

3. Prüfungen an Schwingquarzen

Dipl.Ing.W.Briese

3.1 Einleitung

Einige Parameter von Schwingquarzen, z.B. die Ersatzdaten können nicht direkt gemessen werden. Sie müssen aus der Wirkung äußerer Einflüsse (z.B. Lastkapazität) errechnet werden. Für die Prüfung größerer Stückzahlen stehen automatische, rechnergesteuerte Geräte zur Verfügung, bzw. können hierfür eingerichtet werden. Daneben werden aber auch Verfahren angegeben, die es gestatten, bei kleinen Stückzahlen mit einfachen Laborausstattungen die Daten zu ermitteln.

Zur Qualitätssicherung eines Produktes gehört auch die Sicherstellung der Qualität von eingekauften Materialien, hier den Schwingquarzen. Um aufwendige Wareneingangsprüfungen zu ersparen, wird man sich nach erfolgter Freigabe auf die Stichprobenprüfungen einiger Merkmale beschränken müssen, deren Schärfe und Umfang von der Zuverlässigkeit des Lieferanten abhängen wird.

Als oberste Grundlage für jedwelche Beurteilungen, Qualitätskontrollen, Prüfungen und Bewertung der Prüfergebnisse dient die Spezifikation, die gleichzeitig als Bestellunterlage fungiert. In der Spezifikation sind die Eigenschaften der Schwingquarze und deren Toleranzen festgelegt, oft sind auch Angaben über Prüfkriterien wie etwa AQL-Werte enthalten.

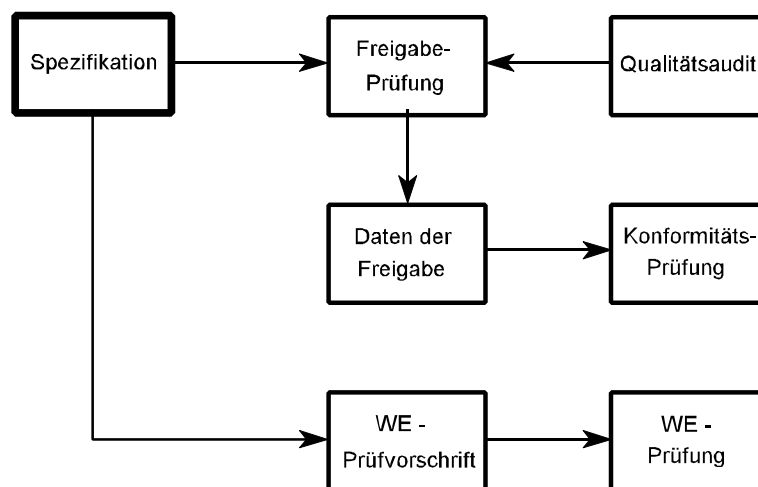


Bild 3.1 Prüfungen

3.2 Die Spezifikation

Die Spezifikation oder Liefervorschrift kann eine vom Anwender speziell auf die Geräteanforderungen zugeschnittene "Kundenspezifikation" sein, oder auch eine Typenfestlegung aus der Typenliste des Herstellers bzw. Quarzlieferanten. In beiden Fällen müssen die Anforderungen an den Quarz den Anforderungen an das Gerät gerecht werden. Die festgelegten Daten basieren auf der Laborfreigabe der Geräteentwicklung.

Die Spezifikation enthält Parameter, deren fertigungsbedingte Streuungen, auf Einhaltung ihrer Toleranzen bei der Ausgangsprüfung des Herstellers geprüft werden müssen und solche, die konstruktionsbedingt festliegen und deren Streuungen für die Anwendung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Letztere werden nur in Stichproben geprüft. Jeder engtolerierter Parameter in der Spezifikation muß bei der Ausgangsprüfung des Herstellers und gegebenenfalls nochmals bei einer Eingangsprüfung des Anwenders geprüft werden. Diese Doppelprüfung verursacht zusätzliche Kosten. Auch werden zusätzlich definierte Parameter die Herstellung verteuern oder eine Herstellung unmöglich machen, wenn sich mehrere Parameter gegenseitig ausschließen. Von den Werten und Toleranzen in der Spezifikation hängt die Sicherheit der Qualität und die Höhe der Prüfkosten ab.

3.2.1 Die Parameter einer Spezifikation

Die Behandlung aller Parameter einer Spezifikation soll nicht den Eindruck erwecken, daß alle hier diskutierten Angaben notwendig seien. Vielmehr sollen alle gebräuchlichen Angaben erörtert werden. Eine gute Hilfe für die Abfassung einer Spezifikation ist die "Checkliste zur Spezifikation" im Anhang A Kapitel 2 "Eigenschaften von Schwingquarzen". Die verwendeten Begriffe sind ebenfalls in 2.22 erklärt.

3.2.2 Die Kennzeichnung

In den Kopf bzw. in das Schriftfeld einer Spezifikation gehört neben einer Teilenummer, Sachnummer oder Bestellbezeichnung die Nennfrequenz und die Gehäusebezeichnung. Die Abmessungen und Toleranzen des Schwingquarzgehäuses brauchen nicht weiter angegeben zu werden, weil diese in DIN IEC 122-3 festgelegt sind.

3.2.3 Betriebsbedingungen

Hier die Angabe, ob der Quarz in der Schaltung in Serienresonanz, oder mit einer Lastkapazität betrieben wird. Wenn der Quarz mit einer Lastkapazität C_L betrieben wird, gehört hierzu die Angabe der in der Schaltung wirksamen Lastkapazität. Die Lastkapazität sollte möglichst einem genormten Wert entsprechen:

Genormte Lastkapazitäten :

8, 12, 15, 20, 30, 50, 100 pF

Die spezifizierte Lastkapazität ist ein nomineller Wert, enthält also keine Toleranzangabe. Es ist aber zu beachten, daß jede Abweichung vom Sollwert der Lastkapazität beim Messen der Quarze in die Frequenz eingeht. Hersteller und Anwender müssen also die Unsicherheit ihrer Lastkapazität zu ihren Ungunsten in der Frequenztoleranz berücksichtigen. Besonders bei kleinen Lastkapazitäten, etwa unter 15 pF ist Vorsicht geboten, wenn gleichzeitig eine enge Frequenztoleranz gefordert wird, weil die Ziehempfindlichkeit S sehr groß wird. Siehe hierzu auch die Rechenbeispiele in 2.20.2.

Anmerkung aus DIN -IEC 122 Teil 1:

Die Grenzabweichung (Toleranz) des Lastkapazitätswertes ist der Wert, der sich aus einer Frequenzänderung ergibt, die nicht größer als 10% der Abgleichgrenzabweichung (Frequenztoleranz) bei Bezugstemperatur ist, oder 1% des Nennkapazitätswertes. Es gilt der kleinere Wert.

Oberton:

Wenn keine zwingenden Gründe für die Wahl eines bestimmten Obertones vorliegen, entscheidet meist der Quarzhersteller für welchen Oberton der Quarz gefertigt wird. Aus Gründen konformer Lieferungen, ggf. auch anderer Zulieferanten sollte der Oberton angegeben werden, insbesondere wenn keine weiteren Festlegungen von C_0 und C_1 erfolgen.

3.2.4 Quarzbezugsbelastung (P_B)

Die Bezugsbelastung ist die Quarzbelastung, bei der die in der Spezifikation genannten Werte erreicht werden müssen. Die spezifizierten Werte werden bei der Bezugsbelastung gemessen. Die Bezugsbelastung sollte in etwa der Betriebsbelastung in der Schaltung entsprechen, damit keine nennenswerten belastungsbedingten Differenzen zwischen Prüfung und Betrieb auftreten. Die Bezugsbelastung kann als Quarzleistung (mW), oder als Quarzstrom (mA) angegeben werden. Spannungsangaben sind zu vermeiden, wenn nicht eindeutig vermerkt ist, ob die Spannung über dem Quarz, oder die Eingangsspannung am π -Glieder, oder eine andere Span-

nung gemeint ist.

Vorzugswerte für die Belastung nach DIN IEC 122, Teil 1:

2; 1; 0,5; 0,2; 0,1; mW 50; 10; 1; 0,1 μ W

Bei der Prüfung zulässige Abweichungen vom Nominalwert: $\pm 20\%$

3.2.5 Bezugstemperatur

Die Bezugstemperatur ist die Temperatur, auf die sich die Angaben in der Spezifikation beziehen. Die Bezugstemperatur ist im Normalfall die Temperatur 25°C. Für Quarze im Thermostatbetrieb ist die Bezugstemperatur die Innentemperatur des Thermostaten (Nenntemperatur des Thermostaten).

3.2.6 Arbeitstemperaturbereich

Der Arbeitstemperaturbereich ist der Temperaturbereich, in dem der Schwingquarz betrieben wird. Es ist der Temperaturbereich, in dem die spezifizierten Eigenschaften des Schwingquarzes erfüllt sein müssen. Der Arbeitstemperaturbereich des Quarzes entspricht im Allgemeinen dem Betriebstemperaturbereich der Anwendung (des Gerätes) zuzüglich der Eigenerwärmung des Gerätes, in dem der Quarz eingesetzt ist.

Vorzugswerte für Temperaturbereiche nach DIN IEC 122 Teil 1:

untere Temperaturgrenze:	obere	untere	obere
		Temperaturgrenze:	
+15	+45 °C	-30	+60 °C
0	+45 °C	-30	+80 °C
0	+50 °C	-40	+70 °C
0	+60 °C	-50	+80 °C
-10	+60 °C	-55	+90 °C
-15	+45 °C	-55	+105 °C
-20	+70 °C	-60	+90 °C
-25	+55 °C	-60	+105 °C

3.2.7 Temperaturbereich der Betriebs- und Lagerfähigkeit

Im Temperaturbereich der Betriebs- und Lagerfähigkeit darf der Quarz gelagert oder auch betrieben werden, ohne daß er nachwirkende Schäden davonträgt. Er ist in diesem Temperaturbereich betriebsfähig, ohne notwendigerweise die spezifizierten Toleranzen einzuhalten.

3.2.8 Frequenztoleranz

Die Frequenztoleranz für den Schwingquarz ergibt sich aus der max. zulässigen Frequenzabweichung im Oszillator. Gegebenenfalls werden die resultierenden Streuungen durch Trimmen im Oszillator verringert. Die Temperatur, auf die sich die Frequenztoleranz bezieht (Bezugstemperatur), ist mit anzugeben. Die Bezugstemperatur ist meist 25°C, bei Thermostatquarzen entspricht sie der Nenn-temperatur des Thermostaten. Die Frequenztoleranz bestimmt die Genauigkeit, mit der der Quarz während seiner Herstellung abgeglichen wird. Diese Toleranz wird auch Abgleichtoleranz genannt. Der Frequenzabgleich des Quarzes während seiner Herstellung erfolgt mit der oben spezifizierten Lastkapazität. Ist die zu fordernde Frequenztoleranz für die Quarzherstellung unrealistisch klein, oder werden durch die erforderlichlich kleine Abgleichtoleranz die Kosten für den Quarz zu hoch, sind die Frequenzabweichungen durch Abstimmittel (Trimmer) herauszustimmen. Eine Kostenrechnung ist für die Entscheidungsfindung durchzuführen.

Vorzugswerte für die Frequenztoleranz in 10^{-6} nach DIN 45 101:

$\pm 1000; \pm 500; \pm 100; \pm 50; \pm 30; \pm 20; \pm 15; \pm 10; \pm 7,5; \pm 5; \pm 3; \pm 2; \pm 1$

Bei Abstimmung der Quarzfrequenz mittels Trimmer muß die Ziehbarkeit des Quarzes im angemessenen Maße größer sein als die Frequenztoleranz (2.20.5). Liegt mit der angegebenen Lastkapazität die Arbeitsfrequenz des Oszillators nicht bei der Nennfrequenz, wird oft ein einseitiger Abgleich oder Abgleich mit Frequenzoffset vorgeschrieben. Die Ursache für die Frequenzablage liegt oft in der falschen Angabe der Lastkapazität. Ein Abgleich mit Frequenzoffset ist immer problematisch, weil die Frequenzdifferenz (Offset) nicht nur durch die Lastkapazität, sondern auch durch die dynamische Kapazität C_1 und ihre Streuungen bestimmt wird. Die Werte für C_0 und C_1 sind in diesem Fall zu spezifizieren. Besser ist es, immer die wirkliche

Lastkapazität zu ermitteln (siehe Rechenbeispiele in 2.20), bzw. die Schaltung an einen genormten Lastkapazitätswert anzupassen.

Die temperaturbedingte Frequenzablage und ggf. eine spätere Frequenzdrift durch die Alterung sind in der Frequenztoleranz nicht enthalten und getrennt spezifiziert. Sie sind bei einer Betrachtung der Gesamtabweichungen zu berücksichtigen.

3.2.9 Temperaturbedingte Frequenzänderung

Als Temperaturbedingte Frequenzänderung ist die maximal zulässige Frequenzabweichung im festgelegten Temperaturbereich gegenüber der Istfrequenz bei der Bezugstemperatur anzugeben.

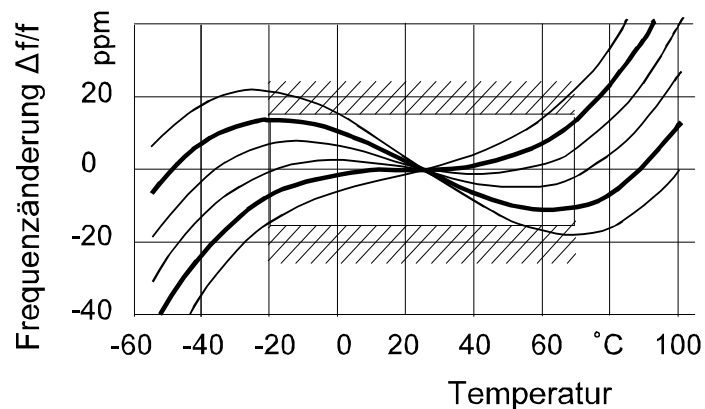


Bild 3.2 Toleranzfeld für den Temperaturgang der Frequenz

Nach Bild 3.2 sind nur Quarze zugelassen, deren TK-Kurven innerhalb der schraffierten Grenzen liegen. Die beiden äußeren Kurven überschneiden die schraffierten Grenzen und sind damit unbrauchbar. Daten in der Spezifikation würden in diesem Fall lauten: "Temperaturbedingte Frequenzänderung im Arbeitstemperaturbereich, bezogen auf die Frequenz bei 25°C : $\Delta f/f \leq \pm 15 \cdot 10^{-6}$ " und der "Arbeitstemperaturbereich: $-20^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ ".

Tolerierungen mit abgestuften Temperaturbereichen, oder schief liegende Toleranzen, um den Einfluß der Schaltung zu kompensieren (2.12.5), sind als Ausnahme möglich. Bei besonderen Ansprüchen auf Hysteresefreiheit (2.12.4) oder Dip-Freiheit sind diese hier besonders zu fordern, zum Beispiel:

"Sprunghafte Änderungen oder Abweichungen von einem stetigen Verlauf von mehr als 0,5 ppm sind unzulässig"

Derartige Forderungen sollten nur, wenn unbedingt erforderlich, zB. bei Quarzen für TCXO-Anwendungen gestellt werden, sie erfordern einen erheblichen Prüfaufwand und eine Selektion der Quarze, was sich in einem hohen Preis auswirkt. Bei großen Toleranzen wird auch die Summentoleranz aus Frequenztoleranz und Temperaturabhängigkeit angegeben. Sinnvoll schließt die Summentoleranz auch die Alterung mit ein. Die Toleranzangabe würde dann lauten:

“ Frequenztoleranz im Arbeitstemperaturbereich $\Delta f/f \leq \pm 100 \cdot 10^{-6}$ ”

3.2.10 Resonanzwiderstand

Der Resonanzwiderstand von Schwingquarzen kann nicht gezielt gefertigt werden. Er ergibt sich aus der Schwingungsgüte Q , deren Höchstwert durch die viskosen Verluste des Rohmaterials begrenzt ist. Gütemindernd wirken die durch die Konstruktion (Größe) und die Bearbeitung bedingten Schwingungsverluste. Für den Resonanzwiderstand ergibt sich für den jeweiligen Quarztyp ein minimal erreichbarer Wert. (siehe 2.13.3)

Fertigungsbedingt ist mit Streuungen bis zum 3-fachen Wert zu rechnen. Alles was enger toleriert ist, wird teuer. Für normale Anwendungen ist für den Maximalwert des Resonanzwiderstandes im Arbeitstemperaturbereich das 4-fache des rechnerischen Minimalwertes eine vernünftige Angabe. Auch wenn die Oszillatorschaltung größere Resonanzwiderstände zuläßt, sollte man diese nicht spezifizieren. Anderenfalls besteht das Risiko, daß Quarze mit versteckten Fehlern zur Anwendung kommen. Diese Quarze können zu Spätausfällen führen.

Eine Spezifizierung des Resonanzwiderstandes könnte heißen:

Resonanzwiderstand R_r kleiner als 25Ω .

Bei Quarzen für den Betrieb mit Lastkapazität wird entsprechend der Lastresonanzwiderstand R_L spezifiziert.

Der spezifizierte Wert für den Resonanzwiderstand gilt selbverständlich für den Arbeitstemperaturbereich. Er wird zweckmäßig mit dem Hersteller abgesprochen.

3.2.11 Parallelkapazität C_0

Bei gleichzeitig tolerierter dynamischer Kapazität sollten nur in Ausnahmefällen beide Werte, C_0 und C_1 toleriert werden, sie hängen voneinander ab. Das Verhältnis C_0/C_1 ist konstruktions- und fertigungsbedingt. Die Verknüpfung beider kann sich also bei verschiedenen Herstellern unterscheiden und wird von Fertigungsstreuungen beeinflusst.

3.2.12 dynamische Kapazität C_1

Die dynamische Kapazität C_1 wird nur spezifiziert, wenn in der Anwendung ein bestimmter Ziehbereich zu erfüllen ist.

Beispiele:

- A) Mindestziehbereich zum Abgleichen der Frequenz: $C_1 \geq 25 \text{ fF}$
- B) Tolerierter Ziehbereich eines VCXO oder TCXO: $C_1 = 25 \text{ fF} \pm 20\%$
- C) Häufig wird auch die Ziehbarkeit PR zwischen zwei genannten Lastkapazitäten gefordert. Hier würde die Angabe lauten:

Frequenzänderung zwischen den

Lastresonanzen $F_{L=25\text{pF}}$ und $F_{L=35\text{pF}}$:

oder

Ziehbarkeit:

$$\Delta f/f \geq 1000 \text{ Hz } (=100 \cdot 10^{-6} \text{ b. } 10 \text{ MHz})$$

$$\Delta f/f \geq \pm 430 \text{ Hz bezogen auf } C_L=30 \text{ pF} \\ (= 43 \cdot 10^{-6} \text{ bei } 10 \text{ MHz})$$

3.2.13 Alterung

Als Alterung wird die Langzeitstabilität spezifiziert. Hier sollten Bedingungen angeführt werden, die zeitlich auch prüfbar sind. Zweckmäßig bezieht man sich hier auf internationale Standards, wie sie in DIN 45 103 niedergelegt sind. Festgelegt ist die maximale Frequenzänderung bei einer Lagerung der Quarze über 30 Tage bei einer erhöhten Temperatur von 85°C. Die maximale Frequenzänderung wird spezifiziert. Ausnahme sind Präzisionsquarze mit sehr kleinen Alterungswerten, hier müssen die Bedingungen in Verbindung zur Spezifikation mit dem Lieferanten abgesprochen werden.

3.2.14 Belastungsabhängigkeit

Hier werden maximal zulässige Widerstandsänderungen bei Belastungsänderungen angegeben. Meist bei kleiner Belastung gegenüber der Bezugsbelastung (DLD). Oft aber auch eine Maximalbelastbarkeit. Beispiel für die Spezifizierung von DLD:

Maximale Änderung bei $P_C = 2\text{nW}$ gegenüber der Bezugsbelastung:

$$R_2/R_1 \leq 1,2 \qquad \Delta f/f \leq 2 \cdot 10^{-6}$$

Es kann auch eine maximale Änderung der Quarzparameter über einen Belastungsbereich gefordert werden, aber dann ist der Prüfaufwand entsprechend hoch.

Im Anhang B, Bild 3.37 sind Grenzwerte nach DIN.IEC 444-6 dargestellt.

3.2.15 Maße und Beschriftung

Die Abmessungen der Schwingquarzgehäuse und deren Toleranzen sind in den Normen bereits festgelegt und brauchen hier nicht nochmals festgelegt zu werden. Spezielle Abweichungen von diesen Normen, wie zum Beispiel die Länge der Anschlußdrähte, sind anzugeben. Die Beschriftung wird, wenn nötig angegeben.

3.2.16 Nebenresonanzen

Nebenresonanzen müssen nur in seltenen Fällen bei Quarzen spezifiziert werden, zB. für die Anwendung in Diskriminatorschaltungen, in Sonderfällen in VCXO-Schaltungen, auf alle Fälle bei der Anwendung in Quarzfiltern. Die Forderung muß den oder die Frequenzbereiche enthalten, in denen die Nebenwellenbedingungen gelten sollen.

Die Messung der Nebenresonanzen ist aufwendig, deshalb soll die Forderung von Nebenwellenbedingungen nur in dem Frequenzbereich erfolgen, in dem die Nebenresonanzen wirklich stören und auch zu erwarten sind. Die Angabe der zugelassenen Nebenresonanzwiderstände kann unterschiedlich erfolgen:

Übliche Angaben :

- a) Im Frequenzbereich f_N bis $f_N + 50$ kHz gilt: $R_N/R_r \geq 2$
- oder b) Dämpfung etwaiger Nebenresonanzen:
im Frequenzbereich 10 000 ... 10 050 kHz $R_N/R_r \geq 6$ dB
- oder c) Resonanzwiderstand der Nebenresonanzen:
im Frequenzbereich 10 000 ... 10 050 kHz $R_N \geq 50 \text{ k}\Omega$
10 050 ... 10 250 kHz $R_N \geq 1 \text{ k}\Omega$
- oder d) etwaige Resonanzen nahe der dreifachen Nennfrequenz:
im Frequenzbereich $3xf_N \pm 50$ kHz: $R_r \geq 500 \Omega$

zu a): Der Nebenresonanzwiderstand muß in diesem Fall mehr als doppelt so groß sein wie der Resonanzwiderstand der Hauptresonanz des gemessenen Exemplars. Die Forderung ist auf den Istwiderstand der Hauptwelle bezogen.

zu b): Das Dämpfungsmaß muß in ein Widerstandsverhältnis umgerechnet werden. Diese Angabe führt oft zu Irrtümern, wenn fälschlicherweise angenommen wird, es handelt sich um das Spannungsverhältnis am Ausgang der Meßanordnung (π -Netzwerk oder Brücke). Diese Spannungen sind jedoch nicht proportional den Resonanzwiderständen des Quarzes, vielmehr spielen der Innenwiderstand und der Abschlußwiderstand der Meßanordnung eine beeinflussende Rolle.

zu c): Eine bei Filteranwendungen übliche Angabe. Die Nebenresonanzwiderstände sind hier absolut, ohne anderen Bezug definiert.

zu d): Eine Angabe, wie sie für Anwendungen in speziellen digital gesteuerten Oszillatoren in Fernsehempfängern (Farbhilfsträger) benötigt wird. Sie dient zur Unterdrückung von Störungen bei der dreifachen Oszillatorfrequenz, siehe hierzu 2.15.2 und 2.15.3.

3.2.17 Isolationswiderstand

Isolationswiderstände von $R_{is} \geq 500 \text{ M}\Omega$ gemessen bei 100 V Gleichspannung sind üblich und in einigen Normen verankert. Der Wert wird jedoch meist nicht gesondert spezifiziert. Der Isolationwiderstand wird in Verbindung mit Umweltprüfungen geprüft.

3.2.18 Dichtigkeit des Gehäuses

Auf die Spezifizierung der Dichtigkeit des Gehäuses wird meist verzichtet, weil ja schon die Spezifizierung der Alterung eine gute Dichtigkeit voraussetzt. Zu spezifizierende Werte sind aus der Anwendung nicht abzuleiten. Während die DIN IEC keinen brauchbaren Hinweis für den zu spezifizierenden Wert liefert, finden wir in CECC 68 000 für die Qualifizierung von Schwingquarztypen den Prüfwert:

$$\text{Maximale Undichtheit} = 10^{-3} \text{ Pa cm}^3 / \text{s} \quad (= 10^{-8} \text{ mBar l/s}).$$

3.2.19 Lötbarkeit der Anschlüsse

Für ein elektronisches Bauelement sollte die Lötbarkeit selbstverständlich sein, trotzdem ziehen es viele Anwender vor, durch eine Spezifizierung nochmals auf eine gute Lötbarkeit hinzuweisen:

Lötbarkeit entsprechend Prüfung Ta nach IEC 68-2-20, Verfahren 1

Lötwärmebeständig nach Prüfung Tb nach IEC 68-2-20, Verfahren 1

Bis zu welchem Abstand von der Bodenplatte die Drähte lötbar sein sollen, ist vorzuschreiben (vorzugsweise 2mm), siehe auch "Durchführung der Prüfungen".

3.2.20 Schüttelfestigkeit

Die Schüttelfestigkeit entspricht den Anforderungen an das Gerät. Bei stationären Geräten werden die Ansprüche niedriger sein als bei Geräten für den mobilen Einsatz. Die höchsten Ansprüche werden in der Kraftfahrzeugindustrie gestellt. Beispiel einer Spezifikation für allgemeine Anwendungen:

Schwingen, sinusförmig, Prüfung Fc IEC 68-2-6

10... 60 Hz, konstante Amplitude 0,75 mm

60...500 Hz, konst. Beschleunigung 10 g

in den 3 Achsen, je Achse 120 Min. 1 Oktave/Min.

* Maximale Änderungen

* durch die Beanspr.:

* $\Delta f/f \leq \pm 5 \cdot 10^{-6}$

* $\Delta R/R \leq \pm 10 \%$

3.2.21 Stoßfestigkeit

Für die Stoßbeanspruchung gilt das Gleiche wie schon unter Schüttelfestigkeit beschrieben. Bei den zunehmenden Anwendungen kleiner tragbarer Geräte, sollte die Zweckmäßigkeit der Forderung durch einen praxisgerechten Fallversuch ermittelt werden.

Beispiel einer Stoßforderung:

Schocken nach DIN IEC 68-2-27, Prüfung Ea
Beschleunigung 100 g, 6 ms, halbsinusförmig
je 3 Schocks in beiden Richtungen der 3 Achsen

- * Maximale Änderung
- * durch die Beanspr.
- * $\Delta f/f \leq \pm 5 \cdot 10^{-6}$
- * $\Delta R/R \leq \pm 10 \%$

3.2.22 Freifallen

Diese Prüfung ist für Schwingquarze nach DIN IEC 122-1 nicht vorgesehen. Es ist eine nur statistisch reproduzierbare, aber einfache und praxisgerechte Prüfung. Die Prüflinge fallen im freien Fall in undefinierter Richtung aus einer bestimmte Höhe auf eine Unterlage. Für die Prüfung von Geräten ist in DIN IEC 68-2-32 als Unterlage Stahl oder Beton vorgesehen. Für die leichten Bauelemente Schwingquarze hat sich eine 5 cm dicke Hartholzunterlage bewährt (MIL-C-3098). In der veralteten amerikanischen Militärvorschrift MIL-C-3098 war eine Fallhöhe von 25 cm vorgeschrieben. Moderne Quarze sollten den freien Fall aus 75 cm unbeschadet überstehen. In der Fachgrundspezifikation für Schwingquarze CECC 68 100 ist eine Fallhöhe von 100 cm vorgeschrieben.

3.2.23 Zug- und Biegefestigkeit der Anschlüsse

Mit dieser Prüfung wird der Anwender von Schwingquarzen kaum konfrontiert. Die Werte sind durch die Konstruktion und Normen der Halterteile und Gehäuse weitgehend festgelegt. Die Prüfung dieser Parameter ist in DIN IEC 122-1 niedergelegt.

3.2.24 Trockene Wärme

Für den Fall, daß diese Prüfung vorgeschrieben werden soll, ein Beispiel:

Prüfung Ba nach IEC 68-2-2
Prüfbedingungen: 100°C; 96 Stunden

T Maximale Änderungen:

* $\Delta f/f \leq \pm 5 \cdot 10^{-6}$

* $\Delta R/R \leq 5 \%$

Die Prüfung Trockene Wärme ist meist Teil einer Folgeprüfung. In diesem Fall wird nicht die Einzelveränderung spezifiziert, sondern die Gesamtveränderung nach der kompletten Prüffolge.

3.2.25 Feuchte Wärme, konstant

Diese Beanspruchung ist eine Vorbereitung zur Feststellung von Flußmittelrückständen, Rissen in den Glasdurchführungen oder Undichtheiten.

Nach DIN IEC 122 Teil 1 :

Feuchte Wärme, konstant

* Maximale Änderung bezogen

* auf den Anfangswert:

Prüfung Ca nach IEC 68-2-3

* $\Delta f/f \leq \pm 5 \cdot 10^{-6}$

Beanspruchungsdauer: 56 Tage

* $\Delta R/R \leq \pm 10 \%$

* $R_{\text{Isol.}} \geq 500 \text{ M}\Omega$

3.2.26 Klimafolgeprüfung

Zur Klimatauglichkeitsprüfung ist in der DIN IEC 122 Teil 1 eine Folge von klimatischen Belastungen vorgesehen. Die hierbei zulässigen Änderungen sind in der Spezifikation anzugeben.

Klimafolge:

Trockene Wärme

Prüfung Ba IEC 68-2-2

Feuchte Wärme, 1. Zykl.

Prüfung Db IEC 68-2-30

Kälte

Prüfung Aa IEC 68-2-1

Feuchte Wärme, restl. Zykl.

Prüfung Db IEC 68-2-30

Maximale Änderungen durch die Klimafolgeprüfung:

- * $\Delta f/f \leq 5 \cdot 10^{-6}$
- * $\Delta R/R \leq 10\%$
- * $R_{\text{Isol}} \geq 500 \text{ M}\Omega$

3.3 Prüfplan

Art der Prüfungen, Reihenfolge der Prüfungen und die Stückzahl der jeweils zu prüfenden Quarze hängt vom Zweck der Prüfung und der bestellten Stückzahl ab. Grundsätzlich wird nach dem Zweck der Prüfung unterschieden:

Prüfung:	Zweck der Prüfung:	Lieferung:
Freigabeprüfung	Typfreigabe Qualitätsfreigabe Lieferantenfreigabe	große S t ü c k - zahl
Konformitätsprüfung	Lieferantenauswahl Übereinstimmung des Produktes mit der Freigabe	große Stückzahl
Waren-Eingangsprüfung	Kontrolle des angelieferten Produktes. Stichprobenprüfung ----> 100 % - Prüfung ---->	große Stückzahl kleine Stückzahl

3.3.1 Freigabeprüfung

Prüfungen sind kostenaufwendig, man wird deshalb für die spätere Eingangskontrolle die Anzahl der Prüfungen auf ein unbedingt erforderliches Minimum beschränken. Um so sorgfältiger ist eine einmalige Freigabeprüfung des Produktes vor Lieferbeginn durchzuführen. Bei der **Freigabeprüfung** werden **alle** in der Spezifikation aufgeführten Punkte geprüft. Nur wenn alle Werte innerhalb der spezifizierten Toleranzen liegen, kann das Produkt freigegeben werden. Andernfalls ist mit dem Lieferanten und mit der eigenen Entwicklungsabteilung Rücksprache zu nehmen und der Fehler abzustellen. Es muß dann eine erneute Freigabe

erfolgen. Es ist nicht sinnvoll, die Spezifikation nach den Ergebnissen der Freigabeprüfung zu korrigieren. Das Ergebnis einer Freigabeprüfung entscheidet, ob ein bestimmter Quarztyp eines Herstellers den Forderungen des Datenblattes entspricht. Sie entscheidet ob der Hersteller in der Lage ist, Schwingquarze nach diesem Datenblatt zu fertigen. Die Freigabe erfolgt durch die Typprüfung. Der Schwingquarztyp kann ein, in einem bestimmten Datenblatt spezifizierter Quarz einer bestimmten einzelnen Frequenz sein, oder ein Frequenzbereich gleicher Bauart der Quarze. Schwingquarze gleicher Bauart haben vergleichbare

- elektrische Eigenschaften
- Umwelteigenschaften
- Konstruktion
- Ausführung

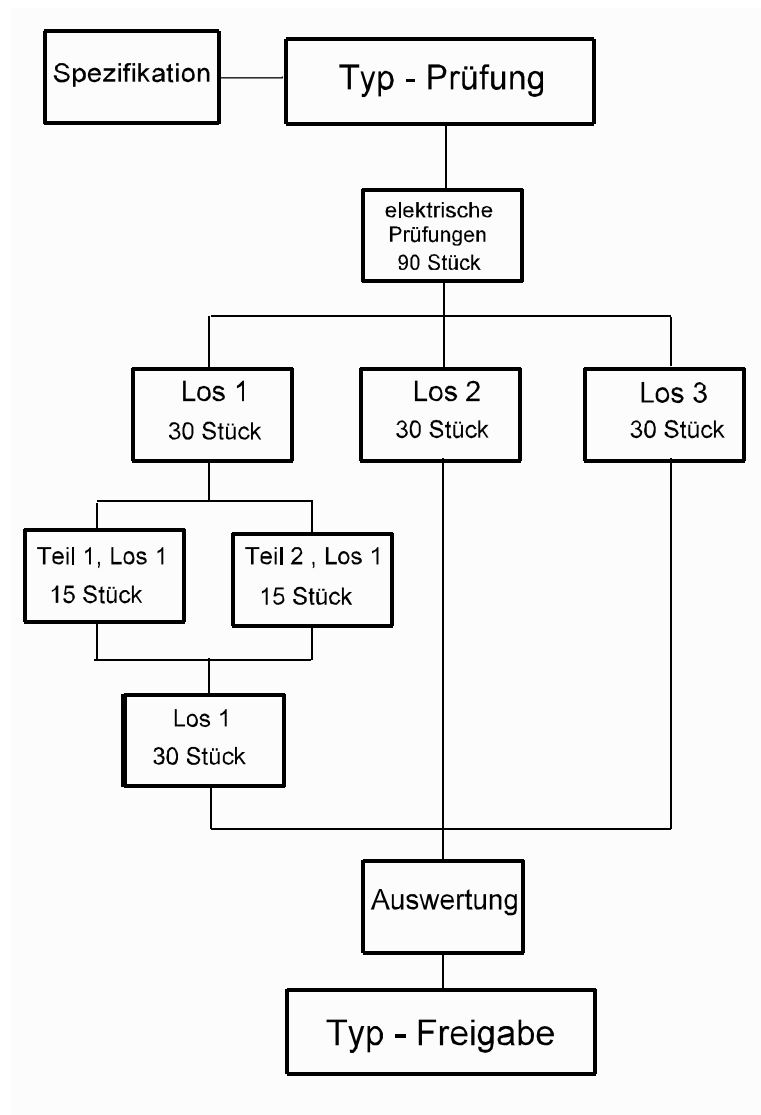


Bild 3.3 Prüfplan für Freigabeprüfungen (Typprüfungen)

Bei Quarzen in einem größeren Frequenzbereich ist es zweckmäßig, die Typprüfung an Quarzen der beiden Eckfrequenzen durchzuführen. Eckfrequenzen sind zB. auch die Enden der Bereiche, in dem die Quarze gleiche Elektroden Durchmesser (Konstruktion) haben, wenn tolerierte Ersatzdaten gefordert sind. Einige Prüfungen sind sehr zeitaufwendig, andererseits sind auch bestimmte Prüfreihenfolgen einzuhalten. Deshalb ist es zweckmäßig, die freizugebenden Quarze in mehrere Prüfgruppen aufzuteilen. Die Stückzahlen für die einzelnen Prüfgruppen müssen so groß sein, daß eine einigermaßen vernünftige statistische Auswertung und Bewertung der Streuungen möglich ist. Die Mindeststückzahl pro Prüfgruppe sollte 30 Stück nicht unterschreiten. Das sind bei 3 Prüfgruppen also mindestens 90 Prüflinge. Deutlich bessere Ergebnisse werden mit 50 Stück pro Prüfgruppe erzielt.

Die Ergebnisse einiger Prüfungen sind unabhängig von den Typgruppen. z.B. wird das Ergebnis der Prüfung "Feuchte Wärme" durch die Gehäusekonstruktion geprägt. In diesem Fall braucht diese Prüfung nicht an allen Typen durchgeführt zu werden. Bei Quarzen verschiedener Hersteller ist die Prüfung auf alle Fälle auch bei scheinbarer Gehäusegleichheit durchzuführen, weil nicht bekannt ist, ob beide Hersteller die Gehäuse aus der gleichen Quelle beziehen und eine gleich sichere Verschleißtechnik anwenden usw.

3.3.1.1 Elektrische Prüfung

Als erste Prüfung werden alle Prüflinge der elektrischen Prüfung unterzogen. Die Reihenfolge der Prüfungen ist in DIN-IEC 122 Teil 1 festgelegt. In der hier aufgeführten Prüffolge sind die Messungen der statischen- und dynamischen Kapazität in der Reihenfolge vorgezogen, weil bei der Messung mit automatischen Messanordnungen die Kapazitätswerte bei der Auswertung der Frequenz und Widerstandsmessung automatisch mit anfallen.

- 1) Sichtprüfung
- 2) Dichtheit, Prüfung A (Grobleck)
- 3) Lastabhängigkeit von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand
- 4) Resonanzfrequenz
Resonanzwiderstand
dynamische Kapazität
statische Kapazität
- 5) Temperaturgang von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand
- 6) Isolationswiderstand
- 7) Andere Parameter, wenn in der Spezifikation gefordert
- 8) Dichtheit, Prüfung B (Feinlecktest)

Von größter Wichtigkeit ist, daß zeitlich vor der elektrischen Belastung, die Belastungsabhängigkeit der Schwingquarze beginnend mit der kleinen Belastung gemessen wird. Nach einer elektrischen Vorbelastung wäre ein Fehler im DLD, nicht mehr erkennbar.

siehe auch (2.13.9).

3.3.1.2 Mechanische und Klimatische Prüfungen

Nach der elektrischen Prüfung werden die Quarze in drei Prüflöse unterteilt. Das erste Prüflös wird nochmals in zwei Hälften unterteilt. In den beiden geteilten Losen wird (soweit in der Spezifikation verlangt) die mechanische Belastbarkeit der Schwingquarze, die Festigkeit und Lötbarkeit der Anschlußdrähte (bei Schwingquarzen mit Lötanschlüssen) geprüft. Diese Prüfungen sind den nachfolgenden klimatischen Prüfungen vorangestellt, damit sich etwaige durch die Vorprüfung entstandene Undichtheiten der Gehäuse auswirken können. Das Prüfkriterium Undichtheiten wird dann auch bei der letzten Prüfung "Temperaturabhängigkeit" durch auftretende Dips erkennbar. Aus den gleichen Gründen ist auch den Prüfungen der Lose 2 und 3 eine Prüfung der Temperaturabhängigkeit nachgeschaltet. (siehe dort).

Prüfreihefolge Los 1 :

1. Hälfte:

DIN IEC ...

1.1)	Dauerschocken	wenn verlangt	D*	68-2-29 Prf.Eb
1.2)	Schocken	wenn verlangt	D*	68-2-27 Prf.Ea
1.3)	Schwingen	wenn verlangt	D*	68-2- 6 Prf.Fc
1.4)	Gleichförmige Beschleunigung	wenn verlangt	D*	68-2- 7 Prf.Ga

2. Hälfte:

2.1)	mech.Prüfung der Anschlüsse	wenn verlangt	D*	68-2-21 Prf.U
2.2)	Lötbarkeit der Anschlüsse	wenn verlangt	D*	68-2-20 Prf.Ta

gesamte Stichprobe:

3.1)	Rascher Temperaturwechsel bei Glasgehäuse	ND*	68-2-14 Prf.Nc
3.2)	Trockene Wärme	ND*	68-2-2 Prf.Ba
3.3)	Feuchte Wärme, erster Zyklus	ND*	68-2-30 Prf.Db
3.4)	Kälte	ND*	68-2-1 Prf.Aa
3.5)	Feuchte Wärme, restliche Zyklen	ND*	68-2-30 Prf.Db
3.6)	Temperaturwechsel (Luft) wenn verlangt	ND*	68-2-14 Prf.Na
3.7)	Temperaturabhängigkeit f_r und R_r		122 Teil I

Prüfreihefolge Los 2:

1)	Feuchte Wärme, konstant	D*	68-2-3 Prf.Ca
2)	Temperaturabhängigkeit f_r und R_r		122 Teil I

Prüfreihefolge Los 3:

1)	Alterung	ND*	122 Teil I
2)	Temperaturabhängigkeit f_r und R_r		122 Teil I

* Die Prüfung ist zerstörend (D) oder nichtzerstörend (ND)

3.3.2 Konformitätsprüfung

Die Konformitätsprüfung soll sicherstellen, daß nach einem längeren Zeitraum das Erzeugnis noch so geliefert wird, wie es freigegeben wurde. Die Konformitätsprüfung wird nach Ablauf von 1.. 2 Jahren laufender Lieferungen oder nach einer längeren Lieferunterbrechung durchgeführt. Bei der Konformitätsprüfung werden oft nicht alle Parameter der Freigabe geprüft. Welche Prüfungen durchgeführt werden müssen, entscheidet sich aus der Anwendung der Schwingquarze. Die Ergebnisse der Konformitätsprüfung werden mit denen der Freigabe verglichen. Es sollten keine Abweichungen auftreten, auch nicht innerhalb der Toleranzen. Für Vergleichszwecke sollten immer genügend Exemplare aus der Freigabeprüfung aufbewahrt werden, die gegebenenfalls mit Quarzen neueren Datums verglichen werden können.

3.3.3 Wareneingangsprüfung

Nach einer erfolgten Freigabe, bei der die Streuungen der Werte einen genügenden Abstand von den Toleranzen hatte, sollte eine Wareneingangsprüfung nicht notwendig sein. Die Quarze sind schon einmal beim Hersteller als Ausgangsprüfung geprüft worden. Die Wareneingangsprüfung bezieht sich also nur auf die notwendigen Parameter, um Irrtümer auszuschließen. Es sollten Stichproben genügen, um Ausbau- und Reparaturkosten in der Produktion zu sparen. Wenn auch Stichproben nach AQL-Werten 1,5 oder 0,65 und darunter heute nicht mehr aktuell sind, so sind die Stichprobentabellen zur Auswahl der Stichprobengröße recht hilfreich. Zu prüfen sind in den meisten Fällen:

- 1) Sichtprüfung
- 2) Belastungsabhängigkeit (Anschwingen)
- 3) Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand
- 4) weitere Parameter soweit relevant

Eine statistische Auswertung ist hilfreich, um den Qualitätstrend des Herstellers laufend zu beurteilen.

3.3.4 100 %-Prüfung

Bei Lieferungen kleiner Stückzahlen wird man keine Typfreigabe durchführen. Die Größe einer statistisch gesicherten Stichprobe zeigt, daß eine 100%ige Prüfung des gesamten Loses sinnvoll ist. Hierbei werden im Allgemeinen nur die für die Anwendung relevanten Prüfungen durchgeführt. Oft sind die für die Prüfung notwendigen Prüfgeräte nicht vorhanden, dann muß in einer Musterschaltung des Gerätes eine Funktionsprüfung erfolgen.

3.4 Durchführung der Prüfungen

Die Durchführung der Prüfungen ist in der DIN-IEC 122 und DIN-IEC 68 beschrieben und festgelegt. Diese umfangreichen Vorschriften sollen hier nicht wiederholt werden. Vielmehr soll auf Besonderheiten bei der praktischen Durchführung dieser Prüfungen und auf die Fehlerursachen und Fehlerfolgen eingegangen werden.

3.4.1 Visuelle Inspektion

Es werden die mechanischen Abmessungen und die Beschriftung kontrolliert. Die Beschriftung (Kennzeichnung) muß vollständig sein und gemäß der Spezifikation platziert sein. Sie muß wischfest sein. Das Herstellungsdatum muß das aktuelle Datum sein. Die Abmessungen des Gehäuses soll der Norm und die Länge der Anschlußdrähte soll dem Datenblatt entsprechen. Bei einer Wareneingangsprüfung sollte man dabei gleich einen Blick auf die Oberfläche der Anschlußdrähte werfen. Sieht die Verzinnung einwandfrei aus? Im Zweifel wird ein Lötbarkeitstest gemacht.

3.4.2 Belastungsabhängigkeit

Gemeint ist hier die Änderung des Resonanzwiderstandes (und der Frequenz) bei kleiner Belastung (genannt DLD oder auch second Level of Drive). Weil der Fehler, nämlich der überhöhte Resonanzwiderstand bei kleiner Belastung beim Betrieb mit höherer Belastung vorübergehend verschwindet, muß diese Prüfung vor jeder anderen elektrischen Belastung durchgeführt werden!

In DIN-IEC 444-6 ist eine Vorlagerung von 1 Woche bei Raumtemperatur oder 1 Tag bei 105°C mit anschließender Angleichung an die Raumtemperatur über 2 Stunden vorgesehen. Erfahrungsgemäß reicht diese Zeit nicht aus. Im Zweifelsfall sollten die Quarze vor der Prüfung ca. 14 Tage unbelastet lagern.

Prüfmittel:	oder	oder
Passives Quarzmessgerät mit π -Glieder nach IEC 444	aktives DLD-Meßgerät	Anwender-Oszillator

3.4.2.1 Passive DLD-Messung mit zwei oder mehreren Belastungen

Die klassische DLD-Messung erfolgt im π -Netzwerk nach IEC 444. Dieses Netzwerk ist in Kapitel 3, Meßtechnik eingehend behandelt. Hierbei kann die bereits beschriebene Meßanordnung nach DIN-IEC 122 benutzt werden. Als erste Messung erfolgt die mit der kleineren Belastung. Vor der Messung eines jeden Quarzes muß also mit dem variablen Abschwächer die in der Spezifikation vorgeschriebene Belastung eingestellt werden. Die eingestellte Belastung ergibt sich aus:

$$P_c = R_r \cdot U_2^2 \cdot 47,9 \cdot 10^{-3} \text{ [W]} \quad (1)$$

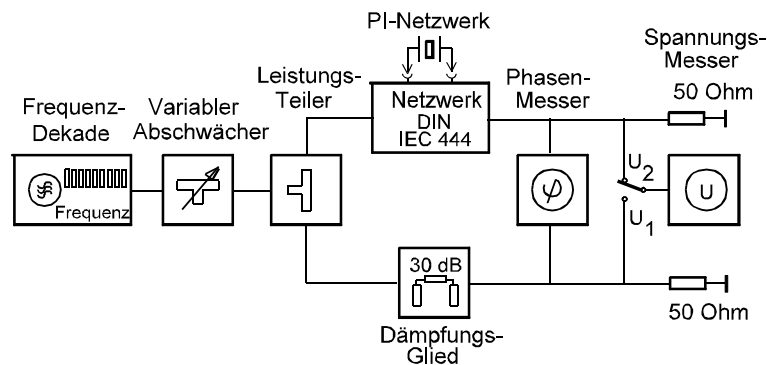


Bild 3.4 Passive Quarzmessung nach DIN IEC 122

Für die Einstellung der Spannung U_2 muß ein reeller Widerstand anstelle des Quarzes in das π -Glied eingefügt werden. Dieser Widerstand soll dem mittleren Resonanzwiderstand der zu messenden Schwingquarze entsprechen. Für einen vorgegebenen Belastungsstrom erhalten wir die einzustellende Spannung U_2 nach:

$$U_2 = I_c \cdot 4,56 \quad (2)$$

Wenn nicht anders spezifiziert, sollte der eingestellte Quarzstrom I_c nicht größer als $50 \mu A$ sein. Anstelle von U_2 kann auch die erforderliche Eingangsspannung am π -Glied leicht aus dem Kalibrierfaktor $k = U_2 / U_1$ errechnet werden. Als zweite Messung wird dann die mit der höheren spezifizierten Belastung durchgeführt. Das Verhältnis aus den beiden gemessenen Resonanzwiderständen wird als DLD bewertet.

Wenn ein Phasenmesser oder Vektorvoltmeter nicht vorhanden ist, kann als Indikator bei der Messung mit dem π -Glied ein empfindliches Voltmeter benutzt werden (Bild 3.5). Die Frequenz wird dann statt auf Phase-0, auf Spannungsmaximum von U_2 eingestellt. Die Errechnung des Quarzwiderstandes ergibt dann statt R_r den Minimal-Impedanz-Widerstand R_m . Für das DLD ist dies unerheblich, weil das Verhältnis der Widerstände definiert ist. Das Problem bei der DLD-Messung ist meist die sehr kleine Spannung U_2 , die noch einwandfrei angezeigt werden muß. Weiter kommt man mit π -Glied-Anordnungen mit einem Netzwerkanalysator als Generator und Indikator. In Bild 3.6 ist ein Beispiel mit einem 2-Tor Analysator.

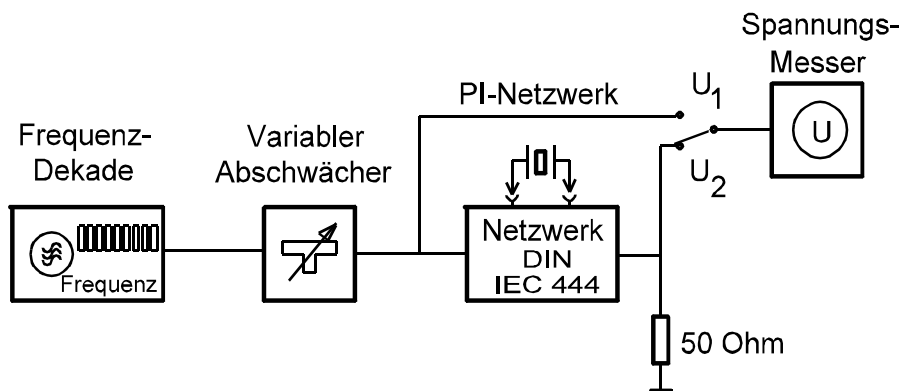


Bild 3.5 Passivmessung der Minimalimpedanz

Hier besteht meist die Möglichkeit aus den beiden Eingangsspannungen mit dem geräteinternen Rechner, direkt den Resonanzwiderstand zu errechnen und anzeigen zu lassen. Besonders einfach gestaltet sich die Messung des DLD mit einem automatischen "Passiv-Meßplatz". Hier sind die Programme zur Berechnung der Resonanzwiderstände fix und fertig programmiert.

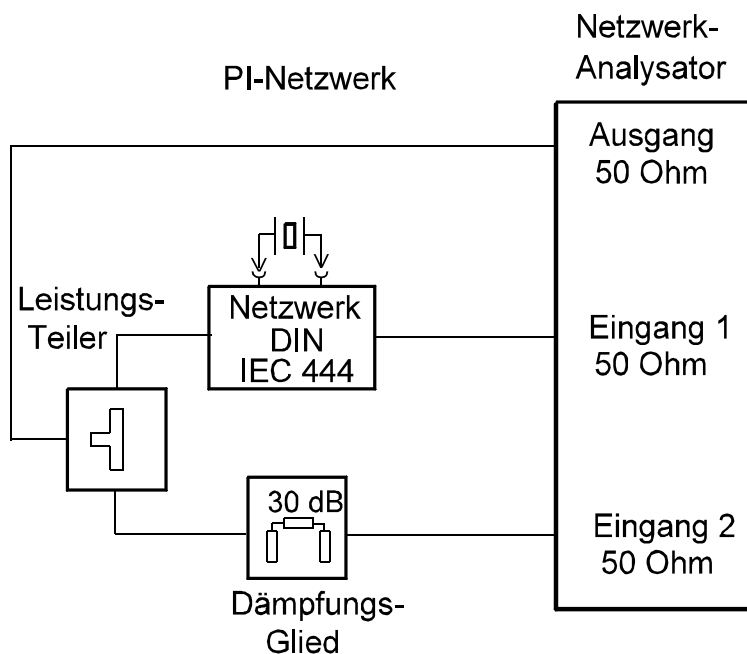


Bild 3.6 Passivmessung mit Netzwerkanalysator

3.4.2.2 Kontinuierliche DLD-Messung, passiv

Die Aufnahme genügend vieler Belastungswerte zur Beurteilung von Widerstandspitzen über die Belastung ist sehr mühselig, weil die belastungsabhängige Frequenz immer wieder nachgestellt werden muß. In Bild 3.7 ist ein Schaltungsvorschlag aus DIN IEC 122 wiedergegeben, mit dem die kontinuierliche DLD-Messung automatisiert werden kann. Über eine Steuerlogik wird mit einer bestimmten Zeitkonstante mittels des steuerbaren Abschwächers die Belastung eingestellt. Die phasenabhängige Ausgangsspannung des Vektorspannungsmessers steuert über den AFC die Frequenzdekade so, daß die Phase immer 0-Grad beträgt. Die AFC-Spannung ist gleichzeitig ein Maß für die Frequenzänderung. Die Ausgangsspannung des Voltmeters wird als Maß des Resonanzwiderstandes auf den XY-Schreiber gegeben. Die X-Achse des Schreibers wird über die Steuerlogik synchron zur Pegelsteuerung angetrieben. Diese Anordnung kann in ähnlicher Form auch mit einem Netzwerkanalysator aufgebaut werden. Über den IB-Bus können mit entsprechenden Rechen-Programmen vollautomatische Messungen realisiert werden.

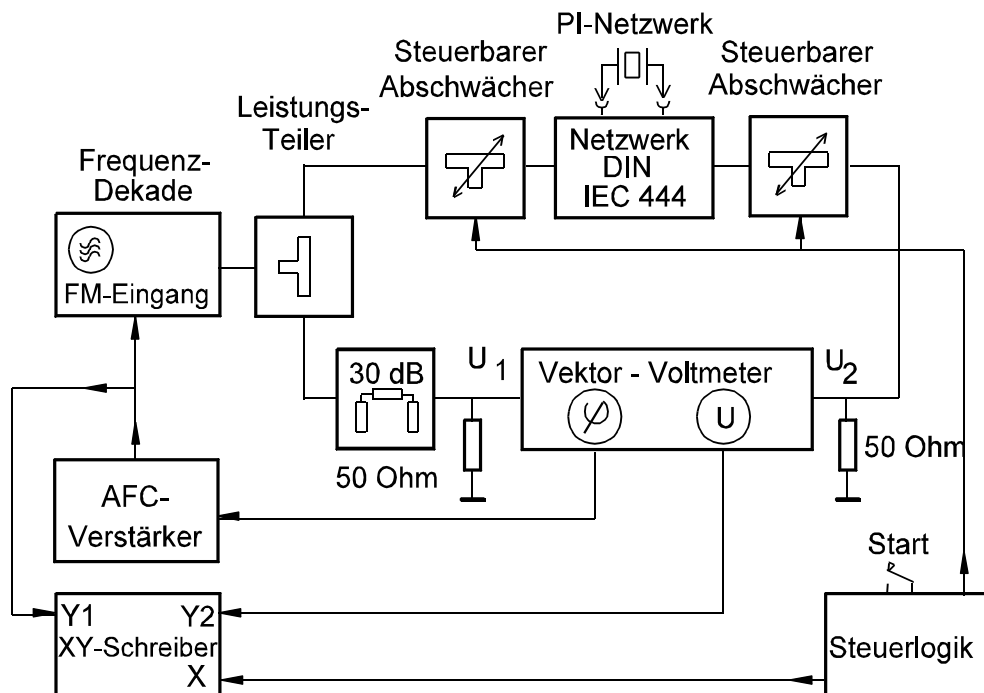


Bild 3.7 Kontinuierliche DLD - Messung, passiv

3.4.2.3 Aktive DLD-Messung

Wenn kein Passiv-Messplatz zur Verfügung steht, oder wenn eine große Stückzahl (100%-Prüfung) automatisch geprüft werden soll, scheint eine aktive Messung sinnvoll. Eine aktive Messung mit der Originaloszillatorschaltung unter erschwerten Bedingungen liefert zwar keine exakten Meßwerte, kann aber sehr sinnvoll sein, sie ist vor allem praxisnah. Bild 3.8 soll im Prinzip die Maßnahmen zur Verschärfung der Anschwingbedingungen im Originaloszillator darstellen. Die Widerstandskombination R_1 und R_2 soll die Betriebsspannung auf den Minimalwert der im Gerät vorkommenden Betriebsspannung herunterteilen, gleichzeitig soll die Zeitkonstante $R_u \cdot C_u$ ein weiches Hochfahren des Oszillators über den Zeitraum von etwa 1...2 sek. bewirken. Durch Vergrößern der Kapazität C_2 kann die Rückkopplung soweit erniedrigt werden, oder (und) durch die Reihenschaltung eines Widerstandes R_v zum Quarz wird die Schwingbedingung des Oszillators soweit verschlechtert, daß unsichere Anschwingkandidaten noch mit Sicherheit ausgesiebt werden können.

Da mit dieser Methode keine übertragbaren Meßergebnisse erzielt werden, müssen gegebenenfalls entsprechende Vereinbarungen mit dem Hersteller getroffen werden. Bei der aktiven DLD-Messung mit gebräuchlichen Testoszillatoren ist Vorsicht geboten: Bei einigen Testoszillatoren wird die Leistung erst nach dem Schwingen des Quarzes mit maximaler Amplitude auf die voreingestellte Leistung herunterge-regelt. Damit ist der Quarz bereits beim Anschwingen vorbelastet. Eine DLD-Messung ist also nicht mehr möglich.

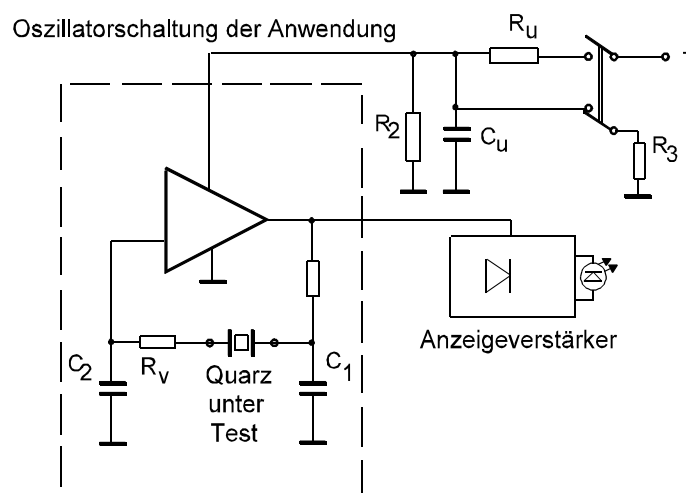


Bild 3.8 Aktive DLD-Prüfung in der Anwenderschaltung

Nach einem Vorschlag der Fa. Philips können diese Probleme mit einer aktiven Anschwing-Prüf-Schaltung nach Bild 3.9 gelöst werden. Es handelt sich hierbei um einen Oszillator mit definierter negativer Impedanz. Mit dem Abgleichwiderstand wird der Maximalwiderstand, mit dem der Oszillator noch schwingt, eingestellt. Der Oszillator durchfährt den gesamten Belastungsbereich von 10^{-15} W bis 10^{-3} W. Bei Überschreitung des eingestellten Grenzwiderstandes wird die Oszillation unterbrochen, die Anzeigelampe und die Steuereinheit werden nicht aktiviert. Das Schaltbild ist im Kapitel 4 wiedergegeben. Dieses Verfahren ist in der DIN-IEC 444-6 beschrieben.

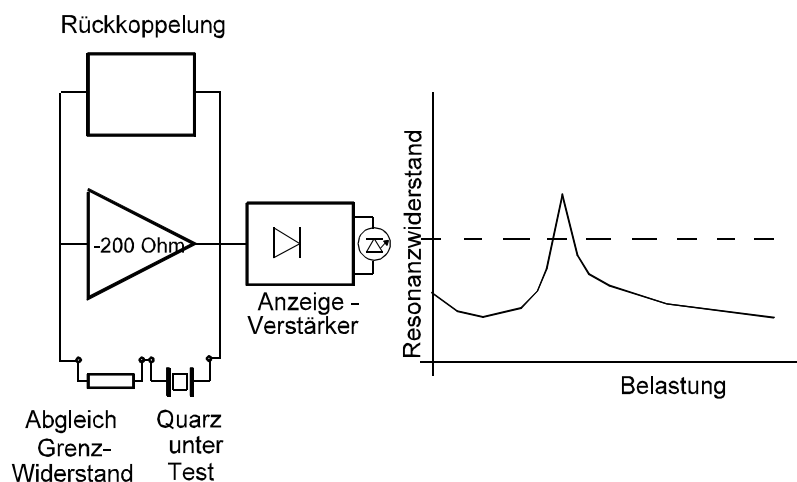


Bild 3.9 Aktive DLD - Messung

3.4.3 Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand

Die Resonanzfrequenz und der Resonanzwiderstand werden mit der in der Spezifikation genannten Nennbelastung gemessen. Die Umgebungstemperatur muß während der Messung der Bezugstemperatur entsprechen. Im Allgemeinen beträgt sie $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, wenn in der Spezifikation nicht anders angegeben. Vor der Prüfung müssen die Quarze bei der Bezugstemperatur so lange gelagert werden, bis ein Temperatúrausgleich stattgefunden hat. Beim Einsetzen der Quarze in das Prüfgerät ist darauf zu achten, daß die Quarze nicht unzulässig durch die Handtemperatur erwärmt werden.

Bei Quarzfrequenzen über 100 MHz ist entweder die Parallelkapazität zu kompensieren, oder die in der Spezifikation vereinbarte Meßmethode anzuwenden (siehe hierzu 2.14.2, Bild 2.58). Kompensationsmethoden sind im Vortrag Meß-

technik angegeben. Weil die Zuleitungsinduktivitäten die Meßergebnisse verfälschen könnten, erfolgt die Kontaktierung des Quarzes durch die Meßaufnahme in der Referenzebene. Die Normung hat 2 mm unterhalb der Grundfläche des Schwingquarzgehäuses als Referenzfläche definiert.

Die Lastresonanzfrequenz ist mit der vorgeschriebenen Lastkapazität zu ermitteln, entweder durch Vorschalten einer realen (physikalischen) Kapazität oder durch Berechnung aus gemessenen Parametern. Beide Verfahren können bei Erdung oder Nichterdung des Schwingquarzgehäuses zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Besonders groß sind die durch Streukapazitäten verursachten Fehler bei der Messung des Lastresonanzwiderstandes. Hier ist es auf alle Fälle angebracht, den Wert aus dem Resonanzwiderstand zu errechnen, oder einen aus mehreren Messungen ermittelten Korrekturwert anzubringen:

$$R_L = R_r \left(1 + \frac{C_0}{C_L} \right)^2 \quad (3)$$

Bei Verwendung einer physikalischen Lastkapazität sollte diese aufgeteilt werden und in beiden Zuleitungen mit je dem doppelten Kapazitätswert angeordnet werden. Auf geringst mögliche Streukapazitäten ist zu achten.

3.4.3.1 Passive Messung von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand

Nach DIN IEC 122 Teil 1 ist die passive Messung mit einem π -Glied nach DIN IEC 444 vorgesehen, wenn nicht eine andere Methode in der Spezifikation vorgeschrieben ist. Die Anordnungen zur passiven Messung sind im Wesentlichen die gleichen, wie sie zur DLD-Messung schon beschrieben wurden, nur daß die Quarzbezugsleistung eingestellt wird.

Die Lastresonanzfrequenz und der Lastresonanzwiderstand können mit vorgeschalteten physikalischen Kapazitäten, oder mit vorgegebenen Phasen- und Amplitudenoffsetwerten gemessen werden, oder aus den gemessenen Daten errechnet werden. Die Errechnung der Lastresonanzdaten aus den bei mehreren Frequenzen oder Phasenbedingungen ermittelten Meßwerten hat den Vorteil, daß sie durch Streukapazitäten nicht beeinflußt werden. Bei höheren Quarzfrequenzen (etwa ab 100 MHz) muß die statische Parallelkapazität des Quarzes kompensiert werden. Dies erfolgt im einfachsten Fall durch Parallelschalten einer Induktivität (Bild 3.10),

kann aber auch in einer Brückenschaltung durch eine veränderbare Kapazität ausgeglichen werden (einfach durchzuführen bei Messung mit 2-Tor-Netzwerkanalysatoren). Der Wert der Kompensationsspule L_{Komp} beträgt:

$$\omega L_{\text{Komp}} = \frac{1}{(\omega C_0)} \quad L_{\text{Komp}} = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_0} \quad (4)$$

Die Spule wird etwa 50 kHz unter der Resonanzfrequenz des Quarzes bei gleichzeitig eingesetztem Quarz auf Ausgangsspannungsminimum abgeglichen.

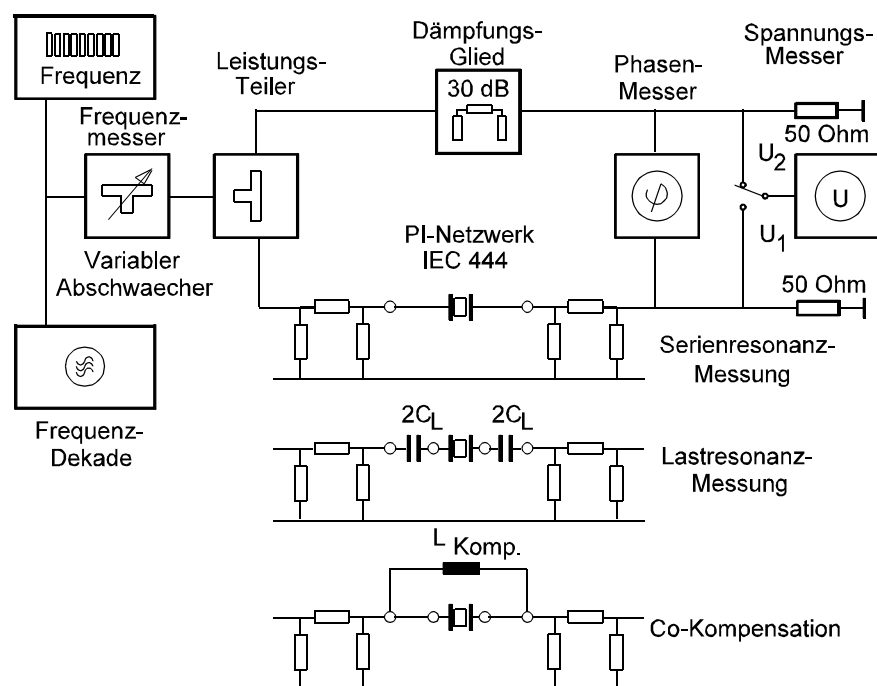


Bild 3.10 Messungen mit dem π -Netzwerk nach DIN IEC 444

3.4.3.2 Aktive Messung von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand

Eine aktive Meßmethode ist nicht genormt. Die aktive Messung ist in den meisten Fällen ungenauer als die passive Quarzmessung, aber die benötigten Meßgeräte sind preisgünstiger (soweit die zur Passivmessung benötigten Geräte nicht aus anderen Aufgaben zur Verfügung stehen), die Messungen sind meist schneller. Bei der aktiven Methode wird der Schwingquarz in den Rückkopplungsweig eines Oszillators eingezweigt. Die Oszillatorschaltung enthält einen Abstimmkreis, damit Phasenfehler eliminiert werden können. Vor der Messung muß der Oszillator "reell"

gemacht werden, d.h. bei der Resonanzfrequenz des Quarzes muß die Phase in der Rückkopplungsschleife gleich 0 sein. Hierzu wird statt des Quarzes ein Ohm'scher Widerstand angeschlossen. Mit dem Abstimmkreis wird der schwingende Oszillator auf die Quarznennfrequenz abgestimmt. Dabei wird auch die Schwingamplitude des Oszillators so eingestellt, daß am Widerstand die in der Spezifikation festgelegte Belastung entsteht.

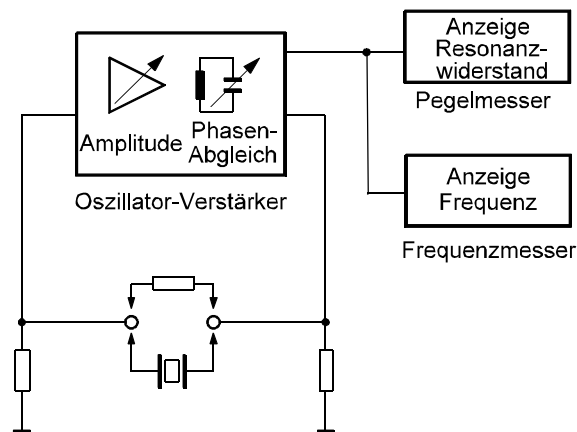


Bild 3.11 Aktive Quarzmessung, Prinzip

Die Meßgenauigkeit hängt wesentlich von der präzisen Abstimmung des Oszillators ab. Der Wert des Vergleichswiderstandes soll nicht mehr als 30% vom Resonanzwiderstand der zu messenden Quarze abweichen. Zur Messung der Lastresonanzfrequenz wird die Lastkapazität mit dem Quarz in Serie geschaltet. Die Lastresonanzfrequenz und der Lastresonanzwiderstand kommen nun zur Anzeige. Allerdings weicht auch hier der angezeigte Wert des Lastresonanzwiderstandes, bedingt durch Streukapazitäten, vom wahren Wert ab. Üblich ist es deshalb, den Lastresonanzwiderstand aus der Serienresonanz-Messung zu errechnen.

3.4.3.3 Messung im Anwendungsozillator

Eine Prüfung von Quarzen im Oszillator der Anwendung sollte nur im allergrößten Notfall vorgenommen werden. Mit einem ausgesuchten Grenzwert-Oszillator, der zudem noch mit der Lastkapazität und mit einem "0-Quarz" auf die Nennfrequenz getrimmt werden muß, kann allenfalls die Arbeitsfrequenz der Quarze geprüft werden. Eine Messung des Resonanzwiderstandes ist nicht möglich. Eine Aussonderung von Grenzwerten im Resonanzwiderstand ist allenfalls als getrennte Prüfung mit der Schaltung zur Ermittlung des DLD möglich (Bild 3.8). Weil keine exakten Werte erhältlich sind, werden Reklamationsverhandlungen schwierig, wenn der Lieferant nicht "um die Ecke wohnt". Für Freigabemessungen sind Prüfungen im Anwendungsozillator gänzlich ungeeignet.

3.4.4 Ersatzdaten

3.4.4.1 Meßmethode mit Verstimmung durch eine Lastkapazität

Die dynamischen Werte des Ersatzschaltbildes können am einfachsten aus dem Lastresonanzfrequenz-Offset ermittelt werden. Hierzu werden die Serienresonanzfrequenz f_s und die Lastresonanzfrequenz f_L der Quarze gemessen. Aus der Frequenzdifferenz (dem Lastresonanzoffset) werden dann die dynamischen Werte ermittelt (siehe 2.14.3, Gleichungen 39 und 40). Hierzu müssen die Werte der statischen Kapazität C_0 und die Lastkapazität C_L bekannt sein:

$$LO = \frac{C_1}{2(C_0 + C_L)} \quad C_1 = \frac{2(f_L - f_s)}{f_s} (C_0 + C_L) \quad (5)$$

$$L_1 = \frac{1}{8\pi^2 f_s (f_L - f_s) (C_L + C_0)} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{\omega_s C_1 R_1} \quad Q = \frac{1}{4\pi (f_L - f_s) (C_L + C_0) R_1} \quad (7)$$

3.4.4.2 Meßmethode mit Verstimmung durch zwei Lastkapazitäten

Die Messung wird wie in 3.4.4.1 durch die Verstimmung der Resonanzfrequenz des Quarzes vorgenommen. Es werden jedoch zwei Lastkapazitäten verschiedener Größe verwendet. Damit werden drei Frequenzen gemessen:

f_s = Serienresonanzfrequenz ohne C_L

f_{L1} = Lastresonanzfrequenz 1 mit C_{L1}

f_{L2} = Lastresonanzfrequenz 2 mit C_{L2}

Den Wert der dynamischen Kapazität erhalten wir aus den drei Frequenzmessungen:

$$C_1 = \frac{2(C_{L2} - C_{L1})}{f_{L1} - f_{L2}} \frac{(f_{L1} - f_s)(f_{L2} - f_s)}{f_s} \quad (8)$$

Die statische Kapazität C_0 fällt bei dieser Rechnung heraus. Meßfehler der statischen Kapazität und parallel liegender Streukapazitäten wirken sich nicht aus. Übliche Werte für die beiden Lastkapazitäten $C_{L1} = 30 \text{ pF}$, $C_{L2} = 50 \text{ pF}$.

Zur Vermeidung von Meßfehlern durch die Belastungsabhängigkeit der Resonanzfrequenz sind die Messungen bei kleiner Belastung durchzuführen.

3.4.4.3 Meßmethode mit Verstimmung um einen Phasenwinkel

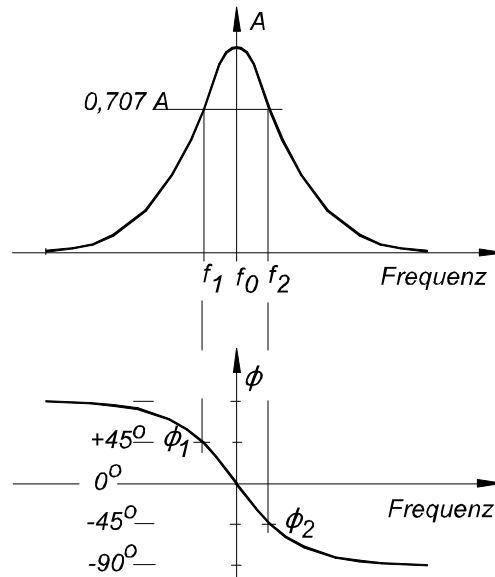


Bild 3.12 Phasenmethode

Die Meßmethode mit vorgeschalteter Lastkapazität ist für beide Meßarten, aktive und passive Messung durchführbar. Die Phasenmethode ist auf die Passivmessung beschränkt. Bei der Phasenmethode wird die Frequenz des Signalgenerators soweit verändert (auf f_1 und f_2), daß sich ein vorgegebener Phasenwinkel ($+\phi_1$ und $-\phi_2$) ergibt. Aus der Frequenzänderung für den vorgegebenen Phasenwinkel können die dynamischen Werte des Ersatzschaltbildes bei bekanntem Resonanzwiderstand aus

der Schwingungsgüte Q errechnet werden:

$$Q = \tan\phi \frac{f_r}{2\Delta f} = \tan\phi \frac{f_r}{f_2 - f_1} \quad (9)$$

Bei der Messung der Bandbreite Δf ist die Güte Q durch die Reihenschaltung des Quarzes mit den Abschlüssen des π -Netzwerkes reduziert. Dies wird berücksichtigt durch $R_{\text{eff}} = R_r + R_T$. Für das π -Glied nach DIN IEC 444 ist $R_T = 25 \, \Omega$.

Der benutzte HF-Generator muß die ausreichende Einstell- und Ablesegenauigkeit ermöglichen. Die untenstehende Tabelle zeigt für einige Beispiele die Frequenzänderung für $\Delta\phi = 45^\circ$, $\Delta\phi = 20^\circ$ und die Frequenzänderung beim Lastkapazitätsverfahren mit $C_L = 30 \, \text{pF}$ im Vergleich.

Quarzdaten					Frequenzänderung		
f MHz	Q	Q_{eff}	C_1 fF	C_0 pF	f_2-f_1 45° Hz	f_2-f_1 20° Hz	Δf $C_L=30$ pF Hz
5 -5.Ot.	$2 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	0,2	3,1	3,3	1,2	15
1 -Gnt.	$100 \cdot 10^3$	$86 \cdot 10^3$	10	5,0	11	4	143
5 -Gnt.	$150 \cdot 10^3$	$53 \cdot 10^3$	15	4,0	94	34	1100
10 -Gnt.	$100 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	25	5,5	500	180	3520
25 -Gnt.	$80 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	20	4,2	2500	900	7300
50 -3.Ot.	$100 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	2	4,3	1250	450	1460
100 -5.Ot.	$100 \cdot 10^3$	$71 \cdot 10^3$	0,25	2,5	1400	500	385
200 -9.Ot.	$50 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	0,15	2,7	5000	1800	460

Besonders bei digital gesteuerten Generatoren ist zu beachten, daß die Schrittweite ausreichend klein ist, um die erforderlich kleinen Frequenzschritte auszuführen. Gegebenenfalls ist ein fester Frequenzschritt vorzugeben und die zugehörige Phase abzulesen und auszuwerten. Der erforderliche kleinste Frequenzschritt ergibt sich aus der geforderten Meßgenauigkeit, die von der zulässigen Toleranz des Meßobjektes abhängt. Meist ist die dynamische Kapazität C_1 mit $\pm 30\%$ toleriert, eine Meßgenauigkeit von 2% kann ausreichend sein. Also kann ein kleinster Frequenzschritt mit $\sim 2\%$ des Tabellenwertes als ausreichend angenommen werden. Bei Filterquarzen liegen die Toleranzen meist bei 2%, so daß als kleinste Schrittweite 0,1% der Frequenzänderung angenommen werden muß. Hier werden bei tiefen Quarzfrequenzen sehr bald die Grenzen der verfügbaren Geräte erreicht. Übliche Phasenwinkel sind 45° oder 20°.

3.4.4.4 Vielfrequenzverfahren (Scheinleitwertsverfahren)

Beim Scheinleitwertsverfahren werden mehrere korrespondierende Frequenzen zu ausgewählten Werten des Scheinleitwertes des Schwingquarzes gemessen. Die Auswertung erfolgt rechnergestützt. Weil dieses Meßverfahren als fertiges Meßsystem "gekauft" wird, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden.

3.4.5 Statische Parallelkapazität

Die statische Parallelkapazität kann wie jeder technische Kondensator in einer Brückenschaltung, nach der Resonanzmethode, oder der Ladezeit gemessen werden. Sie kann aber auch bei der passiven Messung aus einer Scheinwiderstandsmessung bei einer, von der Resonanz weit abliegenden Frequenz, abgeleitet werden. Die Parallelkapazität muß bei einer Frequenz gemessen werden, die soweit unterhalb der Resonanzfrequenz und weit ab von jeder Störresonanz oder Nebenwelle der Quarze liegt, daß die Messung durch diese Resonanzen nicht beeinflußt wird. Selbst die, bei AT-Schnitt-Quarzen sehr tief liegende Flächenscherschwingung (etwa bei 450 kHz bis 800 kHz), beeinflußt die C_0 -Messung, obwohl diese Resonanz so stark gedämpft ist, daß sie kaum meßbar ist. Nach den Normen soll, wenn nichts anders vorgeschrieben ist, die Parallelkapazität mit geerdetem Quarzgehäuse gemessen werden. Meßwertabweichungen können durch eine meßgeräteinterne Masseverbindung eines Meßanschlusses entstehen. Die beiden Streukapazitäten C_{13} und C_{23} in Bild 3.13 A sind nicht immer gleich. Dadurch können je nach Einsteckrichtung des Quarzes in die Meßaufnahme unterschiedliche Werte gemessen werden.

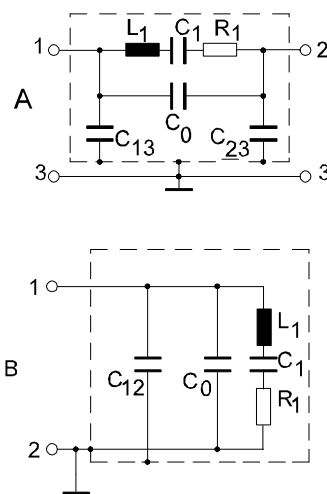


Bild 3.13
Streukapazitäten

3.4.6 Temperaturgang von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand

Die Resonanzfrequenz und der Resonanzwiderstand werden hierbei, wie bereits beschrieben, gemessen. Der zu messende Schwingquarz wird für die Messung der Temperaturabhängigkeit in einer Temperaturkammer oder in einer temperierbaren Einzelaufnahme angeordnet. Der Quarz kann bei einigen fest vorgewählten Tem-

peraturen (statisch), oder bei kontinuierlich gleitender Temperatur (dynamisch) gemessen werden.

Messung	
punktweise	kontinuierlich
Messung in Temperaturkammer 30 ... 100 Stck Ergebnis: Meßwerte (graphisch möglich) großer Prüfdurchsatz keine Hysterese, Quarz läuft ein Dip's schwer erfaßbar Feuchte-Dip's schwer erkennbar Rechnerische Auswertung und statistische Auswertung ist möglich	Messung mit Einzelaufnahme 1 Stück Ergebnis: Kurven zeitaufwendige Einzelmessung Hysterese, abhängig von der Meßgeschwindigkeit Dip's werden aufgezeichnet Feuchte-Dip's eindeutig erkennbar Statistische Auswertung nicht möglich

Bei Prüfungen in der Temperaturkammer können größere Stückzahlen in einem Durchgang gemessen werden, die Messungen erfolgen punktuell bei einzelnen Temperaturpunkten. Für die Darstellung der Temperaturkurve 3.Ordnung beim AT-Schnitt genügen theoretisch 4 Temperaturpunkte um mit einem mathematischen Fit-Programm die Kurve 3.Ordnung darzustellen. Abweichungen von der

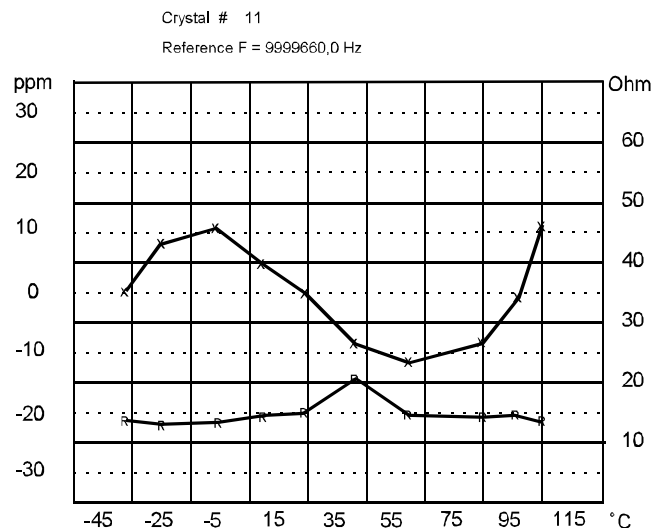


Abb. 3.14 Messung des Temperaturganges bei 10 Temperaturen

Idealkurve, wie z.B. Dip's über den Temperaturbereich werden dabei nicht erfaßt. Je mehr Temperaturpunkte benutzt werden, um so präziser können die Kurven dargestellt werden. Um Nadeldips darzustellen, müssen die Meßpunkte im Abstand von etwa 2°C liegen. Siehe hierzu den Vergleich einer punktuellen Mes-

sung mit einer kontinuierlichen Messung desselben Quarzes in Bild 3.14 und Bild 3.15. Bei der punktweisen Messung des Temperaturganges können die Einlaufzeiten so lang gewählt werden, daß Hysteresse-Effekte das Meßergebnis nicht beeinflussen. Die kontinuierliche Messung hat den Vorteil, das Widerstandseinbrüche (Dip's) erfaßt werden. Der große Nachteil ist der äußerst geringe Durchsatz der ohnehin zeitaufwendigen und damit teuren TK-Messung.

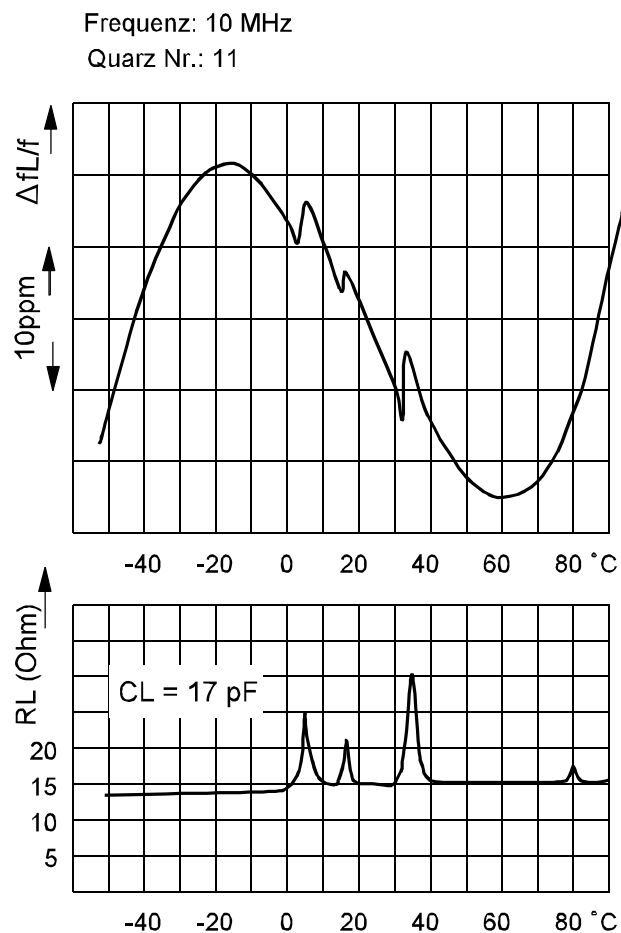


Abb.3.15 Kontinuierliche Messung des Temperaturganges

Bei der Messung des Temperaturganges ist der Quarz mit seiner Nennbelastung zu belasten, weil bei höheren Belastungen zusätzliche Dip's auftreten können.

Es ist üblich, insbesondere bei gleitender Temperierung, die Temperatur von kalter in Richtung warmer Temperatur zu verändern, weil hierbei Erhöhungen des Resonanzwiderstandes durch Kondensateinschlüsse (Feuchtedips) mit erfaßt werden (siehe Kapitel 2.12.6). Hierbei kann es aber auch zur Betauung der äußeren Quarzanschlüsse, der Kontaktierung der Meßaufnahme und an den Lastkondensatoren usw. kommen. Bei der Messung des Quarzes in Serienresonanz ist der Quarz meist so niederohmig, daß der Einfluß der Betauung vernachlässigbar ist. Bei der Messung der Lastresonanzfrequenz treten jedoch erhebliche Änderungen des gemess-

nen Lastresonanzwiderstandes und der Frequenz durch die Betauung auf. In diesen Fällen ist die Temperatur von warm nach kalt zu fahren. Bei der Verwendung von Temperaturkammern besteht diese Beeinträchtigung nicht. Durch das Einströmen des Kühlgases in die Kammer wird die feuchte Luft aus der Kammer verdrängt, so daß Betauungen nicht auftreten können. Durch mechanische Spannungen in der Halterung und der Quarzscheibe selbst sind Hystereseeffekte möglich, d.h. beim Durchfahren der Frequenz-Temperaturkurve von kalt nach warm erhalten wir eine geringfügig andere Temperaturkurve gegenüber der von warm nach kalt gefahrenen Temperaturkurve. Auch die hohe Schwingungsgüte der Schwingquarze erfordert eine Mindesteinlaufzeit der Messung. Deshalb können bei zu großer Meßgeschwindigkeit der Meßapparatur Hystereseeffekte vorgetäuscht werden. Letztendlich ist noch die Wärmeträgheit des Schwingquarzes zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen ist nach Erreichen der jeweiligen Meßtemperatur eine Einlaufzeit abzuwarten, bevor Meßwerte ermittelt werden (siehe 2.12.4, Hysterese). Während der Einlaufzeit soll der Quarz elektrisch mit der Nennbelastung belastet sein, d.h. er muß ununterbrochen schwingen. Die erforderliche Einlaufzeit hängt von der Quarzfrequenz, dem Quarztyp und der geforderten Meßgenauigkeit ab. Quarze tiefer Frequenz benötigen längere Einlaufzeiten als Quarze höherer Frequenz. Einlaufzeiten bis 0,5 Min. nach Erreichen des Temperaturgleichgewichtes sind üblich, bei Präzisionsquarzen werden Einlaufzeiten von über 10 Min. erforderlich. Die praktisch erforderliche Einlaufzeit wird ermittelt, indem nach einem Temperatursprung bei nunmehr konstanter Temperatur die Einlaufzeit der Frequenz gemessen wird.

3.4.6.1 Statische Messung der Temperaturabhängigkeit

Die zu messenden Schwingquarze werden in einer Kammer angeordnet, die durch kalte Gase auf die untere Meßtemperatur abgekühlt wird. Als Kühlgas wird aus der Flüssigphase expandierende Kohlensäure (CO_2) oder flüssiger Stickstoff (LN_2) verwendet.

- A) Kammer
- B) PI-Glied außen
- C) PI-Glied innen

Die Ausnahme bilden Temperaturkammern mit angebauter Kältemaschine. Sie erfordern eine längere Abkühlzeit. Die Temperierung der Kammer erfolgt allgemein durch elektrische Beheizung nach erfolgter Abkühlung auf den niedrigsten Wert. Die Regelung der Temperatur erfolgt durch wechselweises Einlassen von Kühlgas und Aufheizen im Umwälzkanal. Die Temperaturgenauigkeit soll besser als 1°C sein, bei Präzisionsquarzen besser als $0,5^{\circ}\text{C}$. Die Regelung muß ein Überschwingen und Regelschwingungen von mehr als $0,5^{\circ}\text{C}$ vermeiden.

Die Meßanschlüsse müssen schlecht wärmeleitend, mit dünnen Drähten durch die dicke Kammertür geführt werden (Bild 3.16 B). Dadurch kann die genormte Meßebeine in 2 mm Abstand von der Bodenplatte nicht eingehalten werden. Die Induktivität der Zuleitungen wirkt wie eine negative Lastkapazität. Bei bekannter dynamischer Kapazität C_1 des Quarzes und der Frequenzdifferenz Δf aus einer Vergleichsmessung der Quarzfrequenz innerhalb der Kammer und unter Normalbedingungen außerhalb der Kammer kann die "negative Lastkapazität" errechnet werden und damit der Fehler der Messung des Frequenz-Temperaturganges errechnet werden (siehe 2.12.3, Temperaturgang mit Lastkapazität). In Bild 3.16 B) wird die Frequenzmessung mit von außen vorgestecktem π -Glied oder einem Oszillator durchgeführt. In Bild 3.16 C) werden die Fehler durch die Zuleitungen vermieden, indem jedem Quarz ein π -Glied innerhalb der Kammer zugeordnet ist. Aber auch hier müssen immer noch die Quarze jeweils von Hand nacheinander kontaktiert werden.

Die Messung in solchen Temperaturkammern ist äußerst problematisch und sollte nur in Ausnahmefällen gehandhabt werden. Wesentlich eleganter und für serienmäßige Messungen geeignet ist die Anordnung nach Bild 3.17.

- 1) Temperaturkammer
- 2) Schwingquarze
- 3) rotierender Transportarm
- 4) Quarzträger
- 5) Meßanschluß
- 6) Durchführung mit π -Netzwerk
- 7) Kontaktierung
- 8) Anschlüsse des π -Netzwerkes

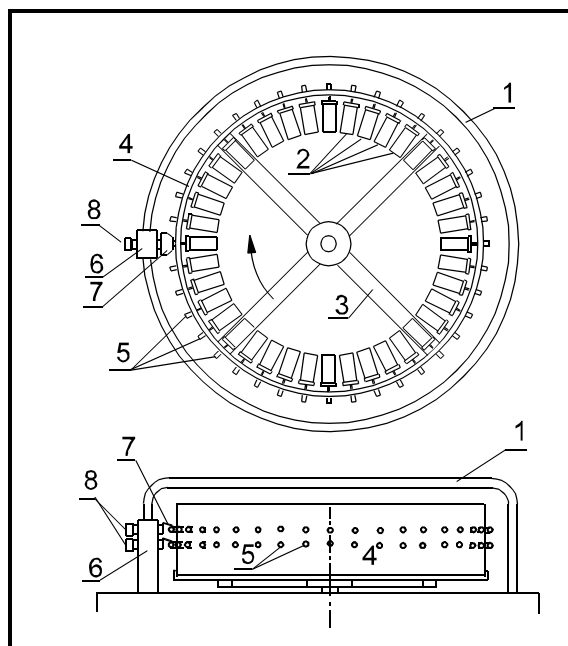


Bild 3.17 Temperaturkammer der Fa.Saunders

Die Quarze, auf einem ringförmigen Träger angeordnet, werden zum Messen an dem π -Glied schrittweise vorbeigeführt. Das π -Glied ist gleichzeitig die Stromdurchführung durch die Kammerwand. Die oben geschilderten Probleme tauchen also nicht auf. Der Programmablauf wird von einem Rechner gesteuert. Der Programmablauf enthält: Die Temperatureinstellung, die Einlaufzeiten, die Fortschaltung des Drehtellers mit den Quarzen, das Programm zum automatischen Messen mit dem π -Netzwerk und die Auswertung der Meßergebnisse mit Ausdruck durch Zahlenwerte oder der graphischen Darstellung durch Kurven. Bei Ersatz des π -Netzwerkes durch Mehrfachstromdurchführungen können mit der Anordnung auch andere Bauelemente oder Baugruppen geprüft werden, z.B. Quarzoszillatoren, VCXO, PXO, TCXO.

- 1) Temperaturkammer
- 2) Schwingquarze
- 3) Meßanschlüsse
- 4) Kammertür
- 5) Umwälzkanal
- 6) Umwälzlüfter
- 7) CO₂-oder LN₂ Ventil
- 8) Heizung
- 9) Koaxialbuchse
- 10) Thermometer
- 11) π -Netzwerk

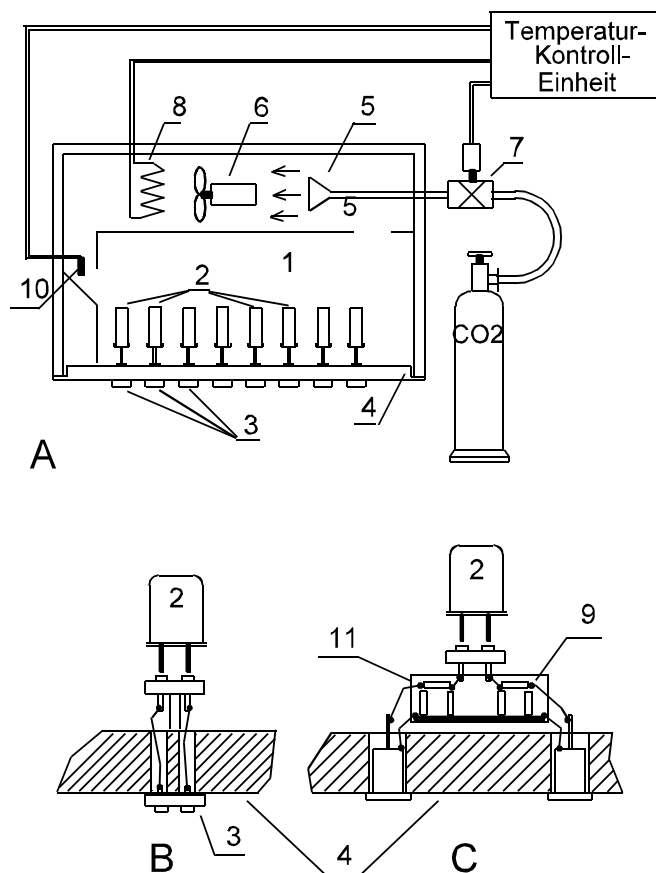


Bild 3.16 Temperaturkammer

3.4.6.2 Dynamische Messung der Temperaturabhängigkeit

Bei der dynamischen Messung der Temperaturabhängigkeit wird jeweils ein zu messender Schwingquarz kontinuierlich über einen gegebenen Temperaturbereich temperiert. Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand werden ebenfalls kontinuierlich, das heißt ohne Unterbrechung aufgezeichnet. Die Temperaturänderung muß nicht unbedingt linear mit der Zeit erfolgen.

- 1) Quarzaufnahme
- 2) Netzgerät für die Heizung
- 3) π -Glied IEC 444
- 4) Frequenzdekade mit analoger Steuerung
- 5) Vektorvoltmeter
- 6) XY-Schreiber
- 7) Thermometer
- 8) Steuerverstärker
- 9) Leistungsteiler
- 10) Meßoszillator
- 11) Vergleichsoszillator
- 12) Mischer

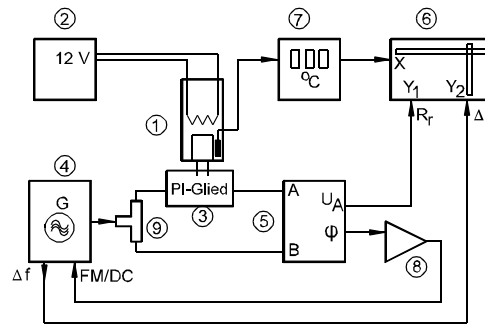


Bild 3.18 dynamische Messung mit PI-Glied

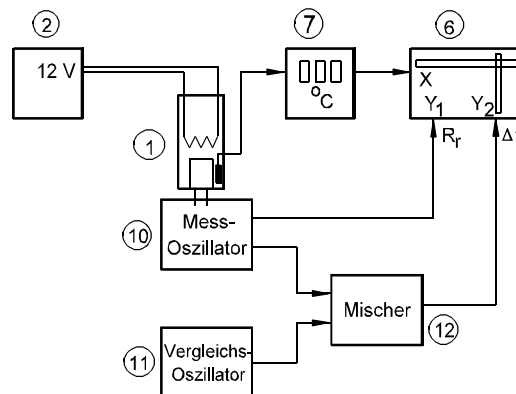


Bild 3.19 dynamische Messung mit Oszillator

Die Messung kann passiv mit einem π -Glieder in einer phasengeregelten Meßschleife erfolgen (Bild 3.18), oder aktiv mit einem Meßoszillator (Bild 3.19). Der zu messende Schwingquarz wird hierzu in einer heizbaren Aufnahme (Bild 3.20) angeordnet. Vor der Messung wird diese Quarzaufnahme mit Trockeneis auf die untere Meßtemperatur abgekühlt. Zur Messung wird der Quarz am Meßgerät angeschlossen. Die Heizung 3) erwärmt den Quarz langsam, der Kältespeicher 4) sorgt für eine nicht zu schnelle Erwärmung, nachdem die Einheit aus dem Trockeneis genommen wurde. Sie wirkt

gleichzeitig linearisierend auf den Aufheizvorgang. Mit dem Digitalthermometer wird ständig die Temperatur gemessen und über den analogen Ausgang des Thermometers wird die X-Richtung des Schreibers gesteuert, so daß die Schreiberfedern immer die Position der aktuellen Temperatur einnehmen.

- 1 Temperierblock
- 2 Quarz
- 3 Heizung
- 4 Kältespeicher
- 5 PT-100 Thermofühler

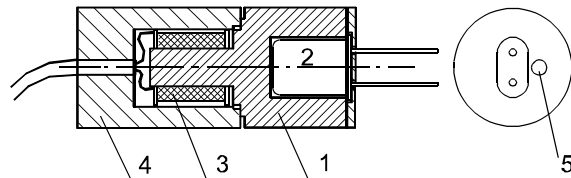


Bild 3.20 dynamische Messung,
Quarzaufnahme

3.4.6.3 Prüfung auf Kondensateinschlüsse

Um im Schwingquarzgehäuse vorhandene Kondensateinschlüsse festzustellen, wird der Temperaturbereich von -30°C bis $+20^{\circ}\text{C}$ in weniger als 1 Minute durchlaufen. Während dieser Prüfung muß die Resonanzfrequenz und möglichst auch der Resonanzwiderstand kontinuierlich feststellbar sein. Die Prüfung wird zweckmäßig mit einer Einrichtung zur dynamischen Prüfung des Temperaturganges durchgeführt. Bei Quarzen mit im Gehäuse eingeschlossenen kondensierbaren Gasen kommt es beim Durchlaufen der Taupunkttemperatur zu einem deutlichen Widerstandsdip, verbunden mit einer starken, vorübergehenden Frequenzänderung. Die Frequenzänderung bei Feuchtedip's erfolgt vorübergehend in negative Richtung, während Dip's durch Koppelschwingungen immer einen Frequenzversatz in positive Richtung haben. Während eine normale Temperaturgang-Messung mit einer Geschwindigkeit von etwa $3,5 \dots 5^{\circ}\text{C}/\text{Min}$ durchgeführt wird, wird die Prüfung auf Kondensateinschlüsse mit einer hohen Temperaturänderungsgeschwindigkeit durchgeführt. Dadurch werden etwa vorhandene, kondensierbare Gase (Wasserdampf) beim Durchlaufen des Taupunktes auf der noch kälteren Quarzscheibe kondensieren. Durch diesen Massenzuwachs ergibt sich in diesem Moment eine deutliche Frequerniedrigung. Für eine rein qualitative Prüfung genügt es, die Quarze mit Trockeneis abzukühlen und dann am Oszillator unter Beobachtung der Frequenzänderung mit einem Heißluftgebläse aufzuheizen. Mit einiger Übung findet man schnell heraus, ob die Quarze feucht sind. In Bild 3.23 sind solche Kurven dargestellt. A) ist ein Quarz ohne Feuchte, B) wäre ein nicht eindeutiger Grenzfall, C) eindeutig feucht!

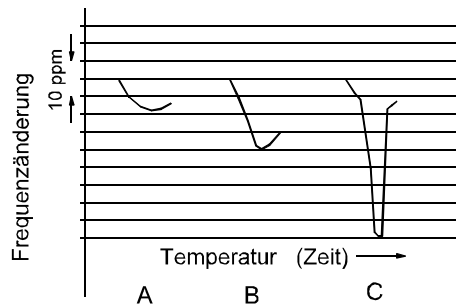


Bild 3.21 Eingeschlossene Feuchte

3.4.7 Prüfung der Alterung

Die zu messenden Schwingquarze werden während der vorgeschriebenen Zeit in einer Temperaturkammer oder einem Laborofen bei der vorgeschriebenen Temperatur ohne elektrische Belastung gelagert.

Die Alterungstemperatur (Lagerungstemperatur) soll mit einer Genauigkeit von $\pm 2^\circ\text{C}$ eingehalten werden. Die Meßtemperatur kann eine andere Temperatur sein, z.B. 25°C . Die Differenz der Meßtemperaturen zwischen der Anfangsmessung der Alterung und denen der folgenden Meßtage soll $\pm 0,5^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Die Wiederkehrgenauigkeit der Frequenzmessung muß besser als 10% der zugelassenen Alterung sein. Die Quarzbelastung muß hinreichend klein sein, damit keine Meßfehler durch die Belastungsabhängigkeit auftreten. Die Messung erfolgt nur dann bei Nennbelastung, wenn diese kleiner als 0,1 mW ist. Es wird grundsätzlich die Resonanzfrequenz ohne Lastkapazität gemessen, um Einflüsse der Lastkapazität und Streukapazitäten auf die Meßwerte zu vermeiden.

Nach DIN IEC 122 soll die erste Messung unmittelbar nach dem Einlaufen der Quarzfrequenz erfolgen, was nur dann sinnvoll ist, wenn die Quarze bei der Alterungstemperatur gemessen werden, und dabei in der Alterungskammer bleiben. In der Regel ist dies nicht der Fall, die Quarze werden praktisch in einer getrennten Meßanordnung gemessen, z.B. in der Temperaturmeßanlage von Saunders bei einer konstanten Temperatur, möglichst nahe dem Umkehrpunkt der TK-Kurve. Bei dieser Meßtemperatur wird mit der Messung begonnen, nachdem die Quarzfrequenz eingelaufen ist. Hierbei ist nach CECC 68 000 zu verfahren:

"Die erste Messung von Frequenz und Resonanzwiderstand muß nach 24 Stunden und die letzte am Ende der (30 Tage-) Prüfung erfolgen."

Es ist zweckmäßig, zwischenzeitlich weitere Messungen vorzunehmen, weil aus diesen Werten Rückschlüsse auf die Frequenzstabilität gezogen werden können, auch auf die Genauigkeit der Messungen. Eine logarithmische Zeitstaffelung zum Beispiel nach dem 1.; 2.; 4.; 8. Tag usw. hat sich bewährt. Werden die Quarze zu diesen

zwischenzeitlichen Messungen aus der Alterungskammer genommen, werden Alterungseffekte durch verspannte Halterungen und undichte Gehäuse besonders hervortreten.

“In konstant warmer, trockener Atmosphäre altern auch undichte Quarze nicht”. Die Differenzen zwischen der letzten und der ersten Alterungsmessung ist die Alterung. Aber auch bei zwischenzeitlichen Messungen darf die Alterungstoleranz nicht überschritten werden. Präzisionsquarze werden in ihrem eignen Oszillator und ggf. Thermostaten gemessen.

3.4.8 Messung von Nebenresonanzen

Für die Messung von Nebenresonanzen kommen nur die passiven Meßmethoden in Frage. Bei Schwingquarzen für die Frequenzstabilisierung (Oszillatorquarze) werden die Resonanzwiderstände der Nebenresonanzen so gemessen, wie der Resonanzwiderstand der Hauptresonanz. Hierzu muß die Frequenz im spezifizierten Bereich variiert werden. Alle Resonanzen müssen in diesem Bereich gemessen werden. Die ermittelten Resonanzwiderstände müssen größer sein als spezifiziert. Ist das Verhältnis zum Resonanzwiderstand der Hauptwelle gefordert, sind die Resonanzwiderstände der Nebenwellen jeweils zu errechnen und dem Hauptresonanzwiderstand ins Verhältnis zu setzen. Ein direktes Verhältnis der Ausgangsspannungen am π -Glied oder die Differenz angezeigter Dämpfungswerte wäre falsch, weil der konstante Innenwiderstand des π -Gliedes jeweils in Reihe mit dem Resonanzwiderstand liegt:

$$\frac{V_{BH}}{V_{BN}} = \frac{R_N + R_T}{R_Q + R_T} \quad (11)$$

Für das IEC- π -Glied ist $R_T = 25 \Omega$

Bei Meßanordnungen mit automatischer Frequenzänderung (Wobbeln) ist zu beachten, daß bei digitaler Steuerung die Schrittweite noch ausreichend klein ist, um die schmale Bandbreite der Nebenresonanz voll auszufahren und die Frequenzänderungsgeschwindigkeit klein genug ist, daß der Quarz auf der Nebenresonanz einschwingt.

Anmerkung: Die Resonanzkurven von Nebenwellen sind schmaler als die der Hauptwelle, damit ist die Einschwingzeit länger (Bild 3.42)

Prüfung der Nebenresonanzen an Quarzen für die Frequenzsektion (Filterquarze). Um stärker gedämpfte Nebenresonanzen zu messen, muß die, auch der Nebenwelle parallel liegende statische Kapazität C_0 kompensiert werden. Normgerecht soll diese Messung nach IEC 283 mit einem Differentialübertrager gemessen werden (Bild 3.22). Die Brückenschaltung wird bei einer, von Resonanzen freien Frequenz mit

C_{Komp} auf das Minimum der Ausgangsspannung abgeglichen. Die Ausgangsspannung bei Resonanz des Quarzes wird mit der Spannung bei kurzgeschlossenem Quarz mit Hilfe der Eichleitung verglichen. Aus der daraus resultierenden Dämpfung a (dB) wird der Nebenresonanzwiderstand errechnet:

$$R_N = R_T \cdot 10^{a/20} \quad (12)$$

Bei der Messung mit dem wenig definierten Differentialübertrager sind Probleme in der Reproduzierbarkeit vorauszusehen. Deshalb ein Vorschlag von der Fa. Telequarz, der auf der π -Glieder-Methode basiert. Bei der in Bild 3.23 dargestellten Meßanord-

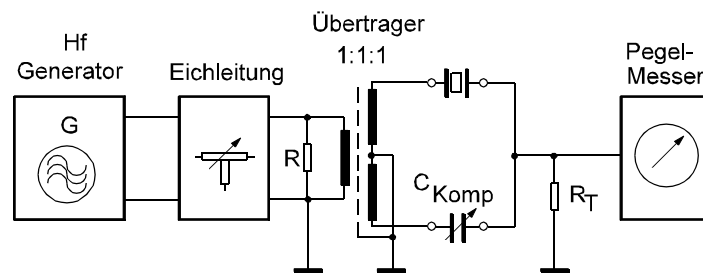


Bild 3.22 Brückenschaltung nach IEC 283

nung ist der übliche π -Meßkopf durch ein Summierglied R_4 und R_6 und eine variable Kapazität ergänzt.

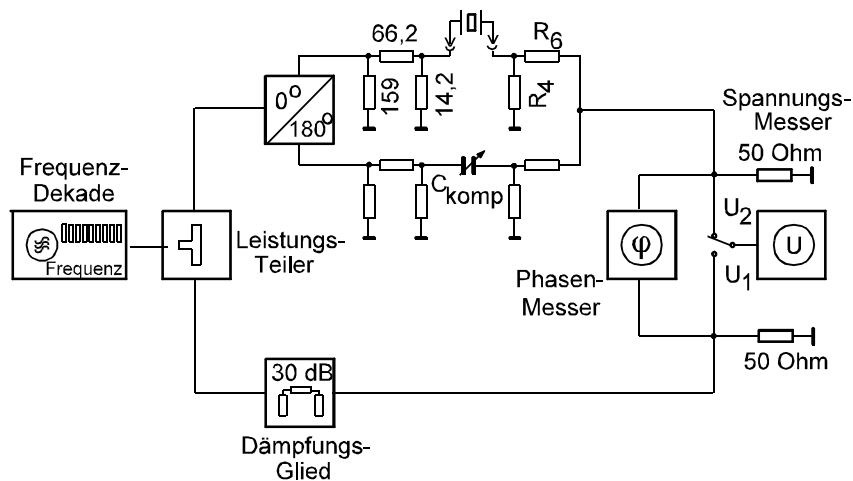


Bild 3.23 C_0 - Kompensation mit Hybrid

Der handelsübliche 180°Hybrid-Leistungsteiler sorgt für eine gegenphasige Spannung im Kompensationszweig mit dem Kompensationskondensator C_{komp} . Dadurch, daß zur Erhöhung der Empfindlichkeit die Widerstände R_4 und R_6 hochohmiger ausgelegt werden, muß der Spannungskoeffizient k für diese Meßanordnung am besten durch Messungen mit bekannten Widerständen kalibriert werden. Letztendlich kann bei entsprechender Kalibrierung auch der Referenzzweig mit dem Dämpfungsglied 30 dB entfallen.

Bei Verwendung eines Netzwerkanalysators mit zwei Eingängen kann vorteilhaft die Schaltung nach Bild 3.24 angewendet werden.

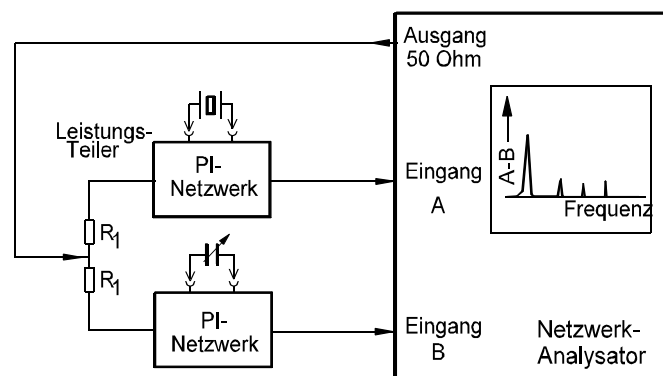


Bild 3.24 C_0 - Kompensation mit Netzwerkanalysator

Hier wird die Kompensation im zweiten Kanal mit einem zum ersten Kanal identischen π -Glieder durchgeführt. Zur Anzeige kommt die Differenz aus Kanal A und Kanal B. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit bei der Messung hochohmiger Nebenwellen können auch hier die π -Glieder hochohmiger gestaltet werden.

Bild 3.25 stellt die Bildschirmanzeige eines Netzwerkanalysators dar, A) ohne Kom-

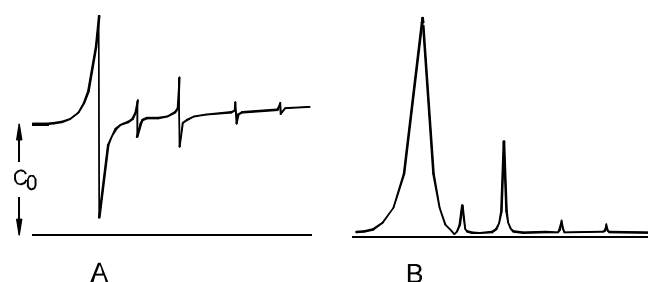


Bild 3.25 Kompensation der Parallelkapazität C_0

pensation, B) mit kompensierter Parallelkapazität. Die Kompensation kann auch durch Rechnung simuliert werden. Bei höheren Frequenzen ist dabei zu beachten, daß Phasendrehungen des Netzwerkes und Laufzeiten berücksichtigt werden müssen. Einige Netzwerkanalysatoren haben hierfür einfache Programmiermöglichkeiten.

3.4.9 Isolationswiderstand

Der Isolationswiderstand wird mit einer Gleichspannung von $(100 \pm 15)V$ über eine Zeit von $(60 \pm 5)s$ gemessen, oder kürzer, wenn ein stabiler Wert angezeigt wird. Der Isolationswiderstand wird gemessen :

- a) zwischen den Anschlüssen
- b) zwischen den miteinander verbundenen Anschlüssen und den Metallteilen des Gehäuses.

Bei der Durchführung dieser Prüfung soll sich keine stehende Feuchtigkeit von vorangegangenen Prüfungen an den Glasdurchführungen befinden. Die Oberfläche soll ohne Anwendung von Trockenmitteln bei Raumtemperatur getrocknet werden, damit Isolationsfehler durch eingedrungene Feuchte in Kapillaren oder Haarrissen der Glasisolatoren nicht eliminiert werden.

3.4.10 Dichtigkeit des Gehäuses

Die Prüfung der Dichtigkeit von Quarzgehäusen erfolgt in zwei Schritten. Neben der Feinleckprüfung muß eine Grobleckprüfung stattfinden, weil das Prüfverfahren für Feinlecks grobe Undichtheiten nicht nachweisen kann.

Meist ist beim Anwender der Schwingquarze ein Massenspektrometer für die Feinleckprüfung nicht vorhanden. In diesen Fällen muß man sich mit der Prüfung auf grobe Lecks begnügen. Undichte Quarze werden trotzdem bei sorgfältiger Prüfung der Alterung und der Prüfung auf das Vorhandensein kondensierbarer Gase zu Tage treten.

| Der Anwender wird also in den meisten Fällen gleich die Grobleckprüfung durchführen

Beim Hersteller der Schwingquarze wird der Feinlecktest mit der Füllgasmethode durchgeführt, d.h. in das Schwingquarzgehäuse wird ein Anteil von 10% Helium mit eingeschlossen, dessen Austreten durch ein etwaiges Leck mit einem He-Massenspektrometer nachgewiesen wird.

3.4.10.1 Prüfung A, Groblecktest

Die Prüfung auf ein Grobleck erfolgt nach Verfahren 1 oder 2 nach IEC 68-2-17.

Prüfung Qc, Verfahren 1:

Die Quarze werden in einer Prüfliquidität unter vermindertem Umgebungsdruck geprüft. Die Prüfkammer mit dem Prüfbad muß also evakuierbar sein und muß ein Beobachtungsfenster haben. Das Bad muß ausreichend groß sein, so daß die Quarze mindestens 10 mm unter der Flüssigkeitsoberfläche liegen. Die Prüfliquidität soll nach der Norm eine Temperatur zwischen 15 und 35°C haben. Entgegen DIN-IEC

68-2-17 braucht für die Prüfung von Schwingquarzen die Flüssigkeit unter Vakuum nicht abgelassen zu werden (DIN-IEC 122 Teil 1). Wird die Prüfkammer belüftet, während sich die Quarze noch in der Prüfflüssigkeit befinden, dringt die Prüfflüssigkeit durch das etwaige Leck in das Gehäuse ein und führt bei einem nachfolgendem Feuchtetest zum deutlichen Ausfall. Als Prüfflüssigkeit kann entgastes Wasser dienen. Der Prüfdruck ist 85 mbar (CECC 68 000) (10 mbar nach IEC 68 sind bei der Anwendung von Wasser nicht anwendbar).

Während der Prüfung darf kein Leck durch Austreten von Gas erkennbar sein. Kontinuierliches Aufsteigen von Blasen zeigt das Vorhandensein eines Lecks an. Mit dieser Methode können bei Schwingquarzen Undichtheiten von etwa $5 \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ nachgewiesen werden.

Wenn kein evakuierbarer Prüfschrank mit Beobachtungsfenster zur Verfügung steht, haben sich in der Praxis Exsikkatoren als Prüfkammer gut bewährt.

Prüfung Qc, Verfahren 2:

Die Prüflinge werden in eine Prüfflüssigkeit getaucht, die auf einer erhöhten Temperatur gehalten wird.

Die Nachweisempfindlichkeit dieser Prüfmethode liegt bei etwa $100 \text{ Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$. Sie ist in DIN-IEC 122 nicht vorgesehen. Aber es ist eine einfache Prüfung und als Vortest zur Feinleckprüfung ausreichend:

Das für diese Prüfung erforderliche Bad soll eine so große Flüssigkeitsmenge enthalten, daß die Quarze mindestens 10 mm unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche liegen. Die Flüssigkeitsmenge soll mindestens dem 10-fachen Volumen der eingebrachten Quarze entsprechen. Wird als Prüfflüssigkeit Wasser verwendet, beträgt die Prüftemperatur 90°C . Dem Wasser darf ein Netzmittel zugefügt werden. Das Aufsteigen von Blasenketten ist das Kriterium für ein Leck.

3.4.10.2 Prüfung B, Feinlecktest

Zur Prüfung auf ein Feinleck werden die Quarze der Prüfung Qk Verfahren b) nach IEC 68-2-17 unterzogen. Hierbei werden nach sorgfältiger Reinigung die zu prüfenden Quarze in einem Druckbehälter, der unter Überdruck stehenden Helium-Atmosphäre ausgesetzt. Nach der vorgeschriebenen Dauer werden die Quarze in die Prüfkammer eines fest auf die Masse Helium eingestellten Massenspektrometers gebracht und die aus dem etwaigen Leck austretende Menge Helium gemessen. Diese Prozedur ist nicht ganz unproblematisch, ergeben sich doch einige Unklarheiten über die Sauberkeit der Oberfläche, deren Helium-Adsorption einen hohen Hintergrund liefern kann, Taschen in der Schweißnaht simulieren Lecks, ein anderes Problem ist die vom Volumen und voraussichtlicher Leckgröße abhängige Beanspruchungsdauer.

Der Vollständigkeit wegen hier der Ablauf der Prozedur:

Vorbehandlung:

Prüflinge gründlich reinigen, von Fetten und Lacken (Beschriftung !), damit die Verschmutzungen etwaige Lecks nicht verstopfen, oder He adsorbieren.

Beanspruchen:

Prüflinge in Druckgefäß einbringen, Minderung des Druckes auf ca 1 bis 10 mbar. Prüfkammer mit Helium (<95%) füllen, Druck 2 bar. Die Beanspruchungsdauer ist einem Diagramm in IEC 68-2-17 zu entnehmen (mehrere Stunden).

Nachbehandlung:

Nach der Entnahme aus dem Druckgefäß sind die Prüflinge dem Normalklima auszusetzen, gegebenenfalls mit einem neutralen Gas zu spülen, damit an der Oberfläche adsorbiertes Helium entfernt wird.

Endmessung:

Prüflinge in die Prüfkammer eines He-Massenspektrometers bringen, die Helium-Leckrate feststellen. Der festgestellte Wert soll unter dem Höchstwert liegen, den die Tabelle 4 in der IEC 68-2-17 für den in der Einzelspezifikation angegebenen Wert angibt.

3.4.11 Lötbarkeit der Anschlußdrähte

Der Schwingquarz wird der Prüfung Ta, Verfahren 1 nach IEC 68-2-20 Lötbadverfahren mit 235°C, unterzogen.

Die Lötbarkeitsprüfung soll darüber Aufschluß geben, ob die Schwingquarze in die Schaltung des Anwenders gut einlötbar sind. Unter Lötbarkeit versteht man die Eigenschaft einer Oberfläche, durch geschmolzenes Lot gut benetzt zu werden. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Lötzeit, die Zeitspanne, die zur Benetzung notwendig ist. Zur Erzielung einer guten Lötbarkeit werden die aus Kovar bestehenden Anschlußdrähte verzinnt. Bei einer ungenügenden Diffusion der Verzinnung in das Drahtmaterial kann es bei längeren Lötzeiten (und höheren Löttemperaturen) zur Entnetzung kommen. Es entstehen dann unverzinnte Bereiche der Oberfläche.

Zur Verschärfung der Prüfung kann eine Voralterung vorgesehen werden. Die Art der Voralterung ist mit dem Lieferanten abzusprechen, bzw. soll Bestandteil der Spezifikation sein. Nach DIN-IEC vorgesehene Voralterungen:

- a) 1 Std. Wasserdampf DIN IEC 68, Alterung 1a, MIL STD 202 Meth.208
- b) 4 Std. Wasserdampf DIN IEC 68, Alterung 1b
- c) 10 Tage feuchte Wärme DIN IEC 68, Alterung 2a
- d) Die Alterung nach DIN IEC 68, Alterung 2b und 3 sind wegen der hohen Temperaturbelastung für Schwingquarze ungeeignet.

Zwischen der Voralterung und der Lötbarkeitsprüfung werden die Prüflinge minde-

stens 2 Std., maximal 24 Std. bei Normalklima gelagert.
Bei Schwingquarzen wird allgemein die "Voralterung a)" angewendet.
Durchführung der Voralterung "1 Stunde Wasserdampf":

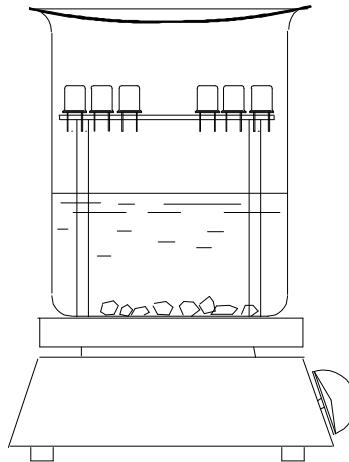


Bild 3.26 Voralterung, Dampfbad

Bei diesem Verfahren werden die Schwingquarze so befestigt, daß ihre Anschlüsse senkrecht nach unten zeigen. Sie sollen sich 25 - 30 mm über der Oberfläche des siedenden, destillierten Wassers befinden. Die Halterung für die Quarze darf nicht aus Metall sein. Bei der Platzierung der Prüflinge ist darauf zu achten, daß kein Kondenswasser auf die Prüflinge tropfen kann. Der Wasserspiegel ist während der Alterungszeit durch Zugabe von heißem destilliertem Wasser auf konstanter Höhe zu halten. Das Wasser muß während der Alterungszeit ununterbrochen heftig siedend. Hierzu wird zur Erhitzung des Wassers eine stufenlos regelbare Heizplatte verwendet. Als Bodenkörper werden Siedesteine eingelegt.

Durchführung der Prüfung auf Lötbarkeit:

Das verwendete Lötbad muß mindestens 40 mm tief sein und soll einen Inhalt von mehr als 300 cm³ haben, damit keine unzulässige Temperaturerniedrigung des Lötbaades durch das Einbringen der Proben auftritt.

Die Lottemperatur beträgt $235^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Das verwendete Lot ist SN 60/40

Das anzuwendende Flußmittel: 25% Reinkolophonium in 75 % Isopropanol

Die zu verwendenden Lot und Flußmittel sind in der chemischen Zusammensetzung in DIN IEC 68 Teil 2-20 Anhang B 1 genau festgelegt.

Außer einer evtl. vorgesehenen Voralterung werden die Prüflinge keiner Vorbehandlung unterzogen. Eine Beschmutzung der Prüfstellen, z.B. durch Berühren mit bloßen Händen, ist zu vermeiden.

Die Anschlußdrähte werden bei Raumtemperatur in das Flußmittel getaucht und nach

einer Antrockenzeit von 1 Minute in Richtung ihrer Längsachse in das Lötbad getaucht. Unmittelbar vor dem Eintauchen ist die Oberfläche des Zinnbades mit einem Spatel von Oxidhäuten zu befreien.

Eintauchgeschwindigkeit: $25 \pm 2,5 \text{ mm/s}$

Verweildauer im Zinnbad: $2,0 \pm 0,5 \text{ s}$

Austauchgeschwindigkeit : $25 \pm 2,5 \text{ mm/s}$

Wenn in der Spezifikation nicht anders vorgeschrieben, werden die Anschlüsse von Schwingquarzen bis zu einem Abstand von maximal 2 mm vom Austritt aus dem Gehäuse eingetaucht.

Die Beurteilung der Prüfung erfolgt an mindestens 10 Prüflingen durch eine Sichtkontrolle bei guter Beleuchtung und einer 4 bis 10-fachen Vergrößerung. Es müssen mindestens 90% der Oberfläche mit einer neuen, glatten Lotschicht bedeckt sein. Wenige erlaubte Fehlstellen dürfen sich nicht auf ein Flächenstück konzentrieren.

Lötwärmebeständigkeit: (Nach DIN IEC 122 Teil 1 nicht gefordert)

Diese Prüfung wird nur durchgeführt, wenn Zweifel über die Wärmebeständigkeit der betroffenen Schwingquarze bestehen. Die Prüfung ist nach Verfahren 1A der Prüfung Tb von DIN-IEC 68-2-20 durchzuführen. Das Lötbad, Lot und Flußmittel entsprechen den Vorschriften der Lötbarkeitsprüfung. Die Durchführung erfolgt nach dem Ablauf: Fluxen mit dem vorgeschriebenen Flußmittel unmittelbar vor dem Eintauchen.

Lötbadtemperatur: $260^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Eintauchzeit: 1 Sekunde

Verweildauer: 5 Sekunden

Austauchzeit: 1 Sekunde

Eintauchtiefe: bis 2...2,5 mm Abstand vom Austritt aus dem Gehäuse.

Prüfkriterium:

Durch die Lötwärmebeständigkeitsprüfung dürfen sich die Resonanzfrequenz und der Resonanzwiderstand nicht unzulässig ändern.

Prüfung auf Entnetzung:

Diese, in den Normen für Schwingquarze nicht vorgesehene Prüfung ist hier vervollständigend aufgeführt, weil sie bei Lötproblemen in der Praxis zu wertvollen Erkenntnissen führt. Die Prüfung wird wieder in dem schon beschriebenen Lötbad durchgeführt. die Kurzbeschreibung ist:

Fluxen mit Kolophonium 1 Minute Abtropfen

Lötbad-Temperatur: $260^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Eintauchgeschwindigkeit: $5 \pm 2 \text{ mm/s}$

Verweildauer: $5 \pm 0,5 \text{ Sekunden}$

Austauchgeschwindigkeit: $5 \pm 2 \text{ mm/s}$

Nach dem Herausziehen aus dem Lötbad muß der Anschlußdraht solange in senkrechter Stellung verbleiben, bis das Lot erstarrt ist.

Beurteilung:

Die getauchte Oberfläche muß mit einer glatten und glänzenden Lotschicht bedeckt sein.

3.4.12 Prüfung auf Schüttelfestigkeit (Schwingen)

Die Prüfung wird nach DIN IEC 68-2-6 Fc Schwingen, sinusförmig durchgeführt. Bei der kleinen Masse der Schwingquarze kann die Schüttelprüfung mit elektrodynamischen Schwingungserregern durchgeführt werden. Die Schwingbeanspruchung soll in drei aufeinander senkrecht stehenden Hauptachsen erfolgen. Diese Achsen müssen enthalten:

- eine Achse parallel zu den Anschlüssen

- eine Achse senkrecht zum Innenaufbau des Quarzelementes

- eine Achse senkrecht zu den beiden genannten Hauptrichtungen.

Die Befestigung der Quarze muß so kompakt wie möglich gestaltet werden, um Partial-schwingungen zu vermeiden. Zweckmäßigerweise werden die Quarze hierzu derart auf einem Würfel befestigt, daß jeweils 5 Stück in je einer ihrer Hauptrichtung zur Schwingbewegung angeordnet sind. Nach je einem Durchlauf wird der Würfel mit den Quarzen auf eine andere Würfel­fläche umgeschraubt, so daß nach 3 Durchläufen alle Quarze in drei Achsrichtungen geschüttelt wurden. Die Quarze müssen jeder seine eigene Befestigungsklammer auf dem Würfel haben, damit kein Prellen auftritt. Lange Anschlußdrähte sind durch Abstützen vor Eigenschwingungen zu bewahren.

Auf der kompakten Prüfaufnahme ist auch der Schwingungsaufnehmer für die Amplitudensteuerung des Generators schwingungsschlüssig angebracht. Weil zu tiefen Frequenzen hin bei konstanter Beschleunigung die Auslenkung zu groß würde, ist ab einer Übergangsfrequenz die Regelung auf konstante Auslenkung erforderlich. Dies erfolgt mit einem programmierbaren Regelverstärker.

Die Abhängigkeit der Amplitude von der Beschleunigung beschreibt die Gleichung:

$$A = \frac{a}{4 \pi^2 f^2} \quad (13)$$

A = Auslenkung a = Beschleunigung f = Frequenz

Mit der für eine tiefe Frequenz errechneten Auslenkung, kann das Schwingsystem kalibriert werden, indem man mit einem Mikroskop die scheinbare Verbreiterung eines feinen Anrisses auf der Oberfläche der Prüfaufnahme ausmißt. Es gibt hierfür

auch aufklebbare Meßkeile. Die Abhängigkeit der Auslenkung von der Frequenz ist in Bild 3.28 dargestellt. Die Übergangsfrequenz für die Prüfung elektronischer Bauelemente ist auf 57 bis 62 Hz festgelegt. Wenn keine automatische Steuerung vorhanden ist kann der Gesamtbereich in zwei Teilbereiche aufgeteilt werden, in einen Bereich mit konstanter Auslenkung und den Bereich mit konstanter Beschleunigung. Von großer Wichtigkeit ist die Zeit in der ein Frequenzzyklus durchlaufen wird. Bei zu großer Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz (kleine Zykluszeit) würden etwaige mechanische Eigenresonanzen des Quarzhalterungssystems mit ihrer zum Teil hohen Schwingungsgüte nicht voll erregt werden. Beispiele für die bei Schwingquarzen meist geforderten Bedingungen sind:

Frequenzbereich	Amplitude der Auslenkung unterhalb der Übergangsfre- quenz	Amplitude der Beschleuni- gung oberhalb der Übergangsfrequen- z	Dauer je Achse	Anzahl der Frequenzzyklen je Achse
Hz	mm	g m/s ²	Std.	n
10...500	0,35	5 49	2	10
10...2000	0,75	10 98	2	8
1...2000	1,5	20 196	2	8

Ausfallkriterium ist eine unzulässige Veränderung der Resonanzfrequenz oder des Resonanzwiderstandes. Ausfälle treten meist auf, wenn das System Quarzresonator-Halterung innerhalb des beanspruchten Frequenzbereiches eine oder mehrere Resonanzen mit höherer Güte hat. Durch die Resonanzüberhöhung kann sich der Quarzresonator aus der Halterung lösen oder durch Anstoßen an der Gehäusekappe beschädigt werden. Auch kann die Halterung selbst einen Schaden durch Dauerbruch erleiden. Mit Schütteleinrichtungen mit automatischer Resonanz-Such- und Nachlaufeinrichtung können diese Resonanzen jedoch nicht nachgewiesen werden, weil der Anteil der Masse des Resonators an der Gesamtmasse des Schwingquarzes zu klein ist. Eigenresonanzen des Halterungssystems sind daher nur bei geöffnetem Quarz unter Beobachtung der Schwingamplitude mit einem Mikroskop erkennbar. Bei Quarzausfällen durch Schütteln der gesamten Baugruppe ist zu untersuchen, ob der Ausfall durch eine ungenügende Befestigung des Quarzes auf der Leiterplatte hervorgerufen wurde. Auch eine Eigenresonanz der Leiterplatte kann zu einer größeren Schwingamplitude an der Befestigungsstelle des Quarzes führen. Es kann sinnvoll sein, während der Schwingbeanspruchung die Resonanzfrequenz des Schwingquarzes zu messen, um Störmodulationen der Quarzfrequenz zu ermitteln. Der Quarz wird in

diesem Fall mit einem Oszillator betrieben, die Quarzfrequenz ist mit einem Demodulator auszuwerten. Der Demodulator muß eine Frequenz und Amplitudendemodulation ermöglichen. Er kann ein Empfänger sein, der auf die Quarzfrequenz abgestimmt ist.

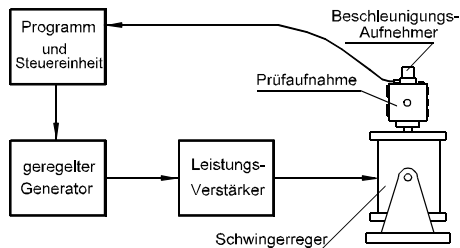


Bild 3.27 Steuerung des Schwingerreggers

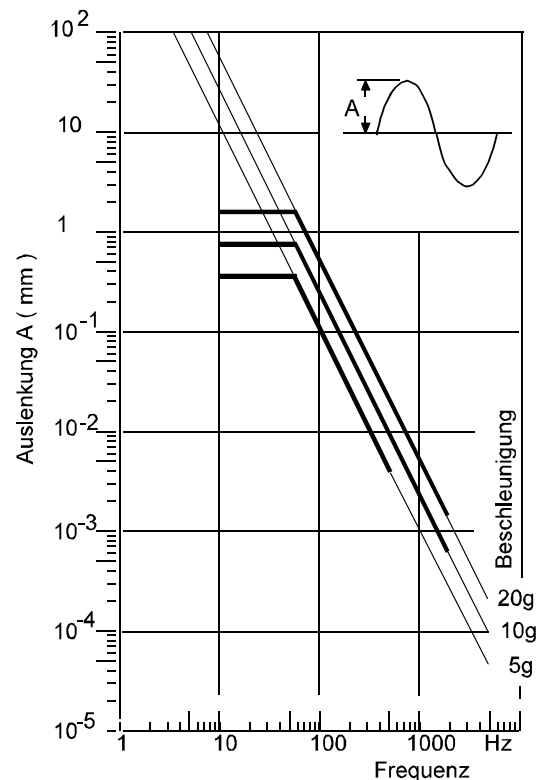


Bild 3.28 Auslenkung und Beschleunigung

3.4.13 Stoßfestigkeit

Für Schwingquarze wird die Prüfung Ea nach DIN IEC 68-2-27 "Schocken" durchgeführt. "Die Schwingquarze werden in geeigneter Form am Gehäuse festgeklemmt". Das heißt, daß die Quarze prellfrei befestigt werden müssen, am besten wieder in der Vorrichtung wie sie auch zur Schwingbeanspruchung benötigt wurde. Die Quarze sollen formschlüssig mit der Prüfaufnahme verbunden sein, am besten in einer, der Form des Quarzes entsprechenden Ausfräsung, mit je einer Einzelklammer angeschraubt. Auch ein zusätzliches Ausgießen der Hohlräume mit Bienenwachs hat sich bewährt.

Obwohl in den Normen ausdrücklich eine Befestigung des Prüflings am Gehäuse festgelegt ist, kann es insbesondere bei sehr hohen Stoßbelastungen (über 10 000 G) sinnvoll sein, eine zusätzliche Stoßbeanspruchung mit einer Befestigung an den Anschlußdrähten durchzuführen, um festzustellen, ob die Glasdurchführungen diesen Beanspruchungen gewachsen sind. Die Stoßrichtung erfolgt bei diesem Zusatztest nur in Richtung der Anschlußdrähte.

3.4.14 Freifallen

Wenn gefordert, (z.B. nach CECC 68 000) ist für Schwingquarze eine Prüfung nach DIN IEC 68-2-32 Prüfung Ed vorgesehen. Der Schwingquarz soll in einer Höhe von 1000 mm an seinen Anschlüssen aufgehängt werden und aus dieser Lage auf eine

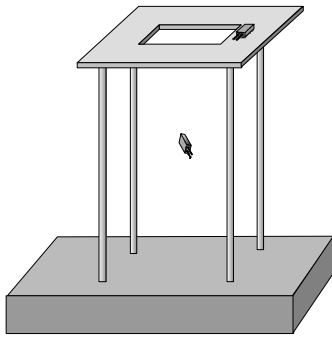


Bild 3.29 Vorrichtung für Freifallen

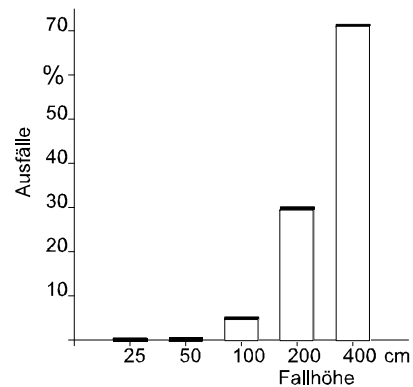


Bild 3.30 Auswertung Freifallen

Unterlage aus Stahl (mindestens 20 mm dick) frei fallen. Jeder Quarz soll dieser Belastung 2x ausgesetzt werden. Ausfallkriterium ist Änderung der Resonanzfrequenz und des Resonanzwiderstandes durch die Beanspruchung.

Für Vergleichszwecke hat sich in der Praxis eine Prüfung mit gesteigerter Belastung bewährt:

Die Schwingquarze fallen wiederholt aus nacheinander gesteigerter Fallhöhe auf eine 10 cm dicke Hartholzplatte. Hierzu werden die Quarze über die Kante einer Platte geschoben, so daß der Fall statistisch aus den verschiedensten Richtungen erfolgt. Die Beanspruchung beim Aufprall ist dann statistisch auch Stoß, Drall und Prellen aus verschiedenen Richtungen. Dieselben Quarze werden nacheinander den gesteigerten Belastungen je 5x ausgesetzt. Die zu steigernden Fallhöhen sind:

25 cm, 50, 100, 200, 400 cm

Bei der Auswertung werden die Anzahl der Ausfälle kumulativ aufgetragen, da ja ein ausgefallener Quarz bei der nächsten höheren Belastung auch ausgefallen wäre. Bild 3.30 zeigt das Beispiel einer solchen Auswertung.

3.4.15 Klimabeständigkeit

Als Klimabeständigkeit werden die Beständigkeit gegen Temperatur und Feuchte geprüft. Als Kurzbezeichnung der Klimabeständigkeit sind Abkürzungen der Klimaklassen eingeführt:

Klimaklassen nach DIN IEC 68-2-1:

Die Klimaklasse wird in drei Bestimmungsgrößen angegeben.

1. Bestimmungsgröße: Beanspruchungstemperatur für die Prüfung A:
Kälte
2. Bestimmungsgröße: Beanspruchungstemperatur für die Prüfung B:
Trockene Wärme
3. Bestimmungsgröße: Beanspruchungsdauer in Tagen für die Prüfung Ca:
Feuchte Wärme, konstant

Beispiel: Bei der Zugehörigkeit zur Prüflasse 55/100/56 muß ein Bauelement die Prüfungen bestehen:

Prüfung A: Kälte -55°C

Prüfung B: Trockene Wärme +100°C

Prüfung Ca:Feuchte Wärme 56 Tage

3.4.15.1 Trockene Wärme

Die Prüfung wird nach IEC 68-2-2 Prüfung Ba trockene Wärme durchgeführt. Die Prüflinge werden während der angegebenen Prüfzeit in einem Wärmeschrank bei der spezifizierten Temperatur ohne elektrische Belastung gelagert. Wenn in der Spezifikation nichts anderes angegeben, gilt als Prüftemperatur die obere Temperatur des spezifizierten Temperaturbereiches der Transport- und Lagerfähigkeit. Bei Schwingquarzen übliche Bedingungen sind:

Anwendung	Temperatur °C	Dauer Stunden
Allgemeine Anwendungen, Unterhaltungselektronik	90 °C	16
mobiler Einsatz, Funkgeräte	100 °C	16
Kraftfahrzeugtechnik	150 °C	96

Die Prüflinge werden in die bereits auf Temperatur gebrachte Kammer gebracht. Die Beanspruchungsdauer rechnet vom Zeitpunkt an, an dem Temperaturangleichung des Prüfobjektes erreicht ist. Die Temperierung der Prüflinge soll durch Wärmeleitung erfolgen. Zur Vermeidung unkontrollierter Temperaturerhöhung durch Wärmestrahlung, soll die Temperatur der Kammerwände nicht mehr als 3% (in °K) von der festgelegten Beanspruchungstemperatur abweichen. Während der Beanspruchungsdauer ist kein Temperaturabfall zugelassen (z.B. durch kurzzeitige Entnahme der Prüflinge aus der Prüfkammer).

Auswertung:

Wenn diese Prüfung kein Bestandteil einer Folgeprüfung war, erfolgt nach der Entnahme der Schwingquarze aus der Temperaturkammer ein Temperaturangleich an das Normalklima (ca. 1 Stunde). Innerhalb von 2 Stunden sollen jedoch die abschließenden Messungen der Resonanzfrequenz und des Resonanzwiderstandes bzw. deren Temperaturabhängigkeit durchgeführt sein. Dies ist besonders wichtig, wenn die Prüfung Bestandteil einer Prüfung auf Einschluß reaktiver Gase ist. Die gemessenen Werte müssen innerhalb der spezifizierten Grenzen liegen.

3.4.15.2 Feuchte Wärme

Die Prüfung "feuchte Wärme, zyklisch" dient zur Beurteilung der Eignung der Schwingquarze für Betrieb und Lagerung bei hoher Luftfeuchte in Verbindung mit zyklischen Temperaturänderungen, wobei es zu Betauungen kommt. Bei dieser Prüfung werden vor allem undichte Quarze und Quarze mit Haarrissen in den Glasdurchführungen auffällig.

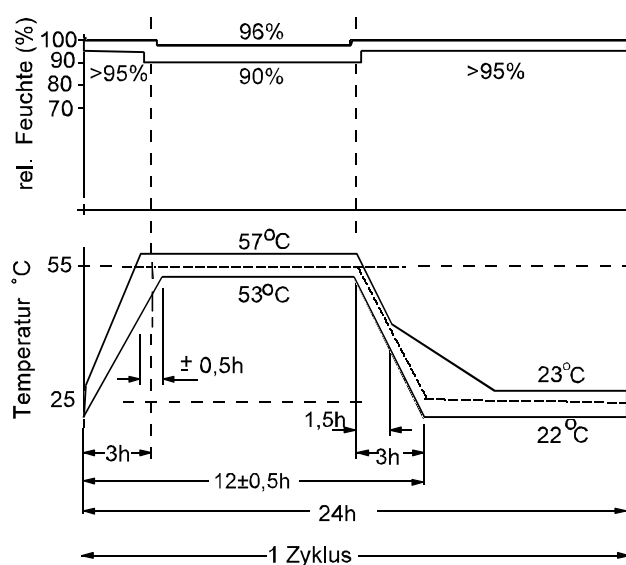


Bild 3.31 Prüfung "Feuchte Wärme", ein Zyklus

Die Prüfung wird nach DIN IEC 68-2-30 Db, Variante 1 durchgeführt:

Prüftemperatur: 55°C

Anzahl der Zyklen: 6

Dauer eines Zyklus: 24 Stunden

Die Temperatur der Prüfkammer muß von $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ bis $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ veränderbar sein. Die relative Luftfeuchte muß innerhalb der Grenzen in Bild 3.31 gehalten werden. Der spezifische Widerstand des zur Erzeugung der Luftfeuchte benutzten destillierten Wassers soll größer als 500 Ωm sein. Es darf kein Kondenswasser auf die Prüflinge tropfen. Die Prüfzyklen werden nach Bild 3.31 durchgeführt.

3.4.15.3 Kälte

Die Prüfung "Kälte" dient zur Beurteilung der Eignung der Schwingquarze für den Betrieb und Lagerung bei kalten Umgebungstemperaturen. Die Prüfung wird nach DIN IEC 68-2-1 Prüfung Aa Kälte durchgeführt. Wenn in der Spezifikation nichts anderes angegeben ist, gilt als Prüftemperatur die untere Temperatur der Prüfklasse, oder die untere Temperatur des spezifizierten Temperaturbereiches der Transport- und Lagerfähigkeit mit einer Prüfdauer von 2 Stunden.

Durchführung der Prüfung:

Die bei Raumtemperatur befindlichen Prüflinge werden unverpackt in die bereits auf Prüftemperatur temperierte Prüfkammer gebracht und bleiben für die Beanspruchungsdauer in der Prüfkammer. Die Zeit rechnet ab dem Zeitpunkt des Temperaturangleiches. Bei Bauelementen kleiner Masse, wie Schwingquarzen, rechnet man damit, daß der Zeitpunkt des Temperaturangleiches der Temperatorkammer mit dem des Prüflings identisch ist.

Nachbehandlung:

Die Prüflinge sollen bis zur Enteisung, mindestens aber eine Stunde im Normalklima lagern. Die abschließenden Messungen sollen spätestens nach 2 Stunden abgeschlossen sein.

3.4.15.4 Klimafolgeprüfung

Zweck der Prüfung ist die Beurteilung der Eignung der Schwingquarze für die in der Spezifikation genannte Transport- und Lagerfähigkeit.

Die Prüfung erfolgt in der in DIN IEC 122 Teil 1 angegebenen Reihenfolge:

Trockene Wärme	3.4.15.1
Feuchte Wärme, nur 1. Zyklus	3.4.15.2
Kälte	3.4.15.3
Feuchte Wärme, restliche 5 Zyklen	3.4.15.2

Abschließende Messung:

Temperaturabhängigkeit von Resonanzfrequenz und Resonanzwiderstand. Die bei der Prüfung ggf. entstandenen Undichtheiten, und dadurch entstandene Kondensateinschlüsse, können nur mit der dynamischen Messung des Temperaturganges 3.4.6.2, oder mit der Prüfung auf Kondensateinschlüsse 3.4.6.3 nachgewiesen werden. Elektrische Messungen zwischen den Einzelbelastungen sind nicht vorgesehen.

3.4.15.5 Rascher Temperaturwechsel, Zweikammerverfahren

Diese Prüfung dient der Beurteilung der Schwingquarze in ihrer Widerstandsfähigkeit gegen rasche Temperaturwechsel in Luft. Für den Fall, daß diese Prüfung vorgeschrieben ist, erfolgt sie nach DIN IEC 68-2-14, Prüfung Na, Zweikammerverfahren. Für die Prüfung werden zwei Temperaturkammern benötigt. Die Eigenschaften der Temperaturkammern entsprechen den Beschreibungen in 3.4.15.1 und 3.4.15.3. In den Temperaturkammern herrschen die in der Spezifikation angegebenen Temperaturen. Die Prüflinge werden erst in die tief temperierte Temperaturkammer gebracht. Nach der angegebenen Verweildauer werden die Prüflinge der Kammer entnommen und für 2 bis 3 Minuten bei Raumtemperatur verwahrt, ehe sie in die warme Temperaturkammer verbracht werden. Nach einer weiteren Verweildauer werden sie wieder der Temperaturkammer entnommen und ebenfalls nach einer Übergangszeit von 2..3 Min. in die kalte Kammer verbracht. Nach dem Ablauf der vorgeschriebenen Zyklen erfolgt nach einem Temperaturangleich auf die Meßtemperatur (mindestens zwei Stunden) die abschließende Messung.

3.4.15.6 Rascher Temperaturwechsel, Zweibäderverfahren

Schwingquarze in Glasgehäusen werden der Prüfung nach der Zweibädermethode unterzogen. Diese Prüfung soll ermitteln, ob in der Glasverschmelzung Spannungen existieren, die zu Glasbrüchen oder Undichtheiten führen. Die Prüfung wird nach DIN IEC 68-2-14, Prüfung Nc durchgeführt. Die Prüflinge werden abwechselnd in zwei Wasserbäder getaucht. Das Prüfbad mit der oberen Temperatur soll kochendes Wasser enthalten und das Bad der unteren Temperatur soll Wasser mit Eis enthalten. Die Prüflinge werden einem Abwärtszyklus von $(98 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ für 15 s auf $(0 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ für 5 s unterzogen.

Prüfkriterien:

Bei der mechanischen Inspektion dürfen keine Sprünge im Glas sichtbar sein. Die Frequenz und der Resonanzwiderstand dürfen sich durch die Prüfung nicht geändert haben.

3.5 Auswertung der Prüfungen

3.5.1 Attributprüfungen

Bei Wareneingangsprüfungen wird als Stichprobenprüfung meist die Attributprüfung angewendet. Nur anwendungskritische Merkmale werden 100% geprüft. Nach einem Stichprobenplan wird eine, von der Größe des Lieferloses abhängige Stichprobe entnommen. Der Istzustand eines jeden Merkmales wird mit dem, in der Spezifikation vorgegebenen Wert verglichen. Die Anzahl der Ausfälle entscheidet entsprechend der Prüfschärfe und dem AQL-Wert über Annahme oder Ablehnung des Loses. Die Prüfung wird durch den Prüfplan organisiert.

Beispiel, Ausschnitt aus einem Prüfplan: Prüfgruppe A:

Merkmal	Prüfschärfe	AQL	gemessene Ausfälle	Annahme
Resonanzfrequenz	100%		5 / 100	nein
Resonanzwiderstand	100%		0 / 100	ja
Temperaturgang	II	1,5	3 / 32	nein
Abmessungen	S-4	4	0 / 20	ja
Annahme des Lieferloses :				nein

Für die Wareneingangskontrolle ist diese Art der Auswertung ausreichend und sinnvoll. Für die Beurteilung der Produktsicherheit ist die Aufzeichnung einer Streuungsverteilung der Meßwerte unerlässlich.

3.5.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung, insbesondere die Auswertung im Gauss'schen Wahrscheinlichkeitsnetz, zeigt mehr über die Leistungsfähigkeit des Lieferanten, aber auch Unzulänglichkeiten bei der Festlegung der Toleranzen.

Hier soll keine Abhandlung über statistische Qualitätskontrolle erfolgen, sondern nur auf einige Besonderheiten im Zusammenhang mit der Beurteilung der Ergebnisse von Prüfungen an Schwingquarzen hingewiesen werden. Bild 3.32 zeigt die Auswertung

der Prüfung der dynamischen Kapazität C_1 , im oberen Teil als Säulendiagramm, im unteren Teil im Gauss-Wahrscheinlichkeitsnetz.

Wertetafel zu Bild 3.32

Gruppe fF	Häufigkeit Stck	Summen-% %
18...18,0	0	
19...19,9	0	
20...20,9	4	4
21...21,9	12	16
22...22,9	24	40
23...23,9	29	69
24...24,9	19	88
25...25,9	9	97
26...26,9	2	99
27...27,9	1	100
28...28,9	0	
29...29,9	0	

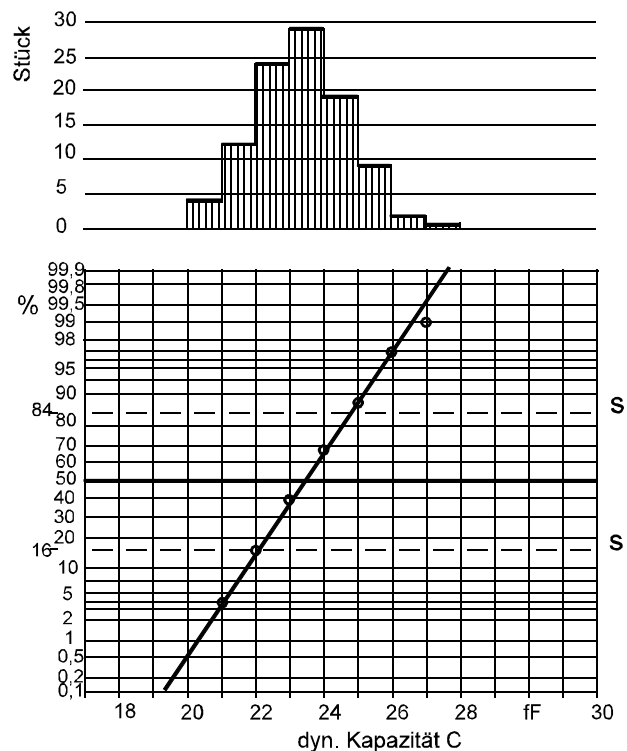


Bild 3.32 Normalverteilung, dynamische Kapazität

In Bild 3.33 wurde die dynamische Kapazität mit $25 \text{ fF} \pm 5 \%$ toleriert. Der Lieferant konnte die Quarze mit dieser engen Toleranz nicht herstellen, er mußte zur Lieferung die Quarze aussortieren. Deutlich ist die Steigung der ursprünglichen Verteilung noch zu erkennen, außerdem ist der Lieferant beim Sortieren bis hart an die Grenzen gegangen, so daß es Toleranzüberschneidungen durch Meßungenauigkeiten gibt. An dieser Stelle wird es immer Qualitätsprobleme geben.

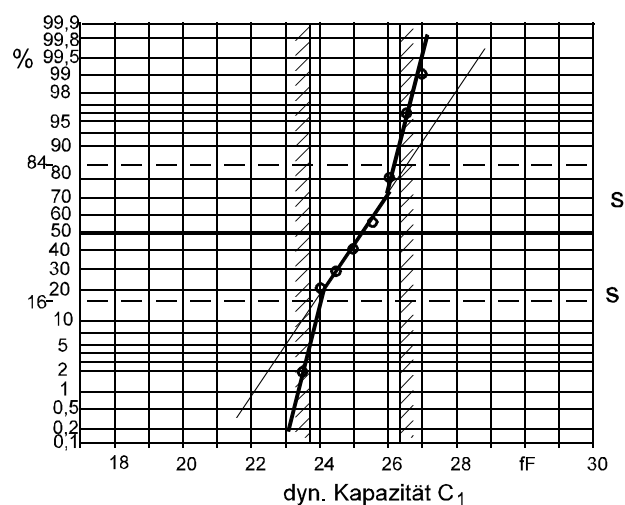


Bild 3.33 eingeschränkte Toleranz

Es sind konstruktive Maßnahmen zu treffen, die größere Toleranzen erlauben, oder es wird ein Lieferant gefunden, der diese Toleranz erfüllen kann. - Wahrscheinlich zu höheren Preisen.

Es ist immer wieder festzustellen, daß aus lauter Angst ein "schlechtes" Produkt zu kaufen (oder aus Bequemlichkeit) zu enge Toleranzen vorgegeben werden. Wie weit müssen die Toleranzen sein? Natürlich dürfen die Toleranzen nicht weiter sein, als für die Funktionssicherheit des Gerätes erforderlich. Eine Kostenanalyse hat auch darüber zu entscheiden, ob eine weitere Toleranz, oder eine Abgleichmöglichkeit im Gerät die günstigere Lösung ist.

Für eine beherrschte Fertigung gilt, daß die Streuungsbreite von $\pm 3s$ des Prozesses innerhalb der Toleranzen liegen muß, d.h. 99,73 % der gefertigten Teile liegen innerhalb der Spezifikationsgrenzen:

$$C_p = \frac{OGS - UGS}{6s} \quad (14)$$

In Japan billigt man dem Prozeß für die Streuungsbreite sogar nur 1/10 der spezifizierten Toleranz zu:

$$C_p = \frac{OSG - USG}{10s} \quad (15)$$

Da der gefertigte Mittelwert nicht unbedingt in der Mitte zwischen den Toleranzgrenzen liegt, gilt dazu auch:

$$C_{p_{krit.}} = \frac{\Delta_{krit}}{3s} \quad (16)$$

C_p = Prozeßindex (Prozeßfähigkeit) Spezifikationsweite/Prozeßbreite

$C_{krit.}$ = kritischer Prozeßindex,

der kleinste Abstand des Mittelwertes \bar{x} zur nächsten Toleranzgrenze

OSG = Obere Spezifikations-Grenze

USG = Untere Spezifikations-Grenze

s = Standardabweichung der gemessenen Werte

Eine gute Prozeßfähigkeit wird mit $C_p \geq 1,33$ und $C_{p_{krit.}} \geq 1,33$ angenommen.

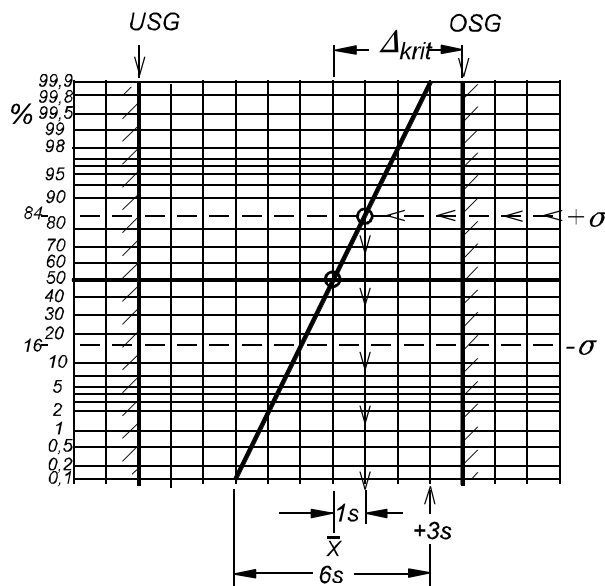


Bild 3.34 Prozeßfähigkeit, Begriffe

Für die Einschätzung der Spezifikationsgrenzen muß der umgekehrte Schluß gezogen werden (vorausgesetzt, die minimal mögliche Streubreite der Herstellung ist bekannt) : Die spezifizierte Toleranz (OSG - USG) muß ein $C_{pkr} \geq 1,33$ ergeben, möglichst $\geq 1,7$. Mit C_p - Werten über 1,7 kann auch die PPM-Philosophie verwirklicht werden, der Einsparung von Prüfkosten durch Fortfall von Doppelprüfungen (WE-Prüfung). Diese Analysen können nur in Absprache von Lieferant und Anwender getroffen werden.

Anmerkung:

Merkmale mit einseitiger Begrenzung der Werte werden zweckmäßig im logarithmischen Maßstab dargestellt. Ein Beispiel ist der Resonanzwiderstand der Schwingquarze, der einen Minimalwert nicht unterschreiten kann (2.13.3).

In Bild 3.35 ist ein Beispiel für den Resonanzwiderstand dargestellt.

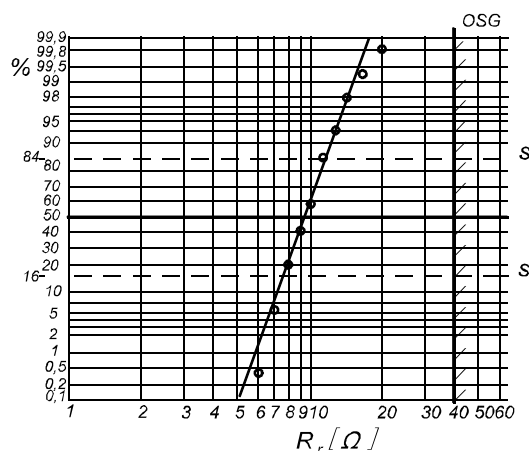


Bild 3.35 Logarithmische Skala

3.6 Literatur

DIN IEC 122	Schwingquarze zur Frequenzstabilisierung und Selektion
Teil 1	Normwerte und Prüfbedingungen
Teil 2	Leitfaden zur Anwendung
Teil 3	Gehäuseabmessungen
DIN IEC 444	
Teil 1	Verfahren zur Messung der Resonanzfrequenz und des Resonanzwiderstandes nach der Null-Phasenmethode in einem π -Netzwerk.
Teil 2	Messung der dynamischen Kapazität von Schwingquarzen nach der Phasenoffsetmethode.
Teil 3	Verfahren zur Messung der Zwei-Pol-Parameter von Schwingquarzen bis 200 MHz nach der Phasenmethode in einem π -Netzwerk mit Kompensation der Parallelkapazität C_0 .
Teil 4	Verfahren zur Messung der Lastresonanzfrequenz f_L , des Lastresonanzwiderstandes R_L und Berechnung anderer hergeleiteter Werte von Schwingquarzen bis 30 MHz.
Teil 5	Referenzmethode zur Messung von Schwingquarzen mit automatischem Network Analyzer zur Bestimmung der Ersatzdaten.
Teil 6	Messung von DLD (drive level dependence)
DIN IEC 1080	Piezoelektrische Bauelemente Leitfaden zur Messung der elektrischen Ersatzdaten von Schwingquarzen.
CECC 68000	Fachgrundspezifikation für Schwingquarze
CECC 68100	Rahmenspezifikation für Schwingquarze
CECC 68200	Rahmenspezifikation für die Bauartenzulassung von Schwingquarzen.

DIN IEC 68-2-.. Grundlegende Umweltprüfverfahren,
Teil 2 Prüfungen.
Diese Vorschrift besteht aus insges. 54 Titeln. Die jeweils aktuellen
sind im Text angegeben.

G.W.A.Dummer und N.B.Griffin
Environmental Testing Techniques for Electronics and Material.
Pergamon Press 1962.

C.M.Harris and C.E.Crede
Chock and Vibration Handbook
McGRAW-HILL BOOK COMPANY.

B.Neubig, Firmenschrift TeleQuarz GmbH, 74024 Neckarbischofsheim, 1995
Messen der Lastresonanzfrequenz f_L ohne physikalische
Lastkapazität bei TOG

3.7 Vergleichsliste zu Europeanormen

DIN - IEC	Titel	EN oder HD
68-2-1	A Kälte	EN 60068-2-1 +A1 +A2
68-2-2	B Trockene Wärme	EN 60068-2-2 +A1 +A2
68-2-3	Ca Feuchte Wärme, konstant	HD 323.2.3 S2
68-2-6	Fc Schwingen, sinusförmig	HD 323.2.6 S2
68-2-7	Ga Gleichförmiges Beschleunigen	EN 60068-2-7
68-2-14	Nc Temperaturwechsel	HD 323.2.14 S2
68-2-17	Qc Dichtheit	HD 323.2.17 S4
68-2-17	Qk Dichtheit	EN 60068-2-17
68-2-20	Ta Löten	HD 323.2.20 S3
68-2-21	U Mech. Widerstand der Anschlüsse	HD 323.2.21 S3
68-2-27	Ea Schocken	EN 60068-2-27
68-2-29	E Dauerschocken	EN 60068-2-29
68-2-30	Dd Feuchte Wärme, zyklisch	HD 323.2.30 S3
68-2-32	Ed Freifallen	EN 60068-2-32

CECC 68000 Fachgrundspezifikation für Schwingquarze
EN 168000 : 1993

CECC 68100 Rahmenspezifikation für Schwingquarze
EN 168100 : 1993

CECC 68200 Rahmenspezifikation f.d. Bauartenzulassung
EN 168200 : 1993

EN = Europeanorm

HD = Harmonisiertes Dokument

Anhang A

Anmerkung zu den Meßverfahren

Die zur Ermittlung der elektrischen Eigenschaften von Schwingquarzen angewendeten Verfahren sollen zur Begriffsdefinition hier aufgeführt werden.

Aktive Verfahren (Oszillator-Verfahren):

Die Frequenz, des mit dem Quarz schwingenden Oszillators, wird gemessen. Hierzu muß sichergestellt sein, daß die gesamte Schleife phasenrein ist (der Oszillator wird vor der Messung "reell gemacht"). Die speziellen Prüfoszillatoren ermöglichen es, aus der "Schwingaktivität" auf den Resonanzwiderstand zu schließen.

Passive Verfahren:

Der Schwingquarz wird in einer speziellen Meßschaltung von einem Hf-Generator angesteuert (fremd erregt).

Man unterscheidet:

Übertragungsverfahren

Scheinwiderstands-Meßverfahren

Übertragungsverfahren (Vierpolmessung):

Die Schwingquarzparameter werden aus Messungen der Übertragungsfunktionen eines Widerstandsnetzwerkes, in das der Schwingquarz eingefügt ist, ermittelt. Das Widerstandsnetzwerk ist üblicherweise das π -Netzwerk nach DIN-IEC 444. Die Übertragungsverfahren können in vier Gruppen unterteilt werden:

- a) Maximum-Übertragungsverfahren (ETM, Extremum transmission methods)
- b) Phasenübertragungsverfahren (PTM, Phase transmission methods)
- c) Vektorübertragungsverfahren (VTM, Vector transmission methods)
- d) Streuparameterverfahren (SPM, Scattering parameter methods)

a) Beim Maximum-Übertragungsverfahren wird nur die Höhe der Übertragungsfunktion ausgewertet. Die Schwingquarzfrequenz ist diejenige, bei der maximale Ausgangsspannung auftritt. Es ist die Minimalimpedanzfrequenz f_m . Aus der Höhe der Amplitude ergibt sich der Minimalimpedanzwiderstand R_m .

b) Phasenübertragungsverfahren. Die Schwingquarzfrequenz ist diejenige, bei der die Phasendrehung über das Netzwerk Null ist. Die Schwingquarzfrequenz ist in diesem Fall die Resonanzfrequenz f_r des Schwingquarzes. Aus der Amplitude wird der Resonanzwiderstand R_r ermittelt.

c) Beim Vector-Übertragungsverfahren werden beide Übertragungsparameter, Phase und Amplitude zur Auswertung herangezogen. Für das VTM werden mehrere Frequenz-

messungen in der Nähe der Resonanz durchgeführt. Die Auswertung ergibt gleichzeitig auch die Werte der dynamischen Kapazität C_1 und der dyn. Induktivität L_1 d Schwingquarzes. Die Auswertung ergibt die Serienresonanzfrequenz f_s . Es kann bei Vorgabe der Lastkapazität die Lastresonanzfrequenz f_L errechnet werden.

d) Streuparameterverfahren: Bei mehreren Frequenzen in der Nähe der Resonanz werden alle Vierpolparameter des Netzwerkes bestimmt. Durch eine Fehlerrechnung werden die linearen Fehler des Netzwerkes eliminiert. Die Messung ist nur rechnergestützt durchführbar. Alle elektrischen Parameter des Schwingquarzes können ermittelt werden.

Scheinwiderstands-Meßverfahren (Zweipolmessung):

Der Schwingquarz wird als Zweipol gemessen (Eintormessung). Bei mehreren Frequenzen in der Nähe der Resonanz wird der Scheinwiderstand gemessen. Aus den Werten werden die Schwingquarzparameter errechnet (ähnlich SPM). Die Messungen können erfolgen mit:

- a) Direkte Immetanzverfahren (DIM, direct immitance methods)
- b) Reflexionskoeffizienten-Verfahren (RCM, reflection coefficient methods)
- a) Messung mit Geräten, die direkt den Scheinwiderstand anzeigen, z.B.
Scheinwiderstandsmeßbrücken, Vektor-Impedanz-Meter.
- b) Messung mit Reflektionsmessgeräten, mit Richtkopplern.