

**Zeitschrift:** Mensuration, photogrammétrie, génie rural  
**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =  
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))  
**Band:** 73-M (1975)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Untersuchungen an elektro-optischen Kurzdistanzmessern [Fortsetzung  
und Schluss]  
**Autor:** Rüeger, J.M. / Siegerist, C. / Stähli, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-227935>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.02.2025

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

# Untersuchungen an elektro-optischen Kurzdistanzmessern

(Fortsetzung und Schluss)

J. M. Rüeger, Chr. Siegerist, W. Stähli

## 5. Einfluss der Betriebsspannung

In einem Laborversuch wurde der Einfluss der Speisepannung auf die Frequenz und in einem Feldversuch über 75 m der Einfluss der Spannung auf die Distanzablesung bestimmt. In beiden Fällen diente ein Speisegerät des Institutes für Fernmeldetechnik ETHZ als Spannungsquelle.

### 5.1 Einfluss der Speisepannung auf die Frequenz

Die genaue Messanordnung ist im Kapitel 9 beschrieben. Geprüft wurden zwei Distomat DI 10 und ein DM 500. Der Distomat DI 3 wurde nicht überprüft, da er keinen Frequenzausgang aufweist.

#### Distomat DI 10

Während des Versuches war die Einschubatterie nicht eingesetzt und der Messteil über die Zusatzbuchse mit dem Spezialkabel direkt an das Speisegerät angeschlossen. Zu Beginn des Versuches erfolgte mit einer Speisepannung von 14 Volt eine vollständige Distanzmessung auf einen direkt vor dem Zielkopf stehenden Reflektor (GDR 31). Nach dem Stillstand der Kreise begann die Variation der Speisepannung. Die gemessenen Frequenzen  $f$  sind in Abbildung 10 in Funktion der Spannung aufgetragen. Der Unterschied der Spannungsablesung am Speisegerät und am Voltmeter des Messteiles des DI 10 erklärt sich unter anderem mit dem durch die im DI 10 eingebaute Polschutzdiode verursachten Verlust. Die Resultate sind in der Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Einfluss der Spannung auf die Frequenz beim DI 10. Alle Spannungsangaben beziehen sich auf die Skalen der DI 10.

Spezifikation	Distomat DI 10 Nr.	
	10115/20115	10205/50205
$f$ ändert sich in den Grenzen des tolerierten Spannungsbereichs (11.0–13.5 V) um	2 Hz	1.5 Hz
Niederste Spannung für eine noch brauchbare Messung	8.5 V	9.5 V
Differenz der $f$ zwischen obiger «niederster Spannung» und der höchsten, angelegten Spannung (15.5 V)	12 Hz	3 Hz
Frequenzfehler bei 10 V bezüglich $f$ bei mittlerer Spannung (12.2 V)	+2.5 Hz +0.2 · 10 <sup>-6</sup>	-1.5 Hz -0.1 · 10 <sup>-6</sup>

### DM 500

Das Netzgerät wurde mit dem 12-V-Anschluss des Speisegerätes des DM 500 verbunden. Die Spannung wird im Speisegerät des DM 500 auf die Betriebsspannung von 5 Volt reduziert. Die im DM-500-Speisegerät enthaltenen vier NiCd-Zellen wurden vorgängig abgekuppelt. (Das Abkuppeln der NiCd-Zellen sollte man eigentlich unterlassen, weil dadurch für kurze Zeit die volle angebrachte Spannung auf den DM 500 gelangen und dort grössere Schäden verursachen kann.) Da beim DM 500 nur die Frequenz der Grobmessung (149 854 Hz) direkt und auch diese nur während einer Distanzmessung (also während einiger Sekunden) abgreifbar ist, konnte bei festem Reflektor mit dem verwendeten Frequenzzähler nur auf  $4 \cdot 10^{-6}$  genau gemessen werden. Die Distanzmessung erfolgte wieder auf einen unmittelbar vor dem Instrument stehenden Reflektor (Abb. 11). Nach jeder Distanz- und Frequenzmessung wurde der Distanzmes-ser ausgeschaltet.

Wie wir dem hier nicht dargestellten Diagramm mit der Funktion  $f = F(U)$  entnehmen können, bleibt die Frequenz bis etwa 6.5 Skalaeinheiten  $E$  (von rechts gezählt) konstant, also auch etwas unterhalb des grünen Bereiches. Bei noch kleinerer Spannung nimmt die Frequenz ab.

In einem ergänzenden Versuch wurde die Spannung direkt am Beleuchtungsanschluss des DM 500 angebracht. Zwischen oberer (etwa 5.4 V) und unterer Grenze (etwa 4.6 V) des grünen Bereiches des Anzeigerätes im DM 500 nimmt die Frequenz um etwa  $2 \cdot 10^{-6}$  ab. Die Frequenz wurde in diesem Fall nach dem im Kapitel 9 beschriebenen Verfahren auf 0.1 Hz genau gemessen.

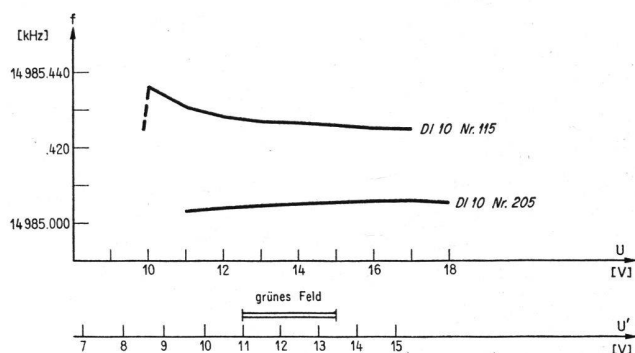


Abbildung 10: Abhängigkeit der Frequenz von der Speisepannung bei zwei Distomat DI 10.  $U$  = im Speisegerät angezeigte Spannung.  $U'$  = am Galvanometer des DI 10 angezeigte Spannung.  $f$  = Modulationsfrequenz. Versuchsdatum: 22. November 1974. Gemäss Gebrauchsanleitung soll die Spannungsanzeige bei Distanzmessungen im grünen Feld liegen.

### 5.2 Einfluss der Speisepannung auf die Distanzmessung

Um auch das Verhalten des DI 3 auf die Spannungsvariation wenigstens grob prüfen zu können, wurde mit DI 3 und DM 500 eine Distanz von 75 m bei verschiedenen Spannungen gemessen. Mit beiden Instrumenten wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt.

#### DM 500

Nach Überprüfung der Justierung des Distanzmessers gegenüber der Fernrohrzielachse (gemäss Instrumenten-

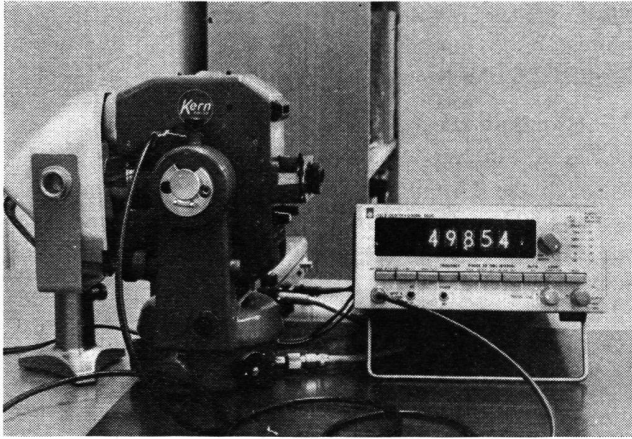


Abbildung 11: Frequenzmessung am DM 500. Das Bild wurde während einer ablaufenden Distanzmessung aufgenommen.

anleitung [8]) wurde der Reflektor einmal optisch angezielt. Die Spannungsquelle war wieder mit dem Speisegerät des DM 500 verbunden (Verbindungen zu den NiCd-Zellen unterbrochen). Während des Versuches wurde die Blende (bei Bedarf) immer auf den gleichen Ausschlag des Zeigers im Anzeigeinstrument eingestellt. Ausgehend von 12 Volt, wurde die Spannung schrittweise bis auf 17 Volt erhöht, dann wieder in gleichen Intervallen bis auf 8 Volt reduziert und anschliessend auf 12 Volt erhöht. Für die meisten Spannungswerte liegen somit zwei Messwerte  $D$  vor.

In Abbildung 12 sind die Distanzablesungen  $D$  in Funktion der Spannung  $U$  aufgetragen. Liegt der Zeiger des Anzeigeegerätes (im DM 500) beim Prüfen der Speisepannung innerhalb des grünen Bereiches, so treten Differenzen zwischen grösster und kleinster Distanzablesungen von 2 mm beziehungsweise 2.5 mm auf. Vernünftige Distanzmessungen sind mit dem getesteten Instrument bis zu Spannungen von etwa 11 Volt (entsprechend 6.8 Skaleneinheiten) möglich. Bei Betrieb mit noch kleineren Spannungen sind grössere Abweichungen vom Sollwert zu erwarten, sofern eine Messung überhaupt noch möglich ist. In einem solchen Fall brach die Messung nach ausgeführter Feinmessung ab. Es ist eine leichte Abnahme der Distanzablesung mit zunehmender Spannung festzustellen, die aber statistisch kaum gesichert sein dürfte.

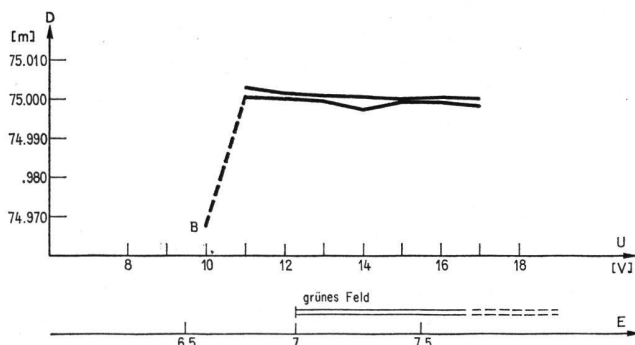


Abbildung 12: Abhängigkeit der Distanzablesung  $D$  von der Speisespannung  $U$  beim DM 500.  $U$  = Spannungsablesung am Speisegerät.  $E$  = Einheiten des Anzeige-Instrumentes im DM 500, Definition in Abbildung 9. Grüner Bereich: Zulässiger Spannungsbereich gemäss Anleitung.  $B$  = keine Grobmessung. Es läuft nur die Feinmessung ab. Beide Versuchsreihen am 27. November 1974 bei etwa 3 °C.

### Distomat DI 3

Die Messanordnung entspricht jener beim DM 500. Allerdings war die Spannungsquelle diesmal über das Spezialkabel direkt mit dem Gerät verbunden. Lag der Zeiger des Galvanometers bei der Spannungsprüfung innerhalb des grünen Bereichs, so resultierten Distanzablesungen, die im Maximum 0.5 beziehungsweise 1.5 Millimeter voneinander abweichen. Erhöht man die Spannung auf 17 Volt, so sind keine grösseren Abweichungen zu erwarten, wie man der Abbildung 13 entnehmen kann. Liegt die Spannung bei der Messung am Galvanometer des DI 3 unterhalb des grünen Bereichs, so flackert der äusserste Punkt rechts in der Distanzanzeige während der Distanzmessung. Die angezeigten Stellen nach dem Komma der Distanzanzeige sind dabei bis zu 1.5 cm tiefer als beim Sollwert.

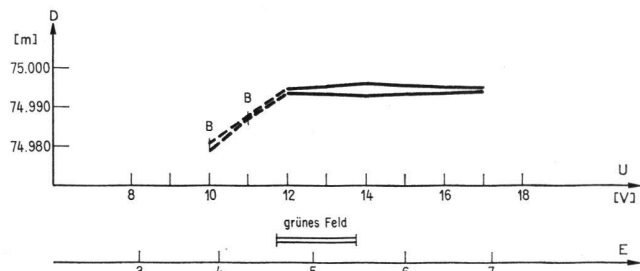


Abbildung 13: Abhängigkeit der Distanzablesung  $D$  von der Speisespannung  $U$  beim DI 3.  $U$  = Spannung am Speisegerät.  $E$  = Einheit der Galvanometeranzeige im DI 3,  $B$  = Punkt rechts aussen in der Distanzanzeige flackert während der Messung. Beide Versuche fanden am 27. November 1974 bei 2 °C beziehungsweise 3 °C statt. Grüner Bereich: Zulässiger Spannungsbereich gemäss Anleitung.

### Vergleich

Mit beiden Instrumenten können Entfernungen mit einer etwas kleineren als der vorgeschriebenen Spannung gemessen werden, wobei aber Fehler in den Messwerten in der Grössenordnung von cm in Kauf genommen werden müssen. Beim DI 3 wird man dabei meistens durch das Flackern des Punktes rechts aussen in der Distanzanzeige gewarnt, beim DM 500 allenfalls durch das Abbrechen der Messungen nach ausgeführter Feinmessung. Es wird daher zweckmässig sein, das untere Ende des grünen Bereichs am Anzeigegerät als Grenzwert für die Spannung bei der Distanzmessung einzuhalten.

## 6. Messungen bei änderndem Temperaturzustand eines Gerätes

Es wurde untersucht, ob bei einem direkt aus der Wärme (Büro, Auto) kommenden Instrument während der Abkühlungsperiode in der Kälte Einflüsse auf die Distanzmessung feststellbar sind. Mit DI 3 und DM 500 wurden nach dem Aufstellen im Freien (Dauer etwa 3 Minuten) während 10 Minuten alle 30 Sekunden Messungen auf einen Reflektor in 75 m Entfernung ausgeführt. Die Messungen streuten in einem Bereich von 2 mm. Ein systematischer Verlauf der Messreihe war nicht erkennbar. Die Temperaturdifferenz innen – aussen betrug 15 °C. Weitere Angaben zur Temperaturabhängigkeit finden sie im Kapitel 8.

## 7. Messungen bei variabler Signalstärke mit DM 500 und DI 3

Bei beiden Geräten wird für die Messung eine optimale Signalstärke eingestellt, damit richtig oder zumindest immer gleich gemessen wird. Am DM 500 muss man manuell die Blende so einstellen, dass der Zeiger des Galvanometers in der Mitte des grünen Bereichs steht. Im Gegensatz zu dieser kontinuierlichen, manuellen Veränderung der Signalstärke werden beim DI 3 automatisch Filter vorgeschaltet, welche die Intensität stufenweise regulieren. Man misst mit dem DI 3 also nicht bei gleicher Signalstärke, sondern in einem Bereich von mehreren Einheiten am Galvanometer des Geräts. Der Versuch soll zeigen, wie stark die Distanzmessungen in diesem Bereich schwanken. Beim DM 500 interessiert indessen, wie genau die Signalstärke auf den Sollwert eingestellt werden muss, damit sich die Messungen nicht wesentlich verändern.

### 7.1 Versuchsanordnung

Es wurde immer die selbe Distanz (etwa 75 m) gemessen. Die Intensität des Empfangssignals wurde mit vor dem Empfangsobjektiv befestigten Graufiltern abgeschwächt. Man verwendete 5 Kodak-Wratten-Gelatine-Filter in Stufen zwischen 10- bis 50%iger Abschwächung der Lichtintensität. Mit jeder Filterkombination wurde mindestens eine Serie von 10 Messungen ausgeführt.

### 7.2 Resultate DM 500

Abbildung 14 zeigt, wie sich die Mittel der Serien zu je 10 Messungen bei verschiedener Ausfilterung und damit verschiedener Signalstärke verhalten. Der mittlere Fehler eines Serie-Mittels variiert zwischen  $\pm 0.6$  mm und  $\pm 1.3$  mm. Eine Blendeneinstellung innerhalb des halben grünen Bereichs – so genau ist die Signalstärke immer einstellbar – gibt Differenzen an den Distanzen von etwa 2 mm.

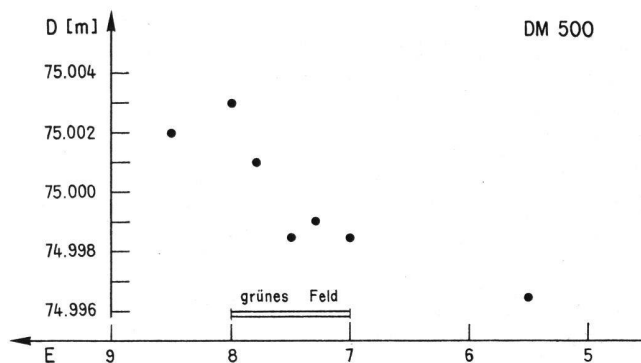


Abbildung 14 Distanzmessungen mit DM 500 bei verschiedenem starkem Empfangssignal und bei konstanter Blendenstellung. Die Intensität des Signals wird durch photographische Filter abgeschwächt. D = Distanz in Meter. E = Einheit des Anzeigeinstrumentes (Null: rechts, 10: links).

Bei diesem Versuch liess man die Blende immer gleich weit offen und variierte die Signalstärke mit den Graufiltern. Auf diese Weise konnte verhindert werden, dass der Effekt der Phaseninhomogenität die Resultate verfälschte: Ein neuer Versuch, bei dem jeweils die Blende nachgestellt wurde, so dass wieder mit korrekter Signal-

stärke gemessen wurde, ergab Differenzen an den Messungen bis 5 mm. Der Effekt ist derselbe, wie der in Kapitel 2.6 und Kapitel 4 beschriebene.

### 7.3 Resultate DI 3

Die in Abbildung 15 eingetragenen Serie-Mittel zeigen, wie sich die Distanz in Abhängigkeit der Signalstärke verändert. Die Differenzen an den Distanzen betragen bis zu 5 mm. Der mittlere Fehler eines Serie-Mittels schwankt hier zwischen  $\pm 0.2$  mm und  $\pm 1.2$  mm.

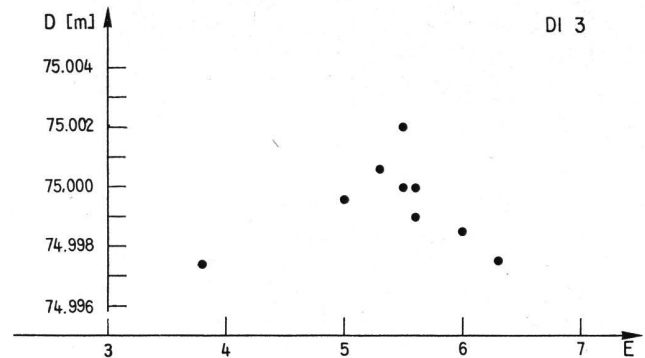


Abbildung 15 Distanzmessungen mit DI 3 bei verschiedenem starkem Empfangssignal. Abschwächung des Empfangssignals durch photographische Filter. D = Distanz in Meter. E = Einheit des Galvanometers.

### 7.4 Zusammenfassung

Man sieht, dass bei beiden Geräten ein mittlerer Fehler von etwa  $\pm 3$  mm an einer Beobachtung ein inneres Genauigkeitsmass ist. Misst man verschieden lange Distanzen, so verringert sich die Genauigkeit; beim DM 500, weil dann die Blende wieder nachgestellt werden muss und damit ein anderer Ausschnitt des Strahlungskegels auf die Empfangsdiode gelangt, beim DI 3, weil mit verschiedener Signalstärke gemessen wird. Die manuelle Einstellung der Blende am DM 500 ist so genau, dass sie die Messung nicht verschlechtert.

## 8. Frequenzmessungen

Die Frequenzmessungen dienen der Kontrolle des Massstabes der Instrumente sowie der Untersuchung der Stabilität der Messfrequenzen. Der Frequenzmesser (vergleiche Abbildung 11) war immer, die Geräte meistens im Labor aufgestellt, um unerwünschte Temperatureinflüsse klein zu halten. Mit dem eingesetzten Frequenzmesser, der jeweils mindestens 24 Stunden vor Versuchsbeginn in Betrieb genommen wurde, lassen sich Frequenzen bis auf 0.1 Hz messen.

### 8.1 Frequenzmessungen mit dem DM 500

Die Messanordnung geht aus der Abbildung 11 hervor. Der Frequenzausgang wird durch Entfernen einer Schraube an der linken Seitenwand des DM 500 zugänglich. Die Abschirmung des Messkabels ist mit der Masse von Theodolit oder DM 500 zu verbinden. Wie schon im Kapitel 5 erwähnt, kann nur die Frequenz der Grobmessung (149854.0 Hz) gemessen werden, und auch diese nur während der 4 bis 5 Sekunden der Zyklen 3 und 4 (Grobmessung extern und intern) einer ablaufenden Di-

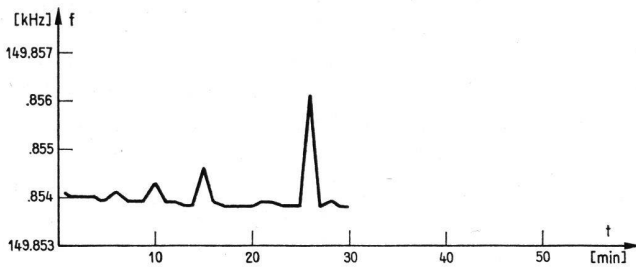


Abbildung 16 DM 500: Abhängigkeit der Grobfrequenz  $f$  von der Zeit  $t$ . Versuch A: Mehrmalige Distanzmessungen, Distanzmesser dazwischen nicht ausgeschaltet. Datum: 23. 12. 74. Temperatur  $T = 20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Nullpunkt der Zeitskala fällt mit dem Einschalten des Distanzmessers zusammen.

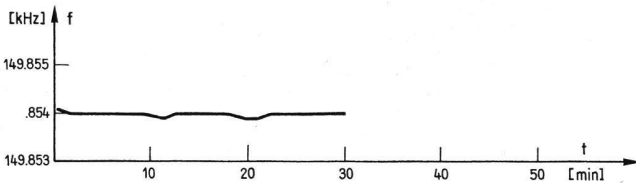


Abbildung 17 DM 500: Abhängigkeit der Grobfrequenz  $f$  von der Zeit  $t$ . Versuch B: Mehrmalige Distanzmessungen, Gerät dazwischen immer ausgeschaltet. 23. 12. 74,  $T = 20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

stanzmessung. Will man die Frequenz auf 0.1 Hz genau bestimmen (Messintervall am Frequenzmesser: 10 Sekunden), so muss der Reflektor im dritten Messzyklus einer Distanzmessung entfernt werden.

Die Stabilität der Frequenz der Grobmessung (Grobfrequenz) wurde nach verschiedenen Versuchsanordnungen überprüft. Die Abbildungen 16, 17 und 18 geben Auskunft über das Resultat dieser Messreihen. Markant sind die Unterschiede zwischen den Abbildungen 16 und 17 beziehungsweise zwischen den Abbildungen 18 und 17. Man darf daraus schliessen, es sei zweckmässig, den DM 500 nach jeder Messung auszuschalten. Lässt man das Instrument zum Beispiel während aller Beobachtungen auf einer Station in Betrieb, so müssen zeitweilige Frequenzsprünge und damit Änderungen der Multiplikationskonstanten in Kauf genommen werden. Die in Abbildung 16 erkennbare Spitze ergibt zum Beispiel eine Massstabsänderung von mindestens 15 mm/km; mindestens deshalb, weil die Frequenz in einem Zeitintervall von 10 Sekunden erhoben wurde, ein Messzyklus beim DM 500 aber nur etwa 2 Sekunden beansprucht.

Ein Vergleich der nach Versuchsanordnung B (siehe

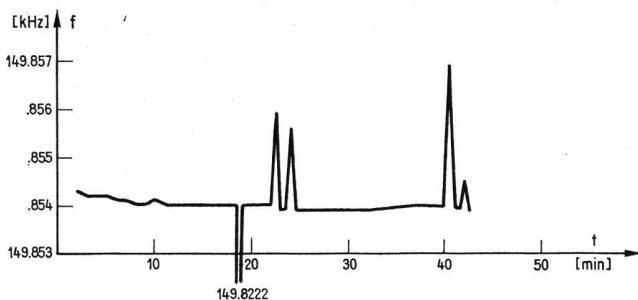


Abbildung 18 DM 500: Abhängigkeit der Grobfrequenz  $f$  von der Zeit  $t$ . Versuch C: Dauermessung. Intervall der Ablesungen der Frequenz: 1 bis 5 Minuten; extreme Werte werden zusätzlich erfasst. 23. 12. 74,  $T = 20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Abbildung 17) gemessenen Frequenzen mit der Sollfrequenz gemäss [2] und [4] ergibt eine Frequenzabweichung von 0.0 Hz bei  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  und eine solche von 0.4 Hz bei  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturabhängigkeit der Frequenz (man vergleiche hiezu auch Abbildung 19) von  $+0.4\text{ Hz}$  (entsprechend 3 mm/km) für  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist klein und darf bei einer von der Lieferfirma angegebenen oberen Reichweite von 500 m vernachlässigt werden.

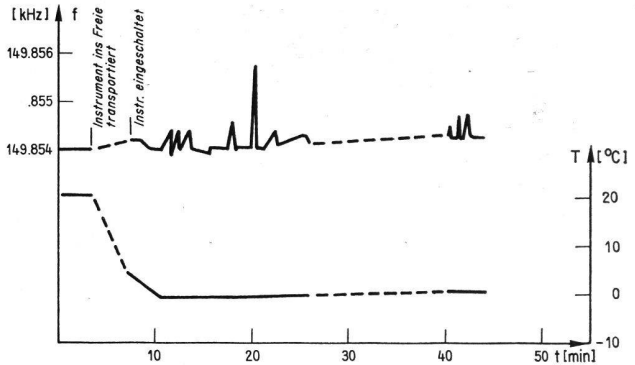


Abbildung 19 DM 500: Abhängigkeit der Grobfrequenz  $f$  von Temperatur  $T$  und Zeit  $t$ . Die Messungen bei  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  erfolgten nach der Versuchsanordnung B, jene im Freien bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  nach der Anordnung C. Es sind alle wesentlichen Frequenzänderungen aufgetragen (Intervall der Ablesung der Frequenz: 10 Sekunden). 23.12. 74.

## 8.2 Frequenzmessung DI 3

Der DI 3 weist keinen Frequenzausgang auf. Die Frequenz könnte mit einem vor der Senderoptik aufgebauten Photoverstärker oder durch direktes Abgreifen an der Diodenzuführung im Innern des Zielkopfes gemessen werden. Die erstgenannte Möglichkeit fiel in Ermangelung einer solchen Ausrüstung dahin, auf die zweite Möglichkeit wurde verzichtet, da man den Zielkopf nicht öffnen wollte. Eine einmalige Überprüfung der Feinfrequenz in der Herstellerfirma ergab eine Abweichung von 1.2 Hz (oder 0.2 mm/km) zum Sollwert gemäss [10].

## 8.3 Frequenzmessungen an zwei DI 10

Aus Abbildung 20 geht hervor, wie man die Frequenz beim DI 10 abgreifen kann. Man benötigt dazu lediglich ein passendes koaxiales T-Stück. Nach der Synchronisation der Frequenz der Feinmessung kurz vor Abschluss einer Distanzmessung kann die Frequenz gemessen werden.

Aus den Abbildungen 21 und 22 kann man die Stabilität der Frequenz auf Grund von zwei verschiedenen Versuchsanordnungen beurteilen. Das langsame Abfallen der Frequenz kann offenbar nicht durch ein kurzes Abschalten zwischen den Distanzmessungen aufgehoben werden. Diese Massstabsänderung der beiden Distanzmesser (bis 1.7 mm/km nach 90 Minuten) geht aber in den zufälligen Fehlern unter und braucht nicht weiter berücksichtigt zu werden.

Der Frequenzfehler, bestimmt nach mindestens vierstündigem Betriebsunterbruch, beträgt beim älteren (jüngeren) Instrument nach 6 (5) Betriebsjahren  $+30\text{ Hz}$  ( $+6\text{ Hz}$ ), was einem Massstabsfaktor von 2 mm/km (0.4 mm/km) entspricht. Dieser Fehler darf bei einer Genauigkeit des Gerätes von  $\pm 10\text{ mm}$  vernachlässigt werden.

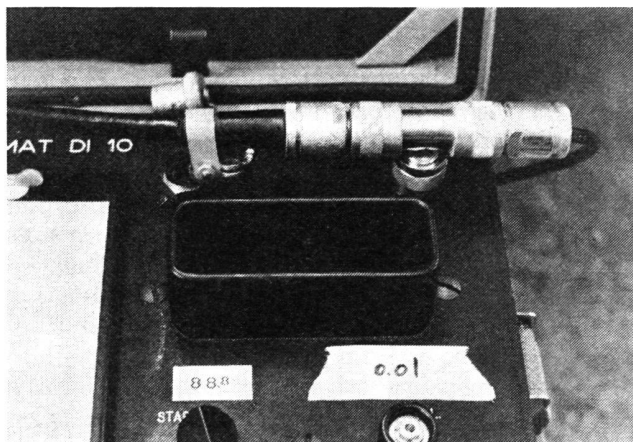


Abbildung 20 DI 10: Abgreifen der Frequenz am Messteil. An der linken Kupplung des T-Stückes ist das Verbindungskabel zum Zielkopf angeschlossen, an der rechten jenes zum Frequenzmesser.

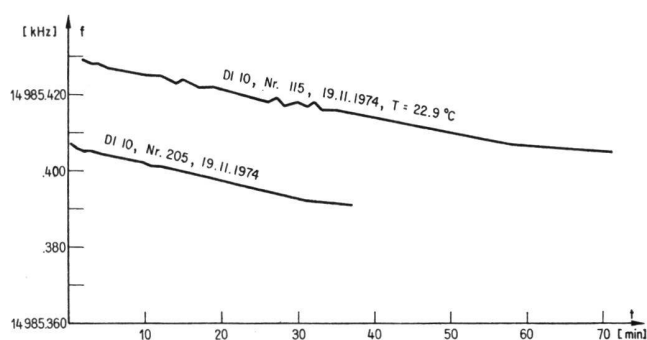


Abbildung 21 DI 10: Abhängigkeit der Messfrequenz  $f$  von der Zeit  $t$ . Versuch B: Mehrmalige Distanzmessungen, dazwischen Gerät ausgeschaltet.

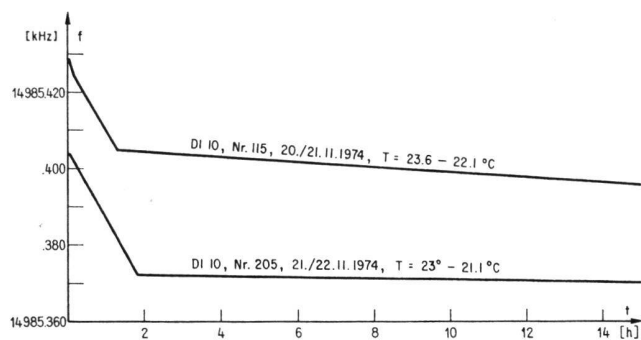


Abbildung 22 DI 10: Abhängigkeit der Messfrequenz von der Zeit  $t$ . Versuch C: Dauermessung der Messfrequenz.

Im Versuch, welcher der Abbildung 22 zugrunde liegt, konnte zudem die zeitliche Änderung der Nullage des Feinkreises der Ablesung (und damit der Distanzanzeige) verfolgt werden. Es wurden Änderungen bis 26 cm nach 120 Minuten festgestellt. Die in der Bedienungsanleitung empfohlene Kontrolle des CAL-Wertes nach jeder Messung ist daher zu empfehlen. Vergleichen sie hierzu die diesbezüglichen Bemerkungen im Kapitel 2.4.

#### 8.4 Frequenzmessungen am Geodimeter 6 BL

Beim Geodimeter kann die Frequenz durch eine, in die frühere Lampenöffnung des Gerätes eingeführte Induk-

tionsschleife abgegriffen werden. Je nach Stellung des Frequenzumswitchers kann die Frequenz 2, 3 oder 4 sofort ab Einschalten des Instrumentes gemessen werden. In Abbildung 23 ist, stellvertretend für alle drei Frequenzen, die Frequenz der Feinmessung  $f_2$  in Funktion der Zeit aufgetragen. Ein auffallend starkes Abfallen der Frequenz tritt unmittelbar nach Einschalten des Gerätes auf. Es ist daher wichtig, mit der ersten Distanzmessung nach dem Einschalten mindestens 10 Minuten (bei  $20^\circ\text{C}$ ) zu warten, bis sich die Frequenz auf  $\pm 0.2 \cdot 10^{-6}$  ( $\pm 0.2$  mm/km) stabilisiert hat.

Für den Vergleich mit der Sollfrequenz 29 970.000 kHz (gemäß [5]) wurden nur die Mittel der zwischen der 10ten und 60sten Betriebsminute gemessenen Frequenzen herangezogen. Sie weichen im Dezember 1974 (Juli 1973) nur um 4 Hz (11 Hz) vom Sollwert ab, so dass der Massstabsfehler des Instrumentes von 0.1 mm/km (0.4 mm/km) kaum zu berücksichtigen ist.

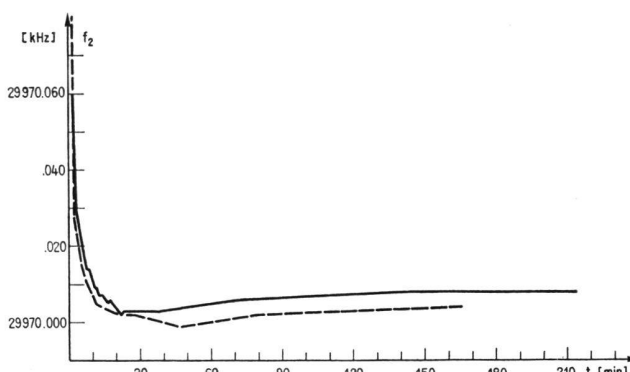


Abbildung 23 Geodimeter 6 BL: Abhängigkeit der Frequenz  $f_2$  von der Zeit  $t$  nach Anschliessen der Batterie und Einschalten des Gerätes. Ausgezogene Kurve: 19.12.74,  $T = 21^\circ\text{C}$ . Gestrichelte Kurve: 20.12.74,  $T = 20^\circ\text{C}$ .

## 9. Genauigkeitsuntersuchungen

### 9.1 Messanlage

Das Ziel unserer Untersuchungen war die Bestimmung des instrumentenabhängigen Anteils am mittleren Fehler einer mit DI 3, DM 500 oder AGA Geodimeter 6 BL gemessenen Distanz. Die Fehlereinflüsse der Atmosphäre, der Zentrierung und der Höhenwinkelmessung bei der geometrischen Reduktion auf die Horizontal-distanz sollten möglichst gering gehalten werden. Zu diesem Zweck wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Mit fester Stationierung des Distanzmessers auf Messpfeiler oder Stativ wurden nahezu horizontale Distanzen im Labor oder in ebenem Gelände gemessen. Die atmosphärischen Verhältnisse längs der Ziellinie waren somit einigermaßen homogen. Bei den Messungen im Freien ging die Visur ausnahmslos über ebenes Wiesland. Instrumenten- und Reflektorhöhen betragen ungefähr 1.5 m. Messungen derselben Distanz wurden innerhalb einer kurzen Zeitspanne wiederholt, so dass auch die zeitliche Veränderung der meteorologischen Bedingungen minimal gehalten wurde.

Durch Verschieben des Reflektors auf der Aluminiumskala einer Nivellierlatte, die in Visurrichtung horizontal auf zwei Stativen (beziehungsweise Messpfeilern im Labor) fixiert war, wurde die Distanz um ganze Dezi-

meter variiert. Die Genauigkeit der Reflektorpositionierung beträgt schätzungsweise 0.2 mm. Um die Messgenauigkeit in Abhängigkeit von der Distanz bestimmen zu können, wurden Messreihen auf verschiedene Entfernungen gemessen. Durch Verwendung verschiedener Reflektoren soll zudem die Messgenauigkeit in Abhängigkeit vom verwendeten Reflektortyp ermittelt werden. Da beim DI 3 die Fernrohr-Zielachse nicht in der gleichen Ebene liegt wie die Achsen von Sender und Empfänger des Distanzmessers, trifft die Fernrohr-Zielachse den Reflektor nicht in dessen Zentrum, sondern 4.5 cm tiefer. Vor den Versuchsmessungen wurde jeweils die Justierung der Ziellinie des Distanzmessers kontrolliert. Im Labor wurden Messreihen über 4 m, im Feld (Allmend Brunau, Zürich) solche über 5 m, 30 m, 100 m und 450 m ausgeführt. Alle Beobachtungen erfolgten im November 1974 bei 0 °C bis 12 °C im Feld beziehungsweise 22 °C im Labor. Mit dem DI 3 wurde auf WILD-GDR-31- beziehungsweise GDR-11-Reflektoren gemessen. Die Reflektoren wurden immer optisch angezielt. Jede Messserie umfasst 11 oder mehr Messungen.

## 9.2 Auswertung

Die Messwerte jeder Serie wurden auf eine bestimmte Reflektorposition bezogen, in die Horizontale reduziert und um die zyklischen Fehler, die in Versuchen vom 20. August 1974 (vergleiche Kapitel 3) bestimmt wurden, korrigiert. An den Mittelwerten wurden noch die Meteorokorrekturen angebracht, so dass diese Werte auch für den Vergleich von Additionskonstanten verwendbar sind (vergleiche Kapitel 2.7.2).

Die Messreihe mit DI 3 und GDR 31 über 450 m ergab einen Ausreisser (Fehlbetrag: 2 cm; Ursache unbekannt), der in der Auswertung nicht berücksichtigt wurde.

## 9.3 Ergebnisse

Die innere Genauigkeit der Instrumente DI 3 und DM 500 liegt zwischen  $\pm 1$  und  $\pm 2$  mm mittlerem Fehler an einer Beobachtung. Die Resultate deuten auf eine mögliche Zunahme des mittleren Fehlers mit der Entfernung hin, die jedoch mangels genügender Überbestimmung nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann.

Die Verwendung zusätzlicher Reflektorprismen auf 450 m ergibt sowohl beim DI 3 als auch beim DM 500 eine Genauigkeitssteigerung. Weitere in Abbildung 24 nicht dargestellte Versuche haben ergeben, dass der mittlere Fehler einer Distanz bei optischer Zielung mit DI 3 auf Kern-Reflektoren schlechter ausfällt, wenn das Reflektorzentrum anstatt 4.5 cm tiefer angezielt wird.

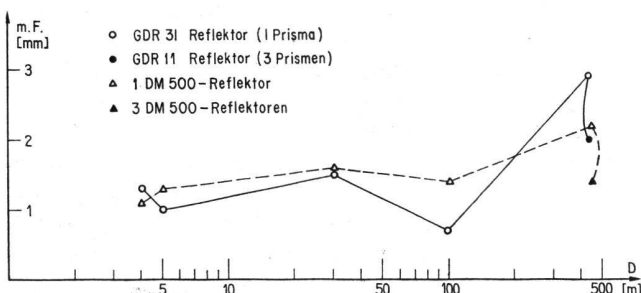


Abbildung 24 Abhängigkeit des mittleren Fehlers (m.F.) von der Distanz (D) bei DI 3 und DM 500. Gestrichelt: Messung mit DM 500; ausgezogen: Messung mit DI 3.

## 10. Schlussbetrachtungen

Es seien hier noch einige Hinweise angefügt, die sich aus der praktischen Arbeit mit den beiden neuen Geräten DI 3 und DM 500 ergeben haben.

### 10.1 Hinweise zum DI 3

Mit dem verwendeten Instrument waren an zwei Tagen ( $T = 22^\circ/18^\circ \text{C}$ ) Distanzen von 30.02 m bei normal gerichtetem Fernrohr und Reflektor nicht möglich. (An zwei weiteren Tagen [ $T = 2^\circ/8^\circ \text{C}$ ] konnte jedoch ohne weiteres auf 30.02 m gemessen werden.) Dieser Erscheinung kann (gemäss Fabrikangabe) dadurch abgeholfen werden, dass der Reflektor etwas aus der Visur weggedreht wird. (Die Distanzablesung ändert sich dadurch nicht, wie ein kleiner Versuch zeigte.) Die Ursache liegt in einer mangelnden Abstimmung des Vorschaltens der Filter mit der für die Messung erforderlichen Signalstärke. Weiter neigt die Verriegelungsvorrichtung zwischen Theodolit und Zielkopf dazu, auch bei nicht ganz sauber aufgesetztem Zielkopf zu funktionieren. Daher dürfte es zweckmässig sein, die Justierung des Zielkopfes nach jedem Aufsetzen kurz zu überprüfen. Wird eine grössere Dejustierung festgestellt, so genügt es häufig, den Zielkopf etwas zu heben und dann neu zu verriegeln.

Etwas mühsam ist die Fokussierung des T1A bei aufgesetztem DI 3. Der untere Finger kollidiert zwangsläufig mit dem Gegengewicht und der obere scheuert sich an der Grundplatte des Zielkopfes.

Der abnehmbare Dreifuss des von uns eingesetzten T1A lässt sich nicht für das Aufstellen des Messteiles verwenden. Dasselbe gilt für die Dreifüsse der bisherigen T 16 ohne automatischen Höhenindex. Der Messteil des DI 3 kann nur in die Dreifüsse des T 2 und in jene der neuen T 16 und T 1 eingesetzt werden. Will man daher den DI 3 mit Zwangszentrierung einsetzen, so sind alle Stative mit T-2-Dreifüssen (oder mit solchen der neuen T 1 oder T 16) auszurüsten. Aber auch so können noch Schwierigkeiten auftreten, passt doch der T1A noch lange nicht in alle älteren T-2-Dreifüsse hinein. Dies ist somit allenfalls zusätzlich zu kontrollieren.

Das Horizontieren des T1A mit aufgebautem DI 3 ist etwas ungewohnt, weil die Fusschrauben 25 cm tiefer als die Alhidadenlibelle liegen und weil der Messteil ständig mitgedreht werden muss. Der Einblick auf die Libelle ist von der Objektivseite her gut.

### 10.2 Hinweise zum DM 500

Das Kabel, welches Speisegerät und Theodolit miteinander verbindet, ist kurz. Daher muss ein Stativbein oben mit einer Bride versehen sein, an der das Speisegerät angehängt werden kann. Nun kann es durchaus vorkommen, dass die ins Feld gebrachten Stative eben gerade keine solchen Briden aufweisen. Daher wäre es zweckmässig, wenn die Speisegeräte über längere Verbindungskabel verfügten, damit sie an jedem Stativbein (auf Höhe der Klemmschrauben) eingehakt werden könnten.

Eine weitere Konstruktionsänderung würde man gerne auch an der Blende sehen. Erwünscht wäre da eine feinere Übersetzung oder ein Grob-Feintrieb, speziell für kürzere Distanzen. Das Horizontieren eines Theodoliten

DKM 2-A mit aufgesetztem DM 500 kann, bedingt durch den erschwerten Einblick auf die Alhidadenlibelle, mühsam sein. Blickt man aber von der Objektivseite her auf die Libelle und kippt man das Fernrohr um etwa 50° nach oben, so lässt sich dieses Problem zufriedenstellend lösen. Keine Lösung gibt es beim unbequemen Bedienen des Höhenfeintriebes des DKM 2-A. Das DM-500-Gehäuse kommt bis auf etwa 2 mm an die Schraube heran, so dass man beim Drehen des Knopfes unweigerlich am Gehäuse anstösst.

Zum Schluss noch eine Bemerkung zum Speisegerät. Die eingebaute Ladevorrichtung ist sehr praktisch. Ein spezielles Ladegerät entfällt und geht daher auch nicht vergessen. Die Speisespannung des DM 500 beträgt etwa 5 Volt, womit gleichzeitig auch die Instrumentenbeleuchtung möglich ist (bei aufgesetztem DM 500 kann allerdings der Spiegel für die Strichplattenbeleuchtung des DKM 2-A nicht mehr gedreht werden). Natürlich lässt sich das Speisegerät auch als «luxuriöse» Stromquelle ausschliesslich für die Instrumentenbeleuchtung einsetzen, zum Beispiel bei astronomischen Beobachtungen und bei Arbeiten mit dem Autokollimationsokular.

### 10.3 Zusammenfassung der Resultate

Die mit den beiden speziell getesteten Distanzmessern Kern DM 500 und Wild DI 3 gemessenen Distanzen dürfen auf Grund der beschriebenen, mit je einem Gerät ausgeführten Versuche als gleichwertig bezeichnet werden. Bei der Bestimmung der Additionskonstanten (auf 30 m bis 520 m) beträgt der mittlere Fehler (Standardabweichung) einer Beobachtung bei beiden Instrumenten im Mittel  $\pm 2.5$  mm. (In diesem Wert ist kein Einfluss eines zyklischen Fehlers eingeschlossen!) Die Konstanten nehmen Beträge von einigen Millimetern an (DI 3: 2 mm, DM 500: 6 mm). Die Änderung der Additionskonstanten innerhalb dreier Monate liegt bei beiden Instrumenten weit innerhalb des zweifachen mittleren Fehlers der Differenz zweier Additionskonstanten. Die Konstanten auf kurze Entfernungen (3 bis 20 m) weichen nicht wesentlich von den erstgenannten ab.

Aperiodische distanzabhängige Korrekturen sind beim DM 500 besser erkennbar als beim DI 3. Für eine quantitative Aussage fehlt aber eine genügende Anzahl von Messungen. Diese systematischen Fehler dürften (im Bereich 30 bis 520 m) bei beiden Instrumenten Beträge von 4 bis 5 mm nicht übersteigen. Messungen auf Reflektoren anderer Fabrikate sind mit dem DI 3 möglich, mit dem DM 500 nicht. Dabei sind einige Erscheinungen zu berücksichtigen (Änderung der Additionskonstanten und des zyklischen Fehlers). Beide Geräte weisen heute sehr kleine zyklische Fehler auf (Amplituden 1 bis 2 mm). Die ursprünglich grosse Amplitude beim DM 500 (etwa 12 mm) wurde durch Fachleute der Firma justiert. Die Amplituden blieben seit unserer ersten Messung über 8 Monate hinweg konstant.

Die Fehlrichtdiagramme zeigen, dass mit beiden Instrumenten die Höhe etwas besser als die Seite angezielt werden muss. Die Reflektoren müssen optisch immer sehr genau angezielt werden (auf 450 m besser als 1°). Mit der gleichen Genauigkeit müssen auch die Fernrohrzielachse und die Achsen des Distanzmessers aufeinander abgestimmt werden, um Fehler grösser als 5 mm zu

vermeiden. Die Stärke des eintreffenden Signals hat bei beiden Instrumenten einen Einfluss auf die Distanzablesung. Die Messwerte unterscheiden sich bis 5 mm innerhalb des zulässigen Signalstärkebereichs. Beim DM 500 ist daher die Blende mit Vorteil so zu verstellen, dass der Zeiger im grünen Bereich immer an dieselbe Stelle zu stehen kommt. Innerhalb des zulässigen Spannungsbereiches konnte kein wesentlicher Einfluss der Spannung auf die Distanzmessung festgestellt werden.

Die gemessenen Abweichungen von den Sollfrequenzen sind bei beiden Instrumenten vernachlässigbar. Beim näher untersuchten DM 500 wird eine ebenfalls vernachlässigbare Temperaturabhängigkeit und eine gewisse Unstabilität der Frequenz nach längerer Betriebsdauer festgestellt. Man wird daher den DM 500 zweckmässigerweise nach jeder Messung ausschalten.

Die Reichweite der beiden Instrumente wurde nicht speziell untersucht. An einem kalten Herbsttag konnte jedoch mit beiden Geräten ohne weiteres auf einen in 450 m Entfernung stehenden Ein-Prismen-Reflektor gemessen werden.

Die innere Genauigkeit beider Instrumente ist im Bereich von 4 bis 100 m besser als  $\pm 1.5$  mm (mittlerer Fehler einer Beobachtung). Auf grössere Distanzen scheint sich dieser Wert etwas zu vergrössern. Die absolute Genauigkeit ist schlechter und hängt unter anderem von der Genauigkeit der Erfassung von Additionskonstante, zyklischen Fehlern und aperiodisch-distanzabhängigen Korrekturen ab. Auch nach Anbringen von Additionskonstante und Korrekturen infolge zyklischem Fehler können nach unseren Erfahrungen identische, mit DM 500 und DI 3 gemessene Distanzen (Mittel aus je 10 Beobachtungen) bis 9 mm voneinander abweichen. Im Genauigkeitsbereich  $\pm 10$  mm dürfen aber die zwei geprüften Instrumente unter Vernachlässigung der meisten Fehlereinflüsse eingesetzt werden. Bei beiden Instrumenten sind dabei einzig die atmosphärischen Korrekturen zu berücksichtigen, wenn man die Additionskonstante beim DM 500 noch durch die Lieferfirma wegstellen lässt.

### 10.4 Ausblick und Dank

Wie wir bereits in der Einleitung erwähnt haben, mussten wir aus verschiedenen Gründen einige Aspekte unberücksichtigt lassen. Es wäre zum Beispiel noch interessant zu wissen, ob der zyklische Fehler in allen Distanzbereichen gleich ausfällt, ob längere und kürzere Strahlunterbrechungen das Messergebnis beeinträchtigen, ob der DI 3 auch grössere Frequenzsprünge aufweist und wodurch die einige Male erwähnten Ausreisser verursacht werden und so weiter. Die Beantwortung dieser und weiterer Fragen muss nachfolgenden Untersuchungen überlassen werden.

Zum Schluss möchten wir den Vermessungs- und Elektronikfachleuten der beiden Instrumentenfirma Kern Aarau und Wild Heerbrugg für die zahlreichen Auskünfte und Hinweise bestens danken. Ein spezieller Dank geht an die Firma Kern für die stunden- oder sogar tageweise Überlassung ihrer beiden Eichstrecken, trotz der grossen Auslastung dieser Einrichtungen für fabrikinterne Zwecke sowie für die Zustellung der anlässlich der Endkontrolle des DM 500 erhobenen Eich-



werte. Weiter danken wir der Firma Wild für die Überlassung der Zyklusmessungen der Endkontrolle des DI 3. Herrn W. Schneibel danken wir für die Überarbeitung einiger graphischer Darstellungen und Herrn W. Wattenhofer für die Herstellung spezieller Einrichtungen. Die Veröffentlichung dieses umfangreichen Aufsatzes im Mitteilungsblatt wurde dank dem freundlichen Entgegen-

kommen des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ ermöglicht, das einen namhaften Teil der Druckkosten übernimmt.

Adresse der Verfasser: J. M. Rüeger, Chr. Siegerist, W. Stähli, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Rämistrasse 101, 8006 Zürich.

## Ein erdwissenschaftliches Flugzeugmessprogramm

K. Weissmann

Unter dem Titel «Missions-Definition für ein erdwissenschaftliches Flugzeugmessprogramm (FMP), Stand 1. April 1974» hat die «Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V.», Forschungszentrum Oberpfaffenhofen, Bayern (BRD), eine Publikation herausgegeben, von der hier eine kurze Übersicht mit einem Kommentar gegeben werden soll.

### Übersicht

Die Publikation befasst sich mit einem aktuellen Projekt der angewandten Forschung auf dem Gebiet der Fernerkundung (Remote Sensing) in der deutschen Bundesrepublik (BRD).

#### Projektträger:

Bundesministerium für Forschung und Technik (BMFT), Bonn

#### Projektoberleitung:

Gesellschaft für Weltraumforschung (GfW), Porz-Wahn

#### Projektleitung:

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V. (DFVLR), Forschungszentrum Oberpfaffenhofen/Porz-Wahn

#### Projektreferent:

Forschungszentrum Oberpfaffenhofen, Bayern (Dipl. Phys. M. Schroeder)

Es handelt sich um ein nationales Projekt im Auftrag des BMFT zwecks:

- a) Aktive Mitarbeit von deutschen Wissenschaftlern bei der Vorbereitung von international ausgelegten, erdwissenschaftlichen Raumflugvorhaben, an welche die BRD beträchtliche Mittel beisteuert und wovon die Ende der siebziger Jahre beginnende «Space-lab»-Nutzung als konkrete Aufgabe genannt wird.
- b) Stützung der Interpretation von laufend und inskünftig anfallenden Satellitenaufnahmen durch Unterfliegung von Satelliten, insbesondere des am 16. Januar 1975 lancierten ERTS-B-Satelliten. Der Wirkungsgrad dieser aktiven Unterstützung soll auf Grund der aus dem vorliegenden Flugmessprogramm zu erwartenden Erkenntnisse und Erfahrungen erhöht und sichergestellt werden.

Neben den für die Stützung der Raumflugmissionen vorgesehenen Flugeinsätzen werden inskünftig auch zusätzliche, das heisst spezifische Flugmissionen für die direkte Realisierung von erdwissenschaftlichen Fernerkundungsaufgaben vermehrte praktische Bedeutung erlangen (wirtschaftliche Nutzung).

Solche Fernerkundungssysteme bilden ein potentiell Instrumentarium einerseits für die Bestandaufnahme von natürlichen Ressourcen (Rohstoffvorkommen) und andererseits für die Überwachung der natürlichen Lebensräume in bezug auf deren allfällige Veränderungen (Umweltschutz).

Mit der Durchführung des vorliegenden, erdwissenschaftlichen Flugmessprogrammes als nationales «Pilot-Project» soll:

1. in der BRD der Know-how-Anschluss an den internationalen Stand der Fernerkundungstechnik sichergestellt werden durch:
  - Vermittlung und Vertiefung der praktischen Erfahrung deutscher Geowissenschaftler in der Anwendung und Nutzung dieser neuen Technik, damit sie sich mit Erfolg an den inskünftigen internationalen Projekten beteiligen können;
  - Entwicklung von Methoden für die Erfassung, Aufbereitung und Verarbeitung von Fernerkundungsmessdaten sowie für die Interpretation der dabei anfallenden Resultate, damit solche Verfahren sowohl für Raumflugmissionen (ERTS-B-Satelliten, Skylab) als auch für direkte Fernerkundungsmissionen aus dem Flugzeug erfolgreich eingesetzt werden können;
2. auf Grund der vorerwähnten, wissenschaftlich ausgereiften und praktisch ausgetesteten Methoden und Verfahren die operationelle Voraussetzung geschaffen werden für die direkte wirtschaftliche Nutzung der Fernerkundungstechnik.

Am vorliegenden erdwissenschaftlichen Flugzeugmessprogramm sind beteiligt: 18 Hochschulinstitute, 3 Bundesforschungs- und 2 Grossforschungsanstalten, 4 Landesanstalten und 2 regionale Planungsgemeinschaften. Es handelt sich also um ein wegweisendes «Pilot-Project» der angewandten Forschung mit multidisziplinärem Charakter. Als Koordinatoren und Experimentatoren wirken zahlreiche Fachwissenschaftler mit, die die Interessenbereiche der Geographie, Geologie, Ozeanographie, Hydrologie und Glaziologie, Kartographie, Photogrammetrie, Forst- und Agrarwissenschaften, Boden- und Vegetationskunde, Städtebau, Umweltforschung usw. vertreten. Ausserdem sind auch technische Spezialisten wie Ingenieure, Physiker usw. zwecks Sicherstellung der