to CCNS and AEROcontrol. On the occasion of 25 years existence of IGI (engineering company for interfaces), the development of the company is demonstrated. Several projects are discussed, in which IGI has been involved.

Zusammenfassung: Aus Anlass des 25-jährigen Bestehens von IGI (*Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces*) wird die Entwicklung der Firma vorgestellt. Verschiedene Projekte, an denen IGI beteiligt war, werden erläutert.

Vorwort

Mit den Beiträgen in diesem Heft soll an eine Entwicklung erinnert werden, welche die Flugführung und das Sensormanagement beim photogrammetrischen Bild- und sonstigen Sensorflug entscheidend beeinflusst hat. Für die Möglichkeit, das Heft mit Beiträgen von Anwendern und Interessenten des CCNS und AEROcontrol Systems zu gestalten, sei der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation vielmals gedankt.

1 Es begann mit einer Verwechslung

Als die Fachhochschule Siegen-Gummersbach 1972 in die Gesamthochschule Siegen überführt wurde, legte die neue Institution erstmals ein Vorlesungsverzeichnis vor. Ein Maschinenfabrikant fand dort die Schlagworte *Praktische Geodäsie und Photogrammetrie*. Da es in seinem Betrieb Schwierigkeiten mit einer Photodiode bei der Umsetzung von Zeichnungen zur Steuerung einer Schaumstoff-Schneidemaschine gab, sollte der „Photo“-Experte der neuen Hochschule Abhilfe schaffen. Schnell war geklärt, dass hier wohl ein Missverständnis vorlag. Der technische Chef hatte jedoch Interesse an

der Photogrammetrie gefunden, eine Laborbesichtigung in Siegen wurde vereinbart. Dort fand der Maschinenbauer die von ihm gesuchte Lösung in Form einer kleinen Gerätezusammenstellung für die Architektur-Photogrammetrie: Digitizer – Rechner – Plotter. Nach Ansicht des Chefs konnten die Zeichnungen mit dem Digitizer übernommen werden und ein Computer sollte dann seine Schneidemaschine (Plotter) steuern. Des Ingenieurs Frage: „Können Sie uns das erforderliche Interface bauen?“, war die Geburtsstunde der Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH (IGI).

2 CPNS zur Flugführung in Nigeria

Das Ingenieurbüro GEODATA SERVICE, Olpe, hatte den Auftrag, Vermessungsarbeiten bei dem Bau der neuen nigerianischen Hauptstadt Abuja durchzuführen. Wegen der örtlichen Verhältnisse – konstante Bewölkung mit einigen Wolkenlöchern – war es schwierig, eine Befliegung durchzuführen. Zur Lösung dieser Frage suchte GEODATA ein System, das ein Flugzeug auf vorgeplanten Linien durch die Luft führte und bei Wolkenlöchern Aufnahmen machte. Da die Löcher sich bewegten, wollte man nach und nach alle Aufnahmen zusammenstellen.

Anfragen von GEODATA nach einem derartigen Flugführungs- und Bildverwaltungssystem bei den führenden Herstellern von Luftbildkameras führten letztlich zu dem Hinweis, sich an IGI in Siegen zu wenden, wo dann das *Computer-controlled Photo Navigation System (CPNS)* entwickelt wurde.



Abb. 1: Geräterack mit *Trident-III* (unten) sowie *CPNS* Computer und Display vor dem Einbau in das Flugzeug.

Leider hat das *CPNS* Nigeria nie gesehen, da zwischenzeitlich mehrere Militärputsche stattfanden. Seit 1995 ist das Nachfolgesystem *CCNS* (Computer Controlled Navigation System) in Nigeria erfolgreich im Einsatz.

3 Flugführung in den 70er und 80er Jahren

Über die Situation zur Flugführung von Bildflugzeugen haben WINKELMANN (1977) und HERMS (in diesem Heft) berichtet. CORTEN (1959/60 & 1984) hatte Ziele formuliert und ZORN (1981) über den Einsatz von Taschenrechnern vorgetragen. Grundsätzlich wurde mit Navigationsteleskop und Überdeckungsregler oder firmeneigenen Lösungen gearbeitet. Um mit Unterstützung eines Computers ein Flugzeug auf einer geplanten Trasse halten zu können, muss ermittelt werden, wo die Maschine sich aktuell befindet und wo sie sein sollte. Ein SOLL-IST-Vergleich ist erforderlich. Das Ergebnis sollte, einfach interpretierbar, an einem Bildschirm darstellbar sein. Die Anzeige sollte keine Instrumentenflug-Berechtigung des Piloten

voraussetzen. Zur Positionsbestimmung standen 1982 im Wesentlichen zur Verfügung:

- Inertiale Navigations-Systeme (INS)
- Doppler Geräte
- Strecken (DME, P-DME) und Strecken mit Winkeln (Tacan) sowie
- Loran-C/ Cheika und Omega Netze

Weltweit einsetzbar war nur das Omega Netz, jedoch für den Bildflug zu ungenau. Loran-C und Cheika Netze gab und gibt es nur für Gebiete, bei denen es die Interessen der damaligen Großmächte erforderten. Die erzielbare Positionsgenauigkeit von etwa 1 km war nur bedingt brauchbar. Als lokales Loran System waren Geräte von Motorola und Sercel verfügbar, die hauptsächlich im Bereich der genaueren Schiffsnavigation zur Anwendung kamen.

Mit Doppler Systemen hatte es erfolgreiche Einsätze für Vermessungsflüge gegeben. Aber die Handhabbarkeit des Systems durch die Besatzung ließ viele Wünsche offen. Mit dem Litton *PICS* war ein INS-basiertes Flight-Management-System für den Bildflug verfügbar, das für kleine Bildmaßstäbe eingesetzt werden konnte. Wie beim Doppler mussten beim *PICS* die Anfangs- und Endkoordinaten jeder Fluglinie mühsam per Hand eingegeben werden, eine nicht unerhebliche Fehlerquelle. Des Weiteren driftete das INS. Um dies zu beheben, war es erforderlich, während einer Mission bekannte Punkte zum „Update“ zu überfliegen.

DME und Tacan Stationen waren in der Bundesrepublik reichlich vorhanden, dafür in anderen Ländern umso weniger.

Neben dem Hyperbel-Navigationsystem der Firma Sercel gab es in Frankreich das *Trident-III* System der Firma Thomson-CSF, das auf genauer Streckenmessung beruhte, also ein P-DME. Mit diesem Gerät konnten, bei einer Genauigkeit von besser 10 m, Entfernungen bis 260 km gemessen werden. Portable Bodenstationen (Beacon) von der Größe eines Handkoffers und der im Flugzeug zu installierende Interrogator, für die gleichzeitige Abfrage von bis zu vier Beacons, machten eine zuverlässige und

schnelle Positionsbestimmung möglich. Kosten von fast 0,5 Mio DM pro System hatten den Einsatz des *Trident-III* bisher nur bei der Schiffsnavigation, bei militärischen Projekten und beim IGN, Paris (BROSSIER 1980) ermöglicht.

Für das photogrammetrische Großprojekt Nigeria der Fa. GEODATA, Olpe, wurde das System *Trident-III* von Thomson-CSF als Streckenmesssensor des zu entwickelnden *CPNS* vorgesehen.



Abb. 2: Das Bild stellt zwei verschiedene Fluginstrumente dar, die beide die gleiche Basis-Information wiedergeben.

Oben: Kursanzeigeeinstrument (CDI)

Unten: Die Command/Display Unit (CDU) von IGI

a: Flughöhe

b: To/From Flag; Der nächste anzufliegende Wegpunkt (Photo) liegt hinter dem Flugzeug.

c: Nach der analogen Information des CDI ist das Flugzeug nahezu exakt auf der geplanten Linie; es ist nicht zu erkennen, dass sich die Situation in den nächsten Sekunden drastisch ändern und der Zeiger voll nach links ausschlagen wird.

Die CDU/ TFT zeigt in analoger und digitaler Form an, dass sich das Flugzeug z. Z. 40 m links von der geplanten Linie befindet und in Kürze eine starke Korrektur nach links erfolgen muss, um die geplante (durchgezogene) und geflogene (gestrichelte) Linie zur Deckung zu bringen.

4 Mit *CPNS* „wie auf Schienen durch die Luft“

Als Ziele für das zu bauende Flugführungs- und Management-System wurden von IGI definiert:

- Einfache, leicht zu interpretierende graphische Darstellung der Flugführungsinformation mit 2 Linien: geplant/geflogen,
- Auslegung des Anzeige- und Kontrollinstrumentes entsprechend einem Fluginstrument mit Bildschirm,
- Computer-unterstützte Flugplanung, Transformation von Landeskoordinaten nach WGS84 und zurück,
- Gezielte Luftbildaufnahmen,
- Übernahme von Managementaufgaben + Bedienung der Kamera via *CPNS* + Steuerdaten für FMC + Daten Annotation auf Film und
- Bestimmung der Elemente der äußeren Orientierung.

Als Instrument, um ein Flugzeug auf einer geraden Linie zu führen, stand in den 80er Jahren der Kursablageanzeiger (Course Deviation Indicator, CDI) zur Verfügung. Abb.3 zeigt ein CDI-Gerät beim Einsatz während des Bodensee-Projektes (ACKERMANN, in diesem Heft). Aus Abb. 2 wird ersichtlich, welche Entwicklung vom CDI-Instrument zur Kontroll- und Anzeigeeinheit (Control and Display Unit, *CDU*) des *CCNS* erforderlich war.



Abb. 3: DFVLR Dornier *Do-28* mit *CDI* Instrument der *Trident* Anlage.

Dass die IGI-Entwicklungsziele richtig definiert waren, wurde auf der Photogrammetrischen Woche 1983 in Stuttgart deutlich, als der Geschäftsführer von Hansa Luftbild die Situation bei der Herstellung von Orthophotos beschrieb. Herr BRUNNTHALER (1983) trug dort vor: „If the required photo scale is a large one, the cost of the film material for 80 or 90% overlap is very high as compared to the operating cost of the aircraft. Besides, on large photo scales, the cycling time of the camera between exposures will not allow 80 or 90% overlap. One has to use pin pointed photography, otherwise an assembly of orthophotos or part of it to cover a map sheet cannot be avoided.“

5 Das Bodensee-Projekt

Bei der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) in Oberpfaffenhofen wurde unter der Leitung des Testpiloten Dr. WILCKENS ein Projekt zur Entwicklung eines Flugführungssystems für die Forschungsflugzeuge der DFVLR durchgeführt.

Der Vorschlag von IGI, den *Trident-III* von Thomson-CSF für den photogrammetrischen Bildflug zu testen, stieß bei der DFVLR auf Interesse. Die Fa. Zeiss, Oberkochen, stellte ein Statoskop, die Fa. Wild, Heerbrugg, den Prototypen der neuen *RC10A* und KODAK eine Rolle Film zur Verfügung.

Das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg hatte am Bodensee eine Befliegung durchführen lassen, deren Signalisierung noch vorhanden war. So entstand eine zusammengewürfelte Interessengemeinschaft, deren Ziel es war, den Nachweis zu führen, dass mit dem *Trident* gerade und parallele Flugstreifen geflogen werden konnten. Die vielversprechenden Untersuchungen von Prof. ACKERMANN zur Verwendung von Statoskopdaten lagen vor. So war es naheliegend, die vom *Trident-III* erzeugten Positionen als Hilfsdaten in die Aerotriangulation einzuführen. Positionen sind aber nur ein Teil der Elemente der äußeren Orientierung. Um auch die Winkel zu erhalten, wur-



Abb. 4: Der Wild *RC10A* Prototyp mit künstlichem Horizont; im Hintergrund ist ein Alu-Rohr zu erkennen, an dem die nach unten gerichtete *Trident-III* Antenne befestigt war.

de an der *RC10A* ein künstlicher Horizont montiert. Der IGI Rechner sollte Φ/Ω -Winkel zusammen mit den Statoskop Daten und Messwerten eines weiteren Präzisions-Drucksensors registrieren.

Die Standorte der *Trident* Bodenstationen in Mössingen, Schramberg, Konstanz und Laupheim wurden in der TK 25 festgehalten. Zeit und Geld für eine genaue Positionsbestimmung waren nicht vorhanden. Über das Ergebnis des Tests Bodensee berichtet ACKERMANN in diesem Heft im nachfolgenden Beitrag. Hier sei deshalb nur festgehalten, dass mit dem Projekt Bodensee erstmals der Einsatz von Antennen- bzw. Kamerapositionen in die Aerotriangulation zur Einsparung von Passpunkten erfolgreich durchgeführt werden konnte (ACKERMANN 1983 & 1989).

6 Die Befliegung des Sauerlandes 1983 mit *CPNS*

Im Zuge der Entwicklung der Orthophototechnik kam es zur Forderung nach gezielten Luftbildaufnahmen. *One Photo = One Mapsheet* war das Schlagwort. Um mit einem Projekt zu beweisen, dass *CPNS* diese Forderungen erfüllen könne, wurde mit dem Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (LVA NRW) dahingehend Übereinkunft erzielt, den Block „Sauerland“ für die

Erneuerung der DGK 5 im Bildmaßstab 1:12 500 mit *CPNS* und *Trident-III* zu befliegen. Für jedes DGK5 Kartenblatt sollten zwei Aufnahmen gemacht werden, eine in der Mitte, eine am Rand, also Basis 1 km, Linienabstand 2 km. Für den Bildflug selbst war das Schulflugzeug des ITC Enschede eingeplant, die *RC10A* Kamera wurde erneut von der Fa. Wild, Heerbrugg kostenlos zur Verfügung gestellt. Über die Situation kurz vor Durchführung des Bildfluges kann auf den Beitrag von READ (in diesem Heft) verwiesen werden. Alle Mitarbeiter am Projekt waren so vom Erfolg überzeugt, dass bereits der Termin für einen Workshop festgelegt wurde, auf dem die Ergebnisse präsentiert werden sollten. Es klappte tatsächlich. Zwei Tage vor der Veranstaltung auf dem Siegerland-Flugplatz, zu der etwa 40 Teilnehmer aus ganz Europa angereist waren, konnte ein repräsentativer Teilblock mit 4 Linien und insgesamt 44 Bildern befliegen werden; die Ergebnisse waren wie erhofft gut. Der Workshop (IGI 1983) war ein Erfolg; Kompetenz war nachgewiesen worden (BEUMELBURG 1982 & 1983, HERMS 2003, O'BRIAN 1984). Dass IGI auf der richtigen Spur war, geht aus Bemerkungen des Leiters der photogrammetrischen Abteilung des LVA NRW hervor, der später ausführte: „Im ausgereiften Zustand ist das System für die Vermessungsbehörden unzweifelhaft von Interesse. Kann so doch ein gezielter Bildflug leicht und sicher ausgeführt und auf die Methode der schnellen Bildfolge verzichtet werden. Hierdurch treten Kosteneinsparungen um 25% ein, und die Archive werden durch die nicht notwendigen Aufnahmen nicht belastet“ (PAPE 1988).

7 CCNS in der Antarktis: GANOVEX-IV

Ein weiteres Projekt begann im Sommer 1984. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover (BGR) suchte zum Einsatz in der Antarktis ein Flugführungssystem. Im Rahmen des Projektes GANOVEX-IV (German Antarctic North Victorialand Expedition) sollten gro-

ße Teile vom Victoria-Land und der Ross-See befliegen werden. Ein Doppler Gerät und das System *Syledis* der Fa. SERCEL sollten zum Einsatz kommen. Wegen der starken Schwankungen des Magnetfeldes am Südpol und einer eventuell glatten Ross-See, schien IGI der Einsatz der ausgesuchten Doppler-Navigationsanlage ungeeignet zu sein. Aus den Überlegungen für das Projekt Nigeria war klar, hier konnte nicht das Hyperbel-Navigationsverfahren *Syledis* zum Einsatz kommen, das war eine Aufgabe für das P-DME System vom Typ *Trident-III*. Die von der BGR zur Versorgung der Bodenstationen vorgesehenen Stromgeneratoren schienen für den Dauereinsatz im Eis über mehrere Wochen nicht praktikabel. Daher wurde ein Vorschlag für die automatische Versorgung mittels Solarenergie entwickelt.

Da bei dem Antarktis-Projekt keine Photos gemacht werden sollten, vielmehr „Aero-Magnetic Survey“ durchzuführen war (BACHEM 1985), wurde das „P“ des *CPNS* durch ein „C“ ersetzt. Seither werden alle IGI Flugführungssysteme mit dem Namen *CCNS – Computer Controlled Navigation System* – versehen.

Im Spätsommer 1984 erhielt IGI den Auftrag, die Forschungsflugzeuge *POLAR 2* und *POLAR 3* vom Typ Dornier *Do 228-100* mit *CCNS/Trident* auszurüsten und die Bodenstationen des *Trident* mit Solarenergie zu versorgen. Die Auftragserteilung erfolgte in der letzten Minute. Die französischen Ingenieure wurden aus ihrem Sommerurlaub zurückgerufen, um die *Trident-III* Anlage von 260 km Reichweite auf die in der Antarktis benötigten 560 km umzurüsten.



Abb. 5: *POLAR 2* Forschungsflugzeug des AWI in der Antarktis.

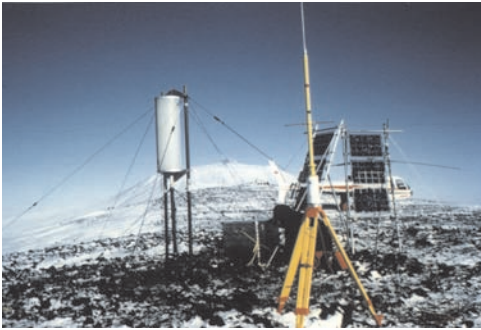


Abb. 6: *Trident-III* Bodenstation mit Stromversorgung durch die Sonne; im Vordergrund ein Magnavox *TRANSIT* Empfänger zur Positionsbestimmung.

Der Einsatz des *CCNS/Trident* in der Antarktis war noch mit Schwierigkeiten verbunden (BECK 1992). Diese wurden z. T. durch Sichtlinienprobleme beim *Trident* oder die Benutzung der falschen Antenne während des Fluges, Ausfall von Bodenstationen wegen Wolken usw. ausgelöst. Beim Flug in Richtung offene Ross-See musste die Heck-Antenne benutzt werden, auf dem Rückflug war auf die über den Piloten installierte Antenne manuell umzuschalten.

Obwohl die Statik der Solarpaneele und der Alugestelle für Windgeschwindigkeiten bis 180 km/h ausgelegt war, sind einige Paneele nach einem heftigen Sturm im Nirwana verschwunden.

Die Antarktis wird gedanklich mit Eis verbunden. Also wurden teure Eishaken aus Edelstahl zur Befestigung der Verspannung für die Paneelgerüste beschafft. Welch Erstaunen, als dann die *Trident* Station auf dem Mount Eribus in Lavaschlacke befestigt werden musste.

Insgesamt konnten mit dem *CCNS/Trident* System 49000 Linien-km von geplanten 55000 km erfolgreich abgeflogen werden. Dies mit einer Genauigkeit, die bisher in der Antarktis noch nicht erzielt worden war (HEIMES 1986).

Unter dem Titel „Do-228s return from Antarctica“ wurde in der US-Zeitschrift *Aviation Convention News* berichtet: „For navigation and aerial survey, said Dornier, the aircraft were equipped with a system that computed position automatically from

radio beacons and provided the pilot with flight path information via a cockpit display“ (R. G. 1985).

Leider konnte das *Trident* System von IGI nicht mehr für andere Aufgaben eingesetzt werden, große Befliegungsprojekte waren zu dieser Zeit rar. Dennoch brachte das Antarktis-Abenteuer IGI in der technischen Entwicklung von *CCNS* weiter. Bei der Positionsbestimmung wurde ein geodätischer Ausgleichsalgorithmus eingesetzt. Dies hatte die unangenehme Eigenschaft, dass die Liniendarstellung „geplant/geflogen“ noch sehr unruhig war. Ebenso mussten Richtungsänderungen aus Positionsänderungen abgeleitet werden, was zu einer verzögerten, springenden Bildschirmanzeige führte. Für Piloten eine unangenehme Situation, da sie eine stabile Anzeige, wie bei den anderen Fluginstrumenten auch, erwarteten. Sie regten an, den Kurskreisel des Flugzeuges zu integrieren. Herr VAN DER WAL vom Meetkundige Dienst in Delft gab den Tipp, es doch mal mit einer Kalman-Filterung zu versuchen, damals noch ein Fremdwort für viele Vermessungsingenieure. So kam die Veröffentlichung von HUEP (1985) mit Hinweisen zur Kalman-Filterung zur rechten Zeit. Der neue Algorithmus zur gleichzeitigen Verarbeitung von Positionen, Geschwindigkeiten und Richtungsänderungen zeigte den gewünschten Erfolg und erlaubte zusätzlich noch die Bestimmung des Driftwinkels. Von da ab war es möglich, die Drifteinstellung für die Aufhängungen der Luftbildkameras automatisch über *CCNS* einzustellen.

8 Flugführung und Positionierung in der Syrischen Wüste

Zum Zwecke der Prospektion suchte das dänische Forschungsinstitut *RISOE* im Auftrag der *IAEA* (International Atomic Energy Agency) in Wien und der *SAEA* in Damaskus ein Flugführungs- und Positioniersystem zum Einsatz in der Syrischen Wüste. Hierzu wurde von IGI ein System vorgeschlagen, das mit dem *North Saudi Arabian Chain* des amerikanischen *Loran-C* Netzes arbeiten sollte.



Abb. 7: Das North Saudi Arabian Chain diente als Positionier-Sensor für das CCNS/Loran in der Syrischen Wüste.

In Damaskus angekommen mussten erst Honeurs beim UN-Vertreter und der SAEA gemacht werden, bevor das Gerät in einem Mi-8 Hubschrauber eingebaut werden konnte. Da die Mechaniker nicht die Schnellsten waren, führte der Begleitoffizier, ein Oberstleutnant, die Montage der Loran-Antenne selbst durch. Auf der Einsatzbasis Tadmor/Palmyra wurde den RISOE- und IGI-Ingenieuren nahegelegt, nur den Weg zwischen Büro und Toilette alleine zu gehen, sonst nur mit Begleitpersonal. Um diese angespannte Situation ein wenig aufzulockern, wurden der Platzkommandant und sein Vertreter abends zum Essen eingeladen, wo sich ein nettes, später freundschaftliches Gespräch entwickelte. Vom folgenden Tag an durften sich die Westler, da Freunde des Chefs, auf der ganzen Basis frei bewegen!

Positions-Koordinaten waren streng geheim und konnten von den Syrern nicht zur Verfügung gestellt werden, wurden aber zum täglichen Update der Loran-Position benötigt. Ein aus Deutschland mitgebrachter TRANSIT-Empfänger leistete hier Abhilfe.

Da die syrischen Piloten kein Englisch und die IGI-Mitarbeiter kein Arabisch verstanden, musste die Einweisung in das System mit „Händen und Füßen“ durchgeführt werden. Dies funktionierte recht gut, denn das Ende der ersten geplanten Linie, eine Grenzstation zum Irak, wurde ohne Schwierigkeiten angeflogen. Nun war die Neugier

des Piloten entfacht. Er flog die gleiche Linie in entgegengesetzter Richtung zurück. Als der Hubschrauber dabei über ein Beduinenzelt kam, das bereits im Hinweg überflogen worden war, strahlte sein Gesicht, der Abnahmetest war bestanden.

8 Seeüberwachung bei den „Grand Banks of Newfoundland“

Während eines Kongresses in den USA hatte Prof. CORTEN einen Kanadier kennen gelernt, der das See-Grenzgebiet an der Ostküste zwischen USA und Kanada gerne aus der Luft mit Hilfe der Photogrammetrie überwachen wollte. Die kanadische Seite befürchtete, dass dort von den Amerikanern mehr Hummer-Fangkörbe ausgelegt wurden als erlaubt. Leider kam es nie dazu, diese interessante Frage aus der Luft mit Hilfe von CCNS zu klären, da der Kanadier seine Arbeitsstelle wechselte.

Um so erstaunter war man bei IGI, einen Anruf aus St. Johns, Neufundland, zu bekommen. Es wurde ein genaues Positioniersystem für Ice-Patrol und zur Überwachung der 200 Seemeilen-Wirtschaftszone um Neufundland gesucht. Der Kanadier hatte sich an IGI erinnert.

GPS kam zur Lösung der Aufgabe nicht in Frage, da es zu dieser Zeit kontinuierlich nur für 5–10 Minuten verfügbar war.



Abb. 8: Die beiden Loran-C Netze im Bereich Neufundland sowie der rot markierte Bereich der Baseline Extension.



Abb. 9: King Air B200 Special Mission Flugzeug, ausgerüstet mit IGIs Multi-Sensor-System.

Dennoch war die Aufgabenstellung lösbar, weil das Operationsgebiet von zwei Loran-C Netzen, dem *Canadian East* und dem *Labrador Sea Chain*, abgedeckt wurde. Bei näherer Betrachtung stellte sich heraus, dass das Gebiet, in dem die höchste Genauigkeit gefordert wurde, in der *Base-line Extention* der beiden Chains lag. Damit war mit dem standardmäßigen Hyperbelmode der Loran-Empfänger keine Position zu erzielen. Untersuchungen zeigten jedoch, dass mit einer Kombination der nachstehend aufgeführten Sensoren die geforderte Genauigkeit von besser als $1/3$ sm erzielbar war:

- Loran-C, Dual-Chain Empfänger, von IGI modifiziert für einen kombinierten rho/hyperbolic Modus einschließlich Rubidium-Zeitnormal,
- GPS, sequentieller Ein-Kanal L1 Empfänger zum Positions-Update und Detektion von Loran Cycle-Slips und
- Luftdaten Sensor (Air Data) und Kompass (DG) zur Stützung des Kalman-Filters.

Dieses Multi-Sensor-System lieferte Positionen und Geschwindigkeiten an ein Litton V5 Anti-Submarine Radar, das vom Canadian Department of Fisheries and Oceans an Bord von *King Air B200* Flugzeugen zum Aufspüren von Trawlern eingesetzt wurde, die illegal in der 200 sm-Zone fischten.

Das von IGI gelieferte System hat, bis GPS für 24 Stunden zur Verfügung stand, zuverlässig seinen Dienst getan.

10 Erste CCNS Systeme für Luftbildfirmen

Seit der ersten Vorstellung des *CPNS* Gerätes auf dem Siegerland Flugplatz (IGI 1983), hatte es immer wieder Kontakte mit Hansa Luftbild in Münster gegeben, um diese Firma von den Vorzügen eines derartigen Gerätes zu überzeugen. Die Demonstration von *CCNS3* mit DME/Tacan und Kurskreisel Anschluss (directional gyro, DG), hatte bei mehreren Blockbefliegungen für die Deutsche Grundkarte nachgewiesen, dass gezielte Aufnahmen „Blattmitte/Blattrand“ mit der erforderlichen Genauigkeit gemacht werden konnten. Auch die Drift konnte ermittelt und zur Einstellung an die Kamera übergeben werden.

Wie in jedem Unternehmen, gab es auch bei Hansa Luftbild einige mehr fortschrittlich und andere mehr konservativ orientierte Mitarbeiter. Letztere argumentierten, für eine international tätige Firma werde ein System benötigt, das auch weltweit einsetzbar sei. Dies war mit den Sensoren DME/Tacan leider nicht der Fall.

Nachdem IGI drei *CCNS* Geräte nach Kanada geliefert und unter Einsatz eines Drucksensors auch mit drei GPS Satelliten eine Position erzielt werden konnte, wurde nach kurzer Erprobung ein *CCNS4/ GPS + DG* an Hansa Luftbild aus Münster verkauft. Am Jahresende waren alle Flugzeuge dieser Firma mit *CCNS* Geräten ausgerüstet (ARNHOLD 1993, HERMS 1991).

Im Sommer 1990 fragte die Firma Carl Zeiss Jena nach, ob IGI die neue *LMK-2000*



Abb. 10: CCNS3, bestehend aus: Sperry C-13 Kompass, 2x Collins DME-42, IGI Computer und Display, Tastatur und Datacard, sowie CDI.



Abb. 11: Bildflugzeug von Hansa Luftbild mit Zeiss *RMK-TOP*, Trimble 4000 DGPS Gerät und IGI *CCNS4*.



Abb. 12: Let *L-410-UVP* von Berliner Spezialflug.



Abb. 13: Eine 5 Zoll *CDU* des *CCNS4*, eingebaut in einen Hubschrauber vom Typ *BELL Longranger*.

an das *CCNS* anschließen könne, einschließlich:

- gezielter Luftbildaufnahmen,
- Steuerdaten für Bildwanderungsausgleich,
- Drift Steuerung und
- Aufbelichtung von aktuellen Positions- und Managementdaten.

Kurzfristig wurde von Zeiss ein Demonstrations-Termin mit einer *Let-410* bei der Firma *Berliner Spezialflug* in Schönefeld vereinbart.

Die Firma *MAPS/Surdex* aus St. Louis/USA entschied sich daraufhin für die „gelbe Zeiss“-Kamera mit *CCNS* und stellte eigene Entwicklungen für ein Flugführungs- und Managementsystem auf der Basis *GPS/INS* ein.

Heute arbeiten weltweit mehr als 100 Luftbildfirmen erfolgreich mit *CCNS*.

11 *CCNS* und *AEROcontrol*

Beim 1982 durchgeführten Test Bodensee war bereits versucht worden, neben der genaueren Flugführung auch die Elemente der äußeren Orientierung zu bestimmen. Dies war für die Positionierung erfolgreich verlaufen (Beitrag *ACKERMANN* in diesem Heft), für die Winkelbestimmung leider noch nicht.

Prof. *CORTEN* vom *ITC Enschede* sah im *CPNS/CCNS* eine von ihm über viele Jahre propagierte Idee verwirklicht und war von der Möglichkeit, die Elemente der äußeren Orientierung direkt messen zu können, begeistert. Er trug seine Vorstellungen auf verschiedenen *ISPRS-Kongressen* unter dem generellen Thema „High Accuracy X, Y, Z Positioning in Flight by Means of the Computer Controlled Navigation System (*CCNS*), including Production of *Aerocontrol* to Replace Ground Control“ vor. Das von *CORTEN* geprägte Kunstwort *AEROcontrol* wurde der Produktname für *IGIs DGPS/IMU System*.

Mit kinematischem *GPS* wurde der Einsatz von inertialen Messsystemen interessant. Um bei großen Bildmaßstäben die mit 1 Hz ermittelte Position der *GPS-Flugzeuge*



Abb. 14: Das erste AEROcontrol-II System, basierend auf dem Litef LCR-88 Sensor mit dry-tuned Gyros.

Links: Sensorkopf einschließlich Elektronik
Rechts: Sensor und Elektronik getrennt.

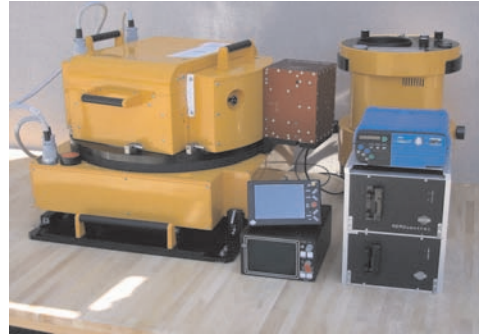


Abb. 16: Ein komplettes CCNS4/AEROcontrol-II System neuester Bauart, die IMU montiert an einer LMK-1000 Luftbildkamera.

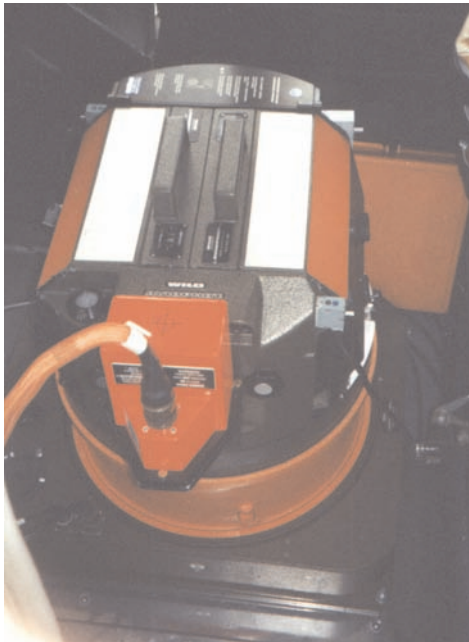


Abb. 15: RC30 mit IGLs AEROcontrol-IIb Sensorkopf.

antenne besser interpolieren und auf das Kameraprojektionszentrum übertragen zu können, wurde eine inertielle Messeinheit (IMU) fest mit dem Flugzeug verbunden, um die Hebelarmkorrektur durchzuführen. Als dies erfolgreich arbeitete, lag es nahe, die IMU direkt mit der Kamera zu verbind-

den, um auch die drei Winkel zu bestimmen. Nur der IMU-Sensor einschließlich Elektronik, war zu groß.

Nachdem es gelang, den Sensor von der Elektronik zu trennen, war der Weg frei für die Montage an der Kamera. Dieses System zur direkten Bestimmung der Elemente der äußeren Orientierung, basierend auf dry-tuned Gyros, wurde erstmals 1996 auf dem ISPRS-Kongress in Wien auf dem Stand der Firma Hansa Luftbild, montiert an einer RMK-TOP, vorgestellt.

Bei dem ISPRS-Kongress 2000 in Amsterdam konnte bereits ein AEROcontrol System mit neuer IMU, basierend auf faser-optischen Kreiseln, präsentiert werden. Gewicht und Volumen waren um ca. 70% gesenkt, dies bei verbesserter Messgenauigkeit (CRAMER 2001, KREMER 2001 & 2002, SUJEW 2002).

12 Sensor Management für das deutsche OPEN SKIES Flugzeug

Während der Tagung der 4. KSZE-Folgekonferenz zur Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa im März 1992 in Helsinki wurde der Vertrag über den *Offenen Himmel* unterzeichnet (PIB 1992). Er erlaubte es dem Osten, im Westen *legale Spionage* auszuüben und dem Westen, im Osten entsprechende Inspektionsflüge durchzuführen. Für diesen *Offenen Himmel* sollte im wiedervereinigten



Abb. 17: Das deutsche OPEN SKIES Flugzeug, eine Tupolew *TU-154M*

Deutschland ein früheres VIP-Flugzeug von Erich Honecker, eine Tupolew *Tu-154M*, mit Sensorik ausgerüstet werden.

Für die erste Fähigkeit (OSEF) stellte Zeiss Oberkochen drei digitale Kamerasysteme *VOS-60* und einen modularen Laser (*MOLEM*) zur Messung der Höhe über Grund sowie Carl Zeiss Jena drei *LMK-2015* Kameras zur Verfügung. IGI wurde mit der Entwicklung des Sensor-Management-Systems und der Sensor-Integration betraut. Auch bei der Verwirklichung des realen Konzeptes (OSRK) mit insgesamt 11 Sensoren wurde IGI herangezogen.

Das OSRK Sensorkonzept bestand aus:

- 1 × ZENIT *A-84* Panoramakamera,
- 3 × Carl Zeiss Jena *LMK-2015* Messkamera (OSEF),
- 3 × Zeiss Oberkochen *VOS-60*, video-optischer Sensor (OSEF),
- 2 × IRLS, IR Line-Scanner,
- 1 × *ROSSAR*, Russian Open Skies Synthetic Aperture Radar und

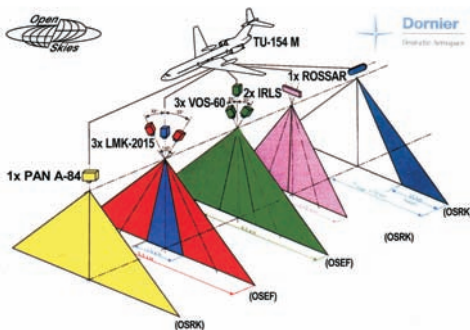


Abb. 18: Sensoren des deutschen OPEN SKIES Flugzeuges



Abb. 19: Das von IGI entwickelte und gebaute Bediengerät *BDG A-84* für die russische ZENIT *A-84* Panoramakamera.

- 1 × Bestimmung der Höhe über Grund Zeiss *MOLEM* Laser (OSEF), Radar.

Zur Steuerung der Panoramakamera musste zusätzlich ein neues Bediengerät *BDG A-84* entwickelt und gebaut werden. Auch diese Aufgabe wurde IGI übertragen.

Bei der Abnahme dieses Gerätes in der Firma ZENIT in Krasnogorsk/Moskau, kam es zu einem netten Zwischenfall. Nach Anschluss unseres *BDG A-84* fing die Panoramakamera zur Überraschung der russisch/deutschen Abnahmekommission sofort an zu arbeiten, stoppte aber nach drei Aufnahmen. Es stellte sich heraus, dass das Interface-Protokoll auf russischer Seite geändert worden war, ohne IGI zu informieren.

Nach Diskussion erklärte sich Fa. ZENIT bereit, das Protokoll wie vereinbart zu realisieren und am nächsten Tag einen neuen Abnahmetest durchzuführen. Plötzlich begann die Kamera wieder zu laufen, ohne nach drei Aufnahmen zu stoppen. Die Überraschung war groß. Unser Ingenieur hatte das Programm auf der Bediengerät-Seite angepasst. Alle waren froh, obwohl die russische Seite meinte, dies sei aber keine wissenschaftliche Arbeit, für die benötigt man mehr Zeit!

Für das deutsche OPEN SKIES Flugzeug und seine Besatzung endete ein reiner Transportflug nach Südafrika leider tragisch. Die Tupolew stieß am 13. September 1997 über

dem vom Luftverkehr nahezu freien Südatlantik vor Namibia mit einem amerikanischen Transportflugzeug zusammen. Es gab keine Überlebenden. GPS hatte seinen Tribut gefordert. Beide Flugzeuge hatten die gleichen Waypoints und die gleiche Flughöhe benutzt.

13 Neue Aufgaben

Das neue Jahrhundert hat das Zeitalter der digitalen Fotografie eingeläutet. Auf dem Amateursektor wird der Anteil digitaler Kameras für dieses Jahr auf 80 % geschätzt. Für die kommenden Jahre kann eine ähnliche Entwicklung auch für das Gebiet der Luftaufnahmen erwartet werden. Nach ersten Versuchen der führenden Hersteller von Luftbildkameras, die digitale Technik einzuführen, könnten in diesem Jahr Kameras der zweiten Generation angeboten werden (GRUBER et al., in diesem Heft). Preis und Leistung müssen zusammen passen. Wie IGI selbst erlebt hat, muss auf dem digitalen Sektor alle vier Jahre mit einer neuen Technikgeneration gerechnet werden. Also müssen sich digitale Kameras in vier Jahren abschreiben lassen und in der Zwischenzeit noch Geld verdienen.

Aus IGIs Sicht kommt der Flugplanung im Büro und der Ausrüstung des Flugzeuges oder Hubschraubers mit hochwertiger Technik eine immer größere Bedeutung zu. Der Flugbetrieb wird in der nahen Zukunft Aufgaben übernehmen, die heute noch dem Außendienst bzw. dem Büro vorbehalten sind. Mit GPS/Galileo können Positionsgenauigkeiten von 5 cm und besser erwartet werden, die inertielle Meßtechnik nähert sich der $1/1000^\circ$ Grenze für die Bestimmung von Phi und Omega. Es ist nur noch eine Frage der Zeit, wann der automatischen Aero-triangulation dann nur noch die – dennoch wichtige – Rolle der Prüfung/Kontrolle der Ergebnisse zufällt. Orthophotos werden innerhalb von Tagen, eventuell Stunden, nach der Befliegung zur Verfügung stehen.

Mit *WinMP* und *CCNS/AEROcontrol* sind für Flugplanung und Flugführung sowie der Bestimmung der Elemente der äußeren Orientierung die erforderlichen Werk-

zeuge vorhanden. Über die *MODE* und *PAGE* Funktionen des *CCNS* können zusätzlich noch Kontroll- und Managementfunktionen für die digitale Kamera oder sonstige Sensoren übernommen werden.

Bei der Arbeit mit GPS/IMU Systemen werden die Elemente der äußeren Orientierung direkt bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass die innere Orientierung der Kamera stabil ist. Dass dies nicht der Fall ist, wurde schon vor Jahrzehnten durch KUPFER (1971) und MEIER (1978) vorgetragen und es wurden praktische Tests gefordert. Falls sich also die Kamera-Parameter ändern, hat das eine direkte Auswirkung auf die Bestimmung der Höhen. Diesem Umstand muss, für bestimmte Vermessungsaufgaben, zur Zeit noch mit einem Kalibrierfeld im Operationsgebiet oder durch Verarbeitung der mit GPS/IMU ermittelten EO-Parameter in einer Blockausgleichung mit wenigen Passpunkten Rechnung getragen werden.

Die direkte Bestimmung der EO-Parameter mit GPS/IMU Gerät erfolgt in WGS 84 Koordinaten. Die Übertragung dieser Werte in Landeshöhen bereitet in vielen Ländern noch Schwierigkeiten. Auch auf diesem Gebiet ist noch viel zu tun.

In den vergangenen 25 Jahren konnten von IGI mehrere Beiträge zur Verbesserung der Geräteausstattungen, beim photogrammetrischen Bild- und sonstigen Sensorflug, beim Sensormanagement und bei der Datengewinnung, sowie für die Bestimmung der EO-Parameter, geleistet werden. Man kann gespannt sein, was die nächsten 25 Jahre bringen werden.

Literatur

- ACKERMANN, F., 1983: Use and Benefits of X, Y and delta Z Auxiliary Data for Aerial Triangulation, Results of the Test Mission „Boden-see“ 1982. – IGI Workshop, Proceedings, Hilchenbach, pp. 28–41.
- ACKERMANN, F., 1989: Kinematische GPS Positionierung in der Photogrammetrie. – *Ortung und Navigation*, **30** (3): 389–401.
- ARNHOLD, H. D. et al., 1993: New Results from Photoflights with GPS. – In: FRITSCH & HOBBIÉ (eds.): *Photogrammetric Week 93*, Wichmann, Karlsruhe, pp. 53–61.

- BACHEM, H.CH., 1985: Antarktis 1984/85, Aeromagnetik über dem Nord-Viktoria-Land. – PRAKLA-SEISMOS Report (1985) 1 + 2: 44–58
- BÄUMKER, M. & GRIMM, A., 1994: New Possibilities on Guidance, Positioning and Management for Aerial Survey Flight Missions. – Proceedings of the 8th International Flight Inspection Symposium, Denver, CO, USA, pp. 9–20.
- BECK, F., 1992: Flug zum Südpol. – Aviatic Verlag, Planegg.
- BEUMELBURG, J. et al., 1982: CPNS – Computer-controlled Photo Navigation System. – International Archives of Photogrammetry, **24** (1): 147–154.
- BEUMELBURG, J. et al., 1983: CPNS – Computer-controlled Photo Navigation System, New Aspects in Aerial Surveying. – IGI-Workshop, Proceedings, Hilchenbach, pp. 1–27.
- BROSSIER, F., 1980: Communication sur l'Emploi du Système Trident l'IGN. – International Archives of Photogrammetry, Vol. **23**, Part B1: 15–24.
- BRUNTHALER, F., 1984: Present Status of Orthophotography. – Proceedings of the 39th Photogrammetric Week at Stuttgart University, Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 9.
- CORTEN, F.L.J.H., 1959/1960: Survey Navigation and Determination of Camera Orientation Elements. – Photogrammetria, **16** (4): 251–281.
- CORTEN, F.L.J.H., 1984: Applications of Navigation Systems and Sensor Orientation Systems in Survey Navigation, Aerial Triangulation and in Establishment of Control. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **25**, Part A1: 26–36.
- CRAMER, M. (2001): Performance of IGI AEROcontrol-II GPS Inertial System Final report. – Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2001/cramer_igi01.pdf
- GRIMM, A. & HEIMES, F.J., 1984: CPNS – Computer-controlled Photo Navigation System – New Aspects for Aerial Survey. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **25**, Part A1: 81–92.
- GRIMM, A., 1992: Computer-Controlled Navigation System/General Positioning System (CCNS/GPS). Ein Führungs-, Positionier- und Managementsystem für Fernerkundungs-Flüge. – Ortung und Navigation, **33** (1): 89–99.
- GRIMM, A., 1992: LORAN-C und GPS, zwei Ortungssysteme für Europa. – Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation, **1** (4): 126–131.
- GRUBER, M. et al., 2003: Paradigmenwechsel in der Photogrammetrie durch digitale Luftbildaufnahme? – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2003** (4).
- HEIMES, F.J., 1986: Precision Aircraft Guidance in Antarctica. – Proceedings of the 40th Photogrammetric Week at Stuttgart University, Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 11.
- HEIMES, F.J., 1986: Computer-kontrollierte Navigation für aeromagnetische Vermessungsflüge bei der Antarktisexpedition GANOVEX IV im Südsommer 1984/85. – Bildmessung und Luftbildwesen, **54** (2): 92–99.
- HERMS, P., 1991: Einsatz von CCNS/GPS und RMK TOP, Neue Erfahrungen und Überlegungen zur Bildflugnavigation. – Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche an der Universität Stuttgart, Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 15.
- HUEP, W., 1985: Positionsbestimmung im Küstenbereich. – In: PELZER, H. (ed.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II. – Konrad Wittwer, Stuttgart, S. 693–724.
- IGI, 1983: Proceedings, Workshop held on Computer-Controlled Survey Navigation and Collection and Use of Auxiliary Data for Aerial triangulation at Siegerland Airport, 10th/11th June 1983, Hilchenbach.
- KREMER, J., 2001: CCNS and AEROcontrol, Products for Efficient Photogrammetric Data Collection. – In: FRITSCH & SPILLER (eds.): Photogrammetric Week 2001. – Wichmann Verlag Heidelberg, pp. 85–92.
- KREMER, J., 2002: CCNS/AEROcontrol – an Integrated GPS/Inertial System for Direct Georeferencing of Airborne Image Data. – In: SORG, H. (ed.): Symposium Gyro Technology 2002. – Universität Stuttgart, Institut A für Mechanik & DGON; Stuttgart, pp. 16.0–16.9.
- KREMER, J. & GRIMM, A., 2002: The Integrated CCNS/AEROcontrol System: Design and Results. – In HEIPKE, JACOBSEN & WEGMANN (eds.): Integrated Sensor Orientation. – Test Report and Workshop Proceedings, OEEPE publication no. **43**: pp. 189–196.
- KUPFER, G., 1971: Zur Geometrie des Luftbildes. – DGK Reihe C, Heft 170, Beck, München.
- MEIER, H.K., 1978: Verzeichnung, Kammerkonstante und Fokussierung von Luftbildkamern unter dem Einfluß bildflugspezifischer Umweltbedingungen. – Bildmessung und Luftbildwesen **46** (6): 193–198.
- N.N., 1987: Ganovex IV and Trident III in the Icy Wastes TELONDE (magazine of Thomson-CSF, Paris) No. 6/March, pp. 45–48.

- O'BRIAN, C.I.M., 1984: Computer Controlled Air Survey Navigation. – Photogrammetric Record (London), **63** (11): 319–321.
- PAPE, E., 1988: Gedanken zur Anwendung der Photogrammetrie im amtlichen Vermessungswesen. – Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen NRW **21** (2): 79–86.
- PIB, 1992: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Vertrag über den offenen Himmel. – Bulletin Nr. 48/S. 433 vom 08.05.92.
- READ, R. E., 1983: CPNS as seen by an Air Survey Navigator. – IGI Workshop, Proceedings, Hilchenbach, pp. 48, 49.
- R. G., 1985: Do-228s return from Antarctica. – Aviation Convention News, Midland Park, N.J., USA, March 1, 1985.
- SUJEW, S. et al., 2002: GPS/INS-Systeme im Einsatz mit der HRSC – Vergleich der Systeme AP-PLANIX POS/AV-510 und IGI AEROcontrol-Iid – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2002** (5): 333–339
- WINKELMANN, G., 1977: Data Aquisition for Remote Sensing. – Proceedings of the 36th Photogrammetric Week at Stuttgart University, Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 4.
- ZORN, H.C., 1981: The Application of Programmable Pocket Calculators for Computations During Survey Flights. – ITC Journal **1981** (3): 308–333.

Anschrift des Verfassers:

ALBRECHT GRIMM
c/o IGI mbH, Langenauer Str. 46
D-57223 Kreuztal
Tel: +49-2732-5525-0
Fax: +49-2732-5525-25
e-mail: a.grimm@igi-ccns.com

Manuskript eingereicht: Mai 2003

Angenommen: Mai 2003