

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 78 (1980)

Heft: 6

Artikel: Zur Konstanz und Vielfältigkeit zyklischer Fehler in elektrooptischen Distanzmessern

Autor: Rüeger, J.M. / Covell, P.C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-230161>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zur Konstanz und Vielfältigkeit zyklischer Fehler in elektrooptischen Distanzmessern

J. M. Rüeger und P. C. Covell

Nach einer mathematischen Darstellung des zyklischen Fehlers erster Ordnung bei Infrarot-Distanzmessern wird dessen Konstanz mit der Entfernung an einem Versuch überprüft, bei dem das Empfangssignal mittels Filtern reduziert wird. Der Versuch zeigt, dass die Amplitude mit der Distanz wächst, ohne aber einige mm zu übersteigen.

Das mathematische Modell wird sodann auf kurzwellige zyklische Fehler ausgedehnt, die ihren Ursprung in Mehrwegsignalen infolge Reflexion an der Empfangsdiode haben. Auf Grund der Versuche scheint es, dass diese zu schwach sind, um die Distanzmessung zu beeinflussen, ausser vielleicht beim Geodimeter 14.

An drei Beispielen wird auch die Existenz von langwelligen zyklischen Fehlern nachgewiesen. Diese sollten deshalb in besonderen Fällen wie z.B. bei der Kalibrierung der Instrumente in Zukunft berücksichtigt werden.

Nachdem die verschiedenen Kategorien von zyklischen Fehlern eine Amplitude von 5 mm nicht zu übersteigen scheinen, wird es möglich sein, sie weiterhin bei den meisten Distanzmessungen zu vernachlässigen.

Après une revue de la forme mathématique de l'erreur cyclique principale des distancemètres à infrarouge, sa constance avec la distance est examinée à l'aide d'une expérience utilisant des filtres réduisant le signal de réception. L'expérience prouve que l'amplitude s'agrandit avec la distance sans cependant dépasser quelques millimètres. Ce modèle mathématique est étendu ensuite aux erreurs cycliques d'ondes courtes provenant de signaux «multiple-voies» causés par réflexion sur la photodiode. Selon les expériences, il semble que les signaux multiple-voies soient trop faibles pour influencer les mesures de distance, à l'exception peut-être des résultats obtenus par le Geodimeter 14. Mais d'autres erreurs cycliques d'ondes courtes apparaissent aussi, par exemple dans l'instrument Topcon DM-C2, qui montre une erreur cyclique de 5 m.

Dans un autre chapitre, l'existence d'erreurs cycliques d'ondes longues est prouvée à l'aide de trois exemples. Un instrument HP 3820A démontre, par exemple, une erreur cyclique de 400 m de longueur d'onde et de 3.4 mm d'amplitude, alors qu'un instrument DM 501 présente une erreur de longueur d'onde de 1000 m et de 5 mm d'amplitude. Les erreurs cycliques d'ondes longues devraient donc être considérées dans des cas spéciaux, comme la calibration d'instruments par exemple. Vu que toutes les catégories d'erreurs cycliques ne semblent pas dépasser une amplitude de 5 mm, il sera possible de les ignorer dans la majorité des cas de mesures de distances.

1. Einleitung

Es ist seit langem bekannt, dass mit Infrarot-Distanzmessern durchgeführte Messungen durch zyklische Fehler beeinträchtigt sein können, die sich periodisch in einem dem Feinmassstab entsprechenden Abstand wiederholen. Zyklische Fehler mit Wellenlängen von 10 m sind zum Beispiel bei den Instrumenten DI 10, DM 500–502 zu erwarten, solche mit 20 m-Wellenlängen bei DI 3 und DI 3 S. Bei Distanzmessern mit analoger Phasenmessung können diese durch elektrisches oder/und optisches Übersprechen vom Sende- auf den Empfangskanal verursachten Fehler noch durch andere periodische Fehler überlagert werden [Kahmen & Zetsche, 1974], die nicht unbedingt sinusförmig sein müssen. Solche Fehler der analogen Phasenmessung wurden schon von Schwendener [1971] im Zusammenhang mit dem DI 10 besprochen.

Distanzmesser wurden in der Folge auf zyklische Fehler mit einer der Feinmesswellenlänge entsprechenden Periode überprüft [Rüeger, Siegerist & Stähli, 1975] und allenfalls auf einen zyklischen Fehler halber Periode [Fröhlich, 1978; Herzog, 1978, S. 376; Wermann, 1979].

Eine grössere Anzahl Glieder einer Fourier-Analyse wurden erstmals von Sprent & Zwart [1978] zur Beschreibung zyklischer Fehler herangezogen, allerdings nur mit dem Ziel, die Signifikanz des zyklischen Fehlers erster Ordnung abzuschätzen. Von Witte & Schwarz [1979] wurden schliesslich fünf Glieder einer Fourier-Reihe zur Modellierung der periodischen Fehler eines Autoranger-A verwendet.

Ein mathematisches Modell für den zyklischen Fehler erster Ordnung wurde von Kahmen [1977] veröffentlicht und von Covell [1979] auf durch Mehrwegsignale verursachte zyklische Fehler höherer Ordnung ausgedehnt. Über die aus dem mathematischen Modell folgende Vergrösserung der Amplitude des zyklischen Fehlers mit zunehmender Distanz [Kahmen, 1977] wurde bereits von Robinson [1974] auf Grund von Feldmessungen berichtet.

Nach diesem geschichtlichen Rückblick sei etwas näher auf die verschiedenen Erscheinungsformen der zyklischen Fehler eingegangen, wobei Fehler, die auf das Phasenmesssystem zurückzuführen sind (z.B. Resolverfehler), ausgeklammert seien.

2. Kurzwellig-zyklische Fehler erster Ordnung

2.1 Mathematisches Modell

Die kurzwellig-zyklischen Fehler erster Ordnung, womit jene zyklischen Fehler angesprochen sind, deren Wellenlängen mit den Feinmesswellenlängen übereinstimmen, können durch das folgende mathematische Modell erfasst werden [Kahmen, 1977, S. 297]:

$$a_1 = A_1 \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

$$a_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.2)$$

Die Gleichung (2.1) beschreibt das ausgesendete Signal in Funktion der Zeit und Gleichung (2.2) das Empfangssignal. Die Phasenverschiebung φ wird durch das zweimalige Durchlaufen des Weges vom Instrument zum Reflektor (hin und zurück) verursacht. Sie ist zudem die Grösse, die vom Instrument zur Entfernungsbestimmung gemessen wird. Durch elektrisches wie optisches Übersprechen kann nun ein in der Amplitude reduzierter, aber gleichphasiger Teil des Sendesignals dem Empfangssignal überlagert werden. (Auf elektrisches Übersprechen anderer, vom Sendesignal in Amplitude oder/und Phase oder/und Frequenz verschiedener Signale sei hier nicht

eingetreten, obwohl ein solches Übersprechen keineswegs ausgeschlossen werden kann. Die empirischen Untersuchungen in Kapitel 3.2 beweisen dies.) Beschreiben wir das Überlagerungssignal mit der von A_1 auf A_3 reduzierten Amplitude als

$$a_3 = A_3 \sin(\omega t) \quad A_3 \ll A_1 \quad (2.3)$$

so folgt für das verfälschte Empfangssignal durch Vektoraddition in Abb. 1:

$$a = (A_2 + A_3 \cos \varphi) \sin(\omega t + \varphi) - \frac{A_3}{A_2} \sin \varphi \quad (2.4)$$

Ein Vergleich der Gleichungen (2.2) und (2.4) liefert nun sehr einfach den durch die Überlagerung verursachten Distanzfehler und damit den zyklischen Fehler

$$\alpha_1 = -\frac{A_3}{A_2} \sin \varphi \quad (2.5a)$$

$$= \frac{A_3}{A_2} \sin(\varphi + \pi) \quad (2.5b)$$

und für die zugehörige Korrektur:

$$\text{Korrektur für } \alpha_1 = \frac{A_3}{A_2} \sin \varphi \quad (2.5c)$$

Aus den Gleichungen (2.5) lassen sich zwei Aussagen ableiten:

1. Der zyklische Fehler ist null, wenn die gemessene Distanz ein ganzzahliges Vielfaches der Feinmesswellenlänge ist.
2. Die Amplitude des zyklischen Fehlers nimmt mit zunehmender Distanz zu, weil A_3 konstant ist und die Amplitude des Empfangssignals A_2 mit zunehmender Entfernung kleiner wird.

Die erste Aussage wird von Greene [1977, S. 252] mit Bezug auf das Gerät CD 6 bestätigt. Greene erwähnt auch, dass die Regel für alle Geräte zutrifft, welche die Amplituden des internen und des externen Signals abgleichen. Die zweite Aussage wird durch die Untersuchungen von Robinson [1974] mit dem Gerät HP 3805 bestätigt. Die Aussagen sollen nun durch eigene Prüfungen verifiziert werden.

2.2 Konstanz des zyklischen Fehlers erster Ordnung

Infolge des Verschmierungseffektes zu fälliger Fehler ist es schwierig, zyklische

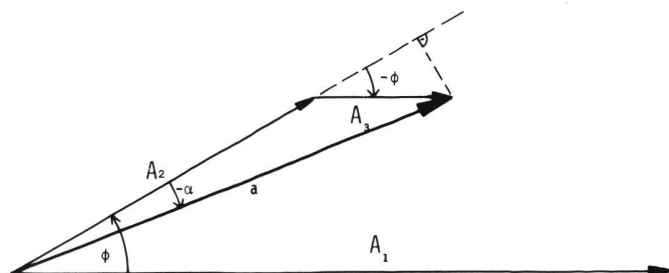


Abb. 1 Herleitung des durch elektrisches oder optisches Übersprechen verursachten zyklischen Fehlers α_1 durch vektorielle Addition der beiden Zeiger A_2 und A_3 .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)	(km)	1977	(mm)
Hewlett-Packard HP 3805A Nr. 1338A00123 mit AGA Prisma									
82	-0.2	±	0.4	±	136	±	0.28	1.7.	±
68	0.3	0.6	0.3	0.8	151	161	0.42	2.5.	0.9
62	1.5	0.5	1.0	0.7	13	43	0.50	30.5.	0.8
61	0.7	0.4	0.7	0.5	113	22	0.51	1.7.	0.5
28	-0.4	1.0	1.4	1.4	84	56	0.85	1.7.	1.4
12	-1.6	1.5	4.5	2.1	123	27	1.03	25.5.	2.1
Hewlett-Packard HP 3805A Nr. 1440A01439 mit AGA Prisma									
83	1.4	±	1.3	±	23	±	0.28	26.5.	±
61	1.8	0.6	0.5	0.8	310	93	0.51	8.7.	0.8
46	4.0	1.1	3.1	1.6	286	30	0.67	5.7.	1.6
35	4.5	1.4	3.3	2.0	186	34	0.79	5.7.	2.0

Tab.1 Korrekturen für zyklische Fehler in Funktion der Stärke des Empfangssignals im Intervall 90–100 m. Kol.1: Mittleres, am Instrument abgelesenes Empfangssignal; Kol.2: Additionskonstante; Kol.3: 95%-Konfidenzbereich der Additionskonstanten; Kol.4: Amplitude des zyklischen Fehlers mit 10 m-Wellenlänge; Kol.5: 95%-Konfidenzbereich der Amplitude; Kol.6: Phase des zyklischen Fehlers; Kol.7: 95%-Konfidenzbereich der Phase; Kol.8: Entfernung, die etwa der Signalstärke entspricht [Covell, 1979, figure 2]; Kol.9: Datum der Messung; Kol.10: Standardabweichung einer Beobachtung (Mittel aus 10 Messungen). Alle Konfidenzbereiche beruhen auf dem zweiseitigen Test der t-Verteilung.

Fehler über grosse Entfernungen zu erheben. Daher wurde versucht, die Verhältnisse bei grossen Entfernungen durch das Vorschalten von Graufiltern nachzuahmen. Auf einer mit Invarbändern vermessenen Prüfstrecke von 100 m Länge [Covell, 1979] wurde das Intervall 90–100 m in Ein-Meter-Schritten bei verschiedenen Filterkombinationen gemessen. Die Kodak Wratten Filter Nr. 96 [Kodak, 1976] wurden dabei vor der Sende- und Empfangsoptik zweier Geräte vom Typ Hewlett-Packard HP 3805A wie auch vor dem Reflektor angebracht, um eine gleichmässige Signalstärkenverteilung zu erreichen. Jede Strecke wurde zehnmal gemessen. Die Differenzen zwischen den jeweiligen Mittelwerten und den Sollwerten wurden Ausgleichungen mit je 11 Beobachtungen und 3 Unbekannten unterworfen, deren Resultate in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Wie auf Grund der Theorie zu vermuten ist, nimmt die Amplitude mit abnehmender Stärke des Empfangssignals zu. Die Amplituden wie auch die Änderungen der Amplituden sind jedoch recht klein. Signifikante Änderungen sind auch bei den Phasenwinkeln erkennbar, wobei sich jedoch nur beim zweiten Instru-

ment eine gewisse Tendenz abzeichnet. Theoretisch müsste die Phasenlage ja in allen Fällen gleich null sein (Gleichung 2.5c). Überraschend sind die Änderungen der berechneten Additionskonstanten, wurden doch die Beobachtungen für die Verlängerung des Messweges infolge Vorschaltens von Filtern korrigiert. Der Brechungsindex der Filter wurde freundlicherweise vom Hersteller mitgeteilt [Kodak, 1975, 1977]. Es kann vermutet werden, dass die Additionskonstanten und die Phasenwinkel durch allfällige Reflexionen an den Filtern verfälscht wurden. Allfällige Aufstellfehler wirken sich ebenfalls auf die Additionskonstante aus. Das Verhalten des zyklischen Fehlers im Intervall 0–100 m, ohne Vorschalten zusätzlicher Filter, wurde ebenfalls untersucht und wird im nächsten Kapitel in anderem Zusammenhang dargestellt.

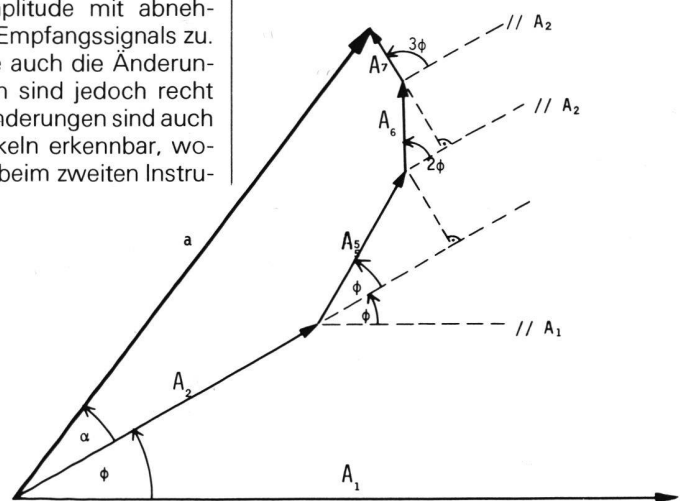


Abb. 2 Herleitung des durch Mehrwegsignale verursachten zyklischen Fehlers α_2 durch vektorielle Addition der Zeiger A_2 , A_5 , A_6 und A_7 . Das Signal A_5 durchläuft die zu messende Distanz 4mal, das Signal A_6 6mal und das Signal A_7 8mal.

3. Kurzwellig-zyklische Fehler höherer Ordnung

Als kurzwellig-zyklische Fehler höherer Ordnung seien hier jene zyklischen Fehler bezeichnet, die kürzere Wellenlängen als die Feinmessung aufweisen. Eine mögliche Ursache zyklischer Fehler höherer Ordnung bilden Mehrwegsignale, das heisst Signale, welche infolge von Reflexionen an Linsen und/oder Sende- oder/und Empfangsdioden die zu messende Strecke mehr als nur zweimal durchlaufen [Kahmen, 1977]. Ein mathematisches Modell zur Erfassung solcher zyklischer Fehler sei im folgenden beschrieben.

3.1 Mathematisches Modell für durch Mehrwegsignale verursachte zyklische Fehler

Läuft ein Signal mehrmals über den Messweg, so treten neben dem normalen Empfangssignal

$$a_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.2)$$

weitere Empfangssignale folgender Form auf [Covell, 1979]:

$$a_5 = A_5 \sin(\omega t + 2\varphi) \quad A_5 \ll A_2 \quad (3.1)$$

$$a_6 = A_6 \sin(\omega t + 3\varphi) \quad A_6 \ll A_5 \quad (3.2)$$

$$a_7 = A_7 \sin(\omega t + 4\varphi) \quad A_7 \ll A_6 \quad (3.3)$$

Das Resultat der Überlagerung der vier Signale kann sehr einfach aus Abbildung 2 hergeleitet werden. Der zu messende Phasenwinkel ist mit φ bezeichnet und die Verfälschung des Phasenwinkels (zyklischer Fehler) mit α_2 .

$$\tan \alpha_2 = \frac{A_5 \sin(2\varphi - \varphi) + A_6 \sin(3\varphi - \varphi) + A_7 \sin(4\varphi - \varphi)}{A_2 + A_5 \cos(2\varphi - \varphi) + A_6 \cos(3\varphi - \varphi) + A_7 \cos(4\varphi - \varphi)} \quad (3.4)$$

Unter der Annahme, die Amplituden A_5 , A_6 und A_7 seien wesentlich kleiner als A_2 , können die folgenden Vereinfachungen eingeführt werden:

$$\tan \alpha_2 = \alpha_2$$

$$A_5 \cos \varphi = A_6 \cos(2\varphi) = A_7 \cos(3\varphi) = 0$$

Die Gleichung (3.4) vereinfacht sich dann wie folgt:

$$\alpha_2 = \frac{A_5}{A_2} \sin(\varphi) + \frac{A_6}{A_2} \sin(2\varphi) + \frac{A_7}{A_2} \sin(3\varphi) \quad (3.5)$$

Im Sinne einer Korrektur kann man auch schreiben:

$$\text{Korrektur für } \alpha_2 = \frac{A_5}{A_2} \sin(\varphi + \pi) + \frac{A_6}{A_2} \sin(2\varphi + \pi) + \frac{A_7}{A_2} \sin(3\varphi + \pi) \quad (3.6)$$

Aus den obigen Gleichungen ergeben sich die folgenden Aussagen:

1. Die durch Mehrwegsignale verursachten zyklischen Fehler weisen Wellenlängen auf, die sich durch Division der Feinmesswellenlänge mit einer ganzen Zahl ergeben. Bei Instrumenten mit Feinmesswellenlängen von zum Beispiel 10 m ergeben sich so zyklische Fehler höherer Ordnung mit Perioden von 10 m, 5 m, 3.3 m, 2.5 m und so fort.
2. Die Summe der zyklischen Fehler ist null, wenn die gemessene Distanz einem ganzzahligen Vielfachen der Feinmesswellenlänge entspricht.
3. Die Amplituden der einzelnen Summanden des zyklischen Fehlers nehmen mit zunehmender Distanz ab, weil die Empfangsoptik nur einen kleinen Teil des ganzen Strahlenbündels einfängt.
4. Der erste Summand in Gleichung (3.5) entspricht dem durch optisches

oder elektrisches Übersprechen verursachten zyklischen Fehler gemäss Gleichung (2.5b), bis auf die Phasenverschiebung von 180° des letzteren.

Die dritte Aussage soll anhand eines kleinen Beispiels erläutert werden. Das mit der Signalstärke A_2 auf der Empfangsdiode auftreffende Signal werde zu 1‰ von der Diodenoberfläche reflektiert. (Sollte die Silizium-Diode genau senkrecht zur optischen Achse stehen, so kann der Reflexionsgrad sogar 31% betragen.) Die Empfangsoptik bildet nun das reflektierte Signal auf den Reflektor ab, der es seinerseits wieder zum Empfänger zurück wirft. Durch die Divergenz des Strahles wird die in der Ebene der Empfangsoptik beleuchtete Fläche (footprint) wesentlich grösser sein als die Fläche der Empfangsoptik selbst, womit nur ein kleiner Teil des reflektierten Signals wieder auf die Photodiode fokussiert wird. Mathematisch lässt sich der Effekt wie folgt darstellen:

$$A_5 = 0.001 A_2 \frac{\text{Optikfläche}}{\text{Beleuchtete Fläche}} \quad (3.7)$$

Führt man die Distanz zwischen Instrument und Reflektor als d , den Radius

der Empfangsoptik als r und die Divergenz des Strahles mit ϵ ein, so folgt für das Amplitudenverhältnis eines Signals, welches den Weg d viermal durchlaufen hat:

$$\frac{A_5}{A_2} = 0.001 \frac{r^2}{(r + 2 d \epsilon)^2} \quad (3.8)$$

Instrument	AGA 14	DM 500
Feinmesswellenlänge	10 m	10 m
Radius der Empfangsoptik	30 mm	14.5 mm
Brennweite der Empfangsoptik	600 mm	70 mm
Divergenz des Strahls ϵ	0.4 mrad	1.3 mrad
Distanz	Amplitude	Amplitude
5 m	1.2 mm	0.4 mm
20 m	0.7 mm	0.1 mm
50 m	0.3 mm	0.0 mm
100 m	0.1 mm	0.0 mm

Tab. 2 Abnahme der Amplitude der ersten Komponente eines durch Mehrfachweg verursachten zyklischen Fehlers in Funktion der Distanz. Annahme: 1‰ Reflexion auf der Oberfläche der Empfangsdiode.

Die durch die Atmosphäre verursachte Abschwächung des Signals sei hier vernachlässigt. Diese Gleichungen entsprechen den tatsächlichen Zuständen besser als die früher vorgeschlagenen [Covell, 1979], da die letzteren die Bündelung durch die Optik vernachlässigten. Die Gleichung (3.8) liefert direkt den Koeffizienten der ersten Komponente des zyklischen Fehlers gemäss Gleichung (3.5). Die anderen Koeffizienten liessen sich entsprechend herleiten. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse einer Modellrechnung für die Instrumente AGA Geodimeter 14 und Kern DM 500–502 zusammengestellt. Die Quotienten $A_5 : A_2$ wurden mit $(10 \text{ m} : 2\pi)$ multipliziert, um die Amplitude des zyklischen Fehlers in Millimeter zu erhalten [Rüeger, 1978a, S. 85].

Die für den durch Mehrwegsignale verursachten zyklischen Fehler berechneten Amplituden fallen beim Geodimeter 14 etwas grösser aus, weil das Instrument zur Erzielung mittlerer Reichweiten eine langbrennweitige Empfangsoptik und damit eine bessere Bündelung des Strahls aufweist. Die Amplituden sind jedoch in beiden Fällen sehr klein, da nur ein Reflexionsgrad von 1‰ angenommen wurde, der wesentlich vom theoretischen Maximalwert (31%) abweicht. Über die tatsächlichen Verhältnisse werden die im folgenden beschriebenen praktischen Versuche Auskunft geben.

3.2 Empirische Ermittlung kurzwellig-zyklischer Fehler

Zur praktischen Überprüfung des dargelegten Modells wurden zahlreiche Instrumente auf der bereits im Kapitel 2.2 erwähnten 100m-Prüfstrecke [Covell, 1979] getestet, und zwar in 1m-Schritten über die ganze Länge von 0–100 m. Über vier Instrumente sei hier berichtet. Die in 20 m-Intervalle gruppierten «Beobachtungen» (Differenzen Sollwert minus Messwertmittel) wurden Ausgleichungen unterzogen, die neben der Additionskonstante auch die Amplituden und Phasenlagen zyklischer Fehler von 10 m und 5 m Wellenlänge als Unbekannte ermittelten. Einem Messwert liegen im Fall der Geodimeter 14-Messungen 10 Beobachtungen, in

den andern Fällen nur 4 Beobachtungen zu Grunde. Beim Geodimeter 14 wurde die Lochblende über der Sendeo-
ptik angebracht; die andern drei Instrumente benötigen keine externen
signalreduzierende Vorrichtungen. Die Ergebnisse gehen aus Tabelle 3 hervor.
Das Geodimeter 14 und der Beetle wurden für die Messungen auf dem
Fernrohr eines Theodoliten montiert, das Topcon Gerät auf den Stützen eines
Theodoliten.

Beim Geodimeter 14 nimmt die Amplitude des 10 m-Fehlers mit zunehmender Distanz zuerst ab und dann wieder zu. Die Phase beginnt bei etwa 180° und nimmt dann stetig zu. Bei kurzen Strecken entspricht das Verhalten somit dem in der Gleichung (3.6) formulierten Modell (erste Komponente). Bei längeren Distanzen findet offenbar eine Überlagerung eines Signals statt, welches einerseits amplitudenmässig der Gleichung (2.5c) folgt, jedoch andererseits eine von null verschiedene Phase (270°) aufweist. Die Amplitude des 5 m-Fehlers scheint beim selben Instrument mit zunehmender Distanz abzunehmen und ist in allen Serien kleiner als jene des 10 m-Fehlers. Mit Ausnahme der Phase, welche etwas vom theoretischen Wert (180°) abweicht, entspricht der 5 m-Fehler etwa dem durch die zweite Komponente in Gleichung (3.6) beschriebenen Modell.

Beim Beetle 1600 S ist nur der 10 m-Fehler signifikant von null verschieden. Die Amplitude nimmt (statistisch nicht gesichert) mit zunehmender Distanz zu, und die Phasenlage weicht nicht signifikant von 180° ab. Die Messresultate weisen somit auf einen Mehrwegfehler gemäss Gleichung (3.6) (erste Komponente) hin, auch wenn andere Erklärungen nicht ausgeschlossen werden können, da die Amplitude eine zunehmende Tendenz aufweist.

Beim Topcon DM-C2 sind beide zyklischen Fehler signifikant; der 5 m-Fehler hat sogar eine grössere Amplitude als der 10 m-Fehler. Die Phasenlage des 10 m-Fehlers weicht zum Teil signifikant von 180° ab, was dem mathematischen Modell gemäss Gleichung (3.6) widerspricht. Die Amplituden werden bei beiden Wellenlängen mit zunehmender Distanz grösser, wenn auch nicht signifikant; dies lässt sich eher mit dem Modell gemäss Gleichung (2.5c) erklären, allerdings nur unter der Annahme einer von null verschiedenen Phase. Die Ursache des grossen 5 m-Fehlers muss wohl im elektronischen Aufbau des Instrumentes liegen, da Mehrwegsignale als Ursache kaum in Frage kommen. Beim Zeiss SM 4 sind die zyklischen Fehler beider Wellenlängen nicht verbürgt, womit sich eine Diskussion erübrigt.

Allen Messreihen gemeinsam ist eine

Änderung der Additionskonstante mit zunehmender Distanz. Als Ursachen kommen, neben den Aufstellfehlern und der Ungenauigkeit der Sollstrecken, auch Frequenzfehler, nichtzyklische Fehler [Aeschlimann & Stocker, 1975; Leitz, 1977] und noch zu besprechende langwellig-zyklische Fehler in Frage.

Abschliessend muss man wohl feststellen, dass zyklische Fehler, die durch Mehrwegsignale zustande kommen, in Messungen nur sehr schwer nachzuweisen sind. Einzig beim Geodimeter 14 ist eine Übereinstimmung zwischen Messung und Theorie erkennbar, was nicht erstaunt, ist doch dieses Gerät wegen der langen Brennweite der Empfangsoptik speziell auf Mehrwegeffekte anfällig (man vergleiche dazu auch Tabelle 2). Kurzwellig-zyklische Fehler anderer Art können bei drei von vier geprüften Instrumenten nachgewiesen werden. Das Topcon Instrument weist als einziges einen signifikanten, wenn auch kleinen, zyklischen Fehler von 5 m Wellenlänge auf.

Die Beschränkung der hier besprochenen Untersuchungen auf nur zwei zyklische Fehler von 10 m und 5 m Wellenlänge hängt mit dem der Prüfstrecke eigenen 1 m-Messintervall zusammen. Auf speziellen Prüfstrecken für die Ermittlung zyklischer Fehler [Rüeger, 1977, 1978a] lässt sich das Messintervall beliebig verkleinern, womit auch andere Harmonische der Feinmesswellenlänge nachgewiesen werden können. Messungen, welche mit dem Geodimeter 14 auf solchen Spezialprüfstrecken ausgeführt worden sind, lassen neben den 10 m- und 5 m-Fehlern auch zyklische Fehler von 3.3 m Wellenlänge nachweisen.

4. Langwellig-zyklische Fehler

In Weiterführung der obigen Untersuchungen wurden einige Instrumente auch auf langwellig-zyklische Fehler, das heisst auf zyklische Fehler mit grösseren Wellenlängen als die der Feinmessung hin geprüft. Für das Auffinden langwellig-zyklischer Fehler bietet sich die Frequenzanalyse an, die auf Verbesserungen einer vorausgehenden Ausgleichung oder auch direkt auf Differenzen zwischen Mess- und Sollwerten angewandt werden kann. Ein Resultat einer solchen Frequenzanalyse ist in Abbildung 3 für ein Gerät Hewlett-Packard HP 3800 B dargestellt. Die der Analyse zugrunde liegende Messreihe wurde auf der Regents-Park-Prüfstrecke in Sydney (8 Pfeiler, 980 m lang, alle Distanzen sind Vielfache von 10 m) gemessen und gemeinsam mit einer Mekometer-Messreihe zur Bestimmung einer Additionskonstante und eines Massstabsfaktors ausgeglichen. Auf Grund der eingegebenen Verbesserungen und der zugehörigen Distanzen

Dist.	s ₀	C	95%	Korr. 10 m cykl. F.				Korr. 5 m cykl. F.			
				A ₁₀	95%	φ	95%	A ₅	95%	φ	95%
m	± mm	mm	± mm	mm	± mm	(°)	± (°)	mm	± mm	(°)	± (°)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Geodimeter 14 Nr. 14075											29.8.1978
1-20	1.3	-8.8	0.6	1.9	0.9	183	26	1.1	0.9	155	44
20-40	1.2	-7.6	0.6	1.8	0.8	197	25	0.5	0.8	199	90
40-60	1.4	-5.7	0.6	1.8	0.9	202	29	0.8	0.9	161	65
60-80	1.7	-3.7	0.8	0.9	1.2	213	73	0.4	1.2	177	165
80-100	1.3	-1.5	0.6	1.0	0.9	218	51	0.8	0.9	266	64
Geodimeter 14 Nr. 14075											17.5.1979
20-40	1.7	-4.6	0.8	1.9	1.1	198	34	1.0	1.1	263	65
40-60	1.1	-2.7	0.5	1.2	0.8	215	36	1.1	0.8	217	39
60-80	1.1	-1.9	0.5	1.4	0.8	225	31	0.6	0.8	285	72
80-100	0.9	-0.5	0.5	1.8	0.6	254	20	0.6	0.6	211	60
Beetle 1600 S Nr. A 3455											28.8.1979
1-20	1.5	+2.4	0.7	1.0	1.0	197	56	0.9	1.0	336	62
20-40	1.8	+1.9	0.9	1.2	1.2	190	57	0.2	1.2	50	307
40-60	1.8	+1.6	0.9	2.0	1.2	166	33	1.0	1.2	353	65
Topcon DM-C2 Nr. 905413											27.8.1979
1-20	1.0	-2.1	0.5	0.7	0.7	161	52	0.7	0.7	55	57
20-40	0.7	-2.4	0.4	0.7	0.5	166	39	0.9	0.5	86	30
40-60	0.7	-0.9	0.4	0.8	0.5	110	33	1.1	0.5	41	24
Zeiss SM 4 Nr. 123308											27.8.1979
1-20	1.2	-0.5	0.6	0.7	0.8	319	67	0.4	0.8	123	105
20-40	2.0	+0.7	1.0	0.3	1.4	149	273	0.7	1.4	296	117
40-60	1.8	+2.2	0.6	0.8	1.2	324	90	0.4	1.2	350	173

Tab. 3 Korrekturen für zyklische Fehler von 5 m und 10 m Wellenlänge im Distanzbereich 0-100 m. Kol. 1: Distanzbereich; Kol. 2: Standardabweichung einer Messung (= Sollwert minus Mittel des Messwertes); Kol. 3: Additionskonstante; Kol. 4: 95% Konfidenzbereich der Additionskonstanten; Kol. 5-8: Korrekturen für zyklischen Fehler von 10 m Wellenlänge; Kol. 9-12: Korrekturen für zyklischen Fehler von 5 m Wellenlänge; Kol. 5, 9: Amplitude; Kol. 6, 10: 95%-Konfidenzbereich der Amplitude; Kol. 7, 11: Phasenlage; Kol. 8, 12: 95%-Konfidenzbereich der Phasenlage.

PERIOD	PERCENTAGE VARIANCE
200.00000	2.015**
197.14286	3.019***
194.28571	4.151****
191.42857	5.301*****
188.57143	6.339*****
185.71429	7.132*****
182.85714	7.560*****
180.00000	7.534*****
177.14286	7.005*****
174.28571	5.976*****
171.42857	4.534*****
168.57143	2.886**
165.71429	1.377*
162.85714	.396*
160.00000	.216*
157.14286	.833*
154.28571	1.978*
151.42857	3.275**
148.57143	4.414***
145.71429	5.262****
142.85714	5.935*****
140.00000	6.787*****
137.14286	8.097*****
134.28571	9.545*****
131.42857	10.883*****
128.57143	8.941*****
125.71429	6.601*****
122.85714	3.959***
120.00000	1.689*
117.14286	1.160*
114.28571	5.260*****
111.42857	16.348*****
108.57143	30.716*****
105.71429	40.129*****
102.85714	44.139*****
100.00000	44.130*****
97.14286	25.875*****
94.28571	3.899***
91.42857	.025*
88.57143	1.939*
85.71429	3.498***
82.85714	2.137**
80.00000	.331*
77.14286	1.418*
74.28571	.355*
71.42857	4.310****
68.57143	3.412***
65.71429	2.738**
62.85714	11.134*****
60.00000	3.266***

Abb.3 Computeroutput einer Frequenzanalyse. In Abhängigkeit der Wellenlänge der ausgeglichenen Sinuskurve ist die prozentuale Abnahme der Varianz und eine entsprechende graphische Darstellung ausgedruckt. Instrument: Hewlett-Packard HP 3800B Nr. 1141A00110. Details in Tabelle 4.

berechnet das Frequenzanalyse-Programm [nach Vanicek, 1971] stufenweise ausgeglichene Sinuskurven, deren Wellenlängen in jeder Berechnungsstufe um eine Stufe zunehmen, und die durch die Kurvenanpassung verursachte prozentuale Abnahme der Varianz. In Abbildung 3 stellt die Reihe der stetig zunehmenden Zahlen die Wellenlänge des angepassten zyklischen Fehlers dar, und die am Fusse des Histogramms aufgeführten Werte die damit erreichte prozentuale Abnahme der Varianz. Abbildung 3 weist klar auf einen zyklischen Fehler von 100 m Wellenlänge im Datenmaterial hin. In einer zweiten Berechnung wird dann (allenfalls neben einer Additionskonstanten und einer Multiplikationskonstanten) ein zyklischer Fehler von 100 m als Unbekannte bestimmt und die übrigbleibenden Verbesserungen einer neuen Frequenzanalyse unterworfen, um weitere zyklische Fehler aufzudecken. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 4 für das Gerät HP 3800 B aufgeführt und weisen einen signifikanten langwellig-zyklischen Fehler von 1.2 mm Amplitude und 100 m Wellenlänge nach.

Zyklische Fehler mit Wellenlängen, welche jenen der Grobmessungen ent-

sprechen, wurden auch bei anderen Instrumenten nachgewiesen. In Abbildung 4 ist das Ergebnis einer ausgeglichenen Sinuskurve von 400 m Wellenlänge dargestellt, welches auf einer auf der 980 m-Prüfstrecke erhobenen Messreihe mit einem Gerät HP 3820 A beruht. Ein zyklischer Fehler von 1000 m

Wellenlänge, der aus der Ausgleichung einer Messreihe mit einem Gerät Kern DM 501 folgt, ist in Abbildung 5 dargestellt. Mit Bezug auf Abbildung 5 muss darauf hingewiesen werden, dass die Messungen zwischen 60 m und 170 m für die Berechnung der Sinuskurve ausgeklammert worden sind, da ein starker Einfluss von Phaseninhomogenitäten vermutet wird. Die den Abbildungen 3, 4 und 5 zugehörigen Ausgleichungsergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Bei den beiden Hewlett-Packard-Geräten wurden, wo nötig, an den Beobachtungen Filterkorrekturen angebracht.

In allen drei Fällen entspricht die Wellenlänge des zyklischen Fehlers der Wellenlänge einer Grobmessung. Es ist anzunehmen, dass diese langwellig-zyklischen Fehler durch elektrisches Übersprechen während der Feinmessung zustande kommen. Da die Amplituden, vor allem bei den zwei kompakten Instrumenten (HP 3820A, DM 501), beträchtliche Werte annehmen, sollte man den langwellig-zyklischen Fehlern in Zukunft die nötige Aufmerksamkeit schenken. In erster Linie sind dabei Wellenlängen in Betracht zu ziehen, die den Wellenlängen der Grobmessungen entsprechen (langwellig-zyklische Fehler erster Ordnung). Unsere Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass auch zyklische Fehler anderer Wellenlängen auftreten können (langwellig-zyklische Fehler höherer Ordnung).

5. Schlussbemerkungen und Dank

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass elektrooptische Distanzmesser nicht nur *einen* zyklischen Fehler aufweisen können, sondern eine ganze Reihe. Periodische Fehler, die durch Mehrwegsignale verursacht werden,

Instrumententyp	HP 3800B	HP 3820A	DM 501
Instrumentennummer	1141A00110	1650A00131	250942
Datum der Messungen	24.1.78 Juli 78	23.-24.8.78	22.5.79
Standardabweichung einer Messung: vor der Ausgleichung nach der Ausgleichung	± 1.4 mm ± 1.1 mm	± 3.2 mm ± 2.3 mm	± 4.8 mm ± 4.0 mm
Additionskonstante: Wert 95%-Konfidenzbereich	+ 0.1 mm ± 0.4 mm	- 0.4 mm ± 0.9 mm	- 1.4 mm ± 2.0 mm
Wellenlänge des zyklischen Fehlers	100 m	400 m	1000 m
Amplitude des zyklischen Fehlers: Wert 95%-Konfidenzbereich	1.2 mm ± 0.6 mm	3.4 mm ± 1.3 mm	4.9 mm ± 2.7 mm
Phasenlage des zyklischen Fehlers: Wert 95%-Konfidenzintervall	28° $\pm 27^\circ$	294° $\pm 22^\circ$	276° $\pm 31^\circ$
Anzahl «Beobachtungen»	28	28	22
Anzahl Unbekannte	3	3	3

Tab.4 Langwellig-zyklische Fehler in drei elektrooptischen Distanzmessern, bestimmt aus den Verbesserungen einer vorausgegangenen Ausgleichung. Die Berechnung der HP 3800B Messreihe beruht aus den mittleren Verbesserungen zweier verschiedener Messepochen.

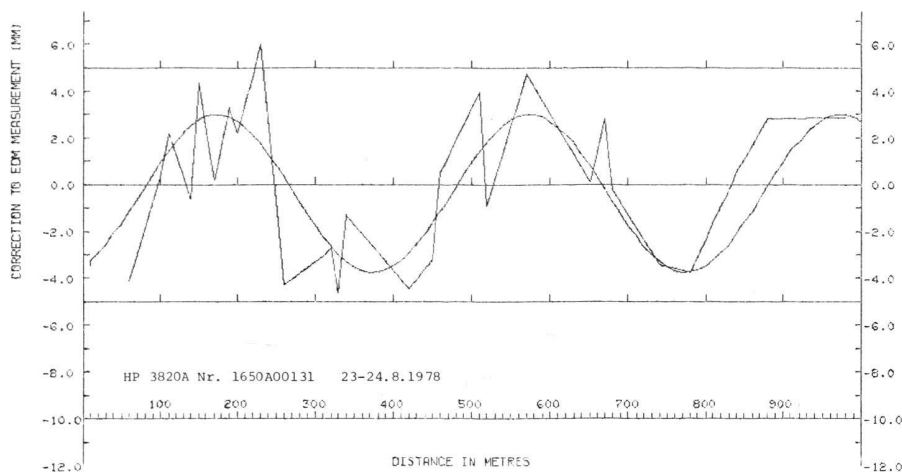


Abb. 4 Darstellung der Verbesserungen einer Messreihe mit dem Gerät Hewlett-Packard HP 3820A Nr. 1650A00131 auf der Regents-Park-Prüfstrecke (Sydney), mit ausgleichender Sinuskurve von 400 m Wellenlänge. Details in Tabelle 4.

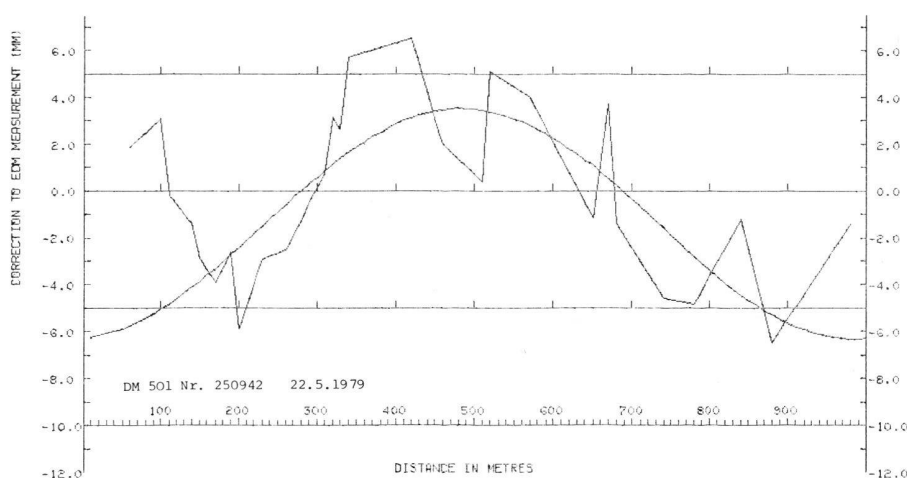


Abb. 5 Darstellung der Verbesserungen einer Messreihe mit dem Gerät Kern DM 501 Nr. 250942 auf der Regents-Park-Prüfstrecke (Sydney), mit ausgleichender Sinuskurve von 1000 m Wellenlänge. Die Strecken kleiner als 180 m wurden bei der Berechnung der Kurve ausser acht gelassen. Details in Tabelle 4.

sind empirisch kaum nachzuweisen; theoretische Überlegungen zeigen, dass die Reflexionen auf den Photodioden daher, mit oder ohne Zutun der Hersteller, recht klein sein müssen. Dagegen fallen die Amplituden langwellig-zyklischer Fehler verblüffend gross aus; kompakte Instrumente scheinen speziell unter solchen Fehlern zu leiden. Die Zunahme der Amplitude des zyklischen Fehlers erster Ordnung (kurzwellig) bei abnehmender Stärke des Empfangssignals konnte experimentell demonstriert werden; die dabei gefundene Phasenänderung entspricht aber nicht der Modellvorstellung. Auf Grund des verwendeten Datenmaterials folgt, dass die Amplituden aller Arten von zyklischen Fehlern normalerweise 5 mm nicht übersteigen. Es wird daher auch in Zukunft möglich sein, die ganze Gruppe der periodischen Fehler bei den meisten Vermessungsarbeiten zu vernachlässigen. Bei Spezialinstru-

menten und bei speziell genauen Messungen darf die ganze Palette periodischer Fehler jedoch nicht unberücksichtigt bleiben; dies wurde schon von Witte & Schwarz [1979] im Zusammenhang mit kurzwellig-zyklischen Fehlern demonstriert. Der hier geleistete empirische Nachweis langwellig-zyklischer Fehler wird in Zukunft auch bei der Kalibrierung elektrooptischer Distanzmesser zu berücksichtigen sein, können doch vorhandene, unberücksichtigt bleibende langperiodische Fehler die Additionskonstante verfälschen, wie dies schon für die kurzperiodischen Fehler demonstriert worden ist [Rüeger, 1976b]. Dies gilt für alle möglichen Typen von Prüfstrecken [Schwendener, 1971; Rüeger, 1976a, 1978b]. Es mag daher in gewissen Fällen zweckmässig sein, einen langwellig-zyklischen Fehler gemeinsam mit der Additionskonstante durch Ausgleichung zu bestimmen, wie dies

schon für kurzwellig-zyklische Fehler gehandhabt wird [Sprenst & Zwart, 1978; Engen, 1979].

Die Autoren danken dem Sydney County Council (Elektrizitätswerk der Stadt Sydney) und der Faculty of Engineering, University of New South Wales, Sydney, für die finanzielle Unterstützung beim Bau und Messen der Prüfstrecke in Regents Park und dem National Measurements Laboratory, C.S.R.I.O., Sydney, für die Kalibrierung des Invarbandes. Dank gebührt auch Herrn E.G. Masters für die Überlassung des Computerprogrammes für die Frequenzanalyse und den Herren G. Bowler, G.B.S. Legge, R.C. Loudon und M. Wood für die Mithilfe bei den Feldmessungen. Die Instrumente Topcon DM-C2, Beetle 1600 S und Zeiss SM 4 wurden uns freundlicherweise von den Firmen Fielder Instrument Co., PHM Survey Equipment und Carl Zeiss in Sydney leihweise zur Verfügung gestellt.

Literatur

- Aeschlimann, H., Stocker, R.: Gerätefehler von elektrooptischen Distanzmessern. *Vermessung-Mensuration* 2/1975, S. 36–44.
- Covell, P.C.: Periodic and Non-Periodic Errors of Short Range Distance Meters. *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying*, Nr. 30, Juni 1979, 79–101 (beim Autor erhältlich).
- Engen, O.: Präzisionsmessung der Ekeberg Kontrollbasis. *Norges Geografiske Oppmåling*, N-3500 Hønetoss, Norwegen 1979, 28 S.
- Fröhlich, H.: Eichung und Prüfung elektrooptischer Distanzmessgeräte. *Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen*, Bonn 1978, 29 S.
- Herzog, H.: Untersuchung von elektrooptischen Entfernungsmessern ELDI 2. *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*, 8/1978, S. 370–383.
- Kahmen, H., Zetsche, H.: Vergleichende Untersuchungen an elektrooptischen Nahbereichsentfernungsmessern. *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*, 2/1974, S. 68–81.
- Kahmen, H.: Elektronische Messverfahren in der Geodäsie. Grundlagen und Anwendungen. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1. Aufl. 1977, 406 S.
- Kodak. 1975. Kodak Neutral Density Attenuators. Kodak Publication P-114, Rochester, N.Y.
- Kodak. 1976. Kodak Filters of Scientific and Technical Uses. Kodak Publication Nr. B3, Kat. 1528108.
- Kodak. 1977. Briefwechsel
- Leitz, H.: Zur Genauigkeit und Reichweite von elektrooptischen Distanzmessern am Beispiel des Zeiss Eldi 2. *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)* 4/1977, S. 152–156.
- Robinson, A.J.: Field Investigation into the new Hewlett Packard Distance Meter. Paper 74.127. Fall Convention, St. Louis, American Congress of Surveying and Mapping, A.C.S.M. 1974, p. 376–385.
- Rüeger, J.M., Siegerist, C., Stähli, W.: Untersuchungen an elektrooptischen Kurzdistanzmessern. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Mitteilungsblatt*, Nrn. 4, 5, 6, 12/1975, S. 73–76, 93–100, 126–133, 270.

Rüeger, J. M.: Eine Hilfe für die Projektierung von Eichstrecken elektronischer Distanzmesser. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 9/1976, S. 249–252 [1976a].

Rüeger, J. M.: Probleme bei der gemeinsamen Bestimmung von zyklischen Fehlern und Additionskonstanten bei elektrooptischen Distanzmessern. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) 10/1976, Seite 338–344 [1976b].

Rüeger, J. M.: Design and Use of Baselines for the Calibration of EDM Instruments. Proceedings, 20th Australian Survey Congress, Darwin 1977, p. 175–189 (beim Autor erhältlich).

Rüeger, J. M.: Introduction to Electronic Distance Measurement. School of Surveying, University of NSW, P.O. Box 1, Kensington NSW 2033, Australia 1978, 115 S [1978a].

Rüeger, J. M.: Entwurf von Prüfstrecken des Schwendener Typs für elektrooptische Entfernungsmesser. Vermessungswesen und Raumordnung (VR) 6/1978, S. 315–324 [1978b].

Schwendener, H. R.: Elektronische Distanzmesser für kurze Strecken: Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren. Schweiz. Zeitschrift für Vermessungswesen, Photogrammetrie und Kulturtechnik 3/1971, S. 59–67.

Sprent, A., Zwart, P. R.: E.D.M. Calibration – A Scenario. Australian Surveyor 3/1978, p. 157–169.

Vaniček, P.: Further Development and Properties on the Spectral Analysis by Least-Squares. Astrophysics and Space Science. Vol. 12, p. 10–33.

Wermann, G.: Überprüfung elektrooptischer Entfernungsmessgeräte für Triangulierungen 3. und 4. Ordnung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) Nrn. 7 und 11–12/1979, S. 265–283, 435–446.

Witte, B., Schwarz, W.: Der Autoranger-A – Ein genauer elektrooptischer Distanzmesser. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) 11–12/1979, S. 425–435.

Adresse der Verfasser:
P. C. Covell und J. M. Rüeger, School of Surveying, University of New South Wales, P.O. Box 1, Kensington NSW 2033, Australia.

Présentation de 2 équipements auxiliaires pour le levé de points non stationnables avec la mire et pour l'implantation

J.-P. Miserez

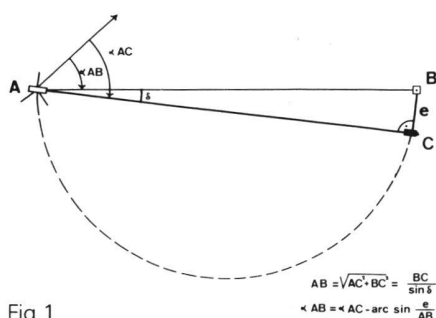
L'article décrit deux dispositifs à utiliser avec les prismes pour le tachéomètre électronique Kern DM 502 dans le lever ou l'implantation polaire de points excentriques. Au cas où ces prototypes suscitent un intérêt suffisant, on envisage leur production en série.

Es werden im Zusammenhang mit dem elektrooptischen Tachymeter Kern DM 502 zwei Vorrichtungen beschrieben, eine für die Polaraufnahme von exzentrisch signalisierten Detailpunkten und eine für die polare Absteckung. Falls genügend Interesse angemeldet wird, kommt eine Serienproduktion in Frage.

1. Prototype de prisme à angle droit pour le levé de points non stationnables avec le prisme-réflecteur du tachéomètre électronique Kern DM 502

Le problème du levé de bornes ou autres points non stationnables avec la mire ou le prisme-réflecteur se pose fréquemment en mensuration cadastrale. L'utilisation de l'équerre à prisme conventionnelle présente souvent des difficultés pour un aide non expérimenté et, de surcroît, la présence de 2 personnes. Quant au procédé (à l'œil), il ne réserve que des déboires et des écarts hors tolérance!

Ayant soumis ce problème à la maison Kern à Aarau, il en est résulté un prototype d'équerre à prisme pentagonal



pouvant être fixée sur le réflecteur du DM 502 dans le logement prévu pour le viseur à miroir, sans aucune adaptation spéciale.

Après avoir signalisé le point à lever B à l'aide d'un jalon, l'aide peut se placer au sommet C d'un triangle rectangle formé par l'instrument A et le point B. L'aide mesure l'excentricité BC avec un double-mètre et l'opérateur relève la distance AC et sa direction. La résolution du triangle ABC permet de définir les coordonnées polaires du point B cherchées (fig. 1). Les essais effectués ont permis de démontrer la fiabilité et la souplesse de la méthode ainsi que sa précision. Les aides de terrain n'ont montré aucune difficulté à l'emploi du prisme.

Réciproquement le même dispositif peut être utilisé pour le rétablissement de points invisibles.

Les dimensions très restreintes du prisme (3,5 cm de diamètre et 3 cm de hauteur) permettent de l'avoir en permanence sur soi.

2. L'appareil à double translation pour les implantations

La même volonté de rechercher une plus grande fiabilité dans le travail des aides de terrain nous a conduits à

développer avec la maison Kern un appareil permettant d'améliorer les prestations dans les travaux d'implantation.

Cet équipement se compose d'un étrier de fixation du prisme-réflecteur Kern

