



Bulletin



7

Kern & Co. AG Aarau Schweiz
Werke für Präzisionsmechanik und Optik

Inhalt

Deformationsmessungen an Staumauern

Seite 3

Im ersten Teil seines Berichtes gibt Ing. K. Egger vom Ingenieurbüro W. Schneider, Chur, eine Übersicht über die bei Deformationsmessungen an Staumauern angewendeten Meßmethoden. Anschließend behandelt der Verfasser die Arbeiten, die das Ingenieurbüro W. Schneider bei den Deformationsmessungen an der Staumauer Albigna durchführt, und beschreibt die dabei eingesetzten Ausrüstungen.

Neues in Kürze

Seite 10

K 1-A und K 1-RA, neue Ingenieurtheodolite

Seite 12

Titelbild: Polygonseitenmessung mit Invardrähten zur Deformationsbestimmung der Staumauer Nalps der Kraftwerke Vorderrhein.

Deformationsmessungen an Staumauern

von K. Egger, Ingenieur
in Ingenieurbüro W. Schneider, Chur

Einleitung

Im Anschluß an die Übersicht über Präzisionsmessungen im Kern-Bulletin Nr. 5 folgen hier einige Erläuterungen zum Problem der Deformationsmessungen im allgemeinen und eine kurze Betrachtung der Deformationsmessung an der Staumauer Albigna der Bergeller Kraftwerke der Stadt Zürich.

Allgemeines

Für die Bestimmung von Deformationen an Staumauern werden seit Jahrzehnten zwei Methoden angewendet, die grundsätzlich voneinander verschieden sind.

Die *erste Methode* besteht in der Bestimmung von relativen Änderungen; solche sind zum Beispiel Änderungen der Mauerkrone oder anderer Punkte der Staumauer in Bezug auf den Mauerfuß. Mit Dehnungsmessern werden lokale Änderungen bestimmt, mit Klinometern Neigungsänderungen ermittelt und mit Pendeln Durchbiegungen gemessen. Diese Methode liefert sehr hohe lokale Genauigkeiten. Da nun aber der Bezugspunkt einer solchen Messung, zum Beispiel der Mauerfuß bei einer Staumauer, nicht ohne weiteres als ruhig angenommen werden kann, sind die daraus erhaltenen Verschiebungen eben nur relativ. Allerdings ist es heute möglich, mit Schwimmloten den Bezugspunkt um vielleicht 30–40 m unter den Mauerfuß abzusenken.

Es hat sich aber insbesondere im Beispiel Albigna gezeigt, daß der Fels so tief unten noch nicht ruhig ist.

Diese Pendel-, Klinometer- und Deformationsmessungen sind, insbesondere was die Einrichtung anbetrifft, nicht billig, während die Kosten für die Messung mit diesen Geräten proportional mit der Anzahl der Meßstellen steigen.

Die *zweite Methode* zur Bestimmung absoluter Änderungen benützt die geodätischen Meßverfahren der Triangulation, der Präzisionspolygonierung und der Präzisionsnivelements. Sie liefert nicht die gleich hohen Genauigkeiten wie die erste Methode. Sie erfaßt jedoch das Bauwerk, das heißt die Staumauer als Ganzes und gibt demzufolge nicht nur lokale Verschiebungen. Sie liefert vielmehr absolute Beträge und gibt daher auch Anhaltspunkte über die Bewegungen der Mauer in Bezug auf ihren Untergrund, sowie über eventuelle Verschiebungen des Untergrundes und der nächsten Umgebung der Mauer gegenüber dem weitem Umgelände. Es hat sich immer wieder gezeigt, daß die zuverlässigsten Resultate durch die Kombination der beiden Methoden gewonnen werden, wobei sich insbesondere die gemeinsame Auswertung der geodätischen Messungen mit den Lotmessungen als wertvoll erweist.

Meine folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die geodätische Methode.

Triangulation

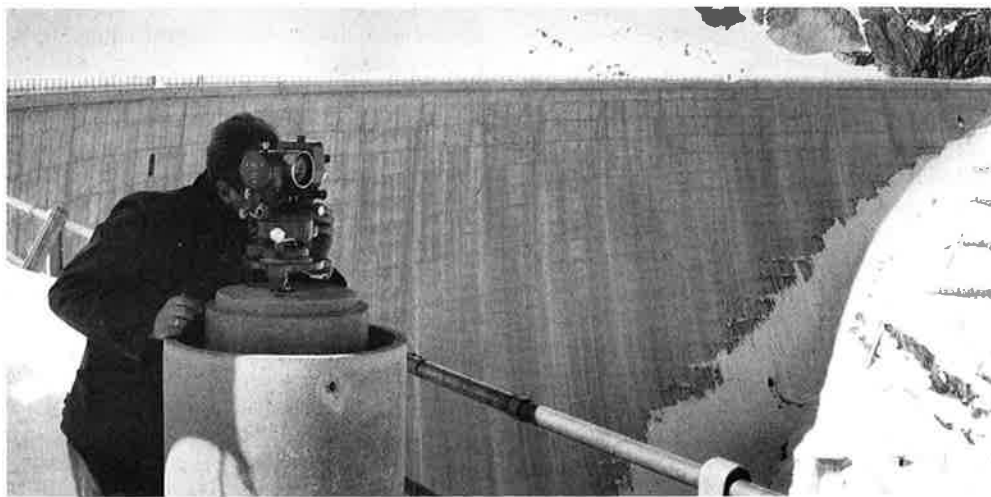
Das Verfahren der Triangulation gelangt zur Anwendung, um die absolute Bewegung von Punkten an der Luftseite der Mauer festzustellen. Von gut fundierten Beobachtungs-

pfeilern auf festem Fels in unmittelbarer Nähe der Mauer werden spezielle Bolzen an der Maueroberfläche in Lage und Höhe beobachtet. Aus dem Vergleich der zu verschiedenen Zeiten durchgeführten Messungen lassen sich Schlüsse über die Bewegung der Mauer ziehen. Wie bereits erwähnt, ist meistens auch die unmittelbare Umgebung der Mauer nicht ruhig, und es zeigt sich denn auch bei fast allen Staumauerbeobachtungen, daß die Beobachtungspfeiler kleine Verschiebungen erleiden. Um diese Pfeilerverschiebungen zu bestimmen, geht man in der Regel so vor, daß die Beobachtungspfeiler von 2 bis 3 rückwärtigen Pfeilern, die außerhalb der Druckzone der Staumauer auf festem Fels liegen, bei jeder Messung mit Hilfe von Vorwärts- und Rück-

wärtseinschnitten neu bestimmt werden. Diese Bestimmung der Beobachtungspfeiler erfolgt mit einer Genauigkeit von etwa ± 1 mm. Die rückwärtigen Pfeiler werden als fest angenommen und ihre Lage und Höhe mit Hilfe von Nahversicherungen in Entfernungen von 30 bis 40 m kontrolliert. Die Lageänderung der Mauerbolzen erhalten wir mit einer Genauigkeit von etwa 1–2 mm. Für die Beobachtungen ist, wie ganz allgemein bei Deformationsmessungen, eine sehr hohe Genauigkeit der Zentrierung wie der Winkelmessung erforderlich.

Präzisions-Polygonierung

Das Verfahren der Präzisionspolygonierung ist erst in den letzten Jahren bei Staumauern angewendet worden, wobei die



1

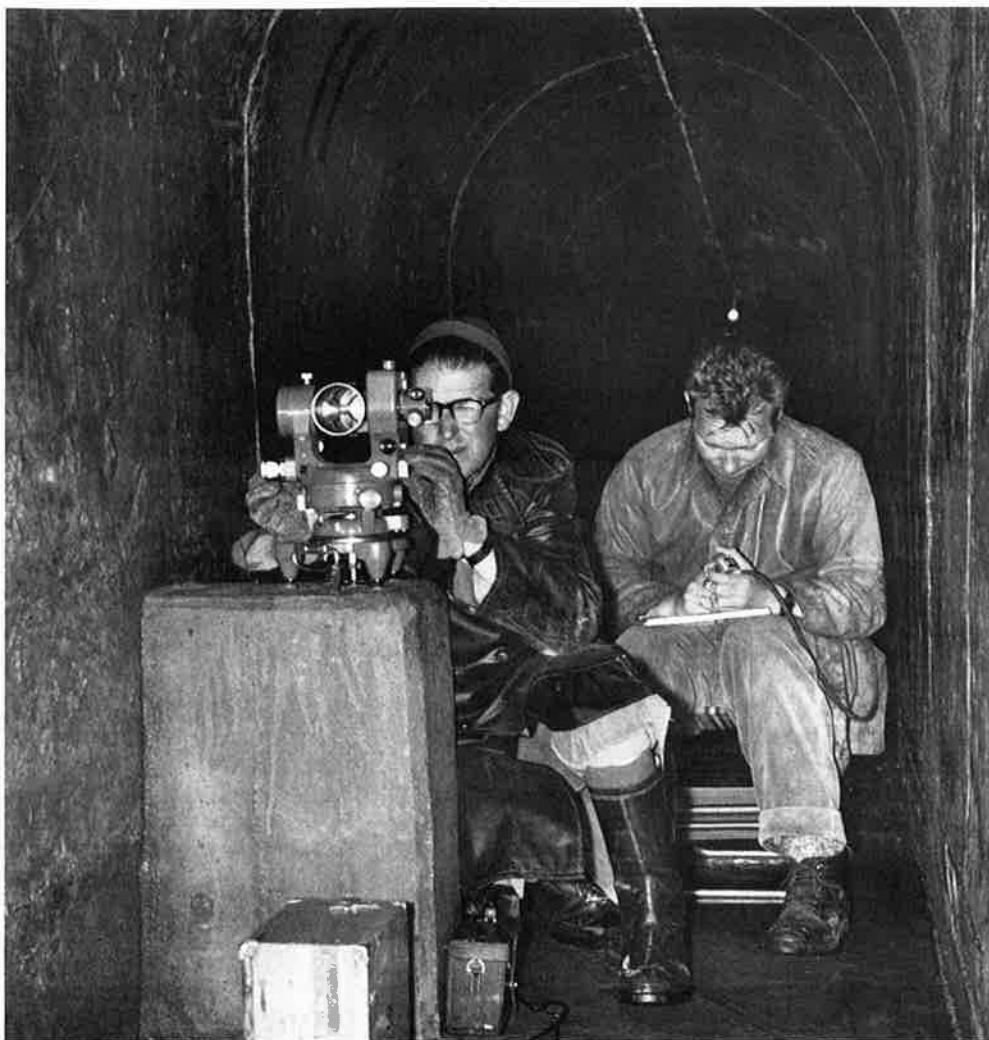


2

ersten Versuche in unserm Land durch das geodätische Institut der ETH unter Leitung von Prof. Dr. F. Kobold unternommen worden sind. In horizontalen Kontrollgängen der Staumauer werden sehr genaue Polygonzüge gemessen. Die Polygonpunkte sind durch besondere Metallbolzen versichert. Die Messung der Distanzen erfolgt mit Invardrähten oder Bändern, die mittels einer besonderen Einrichtung über den Bolzen zentriert und gespannt werden. Die Winkel werden mit Sekundentheodoliten gemessen. Die Präzisionspolygonzüge erlauben ein sehr genaues Erfassen der Bewegungen in der Mauer. Die Verformungslinien werden, schon wegen der größeren Anzahl der Meßpunkte, bedeutend zuverlässiger, als wenn nur nach der Methode der Triangulation vorgegangen wird. Die Distanzen von Bolzen zu Bolzen, das heißt die Länge der Polygonseiten, liegen zwischen 10 und 32 m. Der mittlere Fehler einer Distanz beträgt etwa $\pm 0,1$ bis $0,2$ mm.

Größtes Gewicht ist auf die Zentrierung zu legen, für welche eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm gefordert wird. Sie wird erreicht durch besonders konstruierte Hängetheodolite der Firma Kern oder durch Normal-

- 1 Kern DKM 3 auf Beobachtungspfeiler im Triangulationsnetz (Staumauer Nalps).
- 2 Signaltafel auf einbetonierter Zentrierplatte. Im Hintergrund Staumauer Nalps.
- 3 Polygonwinkelmessung mit Kern DKM 3 im oberen Kontrollgang der Staumauer Albigna. Der Polygonpunkt ist durch einen Lochbolzen auf dem speziell für die Deformationsmessung errichteten Betonsockel versichert.



3

theodolite mit besonderer Zentriervorrichtung. Die Polygonzüge werden an End- oder Zwischenpunkten an die Triangulation angeschlossen. Wir erhalten damit aus relativen Verschiebungen absolute. Wie das gemacht wird, und es tönt viel einfacher als es in Wirklichkeit ist, sei hier nicht Gegenstand meiner Ausführung. Immerhin möchte ich erwähnen, daß die Polygonmessungen mühsam sind, und daß mannigfache Schwierigkeiten überwunden werden müssen. Die rationelle und einwandfreie Durchführung einer geodätischen Messung und ganz besonders die Messung von Präzisionspolygonzügen hängt aber stark von einer guten Arbeitsorganisation und einem gut eingespielten Teamwork ab.

Trigonometrische Höhenmessung

Die Höhenkontrolle im Pfeilernetz erfolgt fast ausschließlich trigonometrisch. Diese Methode liefert, trotzdem sie besonders im Ausland auf verschiedene Widerstände stößt, sehr gute und zuverlässige Resultate.

Präzisions-Nivellement

Das Verfahren der Präzisionsnivellements, angewendet hauptsächlich längs Präzisionspolygonzügen, gibt ein Bild über die Höhenänderung der Mauer. Die Nivellements werden durch die Kontrollgänge der Mauer geführt. Der Anschluß kann an ziemlich weit von der Mauer entfernt gelegene Fixpunkte erfolgen oder trigonometrisch über das Triangulationsnetz an die rückwärtigen Pfeiler.

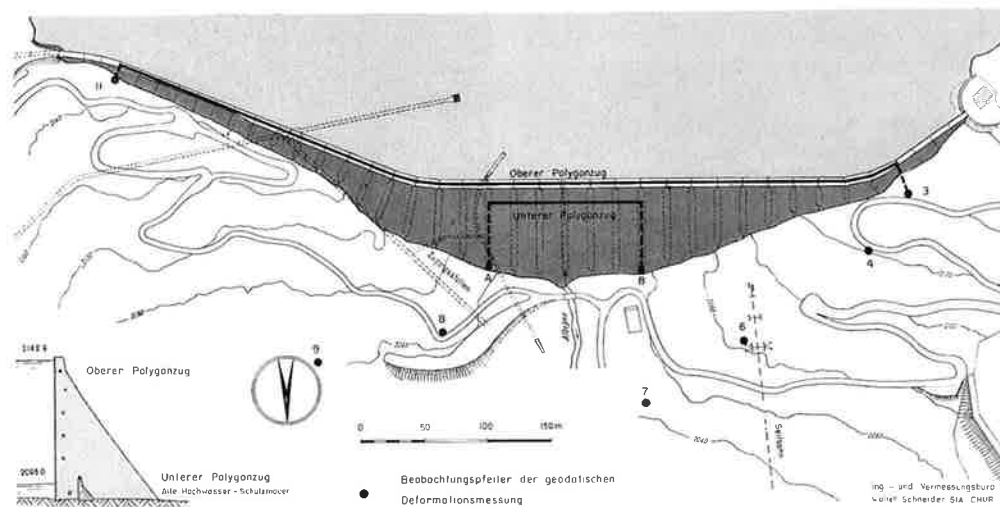
Deformationsmessung Staumauer Albigna

Betrachten wir nach diesen allgemeinen Ausführungen noch ein wenig die Deformationsmessung an der Staumauer Albigna. Sie staut auf einer Höhe von 2160 m ü.M. den Abfluß des Albignagletschers zu einem See von 67 Millionen m³ Nutzinhalt. Sie wurde 1957-1960 als Schwergewichtsmauer mit Fugenhohlräumen gebaut. Ihre Kronenlänge beträgt 770 m, die größte Höhe 115 m und die Betonkubatur 970 000 m³. Bei der Staumauer Albigna ergeben sich für die Anlage eines Beobachtungsnetzes Schwierigkeiten, die einerseits in der großen Länge der Mauer begründet sind, andererseits auf den Umstand zurückzuführen sind, daß un-

mittelbar vor der Mauer das Gelände steil abfällt. Die große Länge der Mauer hatte zur Folge, daß viele Beobachtungspfeiler errichtet werden mußten, um das Bauwerk als Ganzes untersuchen zu können. Das Pfeilernetz, die Gesamtheit der rückwärtigen Pfeiler 1, 2 und 12 an den beiden Talflanken und im Vorgelände der Staumauer sind auf anstehendem Fels, die Beobachtungspfeiler liegen entlang der Staumauer. Von diesen Beobachtungspfeilern werden zehn Mauerbolzen auf der Höhe des unteren Kontrollganges und sechs Mauerbolzen unmittelbar unter der Mauerkrone beobachtet.

Pfeiler

Als günstigste Form für die Pfeiler haben sich Doppelzylinder erwiesen. Die Signali-



sierung der Pfeiler erfolgt mit Kern-Zielmarken. die Messung der Winkel mit DKM 3 auf Pfeilergrundplatten. Neuerdings ist es auch möglich, anstelle der auf speziellen Armaturen zentrierten Kern-Pfeilergrundplatten sogenannte Zentrierplatten von Kern direkt in die Pfeiler fest einzugießen. Zum Triangulationsnetz gehören im weiteren die Nahversicherungen bei den rückwärtigen Pfeilern und sogenannte Fernzieltafeln in Distanzen von 1 bis 4 km zur Orientierung der Satzmessungen.

Polygonzüge

Die Messung von Präzisionspolygonzügen erfordert viel Arbeit. Man hat sich bei der Staumauer Albigna darauf beschränkt, im unteren und obersten Kontrollgang (Koten 2068 und 2155) Polygonzüge zu legen. Der obere Polygonzug wird bei Pfeiler 3 und 11 an das Triangulationsnetz angeschlossen. Die Endpunkte des unteren Polygonzuges werden von Pfeiler 6, 7 und 8 aus bestimmt. Der obere Polygonzug wurde auf kleinen Betonsockeln versichert. Er weicht insofern vom früher Gesagten ab, als die Polygonseiten eine Länge von 60 m aufweisen, und die Zwischenpunkte mit sogenannten Aligmentwinkeln beobachtet werden. Die Versicherungsbolzen des unteren Polygonzuges stammen noch aus den Anfängen der

4 Staumauer Albigna der Bergeller Kraftwerke der Stadt Zürich.

5 Polygonseitenmessung mit Invardraht auf der Staumauer Malvaglia der Blenio-Kraftwerke. Die Polygonpunkte sind mit Lochbolzen im Boden versichert.



5

Präzisionspolygonierung und sind in den Boden eingelassen, was insbesondere bei der Distanzmessung sehr mühsam ist, und was gewisse Konsequenzen für das Instrumentarium mitbrachte. Es mußte für die Polygonwinkelmessung eine geeignete Zentriermöglichkeit gefunden und geschaffen werden. Wir verwenden dazu ein Spezialstativ mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ mm gemäß Werkangabe, neuerdings auch das optische Präzisionslot der Firma Kern.

Die Polygonwinkelmessung in den Kontrollgängen erfolgt zum Teil mit DKM 3 (mit Vorsatzlinse für kurze Zielweiten) und T2. Der Signalisierung dienen Kern-Zielmarken, alles zusammen mit elektrischer Beleuchtung, wobei wir spezielle Trockenbatterien mit 6 Volt Spannung verwenden.

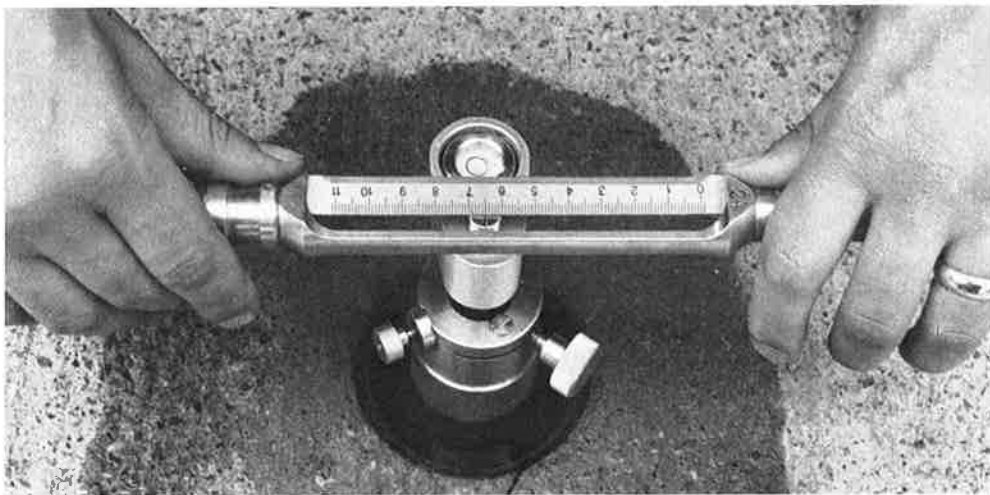
Sämtliche Distanzen werden mit 3 Invarbändern von 10 m Länge gemessen, wobei zuerst mit Band 1, dann mit Band 2 und 3 die ganze Strecke von rund 650 m durchgemessen wird. Diese Arbeit erfordert ein ganz besonders gut eingespieltes Team, und man erreicht mit der vorhandenen Kern-Ausrüstung erstaunliche Leistungen.

Für das Präzisionsnivellement verwenden wir den automatischen Zeiss-Opton mit einer Planparallelplatte und elektrischer Beleuchtung, sowie einer Invarlatte mit reflektierender Teilung. Wir haben damit sehr gute Resultate erhalten, besonders bei strenger Beachtung bestimmter Regeln, wenn auch gewisse Schwierigkeiten speziell bei extrem tiefen Temperaturen nicht verleugnet werden können.

Resultate

Die Berechnung des Pfeilernetzes, zum Teil mit Hilfe von elektronischen Rechenmaschinen durchgeführt, zeigte, wie bereits erwähnt, daß die Beobachtungspfeiler zwischen leerem und vollem Stausee Bewegungen von bis zu 8 mm unterworfen sind. Die Genauigkeit der Bestimmung in bezug auf die Rückversicherungspfeiler beträgt etwa 1–2 mm. Wesentlich größer war die Durchbiegung der Mauer unter der Last der aufgestauten Wassermenge. Sie erreichte in der Kronenmitte Beträge bis zu 4 cm, was mit den statischen Berechnungen gut übereinstimmt.

Die Höhenänderungen erreichten nur Beträge von einigen wenigen Millimetern. Von bleibenden Deformationen während des er-



6



7

sten Aufstaus abgesehen, zeigen diese gemessenen Verschiebungen die elastische Mauerverformung unter dem Einfluß der gestauten Wassermenge und der Temperatur und beweisen, daß eine Staumauer keine so tote und starre Materie ist.

Schlußbetrachtungen

Als ein junges Anwendungsgebiet der Geodäsie ist die Deformationsmessung raschen Entwicklungen ausgesetzt. Und wenn wir auch heute dieses und jenes verbessern, abändern und vervollkommen, und wenn wir auch immer neue Wünsche an die Adresse der Instrumentenfirmer, und speziell an die Firma Kern richten, so können wir doch sagen, daß wir mit der Ausrüstung, die uns die Firma Kern für die Deformationsmessungen liefert, voll und ganz zufrieden sind und damit Resultate von sehr hoher Genauigkeit erreichen.

6 Endmaßstab eines Invardrahtes und Ableseindex, der auf dem Bolzen des Polygonpunktes aufgeschraubt ist.

7 Aufloten mit Kern OL, zur Verbindung des Polygonzuges im Kontrollgang mit dem Triangulationsnetz (Staumauer Nalps).

8 2-m-Invarlatte für Präzisionsnivellement (Staumauer Malvaglia).

Das Titelbild und die Abbildungen 1, 2, 3, 4 u. 7 wurden uns vom Ingenieurbüro W. Schneider, Chur zur Verfügung gestellt. Das Ingenieurbüro U. Meier, Minusio ermöglichte uns die Aufnahmen der Bilder 5, 6 und 8.



8

Neues in Kürze

Neuer Kern-Vertreter in Dänemark

Am 1. Januar 1963 haben wir der Firma A/S Hessel-Andersen in Kopenhagen das Alleinverkaufsrecht für unsere Produkte in Dänemark übertragen. Die Firma besitzt auf dem Gebiet des technischen Zeichenbedarfs bereits ein reichhaltiges Verkaufsprogramm, in das sich unsere Reißzeuge und Vermessungsinstrumente gut einfügen.

Um die Verkäufer von Hessel-Andersen auf ihre Aufgabe vorzubereiten, hielt sich unser Vertriebsdirektor, Herr R. Wehrli, einige Tage in Kopenhagen auf. Unser Bild zeigt Herrn Wehrli im Kreise der Mitarbeiter von Hessel-Andersen während dieses Instruktionkurses.

Nigerianer in Aarau

Zurzeit leistet die Firma Kern einen kleinen Beitrag an die technische Entwicklung von Ostnigeria, indem sie im Rahmen der Aktion «Partnership Aargau-Nigeria» zwei junge Nigerianer für ein Jahr als Praktikanten aufgenommen hat. Sie werden mit der Montage, Prüfung und Reparatur von Vermessungsinstrumenten und photogrammetrischen Geräten bekanntgemacht und lernen auch deren praktischen Gebrauch kennen (siehe Bild). Es ist zu hoffen, daß die beiden jungen Afrikaner nach ihrem Schweizer Aufenthalt als tüchtige Berufsleute bei der Entwicklung ihres Landes tatkräftig mit-helfen werden.





Kern DKM 1 in der Antarktis

Einmal mehr hat sich der kleine Triangulationstheodolit DKM1 als Expeditionsinstrument vorzüglich bewährt. Das nebenstehende Bild (Photo Thomas Bastien) zeigt John Spletstoesser, Teilnehmer an der Sentinel-Range-Antarktisexpedition der Universität Minnesota, bei einer geographischen Ortsbestimmung mit Hilfe der Sonne. Im Hintergrund der 2370 m hohe Mt. Earp.

Mustermesse in Basel 1963

Im gewohnten zweijährigen Turnus nahmen wir dieses Jahr wieder an der bedeutendsten Schweizer Messe teil. Unser neu gestalteter, übersichtlich nach Produkten-

gruppen aufgebauter Stand gab einen guten Querschnitt durch das ganze Kern-Programm. Die Vermessungsinstrumente und Feldstecher waren diesmal den Interessenten frei zugänglich. Die Besucher schätzten es offensichtlich, daß sie die Instrumente nicht nur hinter Glas bewundern konnten, sondern sie berühren und an ihnen manipulieren durften. Es hielten sich denn auch bedeutend mehr Besucher im Kern-Stand auf als in früheren Jahren, und das Gespräch zwischen ihnen und unserem Standpersonal kam entsprechend leichter zustande. Das Interesse für Kern-Produkte war sehr lebhaft, und unsere den Stand betreuenden Mitarbeiter durften einmal mehr feststellen, daß der Name Kern im In- und Ausland einen ausgezeichneten Ruf besitzt.



K1-A und K1-RA Neue Ingenieur- Theodolite

Im Erneuerungsprogramm der Kern-Theodolitreihe nehmen die Ingenieurtheodolite K1-A (siehe Bild) und K1-RA einen wichtigen Platz ein. Der K1-A ersetzt die Instrumente DK2, DKM2-U und DKM2-T, während der K1-RA an die Stelle des DKR und des DKRM treten wird.

Gemeinsame Merkmale beider Instrumente: Außerordentlich vielseitige Anwendungsmöglichkeit im Hoch- und Tiefbau, bei vereinfachter Handhabung. Automatische Höhenkollimation durch Pendelkompensator, Horizontalkreisablesung wahlweise an Rechts- oder Linksteilung, Kreistrieb mit Grob- und Feinbewegung.

K1-A: Vertikal- und Horizontalkreisablesung mit gemeinsamem Mikrometer auf $1^{\circ}/20''$ (direkt) oder $0,1^{\circ}/10''$ (geschätzt). Auf Wunsch aufrechtes Fernrohrbild (K1-AE).

K1-RA: Reduktionsvorrichtung zur direkten Ablesung von Horizontaldistanz und Höhendifferenz an einer normalen Vertikallatte. Ein- und ausschaltbares Mikrometer für die Horizontalkreisablesung (ohne Mikrometer direkt $5^{\circ}/2'$, geschätzt $1^{\circ}/1'$, mit Mikrometer direkt $1^{\circ}/20''$, geschätzt $0,1^{\circ}/10''$). Vertikalkreis mit Tangententeilung.

Die beiden Instrumente und ausführliche technische Prospekte werden gegen Ende dieses Jahres erhältlich sein.

