

Ein Beitrag zur Prüfung der Frequenz an elektronischen Distanzmessgeräten

Autor(en): **Chaperon, F. / Koç, I. / Köchle, J.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **80 (1982)**

Heft 12

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-231190>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

5. Organisationsformen für den Einsatz der EDV bei der Nachführung der Parzellarvermessung

In [2] wurde über Strukturen und Organisation beim Einsatz der EDV für die Parzellarvermessung berichtet. In Abbildung 4 sind nun jene Ideen zusammen mit dem Ablauf von Nachführungsarbeiten gemäss Tabelle 1 bildlich etwas zusammengefasst. Dazu einige abschliessende Bemerkungen.

Im Lauf der Zeit wird es auf Stufe Kanton, evtl. Region, Datenbanken geben, in die die numerischen evtl. auch numerisch-graphischen Dateien der amtlichen Vermessungswerke integriert sind.

Desgleichen werden die Nachführungsgeometer eigene Dateien aufbauen.

In der Phase ③ werden die Daten aus der einen oder andern oder aus beiden Dateien bezogen. Der Mikrocomputer beim Nachführungsgeometer ist dabei als Terminal eingesetzt. Für grosse Datenbestände ist u.U. ein anderer Datentransfer als über Telefonleitung sinnvoll.

Alle Operationen der vorläufigen Verarbeitung ⑤ im Büro, z.B. Definitionen, Berechnungen, Codierungen, graphische Vorlagen, werden im dezentralisierten Nachführungsbetrieb vorgenommen und produziert.

Im Anschluss wird die Mutationsdatei geladen und evtl. die nur noch bedingt gültigen Daten in der Datei Parzellarvermessung und der Kantonaldatei mit einem Vermerk versehen.

Bei der abschliessenden Phase ④ werden die Datei Parzellarvermessung und die Kantonaldatei endgültig mutiert.

Literatur

[1] Matthias, H.: Über Berichtigungsmutationen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 7/82

[2] Matthias, H.: Strukturen und Organisation bei der Einführung von interaktiven numerisch-graphischen Systemen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 4/79

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. H. Matthias
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Ein Beitrag zur Prüfung der Frequenz an elektronischen Distanzmessgeräten

F. Chaperon, I. Koç, J. Köchle, R. Köchle

Nach einigen allgemeinen Ausführungen zur Frequenzprüfung an EDM-Geräten und über Frequenznormale wird die Frequenzmessanlage des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich beschrieben. Daran anschliessend werden die Ergebnisse von Frequenzmessungen an einem Kern DM 501 und Wild DI 4L vorgestellt.

Un bref exposé général sur la calibration de fréquence des appareils EDM et sur des étalons de fréquence est suivi d'une description du banc de mesure des fréquences à l'institut de géodésie et de photogrammétrie de l'EPF Zurich. Puis sont présentés les résultats obtenus lors des tests de fréquence d'un Kern DM 501 et d'un Wild DI 4L.

1. Zweck der Frequenzprüfung

Die meisten in der Vermessung zur Anwendung gelangenden elektronischen Distanzmessgeräte hoher Präzision arbeiten nach dem Prinzip der Phasenvergleichung. Im Gerät wird eine Messwelle von genau definierter Frequenz f (5 MHz bis 500 MHz, je nach Modell) einem Träger aufmoduliert und der gesamte Phasenunterschied Φ zwischen dem Punkt der Abstrahlung und dem Empfangspunkt der über die Messstrecke hin- und zurücklaufenden Messwelle bestimmt. Die zu messende Strecke s ermittelt sich nach der Gleichung

$$s = \Phi \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

worin die Wellenlänge λ der fundamentalen Beziehung

$$f\lambda = c \quad (2)$$

(c die Lichtgeschwindigkeit) entnommen wird.

Aus der ungenauen Kenntnis der in den Gleichungen (1) und (2) enthaltenen Parameter ergeben sich systematische Fehler am Messwert von s , wobei im einzelnen zu nennen wären:

- eine durch sog. *atmosphärische* oder *meteorologische* Einflüsse verursachte Unsicherheit am Wert von c ,
- instrumentell oder ausbreitungsmässig verursachte Fehler an Φ (*Additionskonstante*, *zyklischer Fehler*, *Swing*),
- eine Abweichung Δf vom Sollwert f der Frequenz (*Frequenz-* oder *Massstabsfehler*).

Ein *Frequenzfehler* geht als

$$\Delta s = \frac{\Delta f}{f} s \quad (3)$$

in die Streckenmessung ein, das heisst, der relative Streckenfehler ist gleich dem relativen Frequenzfehler.

Der Frequenzfehler sollte bei genauen Messungen berücksichtigt werden, wenn sein Einfluss von der Grössenordnung der andern Fehlereinflüsse ist.

In fast allen EDM-Geräten stabilisieren die mechanischen Schwingungen eines in die elektronischen Schwingkreise integrierten *Quarzkristalls* die Frequenz der Messwelle (Ausnahme: Hohlraumresonator beim Mekometer). Schwingquarze geben stabilere Schwingungen als rein elektronische Schaltungen, trotzdem müssen für die hohen Genauigkeitsanforderungen bei der Präzisionsstreckenmessung weitere stabilisierende Massnahmen getroffen werden. Die kritische Grenze liegt etwa bei 10^{-5} relativer Genauigkeit. Will man darunter gehen, machen sich hauptsächlich folgende Fehlerquellen bemerkbar (mehr Einzelheiten in [1] und [2]):

1) Eine *Temperaturabhängigkeit der Frequenz*, wie in Abb.1 illustriert. Die Abbildung zeigt die entscheidende Rolle des Schnittwinkels bezüglich der neutralen optischen Achse des Kristalls auf die Temperaturkennlinie. Anhand dieser Kurven, die sich gut durch Polynome 3. Ordnung annähern lassen, kann der Konstrukteur den für seine Zwecke geeigneten Schnittwinkel auswählen, um den Einfluss der Tempera-

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich,
Separata Nr. 41

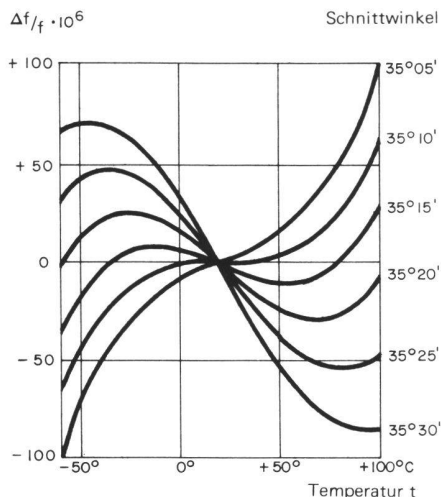


Abb.1 Frequenz-Temperatur-Winkel Kennlinien von metallbeschichteten AT-Typ-Resonatoren aus natürlichem Quarz. Aus Frerking: Crystal Oscillator Design [1]

tur auf die Frequenz möglichst auszuschalten.

Sind die Anforderungen an die Genauigkeit höher als etwa $5 \cdot 10^{-6}$, müssen die Quarze durch eine oder beide der folgenden Massnahmen temperaturstabilisiert werden:

- durch Aufheizen des Quarzes in einem Ofen auf eine konstante Temperatur (z. B. 70°C bei den Distanzmessern SIAL der Firma Siemens-Albis),
- durch Stabilisierung der Schwingung mit elektronischen Kompensationsschaltungen entweder analog oder mit Mikroprozessoren digital (z. B. beim Wild DI 20, vgl. auch [1]).

Dadurch lässt sich $\Delta f/f$ im üblichen Temperaturbereich ohne grosse Schwierigkeit auf $\leq 5 \cdot 10^{-7}$ herabdrücken.

2) Eine *Alterung* des Quarzes, das heisst eine langsame Änderung der Frequenz in Abhängigkeit von der aufsummierten Betriebsdauer. Sie erfolgt bei neuen Quarzen rascher, um dann über die Jahre abzuklingen. Die Berücksichtigung des Alterungseffektes ist zum Beispiel bei Verschiebungsmessungen wichtig, wo über längere Zeit hinaus gemessene Werte miteinander verglichen werden. Frerking in [1] gibt Werte von $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ pro Monat für MIL-Typ-Quarze und $1 \cdot 10^{-11}$ pro Tag für Hochpräzisionsquarze an. Nach dem ersten Jahr Betrieb nennt er typische Werte von 1 bis $5 \cdot 10^{-8}$ pro Woche. Matuschka [6] nennt Richtwerte für die Gesamtalterung nach 30 Jahren von $\Delta f/f \approx 5 \dots 30 \cdot 10^{-6}$ bei Grundfrequenz-Quarzen und $\Delta f/f \approx 1 \dots 5 \cdot 10^{-6}$ bei Oberschwingungs-Quarzen.

3) Eine Abhängigkeit der Frequenz von der *Anregungsleistung* (*Quarzbelastung*). Glaser in [7] gibt die Grössen-

ordnung der relativen Frequenzänderung als 10^{-9} pro μW Quarzbelastung an. Eigenen Messungen an Geräten zufolge, bei denen die Speisespannung (nicht die direkt am Quarz anliegende Spannung) variiert wurde, ist die Abhängigkeit vernachlässigbar klein, es sei denn, die Speisespannung sinke bei fast entladener Batterie unter den kleinsten noch zulässigen Wert ab.

Will man also die Genauigkeit eines Gerätes voll ausschöpfen, muss man in die instrumentell bedingten Korrekturen auch eine Frequenzkorrektur einschliessen. Ideal wäre ein Überprüfen der Frequenz während des Messvorgangs, was bei Geräten mit elektrischem Frequenzausgang möglich ist. Meistens wird man das Temperatur- und Einlaufverhalten der Frequenz für ein bestimmtes Instrument einmal genau untersuchen, sonst aber lediglich die Langzeitstabilität in gewissen Zeitabständen prüfen, in der meist richtigen Annahme, dass Schwingquarze ihr Schwingverhalten nur allmählich und in kleinen Schritten ändern.

2. Frequenznormale

Als Quellen für Bezugsfrequenzen stehen heute verschiedene genaue Frequenznormale zur Verfügung:

1) Das *Atomnormal*, welches genau definierte, atomare Schwingungen von Isotopen der Elemente Wasserstoff, Cäsium oder Rubidium der abgegebenen Normalfrequenz zugrunde legt. Cäsium oder Rubidiumnormale sind im Handel erhältlich, haben eine sehr hohe Genauigkeit von 10^{-10} bis 10^{-12} relativ und einen entsprechend hohen Preis. Angesichts der bei der Prüfung von EDM-Geräten üblichen Genauigkeit von etwa 10^{-7} liesse sich die Anschaffung eines eigenen Atomnormals nur zu diesem Zwecke nicht rechtfertigen.

2) Das genaue *Quarznormale*, das auf der Schwingung speziell geschnittener, in der Temperatur stabiler Quarze beruht. Die Probleme bei der Stabilität von Schwingquarzen wurden bereits in Abschnitt 1 dargelegt. Je nach Qualität darf man mit einer Genauigkeit von 10^{-6} bis 10^{-9} rechnen. Zähler mit guten Quarznormalen kosten etwa ein Viertel bis zur Hälfte eines EDM-Gerätes.

3) Das *über Langwellen verbreitete Atomnormal*, welches mit einer Genauigkeit von 10^{-12} von einem Sender abgestrahlt wird und noch mit einer Genauigkeit von 10^{-9} (mit speziellen Verfahren und langen Beobachtungszeiten bis 10^{-11}) in einem Umkreis von 2000 bis 3000 km Radius am Empfänger zur Verfügung steht. Gewöhnlich ist der Normalfrequenz ein Zeitsignal überlagert. Für die Schweiz kommen die Frequenzsender HBG auf 75 kHz von

Prangins bei Nyon am Genfersee und DCF77 auf 77,5 kHz von Mainflingen bei Frankfurt am Main in Frage. Zum Empfang genügt ein verhältnismässig preisgünstiger Langwellenempfänger. Dies ist unter den angegebenen die bequemste und billigste Lösung, für die wir uns an unserem Institut entschieden haben.

Weitere auf Atomnormalen fundierte, über Langwellen verbreitete Frequenzen stehen in den Signalen der Navigationssysteme OMEGA (10 bis 15 kHz) und LORAN C (100 kHz) zur Verfügung. Ihre Genauigkeit ist vergleichbar mit jener der speziellen Frequenzsender. Der Aufwand beim Herauspräparieren der Frequenz ist allerdings grösser und der Empfang dieser Sender darum in Gegenden interessant, wo die Signale der speziellen Frequenzsender nicht hinreichen.

4) Das *über Kurz- oder Ultrakurzwellen verbreitete Atomnormal*. Normalfrequenzen werden in verschiedenen Ländern auch auf verschiedenen Kurzwellenfrequenzen (5, 10, 15, 20 MHz usw.) über spezielle Frequenz- und Zeitsender abgestrahlt. Wegen Instabilitäten in der Ionosphäre ist die Genauigkeit geringer als bei Langwellen; man muss bei Kurzwellen mit einem relativen Frequenzfehler bis 10^{-7} rechnen.

Ebenfalls als Bezugsfrequenzen kommen die im VHF-Bereich liegenden Frequenzen der Satelliten TRANSIT und - wo deren Empfang möglich ist, das heisst zur Hauptsache auf dem nord- und südamerikanischen Kontinent - GOES in Frage. Bei einem neuen, sich noch im Versuchsstadium befindenden System GPS (Global Positioning Satellite System) soll von 24 Satelliten aus, deren jeder ein Atomnormal trägt, praktisch die ganze Erde unter anderem mit Normalfrequenzen überdeckt werden.

Für weitere Einzelheiten zum Thema und eine gute Einführung in den ganzen Fragenkreis sei auf [3] verwiesen. Angaben über Frequenz- und Zeitsender findet man in [4].

3. Beschreibung der Messanlage des IGP an der ETHZ

Das Kernstück der Anlage ist ein digitaler *Frequenzzähler*. Diesem wird über den Empfänger von der einen Seite her eine aus dem Langwellensignal abgeleitete *Normalfrequenz* (z. B. 1 MHz) zugeführt. Mit der Normalfrequenz wird im Zähler ein genauer Zeitabschnitt definiert, z. B. definieren 10^6 Schwingungen von 1 MHz genau eine Sekunde. Während dieses Zeitabschnittes zählt der Zähler auch die ihm vom EDM-Gerät her zugeführten Schwingungen der Messwelle und zeigt sie als Anzahl Schwingungen pro Sekunde, d. h. als

Frequenz an. Die Messfrequenz wird dem EDM-Gerät entweder direkt über einen elektrischen Abgriff entnommen oder, je nach Art der Trägerwelle, mit einem *optischen Diodenempfänger* oder *Mikrowellenempfänger* vom Messstrahl abgegriffen (Abb. 2).

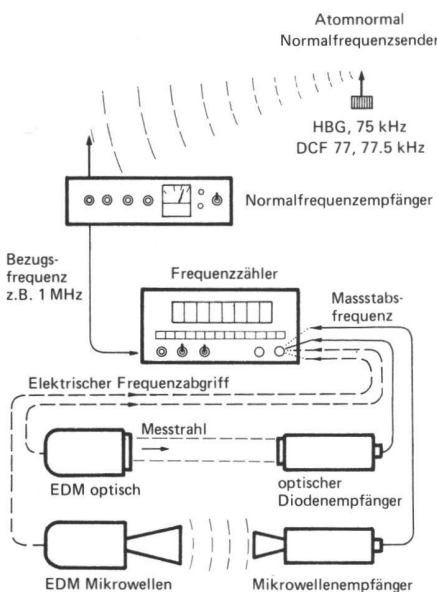


Abb. 2 Prinzipschema einer Anlage zur Frequenzmessung

Als *Langwellenempfänger* verwenden wir den vom Observatorium Neuenburg entwickelten OSTRAC, von dem wir zwei, je einen für die Sender HBG und DCF 77, besitzen. Sie sind mit einer kleinen, 7,5 cm langen, auf die Langwellenfrequenz abgestimmten Ferritantenne bestückt, die im Freien für den Empfang vollständig genügt. Für Messungen im Messkeller unseres Institutes, der durch die Metallhülle des Gebäudes gegen elektromagnetische Wellen fast hermetisch von der Aussenwelt abgeschirmt ist, war es nötig, eine Ferritantenne auf dem Dach anzubringen und das Signal über ein ca. 80 m

langes, doppelt abgeschirmtes Koaxialkabel in den Keller zu leiten. Das Signal erreicht die Ausgangsbuchse im Keller und auch die über ein 70 m langes Verlängerungsstück angeschlossene zweite Buchse bei der Klimakabine ohne Zwischenverstärker mit genügender Klarheit und Stärke.

Das Langwellensignal synchronisiert einen Phasenfolger (phase-locked loop), dank dessen Trägheit auch starke Störungen und Unterbrüche im Signal (aufmoduliertes Zeitzeichen) ohne schädlichen Einfluss auf die Normalfrequenz bleiben. Die niedere Frequenz der Langwelle wird durch Vervielfachung auf die Normalfrequenzen 0,1 MHz, 1 MHz, 10 MHz gebracht.

Wir verwenden zwei *Zählertypen*: einen vom Fabrikat *General Radio*, der ab Netz betrieben wird und über eine Schnittstelle den Anschluss an einen Rechner und Drucker erlaubt, und einen kleinen, leichten *Sabtronics*, der sich über das Netz oder mit Batterien speisen lässt und sehr gut aufs Feld mitgenommen werden kann. Beide sind durch die Normalfrequenz steuerbar und haben für Frequenzen von über 1 MHz eine Auflösung in der Anzeige von mindestens 10^{-7} .

Zum Abgreifen der Frequenz direkt vom Messstrahl eines elektro-optischen Distanzmessers steht uns ein breitbandiger *Photodiodenempfänger* der Technischen Hochschule Aachen zur Verfügung, dessen Beschreibung man in [5] findet. Mit diesem Empfänger haben wir erfolgreich und auf sehr bequeme Art die Frequenzen folgender Geräte gemessen, welche im Bereich von 5–30 MHz liegen: AGA: Geodimeter 8, Geodimeter 6 BL, Kern: DM 500, DM 501, DM 502, Wild: DI 10, DI 3S, DI 4L, DI 20, TC1.

Die Frequenzen unseres Tellurometers CA 1000 (20–25 MHz) entnehmen wir dem Mikrowellensignal mit einem am Institut entwickelten *Mikrowellenemp-*

fänger. Der Empfänger demoduliert das Signal an einem Kristalldetektor und verstärkt es anschliessend für die Frequenzzählung.

Die ganze Frequenzmessausrüstung ist leicht und eignet sich gut für den Feldgebrauch. Die Messung im Feld wird besonders bequem, wenn das EDM-Gerät einen elektrischen Frequenzabgriff hat und man mit dem Zähler und Empfänger allein auskommt. Die beiden Geräte lassen sich mit 12-V-Batterien speisen und haben zusammen eine Leistungsaufnahme von ca. 5 W.

4. Einige Messergebnisse

Mit der im vorigen Abschnitt beschriebenen Apparatur haben wir für die meisten EDM-Geräte unseres Institutes (Ausnahme: Mekometer) die Abhängigkeit der Frequenz von

- 1) der Umgebungstemperatur t ,
- 2) der nach dem Einschalten verstrichenen Zeit z und
- 3) der Speisespannung bestimmt.

Die meisten Messungen wurden in der Klimakammer des Messkellers unseres Institutes gemacht, deren Temperatur innerhalb von -30°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ verändert und deren Luftfeuchtigkeit für Temperaturen über 10°C zwischen 35% und 95% variiert werden kann. In der Kammer selber befinden sich bei der Prüfung nur die EDM-Geräte und der optische Empfänger. Die übrige Messapparatur steht draussen im Messkeller und ist mit Speiseleitung und Hochfrequenzkabel mit der Klimakammer verbunden.

Aus der Vielzahl der Messungen seien die Ergebnisse über zwei Instrumente neueren Datums vorgestellt: einen Kern DM 501 und einen Wild DI 4L.

Beides sind Geräte mit Infrarotträger, und bei beiden ist der Schwingquarz nicht temperaturstabilisiert. Während man den DM 501 mit 1,6 km Reichweite

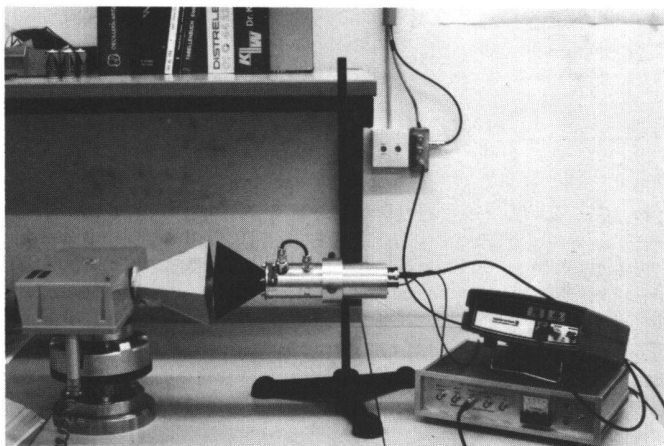


Abb. 3 Von links nach rechts: Tellurometer CA 1000, Mikrowellenempfänger, Ostrac-Empfänger und darüber Sabtronics-Zähler. An der Wand die Antennenbuchse für das Langwellensignal

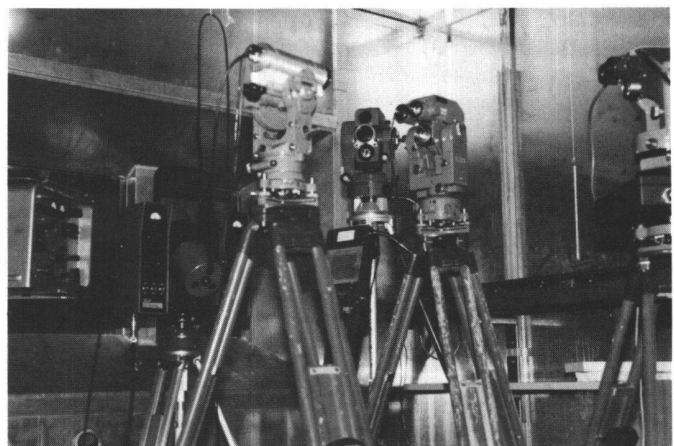


Abb. 4 Klimakammer mit Prüfgeräten. Der optische Diodenempfänger ist dem Fernrohr des Theodolits im Vordergrund aufmontiert

noch unter die Kurzdistanzmesser ein-
stufen kann, muss man den DI 4L mit
5 km Reichweite bereits als Mitteldi-
stanzmesser ansprechen. Die Diagram-
me in Abb. 5 zeigen neben einer Ände-
rung von Δf mit t auch eine solche mit
 z , die eine Folge des Aufheizens von
Schwingquarz und andern elektroni-
schen Elementen nach dem Einschalten
des Gerätes sein dürfte.

Ein Versuch, die Frequenzabweichung
 Δf durch eine glatte Funktion von t und
 z analytisch darzustellen, führte nach
einigem Probieren auf die Funktion

$$\frac{\Delta f}{f} = (a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3) (e^{b_1 z} + e^{b_2 z}) + c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 \quad (4)$$

Für die beiden erwähnten Geräte erge-
ben sich aus den Messwerten für die
ausgleichende Funktion (4) die in der
Tabelle angeführten Werte der Parame-
ter.

Die grössten Residuen treten in allen
Fällen für $z = 0$, d. h. unmittelbar nach
Einschalten des Gerätes auf. Die Funk-
tionen sind in Abb. 6 als Höhenkurven-
bilder dargestellt. Man kann aus ihnen,
wenn man noch das Vorzeichen kehrt,
direkt die relative Streckenkorrektur
herauslesen.

Es fällt auf, dass der Frequenzverlauf,
vor allem beim Wild-Gerät mit seiner
grösseren Reichweite, sehr sorgfältig
dimensioniert ist. Allgemein achten die
Hersteller darauf, im Bereich zwischen
10°C und 20°C, der den typischen
Messbedingungen in den gemässigten
Zonen entspricht, mit der Frequenz
nahe am Sollwert zu liegen und grössere
Abweichungen bei extremen Tempe-
raturen auftreten zu lassen.

Ist es für die beiden untersuchten
Geräte sinnvoll, die gemessenen Stre-
ken anhand der Diagramme in Abb. 6
oder mit Formel (4) zu korrigieren?

Bedenkt man, dass der konstante Anteil
von 5 mm am mittleren, von den Firmen
angegebenen Streckenfehler ins Ver-
hältnis zur Reichweite gesetzt $3 \cdot 10^{-6}$
für den DM 501 bzw. $1 \cdot 10^{-6}$ für den
DI 4L ergibt, die relativen Frequenzfeh-
ler aber bis auf $10 \cdot 10^{-6}$ bzw. $6 \cdot 10^{-6}$
ansteigen können, so besteht über die
Wünschbarkeit einer Massstabsverbes-
serung bei genauen Messungen kein
Zweifel. Voraussetzung für eine realisti-
sche Korrektur wäre der genau bekann-
te Zustand des Gerätes, den zu kennen
wegen der Zeitabhängigkeit der Fre-
quenz nicht immer leicht sein dürfte.
Um klare Verhältnisse zu schaffen,
sollte man, wo das aus Gründen der
Genauigkeit erwünscht ist:

- 1) das Gerät sich der Umgebungstem-
peratur anpassen lassen,
- 2) entweder das Gerät bei jeder Einzel-
messung an- und nach Beendigung
sofort wieder ausschalten; dann gelten
die Korrekturen für $z = 0$,

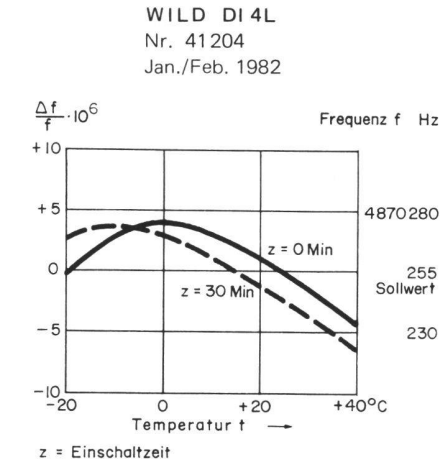
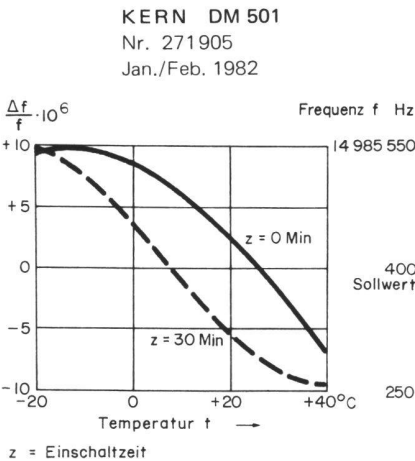


Abb. 5 Abhängigkeit der Frequenz von der Aussentemperatur beim Kern DM 501 und beim Wild DI 4L

Gerät	Kern DM 501	Wild DI 4L
Parameter a_0	3,15	0,60
a_1	0,1339	0,1043
a_2	$-2,695 \cdot 10^{-3}$	$-2,348 \cdot 10^{-3}$
a_3	$-3,947 \cdot 10^{-5}$	$1,056 \cdot 10^{-5}$
b_1	-1,0314	-0,1254
b_2	-0,00567	$-\infty^2$
c_0	3,22	3,09
c_1	-0,4563	-0,1210
c_2	$-2,799 \cdot 10^{-3}$	$-5,927 \cdot 10^{-3}$
c_3	$1,450 \cdot 10^{-4}$	$7,890 \cdot 10^{-5}$
Abweichung der Messwerte von der analytischen Funktion		
Standardabweichung	$\pm 0,25 \cdot 10^{-6}$	$\pm 0,15 \cdot 10^{-6}$
Max. Residuum pos.	$+1,01 \cdot 10^{-6}$	$+0,54 \cdot 10^{-6}$
neg.	$-1,10 \cdot 10^{-6}$	$-0,74 \cdot 10^{-6}$

Koeffizienten der Funktion (4) für zwei untersuchte Geräte und Güte der Annäherung an die Messwerte. Einheiten: t in °C, z in Minuten, $\Delta f/f$ in ppm

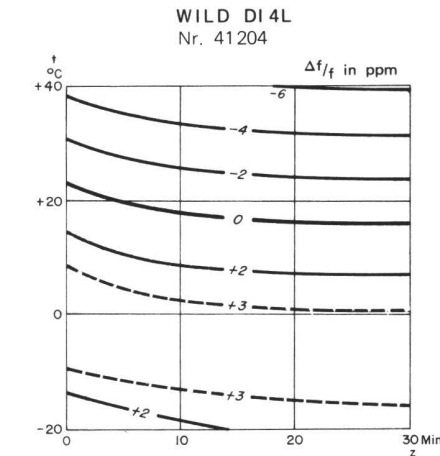
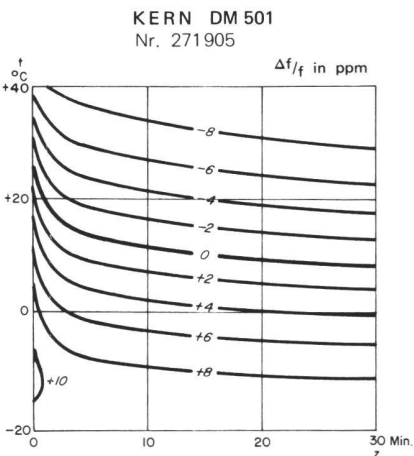


Abb. 6 Relative Frequenzfehler (= relative Distanzfehler) in ppm zweier moderner EDM-Geräte in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur t und der seit dem Einschalten verstrichenen Zeit z

- 3) oder bei eingeschaltetem Gerät fünf bis zehn Minuten warten, bevor man mit Messen anfängt, und erst nach der letzten Messung ausschalten; dann ist man mit $z > 5$ Min. im flachen Teil der Funktion.

Eine Prüfung der Geräte in der Klimaka-
bine auf Verfahren 2) durch zehnssekun-
diges Einschalten in Minutenabständen
ergab eine gute Frequenzkonstanz.
Während der 10 Sekunden Einschaltzeit
kann beim DM 501 eine Frequenzver-

schiebung bis zu $1 \cdot 10^{-6}$, beim DI4L weniger, auftreten, welche aber zu Beginn der nächstfolgenden Minute bereits wieder rückgängig ist. Beim Vorgehen nach 3) sind die Diagramme nur aussagekräftig, wenn – wie beim Versuch – der Quarz bei eingeschaltetem Instrument ständig, also nicht nur während der Messung, schwingt. Dies ist nach Mitteilung der Firmen beim DM 501 und beim DI4L der Fall. Zu untersuchen wäre, in welchem Ausmass weitere Parameter wie Strahlung, Wind, Feuchtigkeit usw. die Resultate aus dem Laboratorium beeinflussen. Abschliessend darf man feststellen, dass auch bei Kurzdistanzmessern der von der Frequenz herrührende Massstabsfehler durchaus von der gleichen Grössenordnung der anderen Fehler sein kann und deshalb bei genauen Messungen neben der Additionskonstanten, dem zyklischen Fehler, den

atmosphärischen Einflüssen usw. beachtet werden sollte. Sehr wahrscheinlich liesse sich unter Einbezug einer Frequenzkorrektur der zur Strecke proportionale Anteil am mittleren Streckenfehler bedeutend unter die von den Firmen angegebenen 5 mm/km reduzieren.

Verdankung: Die Verfasser danken Herrn W. Schneibel, IGP, ETHZ, für die sorgfältige Zeichnung der Abbildungen 1, 2, 5 und 6.

Literatur

- [1] Frerking, M.E.: Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation. Van Nostrand, New York 1978.
- [2] Kahmen, H.: Elektronische Messverfahren in der Geodäsie. Wichmann, Karlsruhe 1978.
- [3] Kamas, G., Howe, S.L.: Time and Frequency Users' Manual. NBS Special Publication 559, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington 1979.

[4] Nomenclature des stations de radiopé-
rage et des stations effectuant des services
spéciaux, Vol.1, 7. Auflage und Nachträge.
Union Internationale des Télécommunica-
tions, Genève 1979.

[5] Sobotta, Schwarz, Witte: Frequenzprü-
fung elektro-optischer Entfernungsmesser
mit Photodioden. Allg. Vermessungs-Nach-
richten 6/80.

[6] Mattuschka: Artikel «Schwingquarze» in
Enzyklopädie Naturwissenschaft und Tech-
nik. Verlag Moderne Industrie, München
1979.

[7] Glaser, G.: Quarzuhrentechnik. Kempfer,
Ulm 1979.

Adresse der Verfasser:

Prof. Francis Chaperon, Josef Köchle,
Richard Köchle
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Dr. Ibrahim Koç
I.D.M.M.A. Harita-Kadastro Fakültesi
Ölçme, Bilgisi Kürsüsü
Yıldız, Istanbul, Türkei

Bodenstabilisierung und Vliesbauweise

V. Kuonen

Natürliche, direkt verwendbare Baustoffe für den Oberbau von Strassen werden immer rarer und damit auch immer teurer. Auch der Transport von Baustoffen über weite Strecken löst das Problem nicht; neben den hohen Kosten entstehen starke Immissionen (Abgase, Lärm, Unfälle, Unterhalt usw.). In den letzten Jahren wurden daher auf vielen Baustellen des Wald- und Güterstrassenbaus Kies-Sande durch mobile, moderne Brechanlagen aufbereitet oder instabile – wirtschaftlich stabilisierbare – Böden stabilisiert. Die Erfahrungen mit Oberbauschichten aus stabilisierten Baustoffen (Kalk, Zement, Teer, Bitumenemulsion) sind in der Schweiz durchwegs positiv. Der folgende Artikel gibt eine kurze Übersicht über das Problem Bodenstabilisierung.

Les matériaux de construction utilisables sans traitement préalable pour la superstructure des routes deviennent toujours plus rares et de ce fait toujours plus onéreux. Ce problème n'est pas résolu par le transport de matériaux de construction sur de longues distances, car outre le coût élevé de ces transports, il en résulte de grandes immissions (gaz d'échappement, bruit, accidents, entretien, etc.). Dans le cas de la construction de routes forestières et rurales, ce problème a été résolu ces dernières années par le traitement des matériaux graveleux de l'endroit avec des concasseurs mobiles modernes et par la stabilisation des sols instables. Les expériences faites en Suisse avec les couches de superstructure composées de matériaux stabilisés (chaux, ciment, goudron, émulsion bitumineuse) sont entièrement concluantes. L'article suivant donne un aperçu des différentes méthodes de stabilisation des sols.

1. Ziel und Verfahren der Bodenstabilisierung

Unter- und Oberbau einer Strasse bilden eine dünne Schicht an der Erdoberfläche, welche in hohem Masse den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist. Es sind dies vor allem die Einflüsse des Wassers (Benetzung und Austrocknung) und die Frostwirkungen (Gefrie-

ren und Auftauen). Diese Einwirkungen können zu einer Änderung des Volumens und der Festigkeit des Bodens führen. Dieses Verhalten ist der Grund dafür, dass neben der Festigkeit der Begriff der Stabilität bzw. Instabilität eingeführt werden muss. *Stabilität* bedeutet in diesem Zusammenhang *Konstanz der Festigkeit und des Volumens*

bei Einwirkung der Umgebungsbedingungen Wasser und Frost.

Von Natur aus absolut stabile Böden gibt es nicht. Untersuchungen und Beobachtungen zeigen aber, dass saubere Kiese und Sande (<5 Masse-% Feinanteile bei 0,06 mm) als stabile Materialien bezeichnet werden können. Die Änderungen der Festigkeit und des Volumens durch Benetzen, Austrocknen, Gefrieren und Auftauen bleiben begrenzt, führen zu keinen Schäden und sind deshalb tolerierbar.

Böden mit grösseren Mengen (>5 Masse-%) an Feinanteilen sind dagegen instabil, d.h. Böden mit siltigen und tonigen Anteilen ändern bei Einwirken von Wasser und Frost ihr Volumen und ihre Festigkeit beträchtlich (vgl. auch Casagrandekriterium: Böden mit <3 Masse-% bei 0,02 mm sind frostsicher!).

Das Ziel der Bodenstabilisierung besteht nun darin, die von Natur aus instabilen Böden stabil zu machen, d.h. sie so zu verändern, dass die Änderung der Festigkeit und des Volumens bei Einwirken von Wasser und Frost in zulässigen Grenzen bleibt. Als zulässig betrachtet man Werte, bei welchen keine Schäden an der Strasse entstehen.

Die Erfahrung zeigt, dass es mit wirtschaftlichem Aufwand nicht gelingt,