



Der Telefunken - Präzisions - Frequenzmesser Spez. 563 Gr

Wellenbereich: 5270...21000 kHz, 57...14,3 m
 Absolute Meßgenauigkeit: $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ (bei 5270 kHz)
 $\pm 1,6 \cdot 10^{-5}$ (bei 21000 kHz)
 Relative Meßgenauigkeit: ± 120 Hz
 Ablesegenauigkeit: ± 70 Hz mit Nonius auf $\frac{1}{20}$ Skalenteil
 Genauigkeit des Leuchtquarzes: $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ absolut

Frequenzmessung und Genauigkeit

Für Frequenzmessungen nimmt man als „Normal“, d. h. als unveränderliche Grundgröße meistens eine sehr genau gehende Uhr, deren Gang nach den Sternen kontrolliert wird. Ein an sich absolut fehlerfreier Anschluß der Frequenzmessung an die Zeitsterne ist jedoch in keinem Fall möglich, da jedes Kontroll- und Meßgerät in sich Fehler birgt.

In Deutschland wird die Normal-Grundfrequenz durch Quarzuhren in der „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ erzeugt und durch Vergleichsmessungen mit den Sternen korrigiert. Diese Quarzuhren haben (auf die Dauer von Tagen und Stunden) einen Fehler von nur

$$\pm 1 \cdot 10^{-8} = 0,00001 \text{ ‰}$$

Nach diesem Normal werden die Unter-Normalien bzw. Gebrauchsgeräte geeicht. Hierbei treten nun weitere Fehlergrößen auf, die in der Natur der Meßeinrichtung selbst begründet sind und die Genauigkeit verringert.

Bei Frequenzmessungen unterscheidet man zwischen:

- I. Absoluter Meßgenauigkeit
- II. Relativer Meßgenauigkeit.

I. Absolute Meßgenauigkeit.

Man versteht hierunter die Genauigkeit einer Messung unter Einschluß aller Fehlerquellen, die vom absoluten Normal ab bis zur angezeigten bzw. abgelesenen Meßgröße auftreten. Dieser Wert ist maßgebend, wenn mit einem Meßgerät der absolute Frequenzwert gemessen werden soll.

Bei einer Frequenz-Meßeinrichtung ergeben sich nun 5 Faktoren, die die Genauigkeit bestimmen:

1. **Faktor A: Genauigkeit des absoluten Frequenz-Normals (Abweichung vom Sternennormal):**

$$\pm 0,00001 \text{ ‰} (1 \cdot 10^{-8}).$$

2. **Faktor B: Eichgenauigkeit des Unter-Frequenz-Normals (des nach dem absoluten Wert geeichten Gebrauchs-Normals):**

$$\pm 0,01 \text{ ‰} (1 \cdot 10^{-5}).$$

Dieser Wert gilt für das in Deutschland in der „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ vorhandene Frequenz-Normal, nach dem alle weiteren Unternormalien geeicht werden. Es schließt die Meßgenauigkeit, die Resonanzbreite des Leuchtquarzes und die Frequenzänderung durch mechanische Einflüsse ein. Eine noch größere Genauigkeit ist nicht erzielbar, da bereits Änderungen der Lage des Quarzes in die Frequenz eingehen.

3. **Faktor C: Einstellgenauigkeit auf Schwebungsnull bei Hörabgleich:**

$$\text{etwa } \pm 10 \text{ Hz.}$$

Beim *schwingenden Frequenzmesser* wird die Einstellung auf genaue Frequenzgleichheit durch Überlagerung und Abgleich auf Schwebungsnull erzielt. Infolge der Unempfindlichkeit des Ohres gegenüber tiefen Frequenzen beträgt die Minimumbreite etwa 20 Hz (± 10 Hz vom Schwebungsnull).

Unter Zuhilfenahme einer Tonbrücke ließe sich jedoch noch weitere Steigerung der Abgleich-Genauigkeit erzielen. Dieser Wert ist jedoch auch durch die Konstruktion des Abstimmittels (Drehkondensators) begrenzt — Lagerspiel und Temperaturkoeffizient — und läßt sich infolgedessen nur bei Spezial-Meßanordnungen und bei Frequenzen unter 20000 kHz (Wellen über 15 m) einhalten.

Beim *Absorptionsfrequenzmesser* wird die Genauigkeit durch die Kuppenbreite der Resonanzkurven bestimmt. Eine Steigerung der Genauigkeit ist möglich, wenn man nicht nach dem Maximum der Resonanz mißt, sondern nach den beiden Flanken der Resonanzkurve und dabei links und rechts der Resonanz auf den gleichen Ausschlag einstellt. Bei genügend schmaler Resonanzkurve, d. h. bei kleiner Dämpfung ergibt sich die

genaue Resonanzfrequenz aus der Mitte zwischen den beiden Flanken-Frequenzen. Ebenso kann eine Einstellung nach dem Phasensprung erfolgen.

Die Messung mit schwingenden Frequenzmessern nach dem Schwebungsnull-Verfahren läßt wesentlich höhere Genauigkeiten zu, sodaß dieses Verfahren allgemein angewendet wird.

4. Faktor D: Ablesegenauigkeit (Ablesemöglichkeit pro Skalenteil):

etwa ± 100 Hz bei den besten Wellenmessern.

Gewöhnlich teilt man die Skala in 100 Teile bzw. 180° so ein, daß von Teilstrich zu Teilstrich ein Sprung um „1“ erfolgt. Zwischenwerte können durch 10teiligen Nonius auf $\frac{1}{10}$, durch 20teiligen Nonius auf $\frac{1}{20}$ genau abgelesen werden. Zur genauen Einstellung wird häufig noch eine Lupe verwendet.

Durch Vergrößerung der Skalenlänge, durch Verkleinerung des bestrichenen Frequenzbereiches und durch feinere Unterteilung könnte man so weit gehen, daß eine Ablesung bis auf einige Hz möglich wäre. Prinzipiell ist jedoch schon eine Steigerung über die durch den Faktor C theoretisch gegebene Grenze (Einstellung auf Schwebungsnull ± 10 Hz) nicht erzielbar. Dieser günstige Wert kann, jedoch ebenso wie der Faktor C, aus den prinzipiell unvermeidlichen konstruktiven Ursachen — Lagerspiel (Dicke des Schmierfilmes), Temperaturabhängigkeit — bei hohen Frequenzen nie erreicht werden.

Es ist also unmöglich, durch eine hochgetriebene Feinteilung der Skala über einen Wert von etwa ± 100 Hz bei Kurzwellen herauszugehen bzw. den absoluten Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ (Faktor B) zu erreichen.

5. Faktor E: Einfluß der Temperatur:

Bei Quarz beträgt der Faktor etwa

$$- 0,2 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C} \text{ -Zunahme.}$$

Da in den meisten Fällen die Messungen in Räumen mit nahezu konstanter Temperatur gemacht werden, kann auch dieser Faktor vernachlässigt werden, zumal sich bei einer Temperaturdifferenz von 5°C ein Änderungsfaktor von nur 1,000001 ergibt. Frequenzmesser, die ohne ständige Quarzkontrolle arbeiten, können einen größeren Temperaturkoeffizienten haben. Falls eine derartige Korrektur nötig ist, wird sie als bestimmter Wert k:

$$\pm k / ^\circ\text{C} \text{ (Zunahme oder Abnahme)}$$

zu den oben erwähnten Faktoren A...E addiert oder subtrahiert. Um Frequenzänderungen durch Röhren erwärmung zu vermeiden, sollen Eichung und Messung nur im „eingebrennten“ Zustand erfolgen.

Unter Berücksichtigung aller dieser Faktoren ergäbe sich schließlich die *prinzipiell absolute Meßgenauigkeit* zu:

$$\pm (f \cdot A + f \cdot B + C + D + f \cdot E) \text{ Hz bzw., bezogen auf die zu messende Frequenz:}$$

$$\pm \frac{(f \cdot A + f \cdot B + C + D + f \cdot E) \cdot 1000}{f} \text{ }_{0/100}.$$

Da die Genauigkeit des absoluten Frequenz-Normals (Faktor A), ebenso wie der Faktor E eine in den meisten Fällen vernachlässigbar kleine Korrektur ergibt, folgt schließlich bei diesen Vernachlässigungen die *für die Praxis genügende absolute Genauigkeit* zu:

$$\pm (f \cdot B + C + D) \text{ Hz bzw., bezogen auf die zu messende Frequenz:}$$

$$\pm \frac{(f \cdot B + C + D) \cdot 1000}{f} \text{ }_{0/100} \text{ (f, C und D sind in Hz einzusetzen).}$$

Die Madrider Konferenz hat für Rundfunksendestellen im dem Bereich von 10...50 m eine Toleranz von $\pm 0,1 \text{ }_{0/100}$, in dem Bereich von 200...545 m eine Toleranz von $\pm 0,5 \text{ }_{0/100}$ festgelegt.

II. Relative Meßgenauigkeit:

Dieser Wert bezieht die Messung nicht auf das absolute Normal, sondern auf eine beliebige andere Frequenz, die selbst nicht eine große absolute Genauigkeit zu besitzen braucht. Gemessen wird lediglich ein *Frequenzunterschied*. Derartige Messungen sind z. B. wichtig bei der Bestimmung des gegenseitigen Abstandes zweier Sender, der Modulationsbreite und zur Messung von Frequenzänderungen.

Diese relative Meßgenauigkeit ist nur abhängig von folgenden Faktoren:

1. Faktor C: Einstellmöglichkeit auf Schwebungsnull:

$$+ 10 \text{ Hz.}$$

2. Faktor D: Ablesegenauigkeit:

$$\text{etwa } \pm 100 \text{ Hz.}$$

Hierfür, ebenso wie für den Faktor C gelten die gleichen Einschränkungen wie unter I, 3 und 4 angegeben.

Der kleinstmögliche Fehler kann also betragen:

$$+ (C + D) \text{ Hz bzw., bezogen auf die zu messende Frequenz:}$$

$$+ \frac{(C + D) \cdot 1000}{f} \text{ }_{0/100} \text{ (f, C und D sind in Hz einzusetzen).}$$

Da der von der Frequenz abhängige Faktor B hier nicht auftritt, ist die relative Meßgenauigkeit immer größer als die absolute Meßgenauigkeit; Rückschlüsse auf diese lassen sich jedoch nicht ziehen, sodaß die Angabe einer hohen relativen Meßgenauigkeit kein eindeutiges Güte Merkmal für einen Frequenzmesser ist.