

*Titelbild: Das Kreisdiagramm ist ein illustratives Mittel, um Kreisteilungsfehler darzustellen. Das Bild zeigt einen Ausschnitt des Diagramms zu einem elektronischen Sekundentheodolit Kern E2. Die vollständige Figur finden Sie auf Seite 6 dieses Heftes.*

*Nachdruck erwünscht. Auf Anfrage senden wir gerne die notwendigen Druckunterlagen.*

*Beiträge für das «Kern Bulletin» werden immer gerne entgegengenommen. Redaktion: R. Wullschleger, intern 472.*

- 3 Genauigkeitsanalyse des Teilkreises im Kern E2
- 7 Der Kern E2 im harten Baustelleneinsatz  
Prof. W. Schauburger
- 8 Kern im Dienste der Wissenschaft  
E. Menant
- 10 Mit Umlenkprisma auf Kern-Kleinreflektoren  
A. Poli
- 12 Vermessung koptischer Klöster in Unterägypten  
R. Glutz
- 14 Distometer ISETH: Ein raffinierter,  
mechanischer Präzisionsdistanzmesser
- 14 Neues in Kürze
- 15 Zum Rücktritt von Herrn Direktor Rudolf Wehrli
- 16 Der neue Feldcomputer Kern ALPHACORD  
mit SICORD-Programmen



Kern & Co. AG  
Werke für Präzisionsmechanik,  
Optik und Elektronik  
CH-5001 Aarau, Schweiz  
Telefon 064 251111  
Telex 981106

## Genauigkeitsanalyse des Teilkreises im Kern E2

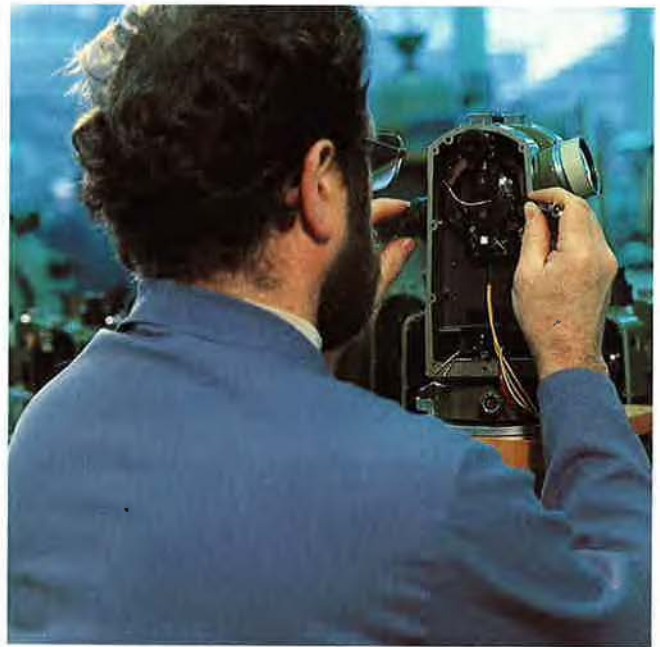
In den letzten zehn Jahren konnte die elektronische Tachymetrie zu einem leistungsfähigen Verfahren in der geodätischen Praxis entwickelt werden. Mit den hohen Richtungsgenauigkeiten von  $0,1 \text{ mgon}$  ( $0,3''$ ) haben einige Instrumente sogar den Sprung vom Tachymeter zum elektronischen Präzisionstheodolit vollzogen. Der Einsatzbereich dieser Geräte hat sich damit wesentlich vergrößert.

Die Funktions- und Arbeitsweise des elektronischen Winkelabgriffs soll am Beispiel des Präzisionstheodolits Kern E2 erläutert werden.

Zum Nachweis der hohen Messgenauigkeiten reichen die herkömmlichen Messverfahren zur Bestimmung von Kreisteilungsfehlern nicht mehr aus. Am Geodätischen Institut der Technischen Universität München wurde deshalb in den letzten Jahren von Dr. W. Maurer eine neue interferometrische Messmethode\* entwickelt, mit der Teilkreise im eingebauten Zustand untersucht und Einzelstrichverbesserungen bestimmt werden können. Der zweite Teil dieses Berichtes wird sich damit eingehender befassen.

### Der elektronische Winkelabgriff

Über die verschiedenen Winkelabgriffssysteme wurde auf dem IX. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung 1984 eingehend berichtet. Das Winkelabgriffsystem des Präzisionstheodolits Kern E2 arbeitet nach dem Inkrementalverfahren. Es wird ein Glaskreis verwendet, auf dem sich 20000 radial angeordnete Striche mit einer Breite von  $6 \mu\text{m}$  ( $0,006 \text{ mm}$ ) und einem gegenseitigen Abstand von  $5 \mu\text{m}$  befinden. Der Teilungsradius beträgt  $35 \text{ mm}$ . Zur Erhöhung der Auflösungsgenauigkeit werden diametral gegenüberliegende Ablesestellen zur Winkelbestimmung benutzt. Gleichzeitig können damit Kreisexzentrizitäten eliminiert werden. Für die Messung wird ein  $2 \text{ mm}$  breiter Kreisabschnitt mit 182 Strichen auf die gegenüberliegende Kreisstelle abgebildet. Dabei wird durch die Abbildungsoptik die Teilung geringfügig vergrößert, so dass die Anzahl der überlagerten Striche genau um einen Strich differiert. Dadurch entsteht ein sogenanntes Moiré-Muster (Fig. 2).

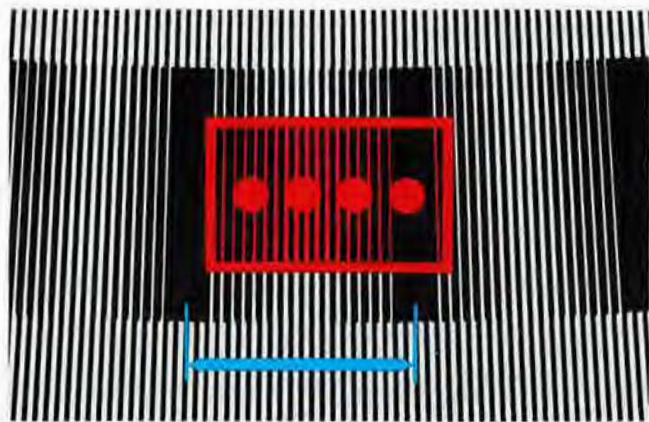


1 Die Montage eines Teilkreises in den E2.

\* Allgemein können mit der interferometrischen Messmethode äusserst genaue Längenmessungen durchgeführt werden. Es wird dabei die physikalische Eigenschaft der Überlagerung von Wellen ausgenutzt.

Mit vier Photodioden, die über drei Viertel der Länge einer Moiré-Periode verteilt sind, werden die einzelnen Hell-Dunkel-Elemente erfasst. Durch die gegenläufige Bewegung beider Teilungen ergeben sich bei einer Verdrehung des Theodolits um einen Strich zwei Hell-Dunkel-Perioden. Bei einer vollständigen Umdrehung erhält man deshalb 40000 Einzelsignale, die eine Auflösung der Groablesung in  $0,01 \text{ gon}$  Schritten erlauben. Die von den lichtempfindlichen Dioden kommenden Signale werden sowohl zur Grobmessung als auch zur Feinmessung verwendet. Da der Teilkreis beim Inkrementalverfahren keine Bezifferung trägt, wird für die Bestimmung der Groablesung die Anzahl der bei einer Drehung erfassten Moiré-Perioden gezählt.

Der Feinmesswert wird schliesslich durch die Lage des Moiré-Musters bezüglich der nächsten Koinzidenz-

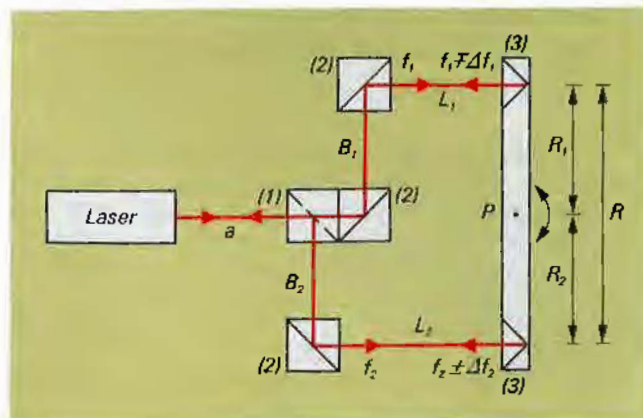


2 Moiré-Muster. Am Bildrand ist die einfache Kreisteilung sichtbar. In der Bildmitte erkennt man das durch Überlagerung der beiden Strichmuster entstandene Moiré-Muster. Die blaue Strecke entspricht einer Moiré-Periode. Die vier roten Punkte sind die lichtempfindlichen Flächen der Photodiode, die den Winkelabgriff bewerkstelligen.

stelle festgelegt. In Figur 2 entspricht die Stellung des Moiré bezüglich der Photodiode gerade einer Koinzidenzstellung. Die einzelnen Photodioden messen an vier jeweils um  $90^\circ$  phasenverschobenen Stellen die Helligkeitswerte innerhalb eines Grundintervalles aus. Die Ablesung muss auf 1% genau interpoliert werden, damit eine Winkelgenauigkeit von  $0,1 \text{ mgon}$  ( $0,3''$ ) erreicht wird. Grob- und Feinmessung werden jetzt elektronisch zusammengesetzt.

### Die Kalibrierung elektronischer Teilkreise

Bei den herkömmlichen Prüfverfahren wird in der Regel der ausgebaute Teilkreis untersucht. Fehlereinflüsse, die durch die Lagerung und den Einbau des Kreises verursacht werden, lassen sich damit nicht aufdecken. Die hohen Winkelgenauigkeiten von  $0,1$  bis  $0,01 \text{ mgon}$  und die umfangreichen Reduktionsmöglichkeiten, die uns die Elektronik gebracht hat, machen die Kenntnis von Einzelstrichverbesserungen deshalb immer wichtiger. Diese Tatsachen erfordern neue Prüfmethoden, die nicht nur eine Kalibrierung der Teilkreise im eingebauten Zustand gewährleisten, sondern auch mit vertretbarem Messaufwand die Bestimmung von Verbesserungen an jeder beliebigen Messstelle ermöglichen.



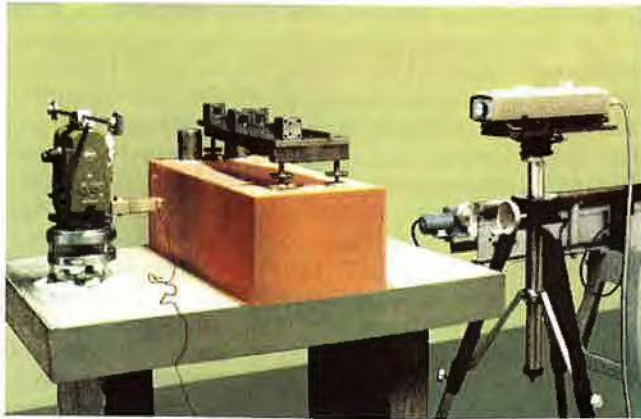
3 Schema des Aufbaues zur interferometrischen Ausmessung von Teilkreisen (Ideallage).

Die automatische Datenerfassung elektronischer Theodolite gestattet mit der von Dr. Maurer entwickelten Messmethode eine teilweise Automatisierung des Messablaufs, so dass eine Kalibrierung des Gesamtkreises eines Kern E2 in wenigen Stunden durchführbar ist.

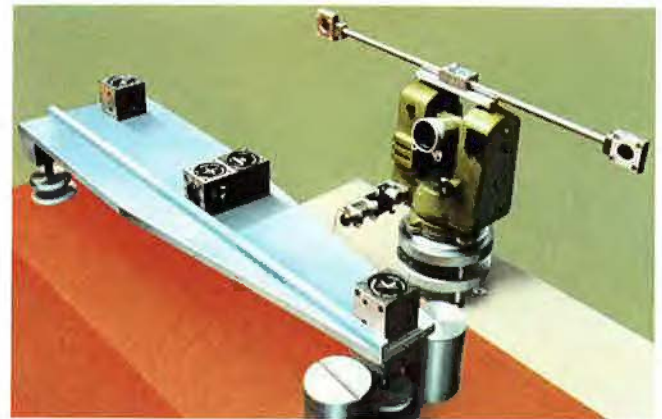
Bei diesem Verfahren wird ein HeNe-Laserinterferometer HP 5526A verwendet, das ein Auflösungsvermögen von  $0,1$  bis  $0,2 \mu\text{m}$  besitzt. Unter Ausnutzung der hohen Messgenauigkeit der Interferometrie gelingt es durch einen speziellen Systemaufbau, von der interferometrischen Längenmessung linearer Art ausgehend, eine Drehbewegung abzuleiten und Sollwinkel hoher Genauigkeit zu bestimmen.

### Optischer Aufbau

Das Laserlicht des Interferometers wird durch ein koaxial an die Strahlquelle angelegtes Magnetfeld in zwei Lichtanteile nahezu gleicher Frequenz ( $f_1, f_2$ ) zerlegt und dem in Figur 3 dargestellten Systemaufbau zugeführt. Hier wird das Laserlicht mit Hilfe eines Polarisationsstrahlteilers (1) in seine zwei Komponenten zerlegt und an drei Planspiegeln (2) so umgelenkt, dass zwei gleich lange und letztlich parallele Strahlgänge  $L_1$  und  $L_2$  entstehen. Beide Strahlen treffen auf Prismen



4 Die Messanordnung in der Praxis.



5 Der auf dem E2 montierte Prismenträger.

(3), die an einem Prismenträger (Fig. 5) befestigt sind, der auf den zu untersuchenden Theodolit aufgeschraubt wird.

### Messprinzip

Bei einer Drehung des Theodolits mit dem Prismenträger (um P) ist in dem beschriebenen Systemaufbau das übliche interferometrische Messprinzip mit einem festen Referenz- und einem geradlinig beweglichen Messprisma nicht mehr eingehalten, da sich beide Prismen nicht nur gleichzeitig, sondern auch noch auf einer Kreisbahn bewegen. Durch die jeweils gegensinnige Bewegung beider Prismen gegenüber der Strahlquelle ergeben sich durch den Doppler-Effekt zwei Frequenzverschiebungen  $\Delta f_1$  und  $\Delta f_2$  mit verschiedenen Vorzeichen. Damit folgen bei einer Drehung des Theodolits zwei Messfrequenzen  $f_1 \pm \Delta f_1$  und  $f_2 \pm \Delta f_2$ , deren Differenz ( $f_{\text{Mess}}$ ) mit einer vorab gebildeten Referenzdifferenz ( $f_{\text{Ref}}$ ) verglichen wird. Für die Drehbewegung ergibt sich somit eine Dopplerfrequenz  $\Delta f$

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_{\text{Ref}} - f_{\text{Mess}} \\ &= (f_1 - f_2) - [(f_1 \pm \Delta f_1) - (f_2 \mp \Delta f_2)] \\ \Delta f &= \pm (\Delta f_1 + \Delta f_2) \end{aligned}$$

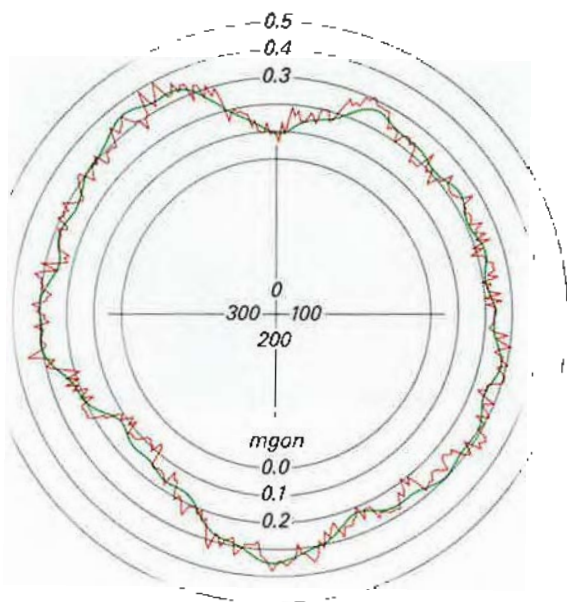
Über eine genau definierte zeitliche Abfrage dieser  $\Delta f$ -Werte ist es möglich, diese Frequenzwerte in Längenänderungen  $\Delta s$  und mit dem Prismenabstand R nach

$$\Delta s = R \cdot \sin \varepsilon$$

in Drehwinkel  $\varepsilon$  umzurechnen. Der Abstand der Prismen (3) vom Drehpunkt P ist grundsätzlich frei wählbar, da als Messwert stets  $\Delta f_1 + \Delta f_2$  erhalten wird. Allerdings sollten zur gleichmässigen Belastung der Theodolitachse die Abstände  $R_1$  und  $R_2$  etwa gleich lang sein. Ausserdem kann bei dieser Systemanordnung ein «symmetrischer» Strahlengang  $B_1 + L_1 = B_2 + L_2$  verwirklicht werden, bei dem Änderungen meteorologischer Einflüsse zumindest in der «Ideallage» (Fig. 3) ohne Einfluss auf die Messung bleiben.

### Messbereich

Durch die Drehung der Prismen kann der Teilkreis nun in einzelnen Messabschnitten kalibriert werden. Bei einem Prismenabstand von ca. 636,6 mm ergibt sich ein Messbereich von ca.  $\pm 8,5$  gon ( $7,65^\circ$ ) bezüglich der «Ideallage». Die Genauigkeit des Interferometers von  $0,1 \mu\text{m}$  entspricht in diesem Messaufbau einer Winkelauflösung von  $0,01$  mgon.



6 Auswertung der Kreisteilungsfehler für den Kern E 2 Nr. 327980. Rote Kurve = totale Kreisteilungsfehler. Grüne Kurve = periodische (systematische) Kreisteilungsfehler. Der totale Kreisteilungsfehler setzt sich aus den periodischen und den zufälligen Kreisteilungsfehlern sowie den durch die Beobachtungen entstandenen Fehlern zusammen. Durch Ansetzen von Sinusfunktionen wurde versucht, die totalen Kreisteilungsfehler noch zu verbessern. Es liessen sich aber keine prägnanten, sogenannte periodische Kreisteilungsfehler erkennen.

Untersucht man den gesamten Teilkreis in einzelnen Intervallen, so dass mindestens der erste Teilstrich identisch mit dem letzten des vorhergehenden Abschnitts ist, so lassen sich die einzelnen Messbereichsergebnisse zu einem Vollkreis zusammensetzen. Da in diesem Fall der Horizontschluss (= 400 gon/360°) eingehalten werden muss, lässt sich der Prismenabstand R unabhängig von Kreisteilungsfehlern fehlerfrei und sehr genau auf indirektem Weg bestimmen. Damit lassen sich Sollwinkel vorgeben, die mit aus Ablesungen erhaltenen Richtungswerten verglichen werden können. Nach Abspaltung von messbereichs- und system-spezifischen Fehleranteilen erhält man schliesslich «Totale Richtungsfehler» oder Einzelstrichverbesserungen.

### Kalibrierung des Kern E 2 Nr. 327980

Für die Überprüfung des Teilkreises und der Interpolationsgenauigkeit des Kern E 2 konnte der Prismenträger ohne Schwierigkeiten an Stelle des Traggriffs befestigt werden. Die Drehung des Theodolits erfolgte über einen kleinen, auf die Feintriebschraube aufgesteckten Synchronmotor. Da die Feinbewegung nur einen Messbereich von 4 gon (3,6°) zulässt, wurde der Teilkreis in 100 Abschnitten kalibriert. Über einen zusätzlich eingebauten elektrischen Anschluss konnte ein bei der Grobmessung im 0,01 gon-Intervall auftretendes Signal abgegriffen werden, das zur Output-Steuerung des Laser-Interferometers verwendet wurde. Es konnte damit eine weitgehende Automatisierung der gesamten Beobachtung und der Datenerfassung erreicht werden.

Die Kalibrierung der einzelnen Messbereiche erfolgte im Hin- und Rückweg und dauerte etwa 30 Stunden, wobei insgesamt ca. 80000 Messwerte erfasst wurden.

Die Auswertung dieser Untersuchung ergab die in Figur 6 dargestellten Einzelstrichverbesserungen, die alle unter  $\pm 0,15$  mgon (0,5") liegen und keine prägnanten periodischen Fehleranteile erkennen lassen. Eine rechnerische Analyse deckt lediglich Fehler auf, deren Amplituden wesentlich kleiner als die angezeigte Winkelauflösung des Kern E 2 von 0,1 mgon sind. Dasselbe Bild ergibt sich für die Interpolationsgenauigkeit innerhalb der 0,01 gon-Intervalle. Ähnliche Ergebnisse wurden inzwischen auch für einen zweiten Kern E 2 erhalten.

Diese wohl umfangreichste Untersuchung eines in ein Messsystem eingebauten Teilkreises hat gezeigt, dass die serienmässig eingebauten Teilkreise den «offiziellen» Genauigkeitsangaben entsprechen, ja sie in der Praxis meistens noch überbieten. (Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung einer Instrumentenuntersuchung von R. Loser und Dr. W. Maurer.)

## Der Kern E2 im harten Baustelleneinsatz

*Prof. Dipl. W. Schaubeger, Würzburg*

Im Rahmen zweier Projekte in Kuwait konnte der elektronische Theodolit E2 von Kern ausgiebig erprobt werden.

Es wurden Koordinaten und lokale Höhen von Objektpunkten mit Hilfe von Vorwärtseinschnitten bestimmt. Im weiteren wurden Massstabsbestimmungen mit einer Basislatte durchgeführt.

Besonders hervorzuheben sind die problemlose Handhabung des E2 und die erheblich kürzeren Messzeiten auf der Baustelle. Die erreichte Genauigkeit, vor allem auch der Höhen der Zielpunkte, liessen keine Wünsche offen. Sie wurde lediglich von der Sorgfalt, mit der die Anzielungen erfolgen konnten, eingeschränkt. Die Zielweiten lagen zwischen 30 und 100 m.

Bei kurzen und kurzfristig vorhersehbaren Auslandseinsätzen ist es wichtig, Theodolit und Zubehör mit dem Flugzeug transportieren zu können. Der Theodolit sollte aus Sicherheitsgründen in der Fahrgastkabine mitgeführt werden. Die Behältergrösse des E2 lässt dies gerade noch zu. Die übrige Ausrüstung muss auf ein Minimum beschränkt werden. So konnte zur Stromversorgung neben dem kompakten Kern-Wandler eine normale auf der Baustelle vorhandene Autobatterie benutzt werden.

Die automatische Registrierung der Messwerte mit Hilfe von DIF41 und HP-41CV brachte eine spürbare Verbesserung der Resultate gegenüber vergleichbaren früheren Einsätzen mit optischen Theodoliten. Wegen extremen Temperatur- und Windverhältnissen, aber auch wegen gleichzeitiger Bautätigkeit, steht auf solchen Baustellen normalerweise nur eine kurze Zeit zum Messen zur Verfügung. Dieser Zeitraum konnte mit der beschriebenen Ausrüstung optimal ausgenutzt werden.

In der Regel können solche Vermessungsaufgaben jetzt von einer Person durchgeführt werden. Der menschliche Einfluss auf die Messdaten entfällt weitgehend, so dass Punktausfälle wegen falscher Ableseung oder fehlerhafter Notierung praktisch nicht mehr vorkommen.



Für die Registrierung und Auswertung der Messdaten wurden Programme für den HP-41 erstellt. So können mit Hilfe der X-Funktions- und X-Memory-Modulen 520 Messdaten registriert werden. Die dazu benötigten Programme sind zudem im Hauptspeicher des Rechners resident. Der Aufruf zur Abspeicherung auf Magnetband und die eigentliche Abspeicherung oder das Ausdrucken erfolgt durch Programmbefehle. Unmittelbar danach steht der Rechner zur weiteren Registrierung zur Verfügung. Nach Abschluss der Messung werden die Daten aus den Fernrohrlagen 1 und 2 sortiert und für die Vorwärtseinschnittberechnung bereitgestellt.

Die Ausrüstung lässt den Einsatz unter extremen klimatischen Bedingungen, wie sie etwa im Hochsommer in Kuwait anzutreffen sind, ohne weiteres zu.

Abschliessend darf eindeutig festgestellt werden, dass der Kern E2 zusammen mit den Peripheriegeräten eine erhebliche Verbesserung der Vermessung auf Baustellen bringt; dies vor allem in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Genauigkeit und Entlastung des Beobachters.

## Kern im Dienste der Wissenschaft

E. Menant

Physiker des CERN (European Centre for Nuclear Research) in Genf haben einen speziellen Cherenkov-Zähler\* entwickelt, mit dem gleichzeitig Standort und Energie kleinster Teilchen gemessen werden können. Der sogenannte **Ring Image Cherenkov (RICH)** besteht aus einer Vielzahl sechseckiger Spiegel. Diese sind kugelförmig angeordnet (Radius 10 m) und werfen entstehendes Licht auf ein TPC-System (Time Projection Chambre) zurück, wo Position und Grösse eines Cherenkov-Ringes gemessen werden. Das TPC-System befindet sich in der Fokussierebene der Anlage.

\* Der Cherenkov-Zähler nutzt die Tatsache, dass beim Eintreten elektrisch geladener Teilchen vom Vakuum in eine gasförmige Umgebung unter gewissen Umständen ( $v > c/n$ ) ein sichtbarer Lichtkegel entsteht. Der Öffnungswinkel des Kegels ist proportional zur Energie der Teilchen (Cherenkov-Effekt). Diese Lichtimpulse werden durch einen Cherenkov-Zähler nachgewiesen.

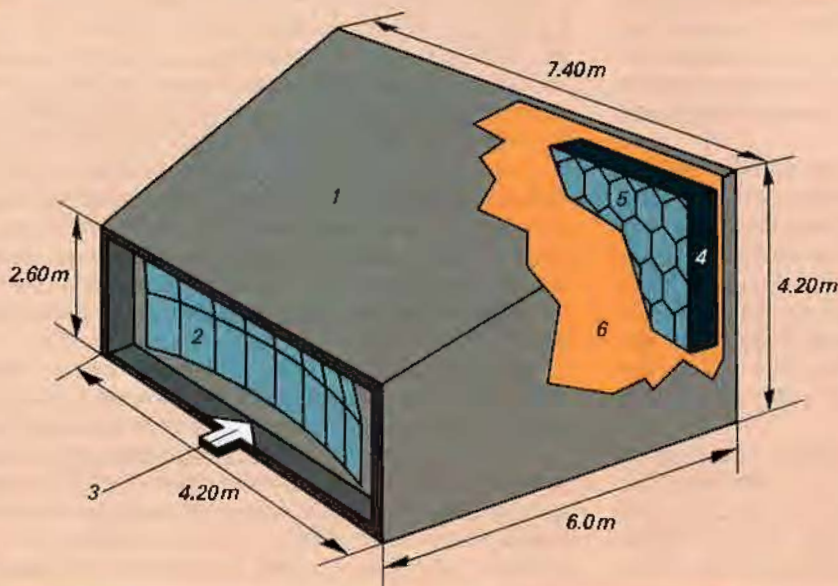
### Der Aufbau des RICH (Fig.1)

Der RICH besteht aus einer hermetisch abgedichteten Kammer, die mit einem Gasgemisch gefüllt ist. Auf der Seite des eintretenden Partikelstrahls befindet sich das TPC-System und auf der andern Seite ist das optische System aufgebaut. Dieses besteht aus 84 Spiegeln. Sie sind sechseckig und 4 mm dick. Ihre Krümmungsradien und die Reflexionsfähigkeit im ultravioletten Lichtbereich wurden im Labor ausgemessen. Montiert müssen die 84 Spiegel ein kugelförmiges Flächensegment bilden, dessen Zentrum sich mit der Volumenachse der trapezförmigen Kammer deckt.

### Die Vermessung des RICH

Nach Studien des gestellten Problems und praktischen Versuchen mit einem Testspiegel von 3,4 m Radius, haben die Vermesser den Physikern folgende Lösung der Vermessungsaufgabe vorgeschlagen:

- In der aufgestellten Kammer wird zuerst der Kugelmittelpunkt bestimmt.
- Bevor die Spiegel aufgestellt werden können, muss die Spiegeleinteilung der kugelförmigen Fläche berechnet werden.



- 1 Der Aufbau des RICH (Ring Image Cherenkov).  
1 = hermetisch abgedichteter Raum
- 2 = TPC-System (Time Projection Chambre)
- 3 = Partikelstrahl
- 4 = Spiegelträger
- 5 = Sechseckige Spiegel
- 6 = Gasgemisch

2 Die im Kugelmittelpunkt aufgebaute Vermessungsausrüstung.

3 Blick vom Kugelzentrum auf die Spiegelfläche.

- Mit Hilfe der gerechneten Winkel der Spiegelzentren werden zunächst die Spiegelträger eingerichtet. Das TPC-System ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht aufgestellt.
- Die 84 Spiegel werden mit einem Laserstrahl aufs Kugelzentrum orientiert.
- Mit einem elektrooptischen Distanzmesser wird die Distanz zwischen Kugelzentrum und jedem Spiegel gemessen.
- Eine konventionelle Mikro-Triangulation des Zählers und des TPC-Systems definiert die Anlage in einem lokalen Koordinatensystem.

### Instrumentarium

Die Spiegel wurden mit einer Kern E1/DM502 Tachymeterkombination und einem Laserokular Kern LO ausgerichtet.

Der Schnitt der Stehachse mit der optischen Achse des E1 befand sich genau im Kugelzentrum (Fig.2). Das auf den E1 montierte Kern LO verkörperte einen ins Unendliche reichenden Strahl. Der Laserstrahl erlaubte mittels Autokollimation die Orientierung der Spiegelachsen zum Zentrum. Die vorgegebene Toleranz von  $\pm 1$  mm wurde dabei ohne weiteres eingehalten. Fehlende Polarisationsfilter verunmöglichten allerdings eine direkte Beobachtung des Laserstrahls durch das Objektiv. Man beobachtete deshalb den zurückgeworfenen Strahl mit Hilfe einer Halbblende, welche über das Objektiv gestülpt war. Der Spiegel wurde so lange gedreht, bis sich der ausgesendete und der zurückgeworfene Strahl auf der Halbblende deckten. So erreichte man die gewünschte Lage des Spiegels zum Zentrum.

Mit einem Kern DM502 wurden die Distanzen zwischen den Spiegelmittelpunkten und dem Kugelzentrum gemessen. Sender und Empfänger des DM502 sind so beschaffen, dass der übliche Reflektor nicht eingesetzt werden musste. Die Distanz konnte mit dem vom sphärischen Spiegel zurückgeworfenen Signal gemessen werden. Dafür musste zuerst auf einer Eichstrecke die neue Additionskonstante bestimmt werden. Mit dem kompakten Instrumentarium war es möglich, alle vermessungstechnischen Vorarbeiten vom Kugelzentrum aus zu erledigen.

### Praktisches Vorgehen beim Vermessen

Um den Aufbau der Anlage sauber und ohne Glas-

bruch vornehmen zu können, war es unumgänglich, die Montage Schritt für Schritt vorzunehmen.

Mit einer am Boden ausgelegten Lehre und dem Senkel richtete man zuerst die Stützen der Tragkonstruktion aus.

Als nächster Arbeitsgang wurden die Spiegelträger an die Tragkonstruktion montiert und mit Hilfe eines



Planspiegels mit Zentrumskreuz vorjustiert. Die definitive Einstellung der Anlage geschah direkt mit den sphärischen Spiegeln und dem Autokollimationsverfahren. Die 84 Spiegel wurden mit Justierschrauben einzeln auf ihre vorgängig errechneten Sollwerte (Winkel und Distanz) eingestellt.

Um schliesslich den Cherenkov-Zähler einrichten zu können, brauchte man das Verhältnis zwischen der zur Messung nötigen Spiegelfläche und der totalen Fläche der Anlage. Dazu waren die Vertikal- und Horizontalwinkel der jeweils sechs Ecken der 84 Spiegel einzumessen. Die Messungen dieser Ecken wurden über das Kern Interface DIF41 auf einen HP-41 übertragen und mit einem Programm auf dem HP-41 ausgewertet.

- Eigenrotation der abgeworfenen Körper,
  - Kontrolle verschiedener Beschleunigungen.
- Die photogrammetrisch ausgewerteten Filme zeigen auf, ob die vorausberechneten Bewegungsabläufe der Körper richtig waren.

### **Vermessungsausrüstung**

Vor dem Flug ist es notwendig, die Position der Kameras am Flugzeug bezüglich des flugzeugfesten Achssystems zu ermitteln.

Diese Messungen werden mit der Tachymeterkombination Kern E2/DM502 und der Kern Kleinreflektor-Ausrüstung vorgenommen und über das DIF41 auf dem HP-41 CV registriert und anschliessend ausgewertet.

### **Die Kern Kleinreflektoren**

Für gewisse Arbeiten forderte der Vermesser schon seit längerer Zeit kleinere, handlichere Reflektoren.

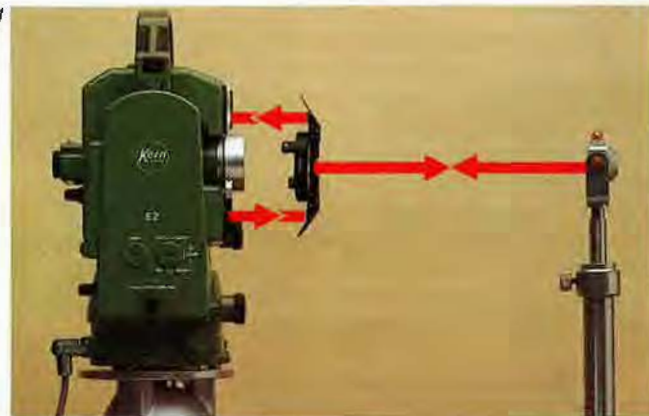
Mit dem neuen Umlenkprisma, das direkt auf den Distanzmesser DM502 oder DM503 aufgesetzt wird, erreicht man die Umlenkung des Messstrahles zur Fernrohrmitte (Fig.1). Am Ziel können dadurch kleine Rundreflektoren eingesetzt werden. Für den Reflektor sind diverse Zwischenstücke erhältlich, die auch das Messen auf schwer zugängliche Punkte ermöglichen (Fig.2).

## **Mit Umlenkprisma auf Kern-Kleinreflektoren**

*A. Poli*

Die «Avions Marcel Dassault-Breguet aviation» in Casaux (F) ist spezialisiert in der Erprobung von neuen Flugzeugtypen.

Um das Verhalten von Lasten, die aus Flugzeugen abgeworfen werden, studieren zu können, rüstet die Firma Versuchsflugzeuge mit Kameras aus. Diese erlauben solche Vorgänge zu verfolgen und für weitere Studien im Bild festzuhalten. Es werden dabei folgende Untersuchungen angestellt:



### Büroarbeit

Der HP-41 CV wurde über das DIF 41 und das DL 40 an einen HP-9845 B-Computer angeschlossen.

Das Hauptprogramm auf dem Computer erlaubt die Position der aufgenommenen Punkte bezüglich des flugzeugfesten Achssystems zu berechnen.

### Feldarbeit

Auf dem Feld wurde eine E2/DM 503 Tachymeterkombination mit DIF 41, HP-41 CV und Drucker eingesetzt.

Das HP-41-Programm registriert 175 Messblocks (Punkt-Nummer, Horizontalwinkel, Vertikalwinkel und Distanz). Mit Erweiterungsmodulen kann diese Kapazität verdoppelt werden.

### Messprinzip

Im flugzeugfesten Achssystem sind gewisse Referenzpunkte auf beiden Seiten des Flugzeugrumpfes koordinatenmässig bekannt.

Der Theodolit wird so aufgestellt, dass ein Teil dieser Referenzpunkte angezielt werden kann (Fig. 3). Zwei Punkte am Flugzeug werden so bestimmt, dass sie von allen weiteren Theodolitstandorten aus beobachtet werden können. In der Folge werden von verschiedenen Stationen aus sämtliche am Flugzeug

markierten Punkte aufgenommen. Mit den Aufnahmeelementen (Winkel und Distanzen) sind damit die Referenzpunkte in einem frei orientierten Netz koordinatenmässig bekannt. Es können nun die jeweiligen Parameter für die Transformation der Koordinaten in das flugzeugfeste Achssystem berechnet werden. Die Kamerapositionen werden zusammen mit den Referenzpunkten aufgenommen und ebenfalls transformiert. So sind die vermessungstechnischen Grundlagen für die Auswertung der Messbilder erstellt.

### Erfahrungen

Mit dieser Methode kann ungefähr 2,5 Mal schneller gearbeitet werden als mit dem bis anhin verwendeten Messverfahren. Es sind keine umständlichen Arbeitsvorbereitungen notwendig. Mit zwei Personen ist die ganze Messung durchführbar. Die Genauigkeit der Koordinaten liegt innerhalb eines Millimeters.

Das Instrumentarium ist zudem nicht nur für diesen speziellen Einsatz verwendbar. So wurden auch Aufnahmen im Schiessgelände und am Navigationssystem der Flugzeuge gemacht. Schliesslich ist die Möglichkeit, die eingesetzten Instrumente auch mit allen anderen Geräten des modularen Gerätesystems von Kern kombinieren zu können, ein nicht zu verachtendes Vor- teil.



1 Strahlengang vom Distanz-  
messer (Kern DM 502/DM 503)  
durch das Umienkprisma  
auf den Kleinreflektor.

2 Montierter Kleinreflektor  
( $\varnothing 24$  mm) an einem Werkstück.

3 Die Ausrüstung im Gebrauch  
bei «Avions Marcel Dassault-  
Breguet aviation» in Casaux (F).



## Vermessung koptischer Klöster in Unterägypten

R. Glutz, Institut für Denkmalpflege ETH Zürich

Koptologen der Universität Genf versuchen schon seit 20 Jahren unter Mithilfe von Fachleuten aus zahlreichen Ländern die koptischen Klosterbauten am Rande des Nildeltas, ungefähr 60 km südöstlich von Alexandrien, zu erforschen und vor der endgültigen Zerstörung durch die Kulturlandgewinnung so weit als möglich auch zu retten (Fig.1). Das Kulturland wird von Ägypten dringend gebraucht, um die wachsende Bevölkerung ernähren zu können. Nirgends lässt sich das Land so günstig bewässern wie hier, wo die Wüste auf gleicher Höhe wie das Kulturland liegt.

1 Luftaufnahme ausgegrabener Gebäude in Kellia. (Bilder von J. Hunziker)

Aus alten Schriften ist der Name «Kellia» (die Zellen) für diese ganze Gegend überliefert, an welcher heute etwas weiter nördlich der Nûbârîya-Kanal vorbeiführt. Im 2. Band der Expeditionsberichte liest man, wie Prof.R.Kasser es fertiggebracht hat, teils allein, teils mit Hilfe mehrerer Geometer-Equipen, eine Fläche von rund 100 km<sup>2</sup> Wüste topographisch aufzunehmen. Erst auf Grund einer solchen Kartierung mit Halbmetrerkurven wurde eine Siedlung nach der anderen mit jeweils Hunderten von Gebäuden entdeckt und für die weitere Forschung wieder auffindbar gemacht. Die verwendeten Verfahren, Schwächen und Vorzüge der Pläne in verschiedenen Massstäben sind in beispielhafter Weise im Band «Kellia Topographie» (Recherches Suisses d'Archéologie Copte, Genève 1972) von R.Kasser beschrieben.

Als Mitglieder einer 30köpfigen Expedition erhielten wir 1981 den Auftrag, zusammen mit zwei Geometer-Studenten von Paris, das von R.Kasser angelegte Vermessungsnetz in Kellia aufzuspüren, zu verdichten und zu erweitern und damit Grundlagen für eine neue Serie von Ausgrabungskampagnen zu schaffen. Mit Hilfe eines an den früheren Arbeiten beteiligten Topo-



graphen gelang es, aus den Unterlagen 21 Koordinatenpaare von möglicherweise noch auffindbaren Punkten zu ermitteln. Der ehrgeizige, dann aber nicht ausgeführte Plan des Expeditionsleiters sah vor, dass jeder der vier Topographen eine Equipe bilden würde. Deshalb wurden zu den zahlreichen ausgeliehenen Instrumenten auch zwei vollständige Tachymeter-Ausrüstungen Kern DKM2-AE resp. K1-M/DM 502 angeschafft.

Es war äusserst schwierig, sich in dem ungewohnten, eintönigen Gelände zu orientieren und Punkte der damaligen Vermessung aufzufinden. Erst nach tagelanger Such- und Absteckungsarbeit gelang es schliesslich, noch fünf solche Punkte zu identifizieren (eingegrabene Eisenbahnschienen, Röhren und Hausecken). Ein Polygonzug von 15 km Länge zur Verbindung dieser Punkte wurde gemessen und mittels Helmert-Transformation auf die alten Punkte eingepasst. Dies ergab Abschlussfehler von 15 cm, ohne meteorologische Korrekturen, und maximale Klaffungen gegenüber der alten, mit einfachsten Mitteln durchgeführten Vermessung, von nur 50 cm. Wegen der Polygonseiten von durchschnittlich 1 km Länge kam für die Höhenbestimmung nur das relativ aufwendige Nivellieren in Frage. Anschliessend wurde im Ausgrabungsgebiet ein PP-Netz eingeschaltet und von diesem aus dann jedes einzelne Gebäude eingemessen. Die grösste Schwierigkeit bildete auch jetzt wiederum die zuverlässige Versicherung der Punkte, wurden doch beispielsweise gelochte Stahlnägel von den Einheimischen offenbar als Kostbarkeiten betrachtet und aus dem noch frischen Beton herausgezogen. Die wichtigsten Punkte mussten darum gut getarnt und in der weiteren Umgebung des Punktes versichert werden.

Zusätzlich galt es, die topographischen Aufnahmen 1:5000 zu ergänzen, vor allem, um das Vorrücken der Kulturgrenze in die Wüste und die damit verbundene Zerstörung der Ruinen zu dokumentieren. Keine Frage, dass in diesem ebenen Gelände mit grossen Sichtweiten die elektrooptische Distanzmessung eine unerlässliche Hilfe bedeutete.

Währenddessen arbeiteten die Archäologen zusammen mit über 100 Arbeitern von 6 bis 14 Uhr in der schattenlosen Wüste und brachten ans Tageslicht, was einmal zum Leben eines koptischen Eremiten gehört hatte: Gefässe, Inschriften und Malereien sowie Mauern der Behausungen. Hier, in die der Flussoase so nahe gelegenen Wüstengebiete, zogen sich zwischen

300 und 1100 nach Christus auch die Anachoreten zurück, gruben Brunnenschächte, bauten Häuser aus Lehmziegeln und begannen klösterliche Gemeinschaften zu bilden, wie sie heute noch im nahe gelegenen Wâdi Natrûn anzutreffen sind. Zu Recht kann hier von der Wiege des abendländischen Mönchtums gesprochen werden. Da sich begreiflicherweise der Staat Ägypten vorwiegend um die imposanteren und touristisch verwertbaren Denkmäler der Pharaonenzeit kümmert, ist es nicht abwegig, dass sich die Schweiz mit Hilfe des Nationalfonds und anderen Geldgebern für die etwas in Vergessenheit geratenen koptischen Klöster einsetzt.

2 *Grossflächige, luftphotogrammetrische Aufnahmen wurden aus militärischen Gründen verboten. In jüngster Zeit hat man allerdings mit Hilfe eines unter Zug aufsteigenden, bemannten Fallschirms photographische Aufnahmen aus 50 bis 80 Metern Höhe hergestellt.*



## **Distometer ISETH: Ein raffinierter, mechanischer Präzisionsdistanzmesser**

Die Erfassung kleinster Verschiebungen an Ingenieurbauwerken gewinnt immer mehr an Bedeutung. Zur sicheren Messung dieser Beträge im Bereich unter einem Millimeter ist das Distometer ISETH der Firma Kern & Co. AG in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Technischen Hochschule ETH, Zürich, entwickelt worden.

Das Gerät ist in der Lage, mit einem konstant vorgespannten Invardraht über eine Längenmessuhr kleinste relative Längenveränderungen zu messen. Das einfache, hochpräzise Distometer wird seit mehreren Jahren bei Deformations- und Kontrollmessungen im Bergbau und an grossen Bauwerken, wie Brücken und Staudamauern, eingesetzt und hat sich bestens bewährt.

Der messtechnisch grösste Vorteil des Distometers liegt in der Möglichkeit des Messens beliebig geneigter und auch senkrechter Distanzen. Die ganze Messausrüstung setzt sich ausschliesslich aus mechanischen Bauteilen zusammen. Distometermessungen sind daher einfach, schnell und mit wenig Personal durchzuführen.

Kürzlich wurde von Dr. B. Vieweg eine Dissertation geschrieben, die sich mit dem Distometer im Einsatz bei ingenieurgeodätischen Messungen auseinandersetzt.



Es werden darin speziell die Einflüsse der Temperatur, der Mechanik von Gerät und Draht und verschiedener Richtungen von Messstrecken im Raum untersucht. Zur Beurteilung der Messgenauigkeit und den Auswirkungen genannter Einflüsse in der Praxis wurde ein Diagonalviereck mit simulierten Bauwerksveränderungen ausgemessen.

Unter vorsichtiger Behandlung des Drahtes (Temperatur und Aufbewahrung) lassen sich mittlere Fehler einer Distometermessung von  $\pm 0,033$  mm und für die Differenz zweier Messwerte (mit Veränderung der Messpunkte) von  $\pm 0,05$  mm erreichen. Diese Genauigkeitsangaben beziehen sich im besonderen auf das in der Abschlussarbeit von Dr. B. Vieweg gemessene Diagonalviereck mit Drahtlängen bis zu 15 m.

## **Neues in Kürze**

### **Kern in Japan**

Bei «Asia Air Survey» Co. Ltd. wurde zum ersten Mal ein Kern DSR1/GP1 in Japan installiert. Das digitale Stereo-Auswertegerät wird für die Erstellung des Mehrzweckkatasters in Kuwait eingesetzt.

Das Bild zeigt die Einweihung der ersten Anlage bei «Asia Air Survey» Co. Ltd. mit dem Vorsitzenden H. Motojima beim feierlichen Durchschneiden des Bandes. Weitere Kern-Instrumentensysteme wurden in der Zwischenzeit für dasselbe Projekt installiert.



◀ *Das Distometer ISETH wird für Kontrollmessungen in einem Eisenbahntunnel montiert. Der auf einer Rolle aufbewahrte Draht wird abgespult. Für jede zu messende Strecke wird der Invardraht an Ort und Stelle in der erforderlichen Länge zugeschnitten und an beiden Enden mit einer Kupplung versehen.*

## Zum Rücktritt von Herrn Direktor Rudolf Wehrli



Auf Ende 1984 trat Herr Rudolf Wehrli nach 45jähriger erfolgreicher Tätigkeit in der Firma Kern in den wohlverdienten Ruhestand. Herr Wehrli war Mitglied der Geschäftsleitung und seit 1959 Vertriebsdirektor.

In dieser Funktion prägte Herr Wehrli das Erscheinungsbild unseres Unternehmens und dessen Produktpalette ganz ausserordentlich. In die Zeit seines Wirkens fielen grosse weltwirtschaftliche Veränderungen, gepaart mit einer technologischen Entwicklung, die man nur noch als revolutionär bezeichnen kann. Herr Wehrli darf das Verdienst für sich in Anspruch nehmen, einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet zu haben, dass unsere Firma diesen grossen Aufgaben gewachsen war.

In den fünfziger Jahren wurde unsere Tätigkeit durch die Herstellung von Objektiven für die Bolex-Kameras dominiert. Erinnern wir uns nur an die Switar-Objektive, die Weltgeltung erlangten. Herr Wehrli erkannte damals die sich am Horizont abzeichnenden Veränderungen auf dem Kamera-Markt und setzte sich stark für eine Umstrukturierung unseres Produktangebots zugunsten der Vermessungsinstrumente ein. In jene Zeit fiel auch der Entscheid, photogrammetrische Geräte in das Verkaufssortiment aufzunehmen.

Diese Umstellung hatte starke Konsequenzen auf unser Unternehmen und vor allem auch auf das von Herrn Wehrli geführte Vertriebsressort. Durch Reisen und unermüdliche Pflege der Beziehungen zu unsern

Abnehmern legte er den Grundstein zu einer ausgesprochen exportorientierten Haltung unserer Firma. Sein Grundsatz, im Benützer und Kunden wie auch im Kern-Vertreter den Partner zu sehen, wird heute von allen Mitarbeitern weitergepflegt und ist zu einem wichtigen Bestandteil unserer Verkaufsphilosophie geworden.

Aus dieser Grundhaltung heraus unterstützte Herr Wehrli die Belange des in seinen Verantwortungsbebereich fallenden Technischen Kundendienstes stark. Dadurch können heute auch komplexe Kern-Geräte weltweit durch gut ausgebildetes technisches Personal gewartet werden. Der gleichzeitig vollzogene Ausbau des Vertreternetzes in allen fünf Kontinenten und der dazugehörigen internen Infrastruktur, nicht zuletzt auch der Werbeabteilung, liess unsere Firma zusehends Marktanteil im Vermessungssektor gewinnen.

Herr Wehrli beobachtete stets sehr aufmerksam die rasante technologische Entwicklung und setzte sich für eine marktgerechte Produktpalette ein. Daraus resultierte der von Kern seit Jahren verwirklichte Gedanke des modularen Gerätesystems. Es ermöglichte uns aber auch, den entscheidenden Schritt vom traditionellen optisch-mechanischen Instrument zum elektronischen Vermessungssystem erfolgreich zu vollziehen.

Unsere Betätigung auf dem Gebiet der Photogrammetrie liess es auch wünschbar erscheinen, einen Beitrag an die Ausbildung von Photogrammetrie-Operateuren zu leisten. Herr Wehrli befürwortete einen Beitritt unserer Firma in die Gesellschaft zur Förderung der praktischen Photogrammetrie, der er in den Jahren 1978 bis 1984 als Präsident vorstand, und die Beteiligung von Kern an der Schweizerischen Schule für Photogrammetrie-Operateure (SSPO) in St. Gallen.

Nicht unerwähnt darf bleiben, dass Herr Wehrli auch der eigentliche Vater des Kern-Bulletins ist. Seiner Initiative ist es zu verdanken, dass seit dem Jahre 1960 das Bulletin zu einem geschätzten Informationsträger geworden ist. Ausserdem fördert es den wichtigen Dialog zwischen dem Benützer und Praktiker und dem Hersteller der Geräte.

Herr Wehrli darf mit Stolz auf die vergangene Entwicklung der Firma Kern zurückblicken und mit Genugtuung feststellen, dass er einen ausschlaggebenden Beitrag zu deren Erfolg geleistet hat. Geschäftsleitung und Mitarbeiter danken ihm dafür und wünschen ihm weiterhin alles Gute.



*Die Kern-Software beweist, was der ALPHACORD leistet.*

## **Der neue Feldcomputer Kern ALPHACORD mit SICORD-Programmen**

Der Feldcomputer Kern ALPHACORD kann als reine Registriereinheit oder aber auch als programmierbare Recheneinheit eingesetzt werden. Er ist in einer 64 kBytes- und einer 128 kBytes-Version erhältlich. Seine Hardware zeichnet sich durch ein CP/M-kompatibles Betriebssystem (z. B. IBM PC) mit einem Z 80 Prozessor aus. 42 Tasten ermöglichen die Eingabe des ganzen Alphabetes in Gross- und Kleinbuchstaben. Auf zwei LCD-Anzeigen mit je 16 Zeichen ist genügend Platz vorhanden für Messwerte und Kommentar in beliebiger Sprache. Die eingebauten Schnittstellen erlauben sowohl serielle (RS-232C) als auch parallele Datenübertragungen von und zum Computer. Es ist somit möglich, die auf einem Computer entwickelten und getesteten Programme ohne zusätzliche Hardware auf den ALPHACORD zu übertragen.

Erst umfangreiche und perfekte Software schöpft die Möglichkeiten eines Feldcomputers vom Format des ALPHACORD vollständig aus. Kern-Vermessungsspezialisten haben deshalb den Grundprogrammen (DDS und STORE) weitere Vermessungsprogramme angefügt. Das ganze SICORD-Programmpaket AA, wie es für den HP-41 bereits zur Verfügung steht, ist jetzt auch für den ALPHACORD erstellt.

Mit einfacher Menutechnik wird der Benützer durch sämtliche Programme geführt. Zur Verfügung stehen:

- Die freie Stationierung mit der Helmert-Transformation (Berechnungszeit ungefähr 2 sec.).
- Das koordinatenmässige Aufnehmen und Abstecken von Punkten (Speicherkapazität für ungefähr 1600 Messblocks).
- Der Datenverkehr zwischen dem ALPHACORD und irgend einem Computer oder direkt auf einen Drucker.

Dass die Eingabe der Messdaten manuell über die Tastatur ausgeführt werden kann, macht das Gerät auch für Besitzer optisch-mechanischer Theodolite attraktiv. Der ALPHACORD ist ein weiterer Baustein im modularen Gerätesystem Kern, der sich bei der Anschaffung eines elektronischen Theodolits noch vielseitiger einsetzen lässt.

Die Kapazitätsfrage eines Feldcomputers ist heute nicht mehr so vordringlich, so dass man sagen kann, die Leistungen eines Feldcomputers sind so gut wie seine Software. Unsere Vermessungs- und Software-spezialisten sind deshalb bestrebt, den ALPHACORD mit weiteren benützerfreundlichen Vermessungsprogrammen auszurüsten.