

**Das  
Mekometer ME 5000 –  
Ein neuer  
Präzisionsdistanzmesser**

D. Meier / R. Loser  
Kern & Co. AG  
CH-5001 Aarau Schweiz

The logo for KERN, featuring the word "KERN" in a bold, black, sans-serif font. The text is centered and overlaid on a horizontal bar that is yellow on top and teal on the bottom.

**KERN**

**Zusammenfassung**

Im nachfolgenden Bericht wird der neu entwickelte Präzisionsdistanzmesser KERN Mekometer ME 5000 vorgestellt. Neben einer kurzen Beschreibung der Funktionsweise wird über erste, unter verschiedenen Bedingungen erzielte Messergebnisse berichtet. Besondere Beachtung findet dabei die Bestimmung der atmosphärischen Parameter, da sie die Grenze der erreichbaren Messgenauigkeit darstellen. Abschliessend wird die Verwendung von zwei Lichtwellenlängen diskutiert.

**Summary**

In the following paper the newly developed high precision range finder Mekometer ME 5000 is presented. After giving a short description of the instrument function first results of measurements, which have been carried out under various conditions will be reported. Determination of atmospheric parameters will be considered in detail, as the accuracy of measurement is limited by the accuracy of such determination. Finally, the use of light of two wavelengths is discussed.

**1. Einleitung**

Bei der elektrooptischen Distanzmessung wird zwischen 2 grundlegenden Verfahren unterschieden: die Laufzeitmessung eines Lichtimpulses und die Phasenmessung einer periodisch modulierten Lichtwelle. Zum letzteren gehört auch die im Mekometer (Froome/Bradsell 1961) und Terameter (Bender/Owens 1965) (Hernandez/Huggett 1981) benützte und auf Fizeau 1849 zurückgehende Methode der externen Modulation. Der Vorzug dieser Methode liegt darin, dass Beginn und Ende des Lichtmessweges durch den elektrooptischen Kristall eindeutig, d.h. ohne Einfluss von zusätzlichen elektronischen Laufzeiten gegeben sind. Die Länge des Lichtweges kann folglich aus der Modulationsfrequenz, den Ausbreitungseigenschaften der Lichtwelle und aus der Phasenlage der Rückmodulation eindeutig bestimmt werden. Das Messprinzip erlaubt Auflösungen von 0,01mm und Genauigkeiten von 0,1mm bzw. 0,1ppm.

Das nachfolgend beschriebene Gerät arbeitet wie seine Vorgänger mit einer Polarisationsmodulation. Die Nullabstimmung der Phasenlage erfolgt über eine Änderung der Modulationsfrequenz. Die

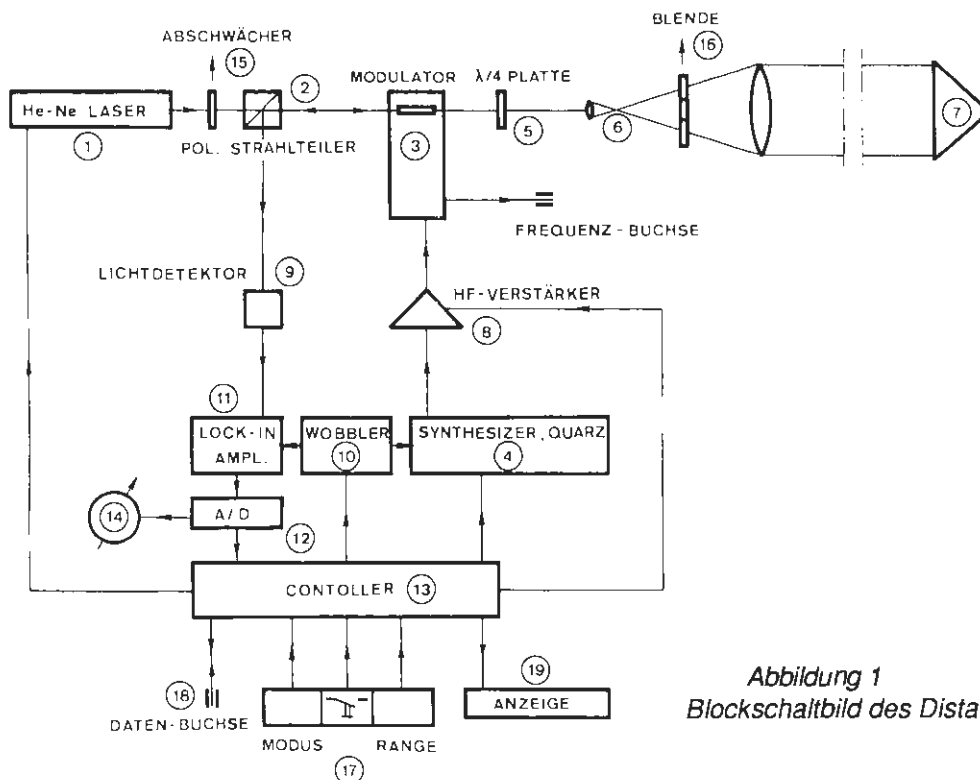


Abbildung 1  
Blockschaltbild des Distanzmessers

Hauptelemente des Gerätes sind neben dem Lichtmodulator/Demodulator ein Frequenzsynthesizer und ein phasenempfindlicher Lichtdetektor.

## 2. Funktionsweise

Ein Helium-Neon Laser (1) sendet kontinuierlich linear polarisiertes Licht von 632,8 nm Wellenlänge aus. Der Lichtstrahl durchläuft den in der gleichen Richtung polarisierenden Strahlteiler (2) unbeeinflusst und wird im Modulator (3) mit der vom Synthesizer (4) gegebenen Frequenz ( $\approx 500$  MHz) polarisationsmoduliert. Die  $\lambda/4$  Platte (5) dient zur Temperaturkompensation des Modulationskristalles. Nach dem Strahlauflauf (6) läuft die modulierte Welle über den Messweg und wird am Ziel von einem Tripelspiegel (7) reflektiert. Nach dem Zurücklaufen, dem Verengen und dem nochmaligen Durchgang durch die  $\lambda/4$  Platte, wird die Lichtwelle in dem nun als Demodulator wirkenden elektrooptischen Kristall rückmoduliert. Ist die bei Austritt und die bei Wiedereintritt vorhandene Phasenlage des vom Verstärker (8) gelieferten Modulationssignales gleich, so wird die ursprünglich lineare Polarisation wiederhergestellt. In diesem Fall fällt kein Licht auf die Detektionsdiode (9). Diese Nullstelle tritt immer dann auf, wenn die Distanz ein ganzzahliges Vielfaches der halben Modulationswellenlänge ( $\approx 30$  cm) ist (siehe Abbildung 2).

Die Beziehung zwischen der Distanz  $D$ , der Modulationsfrequenz  $f$  und der auf den Detektor fallenden Lichtstärke  $I$ , ist durch folgende Formel gegeben (Froome 1966).

$$I = 1/2 - 1/2 (\cos e) \cdot J_0 [2\pi (V/V_m) \cos (2\pi D \cdot f/c)] \quad (1)$$

wobei

- $e$  = Zusätzliche Polarisationsdrehung auf dem Messweg (insbesondere Tripelspiegel)
- $V$  = Modulationsspannung
- $V_m$  = Bezugsspannung für die Modulationstiefe 1
- $J_0$  = Besselfunktion 1.ter Art 0.ter Ordnung
- $c$  = Lichtgeschwindigkeit

Zur genauen Bestimmung der Frequenz in der Nullstelle, wird das Modulationssignal durch den Wobbler (10) sinusförmig mit 2 kHz und einem Hub von  $\pm 5$  bzw.  $\pm 2$  kHz frequenzmoduliert. Damit erscheint an der Detektionsdiode im abgestimmten Falle Licht mit der Frequenz 4 kHz. Die im nicht abge-

stimmten Falle auftretende Amplitudendifferenz mit der Frequenz 2 kHz wird im Synchron-Detektor (11) gemessen und über den A/D-Wandler (12) der Recheneinheit (13) weitergegeben. Die Nullstellen-Abstimmung erfolgt über eine Veränderung der Synthesizerfrequenz in Schritten von 0,3 ppm (siehe Abbildung 4).

Für die Signalstärkeanzeige am Instrument (14) wird der gesamte Signalinhalt der Detektionsdiode (9) verwendet. Beim Abfall der Signalstärke unter einen bestimmten Grenzwert wird die Messroutine unterbrochen. Mit der Detektion einer Nullstelle ist eine Feinmessung ausgeführt. Die noch fehlende Anzahl halber Modulationswellenlängen  $N$  (vgl. Abb. 2) kann aus der Bestimmung der Frequenzdifferenz zwischen zwei benachbarten Nullstellen berechnet werden. Bei grossen Distanzen liegen diese sehr nahe beisammen. Eine genaue Frequenzdifferenz kann deshalb durch eine Messung bei  $k$  übersprungenen Nullstellen erreicht werden. Schlussendlich lässt sich die Distanz mit folgender Formel berechnen.

$$D = \text{Rnd} [k \cdot f_0 / (f_k - f_0)] \cdot c / (2 f_0) \quad (2)$$

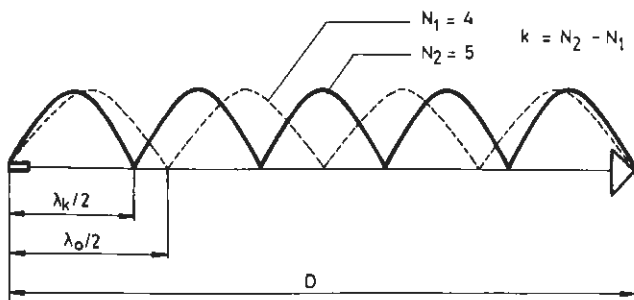
mit

- $k$  = Anzahl „übersprungene“ Nullstellen  
(Für benachbarte Nullstellen gilt:  $k = 1$ )
- $\text{Rnd}$  = auf ganze Zahl gerundet
- $c$  = Lichtgeschwindigkeit
- $f_0$  = Frequenz der ersten Nullstelle
- $f_k$  = Frequenz der  $k$ -ten Nullstelle

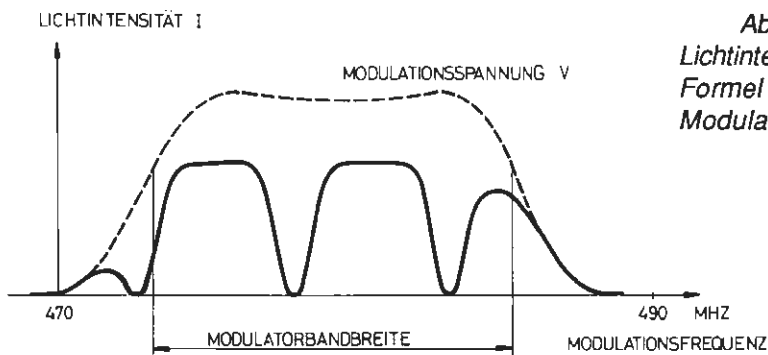
Der Modulator (3) ist als Zweikreis-Resonator ausgebildet. Die ausnützbare Bandbreite beträgt 15 MHz (siehe Abb. 3). Aufgrund der thermischen Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten der elektrooptischen Kristalle verschiebt sich der Modulationsbereich mit der Temperatur ( $0,2$  MHz/°C), was eine Kontrolle erforderlich macht. Das geschieht durch ein elektrisches Ausmessen beim Einschalten des Gerätes. Welche Nullstellen schlussendlich ausgemessen werden, ist für die Genauigkeit der Distanzmessung unwichtig.

Der Bestimmung der Anzahl halber Modulationswellen  $N$  ist bei kurzen Distanzen eine Grenze gesetzt (10 m). Im Zusammenhang mit der begrenzten Frequenzauflösung des Synthesizers, gilt dies auch bei langen Distanzen ( $> 5$  km). Bei bekannter Grobdistanz ( $\pm 0,2$  m) kann der untere sowie der obere Bereich erweitert werden.

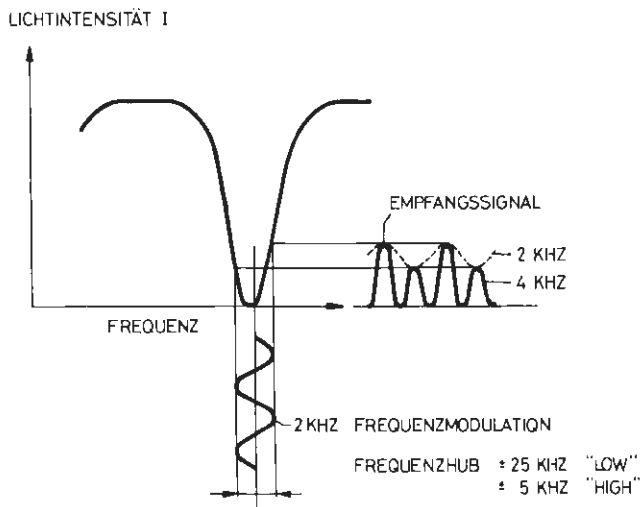
Weitere Zusatzeinrichtungen sind ein Lichtabschwächer (15) und eine Blende (16). Sie werden



**Abbildung 2**  
 Beispiel einer Messdistanz  $D$  als ganzzahliges Vielfaches der halben Modulationswellenlänge  $\lambda_0/2$  bzw.  $\lambda_k/2$ . Die zugehörige Frequenz ist  $f_0 = c/\lambda_0$  bzw.  $f_k = c/\lambda_k$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Die Grösse  $k$  wird für die Distanzberechnung nach Gleichung (2) benötigt.



**Abbildung 3**  
 Lichtintensität an der Empfangsdiode nach Formel (1) bei Berücksichtigung der beschränkten Modulationsbandbreite.



**Abbildung 4**  
 Frequenzbestimmung der Nullstellen über die 2 kHz Frequenzmodulation resp. 2 kHz-Komponente des Empfangssignals.

bei kurzen Messdistanzen eingeschaltet, um ein Übersteuern der Lichtdetektion zu vermeiden. Ebenso wird im Bereich „< 500 m“ der Frequenzhub auf  $\pm 25$  kHz, im Bereich „> 500 m“ auf  $\pm 5$  kHz gesetzt.

Das Gerät kann über die Bedienelemente (17) oder über die Datenschnittstelle (18) angesteuert werden. Die gemessene Distanz wird im „LC-Display“ (19) auf  $1/10$  mm angezeigt. Die Frequenzbuchse dient zur Überprüfung der Modulationsfrequenz.

Zur Messung wird mit dem „range-Schalter“ der Messbereich gewählt. Der Arbeitsbereich für „low range“ (< 500 m) reicht von ca. 10 m bis 1000 m, der für „high range“ (> 500 m) von ca. 50 m bis 10 km wobei die optimale Schaltgrenze bei ca. 500 m liegt. Durch das Drehen des Funktionsschalters in „measure“-Stellung bzw. durch Knopfdruck wird die Anzeige zu „Null“ gesetzt und der Laser eingeschaltet (Zielmodus). Anschliessend ist das Gerät auf maximale Signalstärke auszurichten. Die Messung wird durch einen weiteren Druck auf die Taste ausgelöst. Es werden im folgenden 3 Nullstellen, am Anfang, am Ende und in der Mitte des Modulatorbereiches als Feinmessungen ausgemessen und nach Gleichung (2) als Distanzen gerechnet. Dabei wird die Anzahl der halben Modulationswellenlängen  $N$  aus der Frequenzdifferenz zwischen den beiden „äusseren“ Frequenzen bestimmt. Am Ende der Messung wird der Laser abgeschaltet. Die Messzeit beträgt ca. 1,5 Minuten. Angezeigt wird das Mittel der 3 Messungen. Im „Trackingmodus“ wird die Feinmessung in der Mitte des Resonators mit einer Repetitionsrate von ca. 10 Sekunden wiederholt und angezeigt. Alle bei der Messung erhaltenen internen Daten können über die Datenschnittstelle (18) abgerufen werden. Alle Distanzen sind auf einen, der trockenen Normalatmosphäre von  $15^\circ\text{C}$  und 760 Torr (incl.  $\text{CO}_2$ ) entsprechenden Berechnungsindex von  $(n_g - 1) \cdot 10^8 = 28451.4844$  (Edlen 1965) bezogen. Die Rückrechnung mit der tatsächlich vorhandenen Temperatur, dem Druck und der Einbezug der Luftfeuchte muss im externen Rechner erfolgen.

### 3. Atmosphärische Einflüsse auf die Messgenauigkeit

Als grobe Abschätzung gilt: 1 ppm Distanzänderung ergibt sich aus  $1^\circ\text{C}$  Temperatur-, 3 hPa Druck- oder 20 Torr Wasserdampfdruckänderung. Durch das Auflösungsvermögen der verwendeten

Messinstrumente ist die Erfassung der Temperatur auf  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , des Druckes auf  $\pm 0,3$  hPa und der Luftfeuchte auf  $\pm 5\%$  ( $\approx 0,5$  Torr Wasserdampfdruck) begrenzt. Deshalb beträgt der Fehler der meteorologischen Korrektur bei optimalen klimatischen Bedingungen  $\pm 0,2$  ppm.

Da in den meisten Fällen die meteorologischen Daten nur in den Endpunkten gemessen werden, ist die Korrektur der Distanzen nicht immer mit der gewünschten Genauigkeit möglich. Als besonders kritisch erweist sich die Erfassung der für den Messweg repräsentativen Temperatur. Die nachfolgenden Beispiele sollen zur Abschätzung der tatsächlich erreichbaren Messgenauigkeit unter verschiedenen Bedingungen dienen.

#### 3.1 Messungen an der „Aare-Prüfstrecke“

Die Aare-Prüfstrecke der Firma Kern dient zur Konstantenbestimmung und zur Kontrolle gefertigter Distanzmesser. Bei der Erstellung der Strecke wurde unter anderem versucht, streckenspezifische Atmosphäreneinflüsse zu vermeiden. (Horizontaler Strahlverlauf, konstant ca. 1,70 m über dem Boden, gleichmässiger Bewuchs entlang der Strecke etc.).

Bei konstanten Witterungsbedingungen (sonnig  $t = 16,5^\circ\text{C}$ ,  $p = 983$  hPa,  $f = 50\%$ ) wurden die Distanzen zwischen den 7 Pfeilern (Abbildung 5) in allen Kombinationen gemessen. Die Erfassung von Temperatur, Luftdruck und relativer Luftfeuchte erfolgte während jeder Messung am Ziel- und Standpunkt.

Die freie Ausgleichung der 21 Strecken mit einem „A PRIORI“ Genauigkeitsansatz von  $\pm (0,2 \text{ mm} + 0,2 \text{ ppm})$  bzw.  $\pm 0,25$  mm bei der mittleren Distanz von 250 m (Gewicht 1), führte zu den in Tabelle 1 aufgelisteten Ergebnissen.

Additionskonstante:  $0,04 \text{ mm} \pm 0,04 \text{ mm}$   
Mittlerer Fehler einer Beobachtung mit dem Gewicht 1:

A PRIORI:  $\pm 0,25 \text{ mm}$   
A POSTERIORI:  $\pm 0,11 \text{ mm}$

Der mittlere Fehler von  $\pm 0,11$  mm (Gewicht 1) und die Restverbesserungen (Maximalwert von  $-0,22$  mm) beweisen, dass bei geeigneten Bedingungen und der notwendigen Sorgfalt die relative Messgenauigkeit durch die Grenze der Erfassung, der meteorologischen Daten von ca. 0,2 ppm gegeben ist.

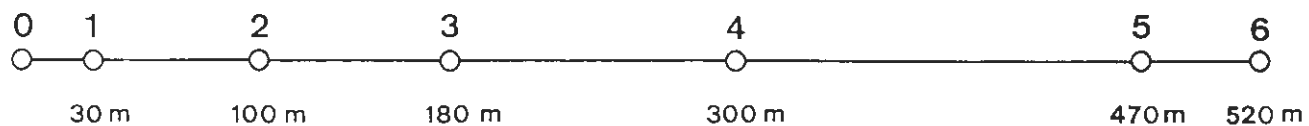


Abbildung 5  
Aare-Prüfstrecke

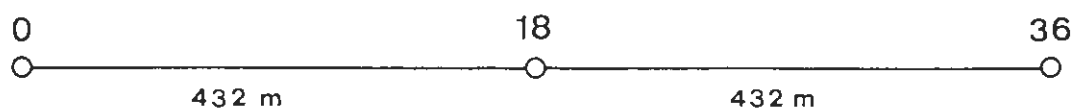


Abbildung 7  
NORMAL-Strecke des DGFI

Tabelle 1

Strecke	Gewicht	Korrigierte Messung [m]	Basisdistanz [m]	V [mm]
0-1	1.56	30.00615	30.00610	-0.05
0-2	1.37	100.01114	100.01119	0.05
0-3	1.19	179.99972	179.99977	0.05
0-4	0.98	299.99974	299.99965	-0.09
0-5	0.76	470.00321	470.00313	-0.08
0-6	0.72	520.01189	520.01203	0.14
1-2	1.44	70.00510	70.00509	-0.01
1-3	1.25	149.99384	149.99367	-0.17
1-4	1.02	269.99347	269.99355	0.08
1-5	0.80	439.99698	439.99703	0.05
1-6	0.74	490.00593	490.00593	0.00
2-3	1.42	79.98844	79.98858	0.14
2-4	1.15	199.98843	199.98845	0.02
2-5	0.88	369.99192	369.99194	0.02
2-6	0.82	420.00106	420.00084	-0.22
3-4	1.32	119.99990	119.99988	-0.02
3-5	0.99	290.00331	290.00336	0.05
3-6	0.92	340.01225	340.01226	0.01
4-5	1.21	170.00353	170.00348	-0.05
4-6	1.11	220.01235	220.01238	0.03
5-6	1.50	50.00890	50.00890	0.00

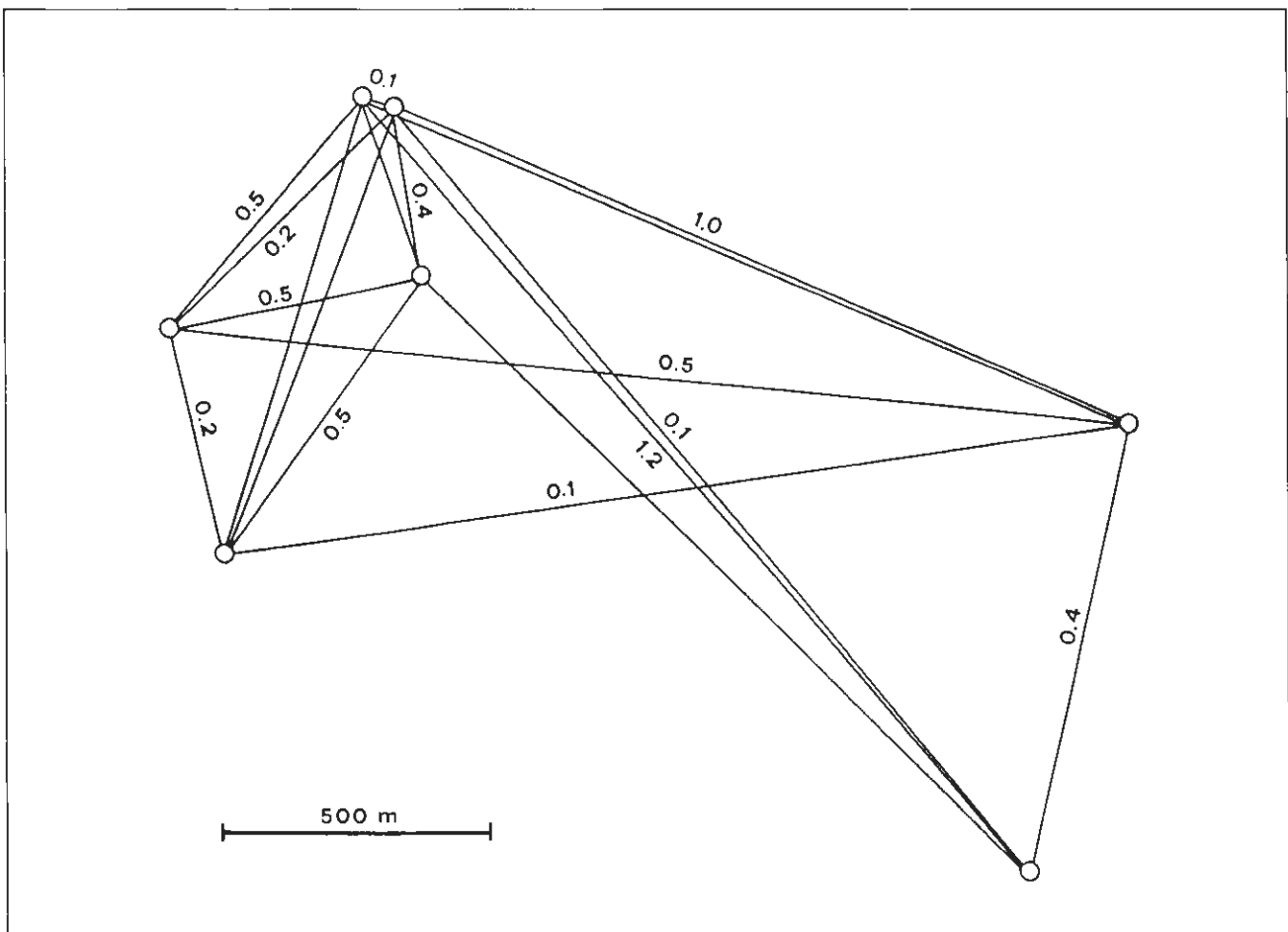
### 3.2 Messungen in einem Lage-Netz

In den meisten Fällen des praktischen Einsatzes von Distanzmessern z.B. in Kontrollnetzen kann nicht von den optimalen Bedingungen, wie sie an Prüfstrecken denkbar sind, ausgegangen werden. Die Messstrecken verlaufen vielfach über unterschiedliche Geländeformen, in verschiedenen Luftschichten, über unterschiedlich bewachsene oder bebaute Gebiete. Diese Umstände verhindern die

Erfassung der tatsächlichen meteorologischen Verhältnisse entlang des Messstrahls durch die Messung am Stand- und Zielpunkt mit der erwünschten Genauigkeit.

Am Beispiel der Messungen in einem Lage-Netz des Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY) in Hamburg, das aus 7 Pfeilern mit Strecken zwischen 30 m und 1920 m besteht (vgl. Abb. 6), soll gezeigt werden, welche Messgenauigkeit realistisch erreichbar ist.

Abbildung 6  
Lage-Netz (DESY-Hamburg). Die Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung sind in [mm] eingetragen.



Die Messungen wurden an zwei Tagen bei unterschiedlichsten, teilweise widrigen Witterungsbedingungen (Sturm, Regen, Schnee und trockene Kälte,  $t = 1,5^{\circ} - 5,5^{\circ}C$ ,  $p = 993 - 1003$  hPa,  $f = 40\% - 95\%$ ) durchgeführt.

Die Differenzen zwischen den Hin- und Rückmessungen (vgl. Abb. 6) geben Aufschluss über die Streuungen von Einzelmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Standardabweichung aus Doppelmessungen  $\sigma = \pm 0,37$  mm). Eine freie Netzausgleichung führte zu einem mittleren Fehler der Gewichtseinheit (1 km) von  $m_0 = \pm 0,13$  mm.

Die bisher erzielten Resultate geben noch keine Auskunft über die absolute Messgenauigkeit. Aus diesem Grund wurden quasi absolute Vergleichsmessungen an einer Strecke mit hinreichend genau bekannten Sollwerten durchgeführt.

### 3.3 Messungen an der NORMAL-Strecke des DGFI

Vom Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI) wird eine NORMAL-Strecke im Ebersberger Forst unterhalten, deren Streckenlängen aus Interferometermessungen (VÄISÄLÄ-Komperator) abgeleitet sind. Die drei Distanzen der in Abbildung 7, Seite 7 dargestellten NORMAL-Strecke wurden jeweils im „low“ und „high range“ in beiden Richtungen gemessen.

Bei relativ konstanten meteorologischen Verhältnissen (teilweise sonnig, überwiegend bewölkt,  $t = 3^{\circ} - 5^{\circ}C$ ,  $p = 960$  hPa,  $f = 50\% - 85\%$ ) ergaben die Messungen folgende Differenzen gegenüber den Sollwerten (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Sollwerte – Korrigierte Messwerte

Strecke	Low Range	High Range
0 – 18	0.45	0.05
18 – 0	0.03	-0.12
18 – 36	-0.01	0.37
36 – 18	0.23	0.30
0 – 36	0.03	0.15
36 – 0	0.08	0.27

Die Grössenordnung und Streuung der Differenzen beweist, dass bei geeigneter Erfassung der Meteorologie keine signifikanten Massstabsfehler entstanden.

### 3.4 Beobachtung der Variation des Brechungsindex

Die mit dem Mekometer ME 5000 erreichbare Messgenauigkeit ermöglicht Messungen, die Rückschlüsse über die Variation des Brechungsindex entlang des Messstrahls zulassen. Zu diesem Zweck wurden im Zeitraum von Juli 1985 bis Januar 1986, 2 Distanzen, 500 m und 2 km, periodisch gemessen. Die Erfassung der meteorologischen Daten erfolgte nur an einer Messstelle nahe des Standpunktes, ohne Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit. Der Messstrahl der 2 km Strecke verlief über ebenes Gebiet in einer konstanten Höhe von ca. 20 m, während bei der 500 m Strecke der Reflektor im Zielpunkt in einer Höhe von 3 m aufgestellt war.

Die Abbildung 8 zeigt die Streuungen der korrigierten Distanzen. Aufgrund der gleichen Messausrüstung und Messmethode ergeben sich die Unterschiede aus den ungenügend genau bestimmten meteorologischen Daten bzw. aus der nicht erfassten Variation des Brechungsindex zu den einzelnen Messzeitpunkten. Trotz der einfachen Erfassung der meteorologischen Daten, traten für beide Strecken nur Streuungen von  $\sigma = \pm 0,7$ ppm auf. Bei günstigen Messbedingungen und noch vertretbarem Aufwand zur Meteorologieerfassung können hingegen Genauigkeiten in der Grössenordnung von 0,2 ppm erreicht werden. Die Messbedingungen können als günstig bezeichnet werden, wenn der Messstrahl nicht in Bodennähe verläuft (min. in 1,50 m Höhe)

- die Distanzen möglichst kurz sind (<1 km)
- der Messstrahl nicht über aufgeheiztes Terrain (Sonneneinstrahlung) verläuft
- die Temperaturdifferenzen zwischen Stand- und Zielpunkt der Normalatmosphäre entsprechen

Dagegen haben Wind, Nebel, Regen und Schnee keinen Einfluss auf den Massstabsfaktor.

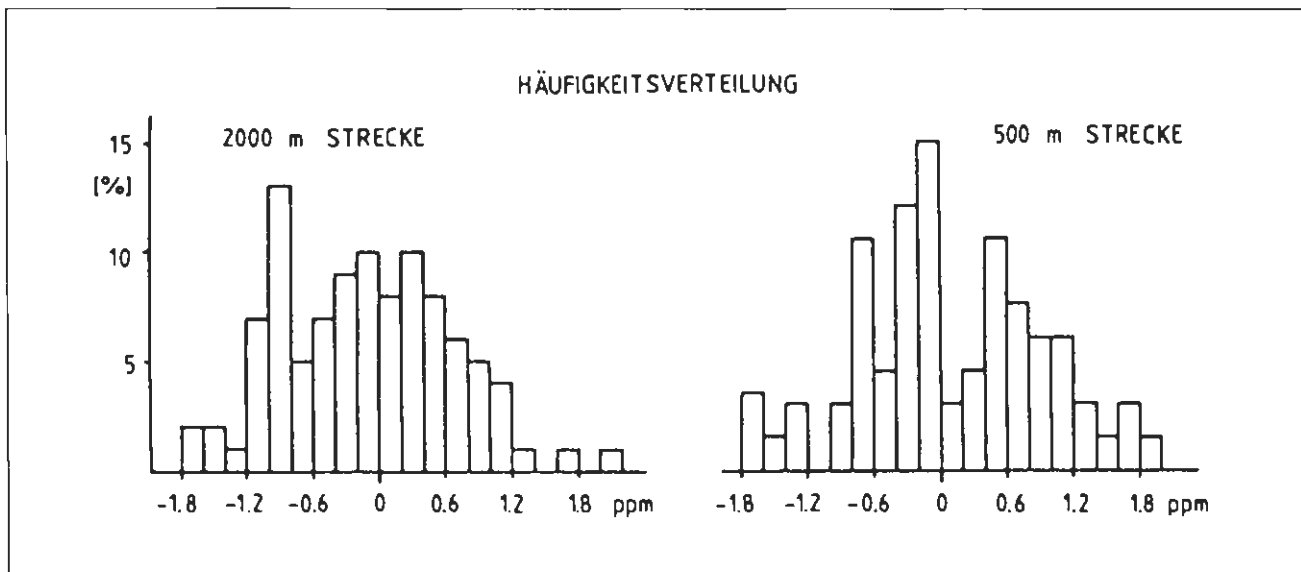


Abbildung 8  
Streuung der Messwerte zweier Distanzen über eine halbjährige Messperiode.

#### 4. Ausblick

In mikroklimatisch schwierigen Gebieten mit hoher Unsicherheit des Brechungsindex bietet sich die Mehrfarbendistanzmessung als einzige Lösung an. Grössere Distanzen können dabei mit Massstabsfehlern von  $< 0,2$  ppm gemessen werden. Bei diesen Geräten kann mit Hilfe von 2 verschiedenen Lichtwellenlängen der Brechungsindex der Luft in erster Ordnung eliminiert werden.

Die atmosphärisch korrigierte Distanz ergibt sich zu:

$$D = L_1 - A(\lambda_1, \lambda_2, T, P_1, P_w) \cdot (L_2 - L_1) \quad (3)$$

wobei

- $L_1$  = Distanz bei Lichtwellenlänge  $\lambda_1$
- $L_2$  = Distanz bei Lichtwellenlänge  $\lambda_2$
- $T$  = Temperatur
- $P_1$  = Luftdruck
- $P_w$  = Wasserdampf-Partialdruck

Abschätzung der Einflüsse der atmosphärischen Parametern auf den Koeffizienten A in Formel (3)

$$\begin{aligned} \Delta D / \Delta \lambda &= 0,2 \text{ ppm} / \text{\AA} \\ \Delta D / \Delta T &< 0,001 \text{ ppm} / \text{C}^\circ \\ \Delta D / \Delta P_1 &= 0,001 \text{ ppm} / \text{hPa} \\ \Delta D / \Delta P_w &= 0,1 \text{ ppm} / \text{hPa} \end{aligned}$$

Der Faktor A liegt bei der Farbkombination He-Ne (632,8 nm) und He-Cd (441,6 nm) bei 20. Eine Fehlmessung der Differenz ( $L_2 - L_1$ ) von 0,05 mm ergibt damit einen Distanzfehler von 1 mm, unabhängig von der Streckenlänge. Aus diesem Grund ist der Einfarbendistanzmesser bei Streckenlängen bis zu 2 km dem Zweifarbandistanzmesser ebenbürtig. Erst bei Distanzen über 2 km wird die Genauigkeit des Zweifarbandistanzmessers höher sein, da die Fehlereinflüsse der atmosphärischen Parameter in A gering sind.

## Literatur

Bender P. L. and Owens J. C. Correction of Optical Distance Measurements for the Fluctuating Atmospheric Index of Refraction. *J. Geophys. Res.*, 70, 1965, 2461

Edlen B. The Refractive Index of Air. *Metrologia* 2, 1965, 71

Fizeau H. Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière. *C.R. hebd. Acad. Sci. Paris*, 29, 1849, 90

Froome K. D. and Bradsell R.H. Distance measurement by means of a light ray modulated at a microwave frequency. *J. Sci. Instr.*, 38, 1961, 458

Froome K. D. and Bradsell R. A. A new method for measurement of distances up to 5000 ft by means of a modulated light beam. *J. Sci. Instr.*, 43, 1966, 129

Hernandez E. N. and Huggett G. R. Two Color Terrameter – Its Application and Accuracy, Technical papers, The American Congress on Surveying and Mapping, Washington D.C., 1981

Sonderdruck aus AVN, Heft Nr. 5. Mai 1987/6  
356d 9. 87.FA In der Schweiz gedruckt

Kern & Co. AG  
CH-5001 Aarau Schweiz  
Optik, Elektronik, Feinmechanik  
Telefon 064 26 44 44  
Telefax II/III 064 24 80 22  
Telex 981106