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: 5

Artikel: Untersuchungen an elektro-optischen Kurzdistanzmessern [Fortsetzung]

Autor: Rüeger, J.M. / Siegerist, C. / Stähli, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-227931

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: 09.08.2025

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

Untersuchungen an elektro-optischen Kurzdistanzmessern (Fortsetzung)

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

2.7 Messungen auf Reflektoren verschiedener Fabrikate, Reflektorkonstanten

Im Laufe der durchgeführten Versuche (vgl. hiezu Kap. 3 und 9) wurden verschiedentlich Distanzmessungen auf nicht direkt zum Distanzmesser gehörende Reflektoren versucht oder ausgeführt.

2.71 Verwendungsmöglichkeiten verschiedener Reflektoren

Die Verwendungsmöglichkeit «fremder» Reflektoren sei für DM 500 und DI 3 in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Instrument	Distanzbereich	Reflektoren Kern-DM 500 1	Kern-DM 500 3	Wild-GDR 31	Wild-GDR 11	AGA 1	AGA 3
DM 500	20–100 m	×		○	○	○	○
	450 m	×	×	○	○	○	
DI 3	20–100 m	×		×		×	
	450 m	○	○	×	×	○	×

× = Messung möglich ○ = keine Messung möglich

Mit dem DM 500 wurden alle Reflektoren optisch, Mitte Reflektor angezielt. Die Zielung mit dem DI 3 erfolgte hier optisch und 4.5 cm senkrecht unter Reflektormitte. Auf Grund der im Kapitel 3 zu besprechenden Messungen wissen wir, dass auch mit dem DI 10 und dem Geodimeter 6 BL auf Kern-DM-500-Reflektoren gemessen werden kann.

2.72 Reflektorkonstanten aus direktem Vergleich

Die im Kapitel 9 noch zu besprechenden Beobachtungen eignen sich auch dazu, die numerischen Werte der zusätzlichen Reflektorkonstanten r für DI-3-Messungen zu ermitteln. Nachdem mit dem DM 500 weder Messungen auf Wild- noch solche auf AGA-Reflektoren möglich sind, entfällt dort eine solche Berechnung.

Instrument	Distanz m	Reflektorkonstanten r für 1 AGA mm	3 AGA mm	1 Kern-DM 500 mm
Wild DI 3	4.6	+47.6		
	5.0	+46.2		−16.1
	30	+39.0		−21.3
	100	+38.7		−23.3
	450		+40.0	

Die Reflektorkonstanten beziehen sich auf Referenzmessungen mit einem Wild-Reflektor GDR 31. Mit jedem Reflektortyp wurden vier Messungen ausgeführt, wobei zwischen den Beobachtungen der Reflektor jeweilen auf einem Schlitten auf einer liegenden Nivellierlatte um 10 cm verschoben wurde. Vor der Berechnung der Konstanten wurde der Einfluss des zyklischen Fehlers und der Schiefe der Visur berücksichtigt. Temperatur und Luftdruck waren in der kurzen Zeit der Messung genügend konstant, um vernachlässigt werden zu können. Die mittleren Fehler der Reflektorkonstanten betragen ±1.5 mm auf 450 m und maximal ±1.0 mm bis Entfernungen von 100 m. Die Reflektorkonstanten weisen eine Distanzabhängigkeit auf, die aber nur zwischen 5 m und 30 m gesichert ist. Die Reflektorkonstanten sind wie folgt anzubringen:

$$D_{korr} = D_{gem} + a + z + r$$

D_{korr} entspricht der korrigierten schiefen Distanz, D_{gem} der gemessenen schiefen Distanz. a ist die Additionskonstante des Distanzmessers bezüglich des dazu gebräuchlichen Reflektortyps, z die Korrektion des zyklischen Fehlers (unter der [falschen] Annahme, sie sei für beide Reflektortypen gleich) und r die Konstante eines Reflektors fremden Fabrikats. Wird nur mit Reflektoren fremden Fabrikates gemessen, so bestimmt man natürlich direkt a und z mit diesem Reflektortyp.

Die Reflektorkonstanten r lassen sich auch aus den Messungen auf der Zyklusstrecke errechnen (Kap. 3). Da aber die auf solche Art ermittelten r wesentlich grössere mittlere Fehler als jene aus der erstgenannten Bestimmung aufweisen und sich beim DM 500 zudem die Unterschiede der E innerhalb eines Tages (Tab. 4) nicht nur mit zufälligen Fehlern erklären lassen, verzichten wir auf eine Darstellung der Resultate.

2.73 Hinweise für den Praktiker

Mit dem DM 500 sind keine Messungen auf Wild- oder AGA-Reflektoren möglich. Dagegen gestatten DI 3, DI 10 und Geodimeter 6 BL Distanzmessungen auf Kern-DM-500-, AGA- und Wild-Reflektoren, mindestens in gewissen Entfernungsbereichen.

Es empfiehlt sich, die Reflektorkonstanten in jenen Entfernungsbereichen zu ermitteln, in denen später Messungen ausgeführt werden sollen. Die Reflektorkonstanten sind wenigstens auf kurze Entfernungen (bis maximal 30 cm) distanzabhängig (vgl. hiezu Tabelle in 2.72). Die Konstanten werden zweckmässigerweise durch direkten Austausch von Reflektoren auf verschiedene Entfernungen bestimmt. Das in den Kapiteln 2.72 beziehungsweise 9 erläuterte Verfahren hat sich bewährt und liefert zugleich Genauigkeitsaussagen. Dabei haben wir das für einen Distanzmesser übliche Zielverfahren übernommen und daher mit dem DI 3 alle Reflektoren 4.5 cm senkrecht unter Reflektormitte optisch angezielt.

3. Zyklische Fehler

3.1 Messanlage und Berechnungen

3.11 Messanlage

Auf der Zyklusmessstrecke der Firma Kern in Aarau (vgl. [11]) wurden in drei Etappen, die etwa 10 beziehungsweise 29 Wochen auseinanderliegen, insgesamt 31 Messserien ausgeführt.

Die Messstrecke hat folgende Anordnung:

- Zwangszentrierung des Distanzmessers auf festem Sockel.
- Ein elektronisch gesteuerter Wagen mit aufmontiertem KERN-DM-500-Reflektor bewegt sich auf Schienen mit Haltestellen im Abstand von genau einem Meter im Bereich von 100 bis 120 m Entfernung.
- Die Messstation und die Fahrschienen des Reflektorwagens sind durch ein Vordach vor direkten Witterungseinflüssen geschützt. Die Einspielungenauigkeit des Wagens an den Haltestellen wurde durch Anfahren von beiden Seiten geprüft und ist gegenüber der Messungenauigkeit der verwendeten Geräte vernachlässigbar.

Die Distanzen von 100 bis 120 m liegen innerhalb einer ganzen Wellenlänge beziehungsweise einem Vielfachen davon und liefern somit Informationen über systematische Fehler mit der Periode 2π.

3.12 Berechnungen

Die Auswertungen der Messreihen, die mit Hilfe eines FORTRAN-Programms ausgeführt wurde, erfolgte als vermittelnde Ausgleichung mit folgendem mathematischem Modell (vgl. hiezu Abb. 4):

Beobachtungsgleichungen:

$$\overline{L_i} = E + D_i + A \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda} \cdot (E + D_i - P)\right]$$

$$= \overline{L_i}(E, A, P)$$

Die Unbekannten sind:

E: Distanz zur ersten Haltestelle
A: Amplitude der Sinusfunktion
P: Distanz zum ersten Nulldurchgang der Sinusfunktion

Die Wellenlänge λ und die Distanzen d von 1 Meter zwischen den Haltestellen wurden als Konstante eingeführt. Die Wellenlänge λ der Sinus-Funktion entspricht der Masseinheit der Distanzmessung und auch der halben Wellenlänge der Modulationsfrequenz. Für die i-te Distanz L_i einer Messreihe beträgt D_i

$$D_i = (i - 1) \cdot d$$

Die Messwerte wurden ohne Anbringen von meteorologischen oder geometrischen Korrekturen in die Ausgleichung eingeführt, da solche Korrekturen für ein und dieselbe Messserie nahezu konstant sind (horizontale Visur, kurze Zeitspanne) und darum keinen Einfluss auf die Resultate haben. Hingegen muss die Distanz E nach der Ausgleichung meteorologisch korrigiert werden.

In Geräten mit digitaler Phasenmessung (DI 3, DM 500) entstehen zyklische Fehler aus Überlagerungsfehlern allein, während sich bei Geräten mit Resolverschaltungen (DI 10) die Resolverfehler (ebenfalls periodisch) superponieren (vgl. [6]). Auf eine getrennte Bestimmung der beiden Einflüsse beim DI 10 wurde verzichtet mit der Begründung, dass erhebliche Einflüsse von Resolverfehlern auch in einer graphischen Darstellung der Restfehler in Funktion der Distanz sichtbar werden müssten.

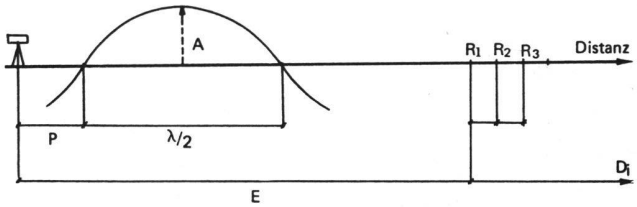

Abbildung 4: Das mathematische Modell der Ausgleichung.

3.2 DM 500

Im DM 500 wird der Messwert durch Überlagerung einer Sinus-Schwingung korrigiert, deren Phase und Amplitude durch Einstellen der Amplituden ihrer cos- und der sin-Komponente so gewählt werden kann, dass der Einfluss periodischer Fehler auf ein unter der inneren

Datum 1974/1975	Serie Nr.	Anz. Beob. n	m.F. einer Beob. mm	Strecke E (met. korr.) Meter	m_E mm	Amplitude A mm	m_A mm	Nullpunkt P mm	m_P mm	Bemerkungen V = H'stellen vorwärts angefahren R = H'stellen rückwärts angefahren
10. 4.	1	21	±1.8	100.2064	±0.4	− 1.8	±0.6	−871.5	±494.9	Fabrikmessung Firma Kern
10. 4.	2	21	1.5	100.2042	0.3	+ 1.4	0.5	−389.8	536.8	Fabrikmessung Firma Kern
12. 6.	3	21	10.3	100.2090	2.2	−11.8	3.2	+368.3	420.3	Beobachtungen: 2 Ausreisser
12. 6.	3′	11	2.0	100.2129	0.6	−11.7	0.9	+778.7	114.3	2. Teil von Serie 3
12. 6.	4	11	1.8	100.2161	0.6	−13.0	0.8	+108.6	91.2	nach Neu-Justierung der Ziellinie
12. 6.	5	11	1.9	100.2117	0.4	+ 3.8	0.6	+355.9	235.1	nach Neu-Justierung sin/cos, Beob. = Mittel aus (1×V + 1×R)
12. 6.	6	21	2.6	100.2115	0.4	+ 4.1	0.6	− 35.7	213.5	Beob. = Mittel aus (2×V)
20. 8.	7	21	3.8	100.2127	0.8	+ 4.1	1.2	− 51.7	447.9	V, vgl. Abb. 5
20. 8.	8	21	4.0	100.2123	0.9	+ 4.3	1.3	+482.2	467.5	R
20. 8.	9	11	1.3	100.2083	0.4	+ 4.4	0.6	−275.5	191.0	V
20. 8.	10	21	1.8	100.2074	0.4	− 2.1	0.6	+286.7	441.4	V; nach Neu-Justierung sin/cos
20. 8.	11	21	1.2	100.2056	0.3	− 1.7	0.4	+349.9	333.2	V; nach Neu-Justierung sin/cos
11. 3.	12	21	2.3	100.2062	0.5	− 2.0	0.7	−533.3	556.3	V
11. 3.	13	21	1.8	100.2063	0.4	− 0.6	0.6	+ 93.0	1527.0	R

Tabelle 4: Resultate der Zyklusmessungen DM 500 (λ = 10 m)

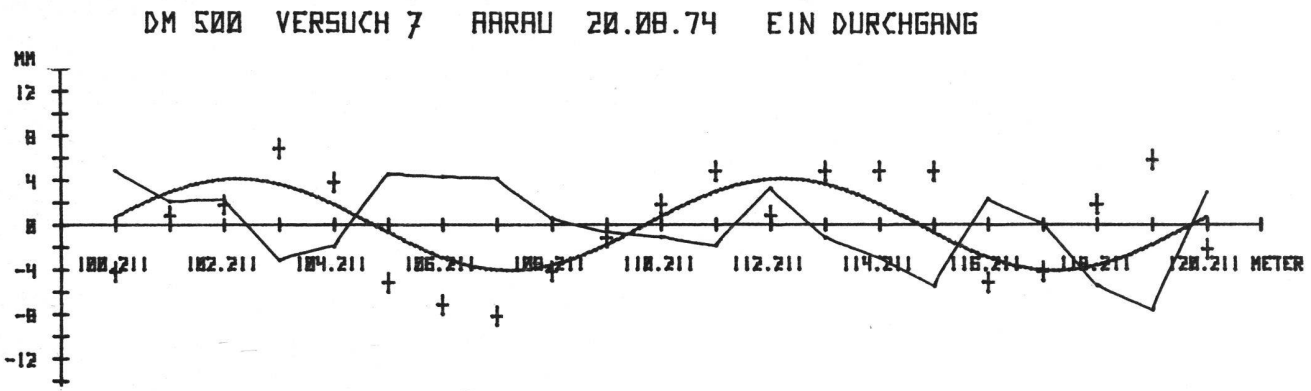

Abbildung 5: Graphische Darstellung eines Versuches mit DM 500. Die Beobachtungswerte sind durch Kreuze, die Verbesserungen (Restfehler) durch geradlinige Verbindungen erkennbar. Die Sinuskurve entspricht dem zyklischen Fehler.

Messgenauigkeit liegendes Mass reduziert wird. Die Zyklusmessungen mit dem DM 500 zeigen daher nicht allein den Einfluss von Überlagerungsfehlern, sondern die Summe aus diesen und den Korrekturfunktionen. Sie ermöglichen aber die Kontrolle der Justierung und ihrer zeitlichen Veränderung.

Die Auswertung von insgesamt 13 Messserien ergab für die Strecke E und für die Amplitude A Genauigkeiten in der Grössenordnung von ½ Millimeter, während die Beträge sowie auch deren mittlere Fehler für die Grösse P (Lage des Nulldurchganges der Funktion) sehr unterschiedliche Werte haben (Tab. 4).

Zwar leuchtet sofort ein, dass P um so ungenauer bestimmbar ist, je weniger die Amplitude A beträgt, aber weil im Resultat selbst das Vorzeichen nicht einheitlich ist und die mittleren Fehler an P in der Grössenordnung von mehreren Dezimetern den Beträgen der Unbekannten selbst nahekommen, kann keine eindeutige Aussage über die Grösse P gemacht werden. Anhand der Elemente der Qxx-Matrizen lässt sich nachweisen, dass der Einfluss von P auf die Werte von A und E sehr gering ist, so dass man mit Vorteil auf die Einführung von P als Unbekannte verzichtet hätte, wobei dann P = 0 zu setzen wäre.

Die Resultate für die Strecke E variieren um maximal 11.9 mm, an den einzelnen Versuchstagen um 2.2 beziehungsweise 7.1 mm. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Amplitude des zyklischen Fehlers und Additionskonstante konnte nicht nachgewiesen werden.

Auf Grund der Ausgleichung ergeben sich mittlere Beobachtungsfehler im Betrage von ±1.2 bis ±4.0 mm. Diese Schwankungen der Messgenauigkeit können anhand der vorliegenden Ergebnisse kaum mit meteorologischen Bedingungen oder mit der Justierung der Ziellinien des Geräts in Zusammenhang gebracht werden. Die dritte Messserie weist grobe Fehler auf, die verschiedene Ursachen haben können.

Die starke Veränderung der Amplitude um mehr als 1 cm in der Zeit vom 10. 4. bis 12. 6. 74 dürfte eine Verstellung der cos-/sin-Justierschrauben vermuten lassen. Weil an jedem Versuchstag Neujustierungen vorgenommen wurden, kann die Stabilität einer Justierung erst später, nach weiteren Zyklusmessungen, beurteilt werden. Immerhin blieb die Amplitude in der Zeit vom 12. 6. bis 20. 8. 74 beziehungsweise vom 20. 8. 74 bis 11. 3. 75, wie Tabelle 4 zeigt, ziemlich konstant.

3.3 DI 3

Die Resultate der vier ersten Serien (je zwei pro Versuchstag) zeigen Werte für die Amplitude A zwischen 4.9 und 8.7 mm (mittlerer Fehler = ±1 mm).

Die Zielung erfolgte in der ersten Serie (Abb. 6) optisch auf das Zentrum des KERN-Reflektors, in den Serien 2, 3 und 4 durch Einstellen auf maximales Empfangssignal (Tab. 5).

Anstatt auf maximales Empfangssignal einzustellen, hätte man mit Vorteil optisch eine Marke angezielt, die der Konstruktion des DI 3 entsprechend 4.5 cm unterhalb der Reflektormitte anzubringen wäre (vgl. Kap. 4).

Nachträgliche Messungen haben gezeigt, dass der zyklische Fehler sehr deutlich vom verwendeten Reflektortyp abhängig ist:

Auf derselben Messstrecke wurde am 11. 3. 75 mit dem DI 3 je ein Durchgang vorwärts und rückwärts mit dem WILD-GDR-31-Reflektor (Serien 5 und 6) und dem DM-500-Reflektor gemessen, wobei der KERN-Reflektor in den Serien 7 und 8 optisch im Zentrum, in den Serien 9 und 10 4.5 cm tiefer angezielt wurde.

Wie aus den Resultaten der Serien 5 und 6 hervorgeht, schwindet die Amplitude A von über 6 mm auf etwa 1 mm, wenn im Gegensatz zu allen anderen Versuchen der typ-eigene Reflektor verwendet wird. Bei Messung auf den KERN-Reflektor ergibt sich eine um 1 mm kleinere Amplitude, wenn statt auf das Prismenzentrum 4.5 cm tiefer angezielt wird.

Die Amplitude des zyklischen Fehlers des DI 3 mit KERN-Reflektor ist während 6½ Monaten konstant geblieben (vergleiche Serien 1 bis 4 mit Serien 7 und 8). Optimale optische Zielung vorausgesetzt (Serien 5, 6, 9 und 10), liegt der mittlere Fehler einer Beobachtung sowohl mit dem GDR-31- als auch mit dem DM-500-Reflektor bei ±2 mm.

3.4 DI 10

3.41 DI 10 Nr. 10205

Die einzige gemessene Serie liefert zwar wenig aussagekräftige Zahlenwerte (die Amplitude von 6 mm ist kaum grösser als der dreifache mittlere Fehler), gibt aber doch

Datum 1974/1975	Serie Nr.	Anz. Beob. n	m.F. einer Beob. mm	Strecke E (met. korr.) Meter	m_E mm	Amplitude A mm	m_A mm	Nullpunkt P mm	m_P mm	Bemerkungen V = H'stellen vorwärts angefahren R = H'stellen rückwärts angefahren
DI 3 (λ = 20 m)										
12. 6.	1	21	±2.5	100.2202	±0.6	+7.5	±0.8	− 62.6	± 326.1	V; vgl. Abb. 6
12. 6.	2	21	3.8	100.2235	0.8	+8.7	1.2	− 29.9	419.5	V; Stromzufuhr über Speisegerät
20. 8.	3	21	2.8	100.2219	0.6	+4.9	0.9	+ 885.1	567.2	V
20. 8.	4	21	2.4	100.2216	0.5	+5.5	0.8	+ 68.4	425.0	R
11. 3.	5	21	1.8	100.1347	0.4	+0.7	0.6	+1068.4	2443.9	V, GDR-31-Reflektor
11. 3.	6	21	1.7	100.1339	0.4	+1.1	0.5	− 114.3	1439.4	R, GDR-31-Reflektor
11. 3.	7	21	1.9	100.2167	0.4	+6.7	0.6	− 179.1	277.5	V, zentr. Zielung auf KERN
11. 3.	8	21	2.3	100.2169	0.5	+6.3	0.7	− 221.5	355.3	R. zentr. Zielung auf KERN
11. 3.	9	21	1.8	100.2187	0.4	+5.2	0.6	+ 180.1	327.0	V, Zielung – 4.5 cm auf KERN
11. 3.	10	21	1.9	110.2191	0.4	+5.3	0.6	− 200.0	352.3	R, Zielung – 4.5 cm auf KERN
DI 10 Nr. 10205 (λ = 10 m)										
13. 6.	1	20	±8.4	100.2168	±1.3	+6.2	±1.9	+1649.9	± 482.8	Beob. = Mittel aus (2×V) E = Strecke zur 2. Haltestelle
DI 10 Nr. 10115 (λ = 10 m)										
12. 6.	1	21	±6.2	100.2202	±1.0	−2.0	±1.4	+ 482.4	±1103.4	Beob. = Mittel aus (2×V)
20. 8.	2	21	8.0	100.2108	1.7	−6.5	2.5	+1100.6	602.9	V
AGA Geodimeter 6 BL (λ = 5 m)										
13. 6.	1	21	±4.6	100.2959	±0.7	−1.4	±1.0	+ 433.2	± 563.8	Beob. = Mittel aus (2×V), berücksichtigte Geod.-Konstante = −0.133 mm

Tabelle 5: Resultate der Zyklusmessungen mit DI 3, DI10, AGA Geodimeter 6 BL

einen Anhaltspunkt über die Grössenordnung des periodischen Fehlereinflusses (Tab. 5).

3.42 DI 10 Nr. 10115 (Wippe)

Die Resultate der zwei Messreihen für Amplitude A und Nullpunkt P liegen in der Grössenordnung ihrer zweifachen mittleren Fehler (Tab. 5). Die Differenz von etwa 1 cm in den Resultaten für die Strecke E ergibt sich aus der Verwendung verschiedener Kalibrierungswerte: Im ersten Versuch wurde 0.02 m, im zweiten Versuch 0.01 m eingestellt.

Für beide DI-10-Modelle zeigen graphische Darstellungen der Verbesserungen keine Periodizität, die auf vorhandene Resolverfehler schliessen liesse.

3.5 AGA Geodimeter 6 BL

Die Auswertung einer einzigen Serie von Mittelwerten zweier Durchgänge nach der Standardmethode (vierphasig) ergab keinen nachweisbaren Fehlereinfluss der Periode 2π. Die Messgenauigkeit von ±4.6 mm entspricht den Werkangaben und den Resultaten in Kapitel 2 (Tab. 5). Der angegebene Wert für die ausgeglichene Distanz E enthält die Geodimeterkonstante von −0.133 m, aber keine Reflektorkonstante.

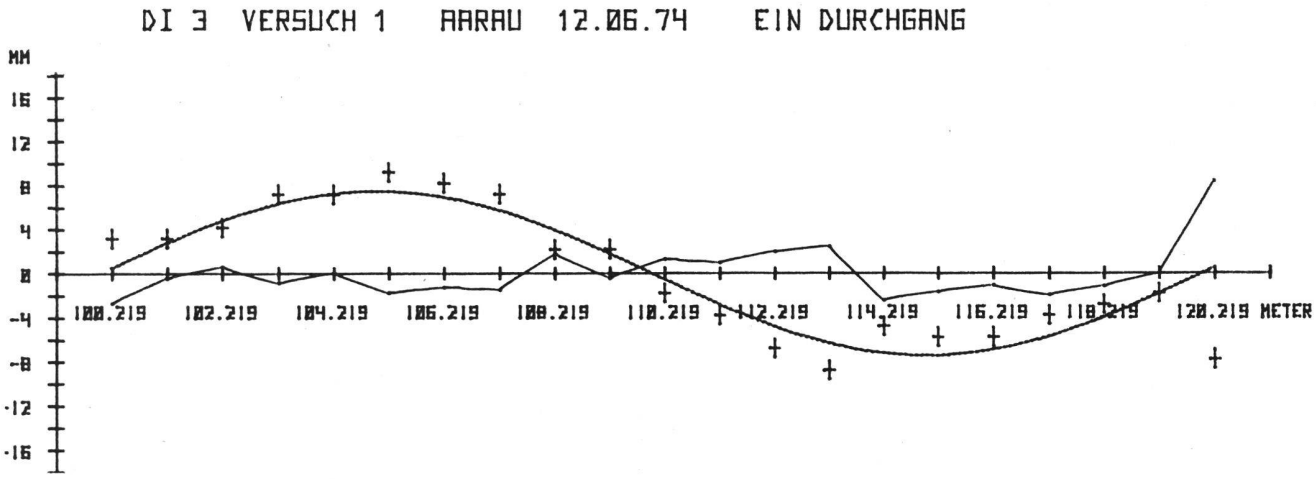

Abbildung 6: Graphische Darstellung eines Versuches mit DI 3. Gleiche Signaturen wie in Abbildung 5.

3.6 Vergleich der Resultate

In den Resultaten für die ausgeglichene Distanz E ist die Additionskonstante des jeweiligen Geräts, bezogen auf KERN-Reflektoren, enthalten. Ein Vergleich dieser Werte E ergibt darum Unterschiede von Additionskonstanten (vgl. hiezu Kap. 2.7).

Da für die Messserien 5 und 6 mit dem DI-3- (Tab. 5) der GDR-31-Reflektor vor dem fest montierten KERN-Reflektor des Wagens angebracht wurde, ist in den Resultaten dieser zwei Serien für die ausgeglichene Strecke E, zusätzlich zu Instrumenten- und Reflektorkonstante, eine konstante Grösse enthalten, die dem Abstand der zwei Reflektor-Stehachsen entspricht.

Die Amplitude des zyklischen Fehlers beim DM 500 betrug am 12. 6. 74 −12 mm, blieb bis zum nächsten Versuch vom 20. 8. 74 bei +4 mm und nach weiteren Justierungen wiederum konstant bei etwa +2 mm, wie am 11. 3. 75 festgestellt wurde (Tab. 4).

Die Versuche mit dem DI 3 ergaben eine Amplitude, die reflektorabhängig ist. Bei Messung auf den WILD-GDR-31-Reflektor beträgt sie rund 1 mm, hingegen 5 bis 8mm bei Messung auf den DM-500-Reflektor. Auf Grund der Ergebnisse der Messungen auf den KERN-Reflektor darf angenommen werden, dass der zyklische Fehler des DI 3 ebenfalls konstant geblieben ist.

Die Resultate für die DI-10-Modelle und das Geodimeter beziehen sich ausschliesslich auf Messungen auf den KERN-Reflektor.

4. Einfluss der Genauigkeit des Anzielens eines Reflektors (Phaseninhomogenitäten)

Wird ein Reflektor nicht genau angezielt, so erhält man zum Teil vom wahren Wert abweichende Messresultate. Man kann diesen Effekt untersuchen, indem man die Zielachse in gleichen Schritten, vertikal und horizontal, vom Reflektorzentrum wegführt und nach jedem Schritt eine Distanzmessung ablaufen lässt. Die entsprechende graphische Darstellung bezeichnet man als Fehlrichtdiagramm. Diesbezügliche Untersuchungen für Wild DI 10, Hewlett-Packard HP 3800B und Wild DI 3 liegen vor ([1], [6]).

Wie Aeschlimann in [7] aufführt, ist diese Erscheinung auf die Inhomogenitäten der Modulationsphase der Sendediode und die Phaseninhomogenitäten der Empfangsdiode sowie auf die daraus resultierende Abhängigkeit des Messwertes vom geometrisch-optischen Strahlengang auf der Messstrecke zurückzuführen. Die Phaseninhomogenitäten sind weiter (wieder nach [7]) für die unperiodische Abhängigkeit der Additionskonstanten von der Distanz sowie für geometrisch-optisch nicht erklärbare Unterschiede zwischen verschiedenen Reflektortypen verantwortlich. Die aus dem Sender austretenden Modulationswellenfronten (Phasengebirge) sind nicht eben. Die mittlere Phasenlage des im Empfänger verarbeiteten Signals wird daher davon abhängig sein, welcher Teil der Wellenfront vom Reflektor zurückgeworfen wird. Diese Abhängigkeit lässt sich in den Fehlrichtdiagrammen darstellen.

Beim DM 500 wird zudem ein Teil des Strahlenbündels des Senders durch die auf der Empfängerseite angeordnete Blende (entgegen den Angaben in [4] und [2]) ausgeschnitten. Daher erfolgt auch eine Untersuchung der Abhängigkeit Distanzwert-Blendenstellung bei DM 500 bei richtiger Anzielung des Reflektors.

4.1 Messanlage

Die Erhebung der Fehlrichtdiagramme wird für die kurzen Distanzen (1.7 m, 3.4 m, 6.8 m) im Labor, für die längeren Distanzen (20 m, 100 m, 450 m) im Felde (Zürcher Allmend) durchgeführt. Die Untersuchungen beschränken sich in diesem Fall auf DI 3 und DM 500. Die Feldarbeiten erfolgten am 12. und 14. November 1974 bei kaltem, nebligem bis sonnigem Herbstwetter.

Der Justierzustand zwischen der Distanzmesserzielachse und jener des Fernrohrs wird zu Beginn der Feldversuche nach den in den Gebrauchsanleitungen empfohlenen Verfahren kontrolliert. Eine Justierung ist bei beiden Geräten nicht erforderlich. Auf jede der obengenannten Entfernungen werden nach einer ersten Distanzmessung bei normal angezieltem Reflektor solche nach Drehung der Alhidade in Intervallen von 2^c nach links und rechts ausgeführt. Die Variation in der Höhe erfolgt analog. Dazwischen wird mehrmals die zentrische Messung wiederholt.

4.2 Fehlrichtdiagramme beim DM 500

Das Empfangssignal wird mit der Blende so verändert, dass der Zeiger des Anzeigeinstruments in die Mitte des grünen Feldes zu stehen kommt. Alle Messungen, die trotzdem bei einer Zeigerstellung unterhalb des grünen Bereiches erfolgen, werden im Diagramm speziell gekennzeichnet. Das Instrument bleibt während des ganzen Versuches in Betrieb. Die Blendenstellung wird bei Bedarf verändert. In den Diagrammen sind die Änderungen der Blendeneinstellung bei den Labormessungen mit B bezeichnet.

Aus der Abbildung 7 entnehmen wir die Fehlrichtdiagramme in horizontaler Richtung. Die eine Achse der Darstellung gibt jeweilen die Abweichung der Zielachse (in Minuten) und die zweite Achse die Abweichung D der gemessenen Distanz vom entsprechenden Wert bei zentrischer Zielung. Die Fehlrichtdiagramme in vertikaler Richtung zeigen ein ähnliches Bild.

Die Fehlrichtdiagramme werden, wie bereits erwähnt, von verschiedenen Faktoren beeinflusst: Öffnungswinkel des Sendestrahles, Grösse und Form des Reflektors, Abstand von Sende- und Empfangsoptik, Entfernung vom Reflektor, Stellung der Blende, Phaseninhomogenitäten und natürlich von der Streuung der einzelnen Messungen selbst. Die Einflüsse der einzelnen Faktoren überlagern sich und sind schwer zu trennen. Wir beschränken uns daher auf die praktischen Aspekte der Resultate, wobei wir die zufälligen Messfehler vernachlässigen. Im Kapitel 7 werden wir auf einige Teilaspekte näher eingehen.

In den Abbildungen stellen wir fest, dass fehlerhaftes Anzielen bei Distanzen von 100 m und mehr zu kleine Messwerte liefert, bei 6 m und weniger aber eher zu grosse. Will man keine Distanzfehler grösser als 5 mm in Kauf nehmen, so muss man zwischen 3 und 20 m in horizontaler Richtung auf $\pm 5^c$ anzielen, auf 100 m und mehr auf $\pm 1^c$ (oder besser). Die Werte für die vertikale Zielung liegen bei $\pm 2^c$ bei 6 bis 20 m und bei $\pm 0.5^c$ für Distanzen zwischen 100 und 450 m. Da man in der Re-

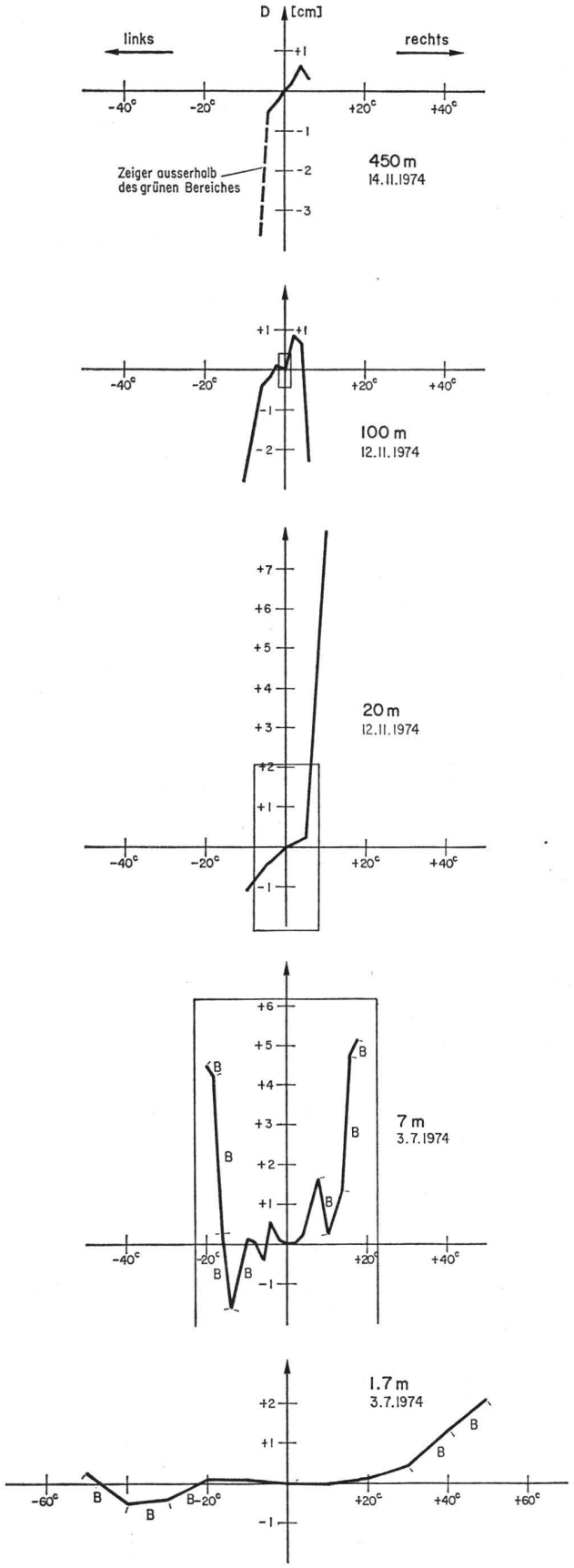

Abbildung 7: Fehlrichtdiagramme DM 500 in Seite auf einen DM-500-Reflektor. Die Rechtecke geben die Umrisse des Reflektors in Winkelmass. In den mit B bezeichneten Intervallen musste die Blende verändert werden.

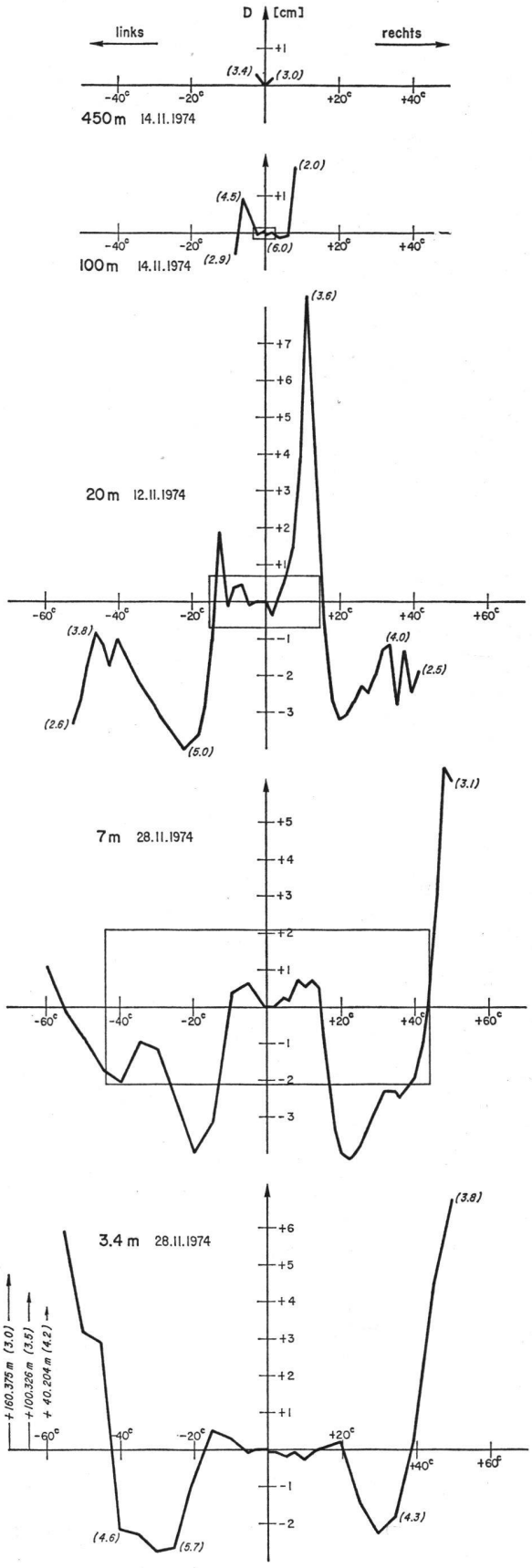

Abbildung 8: Fehlrichtdiagramme DI 3 in Seite auf einen Wild-Reflektor GDR 31. Die Rechtecke geben wiederum die Dimension des Reflektors im Winkelmass an. In Klammern sind einige Galvanometeranzeigen vermerkt.

gel gleichzeitig und in der gleichen Fernrohrstellung Horizontal- und Höhenkreis abliest, wird man wohl immer genau auf Reflektormitte zielen.

4.3 Fehlrichtdiagramme beim DI 3

Das Fernrohr wird hier so lange von der Sollage weggeführt, als noch Distanzmessungen ablaufen können. Die Fehlrichtdiagramme in der Seite finden wir in Abbildung 8. Auf ein Darstellen der Galvanometeranzeige in Funktion des Fehlrichtwinkels wird verzichtet, da eine mögliche Beziehung Distanz – Signalstärke immer durch andere Erscheinungen verfälscht sein wird. Die genannte Abhängigkeit wird in Kapitel 7 behandelt. Messwerte, die zu stark vom Mittelwert abweichen, werden in Zahlen aufgeführt. Liegt die zugehörige Feinmessung im Bereich des Diagramms, so wird eine gestrichelte Linie gezogen.

Das Fehlrichtdiagramm auf 3 m zeigt fehlerhafte Distanzwerte der Grobmessung bei extremer Zielung von 20 m bis 160 m. Ist der Fehler an der Grobmessung 40 m oder grösser, so ist auch die dazugehörige Feinmessung um einige Dezimeter falsch. Sucht man wieder die Zielgenauigkeit, innerhalb welcher keine grösseren Distanzfehler als 5 mm zu befürchten sind, so findet man folgendes: In horizontaler Richtung $\pm 3^c$ für 100 bis 450 m, $\pm 4^c$ für 6 und 20 m, $\pm 12^c$ für 3 m; in vertikaler Richtung $\pm 3^c$ für 100 bis 450 m, $\pm 4^c$ zwischen 6 und 100 m und $\pm 7^c$ bei 3 m. Wie beim DM 500 muss auch beim DI 3 die Höhe genauer als die Seite eingestellt werden. Im Vergleich zu den in [1] veröffentlichten Diagrammen, stellen wir bei 100 m ein unregelmässigeres Verhalten und grössere Abweichungen fest.

4.4 Einfluss der Blendenstellung beim DM 500

Gemäss Gebrauchsanleitung zum DM 500 [8] muss die Blende solange verändert werden, bis der Zeiger des Anzeigeinstrumentes im grünen Bereich steht. Wir stellten bereits bei ersten Messungen fest, dass unterschiedliche Messwerte resultieren, je nachdem man den Zeiger im oberen oder unteren Bereich des grünen Feldes einstellt. In der Folge wurde dann der Zeiger während der ganzen Versuchsperiode immer in jene Stellung gebracht, die sich beim Messen des internen Weges automatisch einstellt. Dieser Effekt kann zwei Ursachen haben: Unterschiedliche Ausschnitte des Strahlenbündels und damit Einfluss der Phaseninhomogenität, unterschiedliche Signalstärken. Mehr dazu im Kapitel 7.

Der Einfluss der Blendenstellung wurde meistens im Zusammenhang mit anderen Versuchen untersucht. Daher ist das Datenmaterial nicht sehr homogen. Die Auswertung finden wir in Abbildung 9. Zur besseren Verständlichkeit der Darstellung wurde eine Skaleneinheit E eingeführt, die in derselben Abbildung definiert ist. Die Messungen auf 100 m und 300 m erfolgten bei starkem Luftflimmern und ebenso starkem Pendeln des Zeigers. Bei Distanzen grösser als 50 m bleiben die Distanzänderungen innerhalb 5 mm zwischen den Zeigerstellungen 7.0, 7.5 und 8.0. Unter 50 m ist eine systematische Änderung der Distanzablesung zwischen E = 7.0 und E = 7.5 um mindestens 5 mm feststellbar. Die Verhältnisse zwischen E = 7.5 und E = 8.0 (wieder bei Distanzen unter 50 m) sind weniger klar. Interessant ist, dass zu

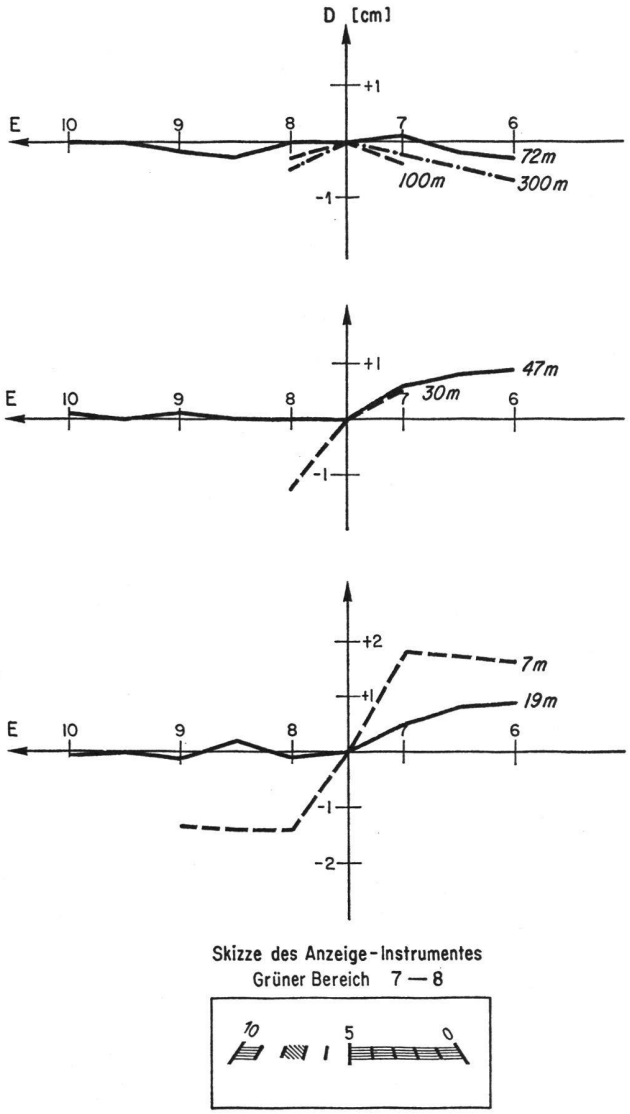

Abbildung 9: Einfluss der Blendenstellung auf die Distanzablesung beim DM 500. D = Distanz, E = Einheiten des Anzeige-Instrumentes (gemäss Skizze in der Abbildung). Die roten Bereiche des Anzeige-Instrumentes sind waagrecht schraffiert, der grüne schräg.

starke Empfangssignale (E grösser als 8.0) keinen Einfluss auf die Distanzangabe haben. Dagegen kommt es bei kurzen Entfernungen sehr darauf an, wo man die Nadel im grünen Bereich einstellt. Auf 7 m Entfernung registriert man um 3.2 cm andere Distanzangaben, je nachdem man die Signalstärke auf die obere (E = 8.0) oder untere Grenze (E = 7.0) des grünen Feldes einpegelt.

4.5 Folgerungen für die Praxis

Die Fehlrichtdiagramme zeigen, wie ungenaues Zielen zu fehlerhaften Distanzwerten führen kann. Da bei beiden Instrumenten (DI 3 und DM 500) eine optische Zielung vorgeschrieben ist, wird man automatisch eine Zielgenauigkeit von $\pm 0.5^c$ einhalten, die bis etwa 450 m vernünftige Distanzen liefert.

Nun darf man aber nicht vergessen, dass eine ungenügende Justierung der Achse maximaler Intensität des Distanzmessers auf die Zielachse des Theodolitfern-

rohres den gleichen Effekt verursacht wie ein falsches Anzielen des Reflektors. Der Justierung und der Überprüfung des Justierzustandes ist daher unbedingt die nötige Sorgfalt zu widmen.
Will man die Genauigkeit der beiden Instrumente voll ausnützen, so möge man folgende Punkte beachten:

1. Die Justierung der Achse des Distanzmessers auf jene des Theodoliten soll immer nach demselben Verfahren, über dieselbe Entfernung und auf denselben Reflektor erfolgen. Das Justierverfahren soll eine Genauigkeit von $\pm 0.5^c$ erreichen (DM 500, 450 m).
2. Der Justierzustand ist häufig zu überprüfen und allenfalls zu berichtigen. (Am besten nach jedem Aufsetzen des Gerätes auf den Theodoliten.)
3. Insbesondere ist vor jeder Additionskonstantenbestimmung der Justierzustand peinlich genau zu überprüfen, damit sich die Additionskonstante auf ein gut justiertes Gerät (nach Angaben in 1.) bezieht.
4. Beim DM 500 muss die Stelle im grünen Feld ein für allemal festgelegt werden, auf die das Empfangssignal abgestimmt werden soll (zum Beispiel die Signalstärke des internen Messweges).
5. Das Messen von Distanzen in 2. Lage mit dem DM 500 ist (gemäss [8], entgegen [4]) zu unterlassen, weil das Gerät nur in 1. Lage auf den Justierschrauben aufliegt. In 2. Lage kann die Justierhaltung verloren gehen, womit (gemäss Fehlrichtdiagrammen) mehr oder weniger falsche Distanzen resultieren.

(Fortsetzung folgt)

Das amtliche Vermessungswesen der Schweiz

H. Matthias

Übersicht über die Vorlesung für Kultur- und Vermessungsingenieure an der Abteilung VIII der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Fortsetzung)

3.8 Unterhalt der Triangulation IV. Ordnung (2)

3.81 Schutz der Vermessungsfitpunkte
3.82 Unterhalt, Nachführung und Erneuerung

3.82.1 Periodische Begehung der Triangulationspunkte. Durchzuführende Kontrollen. Wiederherstellung der Versicherung. Nachführung der Versicherungsprotokolle
3.82.2 Punkte neu bestimmen. Punkte verlegen
3.82.3 Erneuerung von Teilsektionen
3.83 Organisation und Durchführung. Beteiligte Instanzen

4. Kapitel: Vermarkung

4.1 Allgemeines (1)

4.11 Überblick. Vermarkung in Gebieten ohne Vermessung. Revision in Gebieten mit alter, provisorisch anerkannter Vermessung. Vermarkung im Anschluss an Güterzusammenlegung oder Baulandumlegung
4.12 Bedeutung der Vermarkung.
4.13 Schutz der Grenzpunkte
4.14 Entwicklung neuer Vermarkungsmaterialien

4.2 Vermarkung in Gebieten ohne Vermessung, Erstvermarkung (1)

4.21 Organisatorisches (1)
4.21.1 Auftraggeber, Unternehmer, Taxation, Werkvertrag
4.21.2 Kommunale Vermessungskommission, Aufgaben. Zusammenwirken Kommission, Geometer, Grundeigentümer
4.21.3 Öffentliche Bekanntmachungen. Etappenbildung, Administration
4.21.4 Organisation der Vermarkungsarbeiten, Steinsetzer
4.21.5 Auflage der Vermarkung, Einsprachen, Beschwerdenerledigung, Rechtskraft. Kantonales Recht
4.21.6 Finanzierung, Kostenverteiler. Durchschnittliche Punktkosten

4.22 Vermarkungskroki. Verschiedene Grundlagen. Blatteinteilung. Massstab. Führung während der fortschreitenden Arbeit. Detaillierte Legende (1)

4.23 Grundeigentumsverhältnisse und Grenzen (1)

4.23.1 Feststellen der Grundeigentumsverhältnisse und Servitute. Eigentümerverzeichnis. Identifikation der Grundstücke mit Nummern vorhandener Liegenschaftsregister. Weitere Grundlagen wie Kantonale Grundbücher, Interimsregister, Rechtsausweise
4.23.2 Grenz- und Rechtsfeststellung im Gelände. Mitwirkung der Grundeigentümer
4.23.3 Unklarer Grenzverlauf. Streitiger Grenzverlauf. Vorgehen bis zum definitiven Entscheid. Kantonale Normen
4.23.4 Grenzkorrekturen, Grenzbegradigung, Flächenabtausch

4.24 Gegenstände der Vermarkung. Vermarkungsanordnung. Vermarkungsmaterial

4.24.1 Allgemeines. Was ist zu vermarken? Grundstückgrenzen, Landes-, Kantons-, Gemeindegrenzen. Öffentliche Strassen, Wege, Gewässer. Eisenbahnen. Von Fall zu Fall Waldabteilungsgrenzen, selbständige dauernde Rechte, beschränkte dringliche Rechte
4.24.2 Vermarkungsgrundsätze
4.24.3 Anordnung der Grenzzeichen. Strassen, Gewässer, Kurven, Überbauung
4.24.4 Vermarkungsmaterial. Art der Grenzzeichen. Arbeitsweise bei der Versicherung