



Elektronische Uhren Prüfmethoden

Witschi Electronic AG, 2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Grundlagen.....	3
Typen von elektronischen Uhrwerken.....	3
Komponenten einer Quarzuhr.....	3
Analoge Quarzuhr.....	12
Integrated Circuit (IC).....	17
Digitale Quarzuhr.....	22
Gangabgleich.....	24
Messungen und Prüfungen.....	28
Batteriespannung.....	28
Stromaufnahme	29
Minimale Betriebsspannung	30
EOL-Spannung.....	30
Gangabweichung.....	31
Gangabweichung Quarz	32
Impulsdauer.....	32
Leistungsstufe	33
Form des Motorpulses	34
Widerstandsmessung	35
Beschleunigter Modus	37
Pulsgenerator.....	37
Prüfung von geschlossenen Quarzuhren	39
Prüfung von geöffneten Quarzuhren	40
Prüfablauf.....	40
Fehlersuche.....	41
Übersicht Witschi-Messgeräte für Quarzuhren	43

Grundlagen

Typen von elektronischen Uhrwerken

Elektronische Uhrwerke ermöglichen die Zeitmessung teilweise oder vollständig auf elektronischem Wege. Sie wurden hauptsächlich entwickelt, um eine geringere Gangabweichung im Vergleich zu mechanischen Uhrwerken zu erzielen.

Uhrentypen

Die ersten Entwicklungen nutzten eine **mechanische Unruh**, die mit Permanentmagneten bestückt war. Diese koppelte elektromagnetisch an eine elektrische Schaltung, einen Sperrschwinger. Dadurch konnte die Unruh nahezu ungestört schwingen und blieb dennoch das zeitbestimmende Bauteil.

Später wurde die Unruh durch eine magnetisch angeregte **Stimmgabel** ersetzt, die in Stimmgabeluhren zum Einsatz kam. Die Bewegung der Stimmgabel wurde dabei mechanisch über ein Klinkensystem auf das Räderwerk übertragen.

Bald jedoch wurde die Stimmgabel durch einen **Schwingquarz** abgelöst. Dieser besitzt ebenfalls die Form einer Stimmgabel, befindet sich jedoch in einem hermetisch abgedichteten Gehäuse. Die Anregung erfolgt rein elektrisch. Der Schwingquarz setzte sich schliesslich durch, sodass heutige elektronische Uhren nahezu ausschliesslich darauf basieren.

In einigen Fällen werden Quarze durch weitere Systeme ergänzt, um die Gangabweichung über längere Zeiträume (Tage bis Jahre) zu minimieren. Solche Systeme ermöglichen die Synchronisierung mit Zeitzeichen wie DCF77, GPS-Signalen, dem Mobilfunknetz oder Zeitsignalen aus dem Internet. Eine direkte Synchronisierung mit Atomuhren wurde bisher nur in Prototypen von Armbanduhren realisiert.

In diesem Dokument beschränkt sich die Diskussion auf Quarzuhren ohne zusätzliche Synchronisierung. Dabei wird zwischen **analogen Quarzuhren** (Quarzuhren mit Zeigern) und **digitalen Quarzuhren** (solchen mit LCD-Anzeige) unterschieden.

Komponenten einer Quarzuhr

Eine **analoge Quarzuhr** besteht aus mehreren Komponenten:

- einer **Batterie** zur Energieversorgung
- einem **integrierten Schaltkreis** (IC), der als Zähler und Motortreiber dient,
- einem **Uhrenquarz** als Taktgeber,
- einem **Elektromotor** zum Antrieb der Zeiger sowie
- einem **Räderwerk**, das die Bewegung auf die Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger überträgt.

Eine **digitale Quarzuhr** enthält ebenfalls

- eine **Batterie** zur Energieversorgung
- einen **integrierten Schaltkreis** (IC) als Zähler und Treiber für die Anzeige,
- einen **Uhrenquarz** als Taktgeber sowie
- ein **Anzeigeelement** zur Darstellung der Zeit.

In diesem Abschnitt werden die gemeinsamen Komponenten beider Uhrentypen – die Batterie und der Uhrenquarz – näher beschrieben.

Batterie

Die Batterie stellt die für den Betrieb der Quarzuhr benötigte Energie bereit. Je nach Strombedarf des Uhrwerks kann sie eine Laufzeit von mehreren Jahren ermöglichen.

Beim Umgang mit Batterien ist Vorsicht geboten: Sie sollten nur mit isolierten Pinzetten oder Handschuhen berührt werden, um eine Entladung oder Verunreinigung zu vermeiden.

In den meisten Uhren kommen Silberoxid-Zink-Knopfzellen mit einer Nennspannung von 1,55 V zum Einsatz.

Moderne elektronische Uhren bieten jedoch zunehmend mehr elektronische Funktionen und benötigen deshalb mehr Energie. In diesem Fall werden Lithiumbatterien mit höherer Kapazität, einer höheren Nennspannung (3 V), einer geringeren Selbstentladung, sowie einem höheren Temperaturbereich verwendet.

Vier in Uhren häufig verwendete Typen:

Typ	Nennspannung	Elektrolyt	Anwendung
Silberoxid (low drain)	1.55 V	Natriumhydroxid (NaOH)	Uhren ohne Hintergrundbeleuchtung oder Alarm
Silberoxid (high drain)	1.55 V	Kaliumhydroxid (KOH)	Uhren mit Hintergrundbeleuchtung oder Alarm
Lithium-Kupfersulfid	2.0 V		Werden in der Praxis kaum für Uhren verwendet
Lithium-Mangandioxid	3.0 V		Uhren mit höherem Energiebedarf

Die Norm NIHS 13-02 legt die Kriterien für die Bezeichnung, Kennzeichnung und Prüfung von Uhrenbatterien fest. Sie basiert auf den internationalen Normen IEC 60086-1 und IEC 60086-2, die allgemeinen Anforderungen und Leistungsmerkmale für Primärbatterien definieren.

Beispiele für Batteriepräfixe (nach NIHS 13-02):

- S – Silberoxid
- B-H – Lithium
- L / LR / AG – Alkaline (Alkalimangan)

Beispiel für eine Batteriebezeichnung: SR516SW

- S = Silberoxid
- R = Runde Bauform (Knopfzelle)
- 5 = Durchmesser-Code (5,8 mm)
- 16 = Höhen-Code (1,6 mm)
- SW = Low-Drain-Batterie (geringer Stromverbrauch)

Eine Batterie besteht aus zwei Elektroden, der **Kathode (+)** und der **Anode (-)**, die durch einen **Elektrolyten** getrennt sind. Weitere Bauteile wie Separator, Dichtung, Gehäuse und Deckel sind nicht an der chemischen Reaktion beteiligt, sorgen aber für Sicherheit und Stabilität.

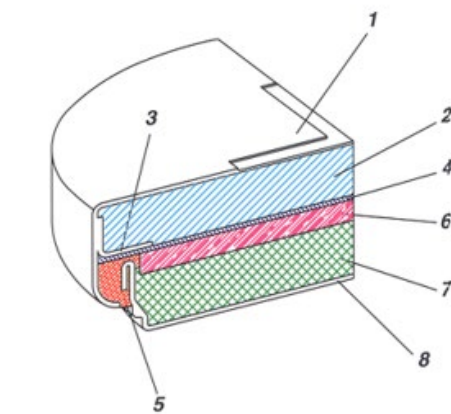
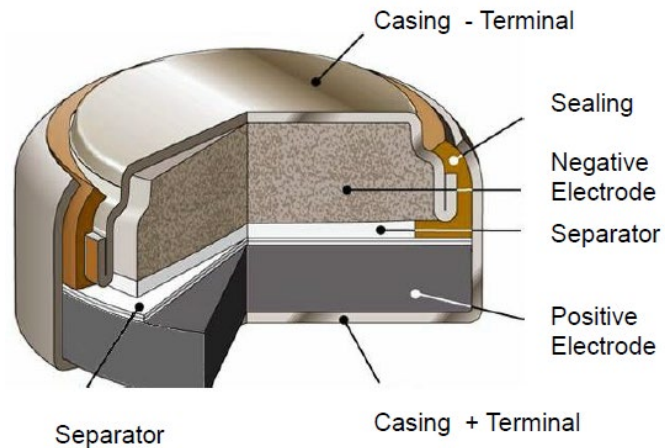


Abbildung 1: Aufbau einer Uhrenbatterie



Teilenummer	Bauteil	Funktion
1	Gehäuse	Positiver Pol (+) . Schützt die inneren Bauteile und sorgt für Stabilität. Die äussere Nickelbeschichtung schützt vor Korrosion und gewährleistet guten elektrischen Kontakt.
2	Kathode (+)	Positive Elektrode (Ag_2O), an der die Reduktion stattfindet.
3	Druckring	Sorgt für mechanische Stabilität und Druckausgleich (je nach Batterietyp).
4	Separator	Trennt Anode und Kathode, verhindert Kurzschlüsse, ermöglicht den Ionenaustausch.
5	Dichtung	Verhindert das Austreten des Elektrolyten und schützt vor Umwelteinflüssen.
6	Elektrolyte	Ermöglicht den Ionentransport zwischen Kathode und Anode.
7	Anode (-)	Negative Elektrode (Zn), an der die Oxidation stattfindet.
8	Deckel	Verschliesst die Batterie und dient als Kontaktfläche, negativer Pol (-) .

Der Separator reduziert die Selbstentladung, erhöht jedoch den Innenwiderstand der Batterie. Dadurch kann die Spannung unter Last niedriger ausfallen. Die gemessene Spannung erlaubt jedoch keine direkte Aussage über die verbleibende Kapazität.

Die **nominale Spannung** einer Batterie wird durch ihren gesamten Aufbau bestimmt – insbesondere durch die aktiven Materialien (Zink und Silberoxid), den Separator, den Elektrolyten und das Gehäuse.

Die **Kapazität** wird hingegen hauptsächlich durch die Menge der aktiven Materialien bestimmt, also die Menge an Zink und Silberoxid, die der Hersteller in der Batterie untergebracht hat. Sie wird in Milliamperestunden (mAh) angegeben und üblicherweise bis zu einer Endspannung von 1,2 V gemessen.

Eine Batterie mit höherer Kapazität sorgt für eine längere Lebensdauer der Uhr.

Die theoretische **Lebensdauer kann berechnet werden**, indem die Kapazität der Batterie (in mAh) durch die durchschnittliche Stromaufnahme des Uhrwerks (in mA) geteilt wird.

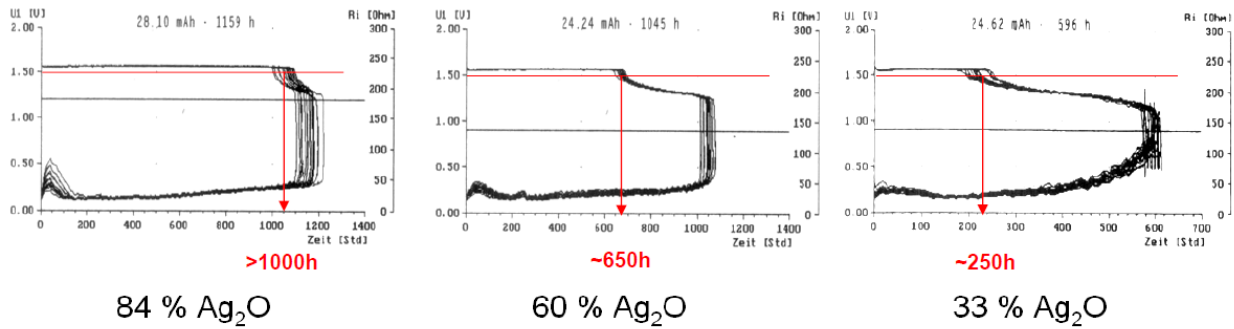


Abbildung 2: Entladekurven in Abhängigkeit des Silberanteils.
Restlicher Anteil der Kathode bestehend aus Mangandioxid.

Low-Drain und High-Drain

In Uhren mit Funktionen, die kurzfristig hohen Strombedarf haben – etwa Hintergrundbeleuchtung oder ein akustisches Wecksignal – kommen **High-Drain-Batterien** zum Einsatz. Diese Batterien zeichnen sich durch einen geringeren Innenwiderstand aus, wodurch sie den benötigten Strom ohne erheblichen Spannungsabfall liefern können.

Ein Nachteil von High-Drain-Batterien ist jedoch ihre kürzere Lagerzeit sowie eine höhere Selbstentladung, was ihre Gesamtlebensdauer verringern kann.

Difference between High Drain and Low Drain Batteries

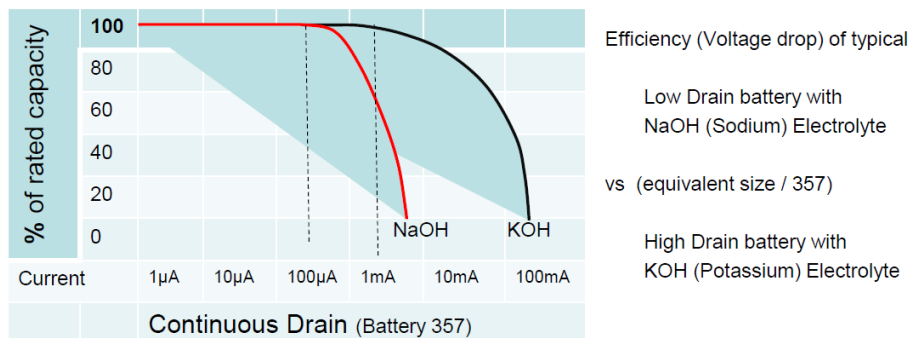


Abbildung 3: Kapazität in Abhängigkeit des Entladestroms für Low- und High Drain Batterien.

Lagerung

Batterien sollten in ihrer Originalverpackung, an einem trockenen Ort und bei Temperaturen zwischen 10°C und 25°C aufbewahrt werden. Die Temperatur darf niemals 30°C überschreiten, da höhere Temperaturen die Selbstentladung beschleunigen und die Lebensdauer verkürzen.

Werden Batterien feucht, sinkt der Widerstand zwischen den Polen, was zu einer erhöhten Selbstentladung führen kann. Zudem kann Feuchtigkeit Korrosion (Rostbildung) verursachen.

Batterien haben eine begrenzte Lagerzeit, da ihre Kapazität durch die Selbstentladung mit der Zeit abnimmt. Nach ISO-Empfehlung 2014 enthält der Produktionscode üblicherweise Monat und Jahr der Herstellung, um die verbleibende Haltbarkeit nachvollziehen zu können.

Beispiel für den Herstellercode bei Batterien von Maxell, Seiko, Sony und Renata.

2-stelliger Code:

- 1. Stelle = Jahr
- 2. Stelle = Monat (1–9 = Jan.–Sept., O = Okt., Y = Nov., Z = Dez.)
- Beispiel: „3Z“ = Dezember 2023

4-stelliger Code:

- Letzte 2 Ziffern = Produktionscharge
- Erste 2 Ziffern = Je nach Hersteller Jahr/Monat
- Beispiel: „2312“ → Produktionscharge 12, Jahr evtl. 2023

Der Hersteller gibt eine **maximale Lagerdauer für Batterien** an:

- Low-Drain-Batterien: bis zu 3 Jahre
- High-Drain-Batterien: bis zu 2 Jahre

Nach dieser Zeit kann die **Selbstentladung** die Kapazität verringern, was die Leistung in der Uhr beeinträchtigt.

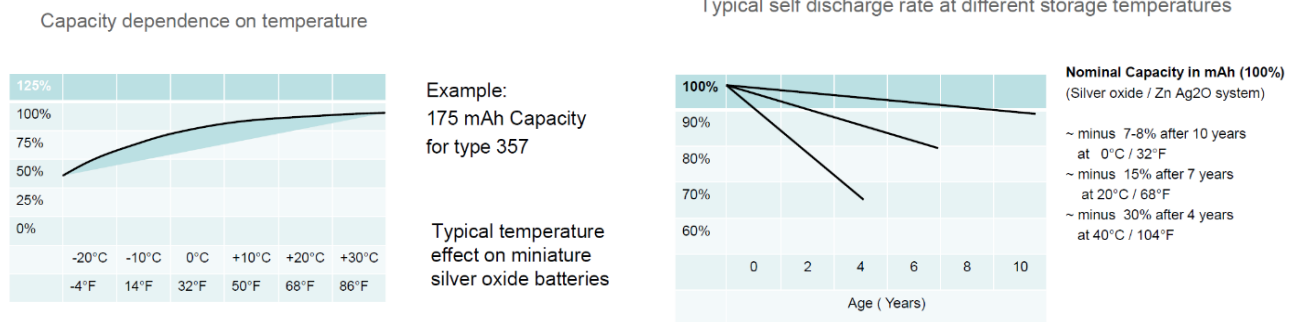


Abbildung 4: Links: Temperaturabhängigkeit der Kapazität.

Rechts: Verbleibende Kapazität bei Lagerung.

Nach der Energieversorgung über die Batterie bildet der Uhrenquarz das zentrale Element für die zeitliche Steuerung der Uhr.

Uhrenquarz

Ein **Uhrenquarz** dient in der Uhr als **Taktgeber**, wobei die **Gangstabilität** direkt von seiner Präzision abhängt.

Er beginnt zu schwingen, sobald eine elektrische Spannung anliegt – ein Effekt, der als umgekehrter piezoelektrischer Effekt bezeichnet wird. Die Form des Uhrenquarzes ähnelt oft einer Stimmgabel und er ist hermetisch in einem metallischen Gehäuse untergebracht.

Die typische **Schwingfrequenz** beträgt **32.768 Hz**, was deutlich höher ist als bei einer mechanischen Uhr. Dank des hohen Gütefaktors bleibt die Schwingfrequenz äusserst stabil, wodurch eine sehr hohe Ganggenauigkeit erreicht wird.

Die **Frequenzstabilität eines Uhrenquarzes** wird hauptsächlich beeinflusst durch:

- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Alterung
- Last
- Versorgungsspannung

Einflüsse, die zu einem Defekt führen können, sind z.B.

- Beschleunigung
- Mechanische Stösse und Vibrationen

Der Einfluss von elektrischen und magnetischen Feldern auf die Quarzfrequenz ist hingegen vernachlässigbar.

Ganggenauigkeit

Die Genauigkeit der Schwingfrequenz des Quarzes bestimmt die Ganggenauigkeit der Uhr. Sie wird üblicherweise in ppm (parts per million) angegeben.

Der Gang der Uhr wird entweder in **Sekunden pro Tag** oder **Sekunden pro Monat** ausgedrückt.

ppm	s/d	s/M
0.1157	0.0100	0.300
0.3858	0.0333	1.000
1.0000	0.0864	2.592
1.1574	0.1000	3.000
11.574	1.0000	30.000

Tabelle 1: Umrechnung von Einheiten zur Messung von Frequenz- und Gangabweichungen.

Typische Werte für Gangabweichungen aufgrund von verschiedenen Einflüssen bei einem Uhrenquarz sind in folgender Tabelle angegeben.

Grund	ppm	s/d
Frequenzabweichung nach Produktion	±20	±1.73
Streuung Kondensator innerhalb IC	±10	±0.86
Leiterplatte (Streukondensator)	±1	±0.08
Total für Abgleich [1]	±31	±2.67

Grund	ppm	s/d
Temperaturabhängigkeit	0.038 / °C ²	0.0033 / °C ²
Alterung im ersten Jahr	±3	±0.26
Schläge (5 bis 10 kg / 0.3ms)	±5	±0.43
Vibration (20g / 20 – 20kHz / 20 min)	±3	±0.26

[1] dieser Wert wird in der Produktion gemessen und beim Abgleich korrigiert.

Tabelle 2: Typische Gangabweichung bei Uhrenquarz.

Kapazitive Last

Die Frequenz des Uhrenquarzes kann durch eine kapazitive Last beeinflusst werden. Eine typische Kurve der Schwingungsfrequenz in Abhängigkeit der kapazitiven Last ist in Abbildung 5 gegeben. Bei Uhren mit Inhibitionsabgleich wird durch eine Wahl einer kleineren kapazitiven Last bewusst eine leicht höhere Frequenz als 32'768 Hz eingestellt.

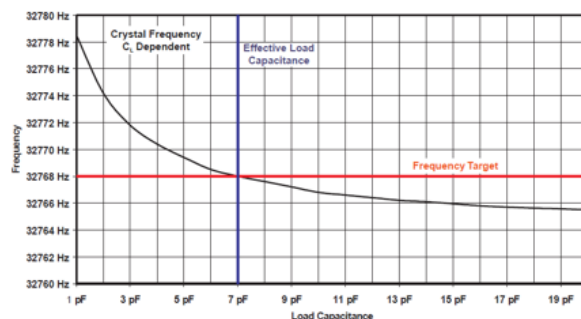
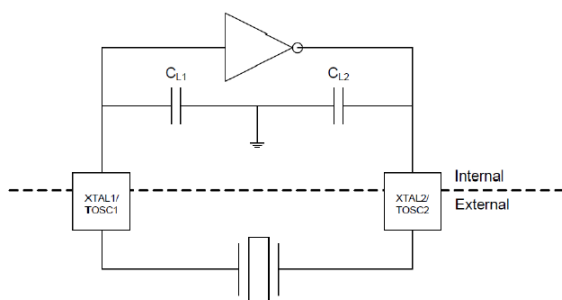


Abbildung 5: Links: Blockschema des Oszillators. Rechts: Frequenz in Abhängigkeit der kapazitiven Last.

Alterung

Durch die **Alterung** des Quarzes entstehen Defekte in der Kristallstruktur, wodurch sich die Resonanzfrequenz verändert. Diese Veränderung folgt meist einer logarithmischen Kurve, sodass neue Quarze stärker betroffen sind als ältere.

Die maximale Frequenzabweichung durch Alterung wird vom Hersteller spezifiziert. Typischerweise beträgt sie etwa ±10 ppm über 10 Jahre, wobei die tatsächlichen Werte oft geringer ausfallen. Eine exakte Vorhersage der Alterungseinflüsse für ein einzelnes Exemplar ist jedoch nicht möglich.

Durch die Alterung kann die Frequenz sowohl steigen als auch sinken, jedoch zeigt sich in über 90 % der Fälle eine abnehmende Frequenz.

Temperatureinfluss

Der **Temperatureinfluss auf die Quarzfrequenz** hängt vom Schnitt des Quarzes ab. Uhrenquarze werden in der Regel so gefertigt, dass ihre Frequenz eine parabolische Temperaturabhängigkeit aufweist. Der Umkehrpunkt liegt typischerweise bei 25°C, wodurch die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturänderungen in diesem Bereich minimal ist.

Die parabolische Abhängigkeit wird mathematisch beschrieben als

$$\frac{F_{xT} - F_0}{F_0} = \frac{\Delta F_{xT}}{F_0} = \beta(T - T_{inv})^2$$

wobei

T_{inv} Temperatur im Umkehrpunkt ($25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)

F_{xT} Frequenz bei Temperatur T

F_0 Frequenz bei der Temperatur im Umkehrpunkt T_{inv} (typ. 32'768 Hz at 25°C)

β Koeffizient der Frequenzabhängigkeit (typ. $-(0.035 \pm 0.005) \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}^2$)

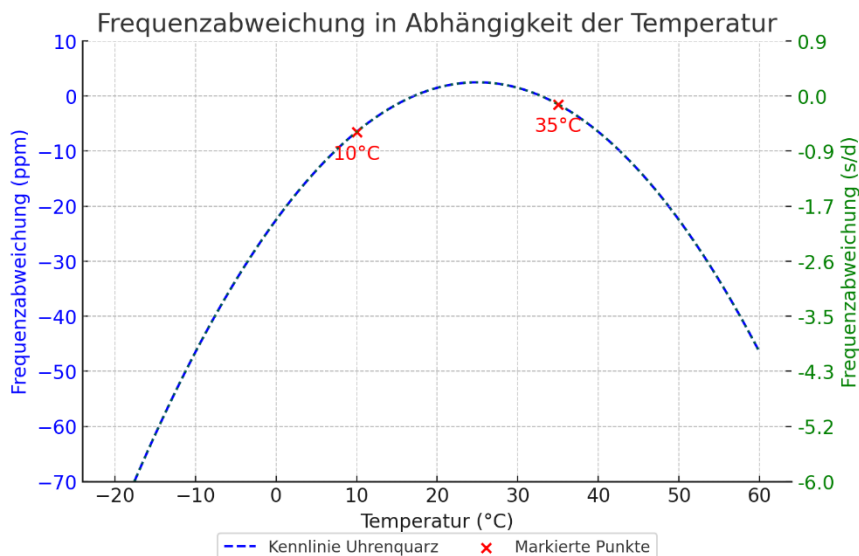


Abbildung 6: Frequenzabweichung in Abhängigkeit der Temperatur bei Uhrenquarz

Beispiel der Frequenzabweichung bei $T = 10^{\circ}\text{C}$

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \beta(T - T_{inv})^2 = 0.038(10 - 25)^2 = 8.55 \text{ ppm} \rightarrow 0.74 \text{ s/d}$$

Beispiel der Frequenzabweichung bei $T = 35^{\circ}\text{C}$, was einer möglichen Temperatur innerhalb einer Uhr am Handgelenk entspricht.

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \beta(T - T_{inv})^2 = 0.038(35 - 25)^2 = 3.8 \text{ ppm} \rightarrow 0.33 \text{ s/d}$$

Da die Temperatur der Uhr am Handgelenk meist etwas höher als Raumtemperatur ist, wird beim Abgleich oft ein leichter Vorgang von $+0,1 \text{ s/d}$ bis $+0,2 \text{ s/d}$ angestrebt.

Thermokompensation

Wie bereits erwähnt, ist die Schwingfrequenz eines Uhrenquarzes temperaturabhängig. **Thermokompensierte Quarze** enthalten eine Schaltung zur Temperaturmessung, die Frequenzabweichungen ausgleicht und so die Ganggenauigkeit deutlich verbessert.

Für die **Thermokompensation** wird während der Produktion die Schwingfrequenz des Uhrenquarzes in Abhängigkeit von Temperaturänderungen gemessen und mithilfe einer Polynomfunktion approximiert.

Im Betrieb misst eine Schaltung die aktuelle Temperatur innerhalb des thermokompensierten Quarzes und berechnet daraus eine Korrektur. Die Frequenzanpassung erfolgt beispielsweise durch Kapazitätsdioden, deren Kapazität sich mit einer Steuerspannung verändert. Dadurch kann die kapazitive Last des Quarzes angepasst und somit seine Frequenz stabilisiert werden.

Abbildung 7 zeigt die Frequenzabweichung **vor der Kompensation (blau)** und **nach der Kompensation (rot)**, wodurch die Wirksamkeit der Thermokompensation ersichtlich wird.

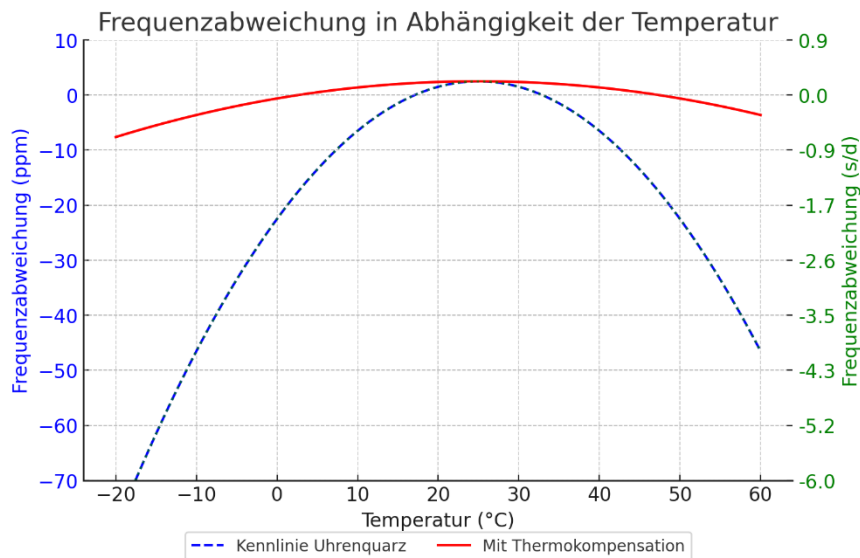


Abbildung 7: Frequenzabweichung in Abhängigkeit der Temperatur bei thermokompensiertem Quarz.

Für die Gangmessung einer thermokompensierten Quarzuhr wird eine Messdauer empfohlen, die mindestens einer oder mehreren Perioden der Thermokompensation entspricht.

Diese Perioden sind im Datenblatt der Uhr angegeben und betragen typischerweise 4, 8 oder 16 Minuten. Eine zu kurze Messdauer kann zu ungenauen Ergebnissen führen, da der vollständige Thermokompensationszyklus nicht erfasst wird.

Dank der Thermokompensation lassen sich bereits sehr hohe Ganggenauigkeiten erzielen. Für besonders präzise Zeitmesser gelten jedoch zusätzliche Anforderungen – wie sie bei Quarz-Chronometern erfüllt sein müssen.

Quarz-Chronometer

Die **Contrôle Officiel Suisse des Chronomètres (COSC)** hat hierfür einen eigenen Prüfstandard für Quarz-Chronometer entwickelt, der acht Ausschlusskriterien umfasst (siehe Tabelle unten).

COSC-Prüfkriterien für Quarz-Chronometer

Symbol	Kriterium	Grenzwert (s/d)
Avg R	Mittlerer täglicher Gang bei 23°C	±0.07
M _{T8}	Gang bei 8°C	± 0.20
M _{T38}	Gang bei 38°C	±0.20
SM	Gangstabilität	0.05
D	Dynamischer Gang	±0.05
TE	Temporärer Effekt mechanischer Erschütterungen	±0.05
R	Wiederaufnahme des Gangs	±0.05
RE	Resteffekt mechanischer Erschütterungen	±0.05

Analoge Quarzuhr

Wie bereits erwähnt besteht eine analoge Quarzuhr aus einer Batterie, einem IC als Zähler und Motortreiber, einem Uhrenquarz, einem Elektromotor für den Antrieb der Zeiger und einem Räderwerk, das die Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger antreibt.

In diesem Kapitel werden die **spezifischen Komponenten der analogen Quarzuhr** näher erläutert. Dazu gehören:

- **Das IC mit Motortreiber** – steuert den Takt und die Ansteuerung des Motors.
- **Der Elektromotor** – wandelt die elektrischen Impulse in mechanische Bewegung um.
- **Das Räderwerk** – überträgt die Drehbewegung des Motors auf die Zeiger der Uhr.

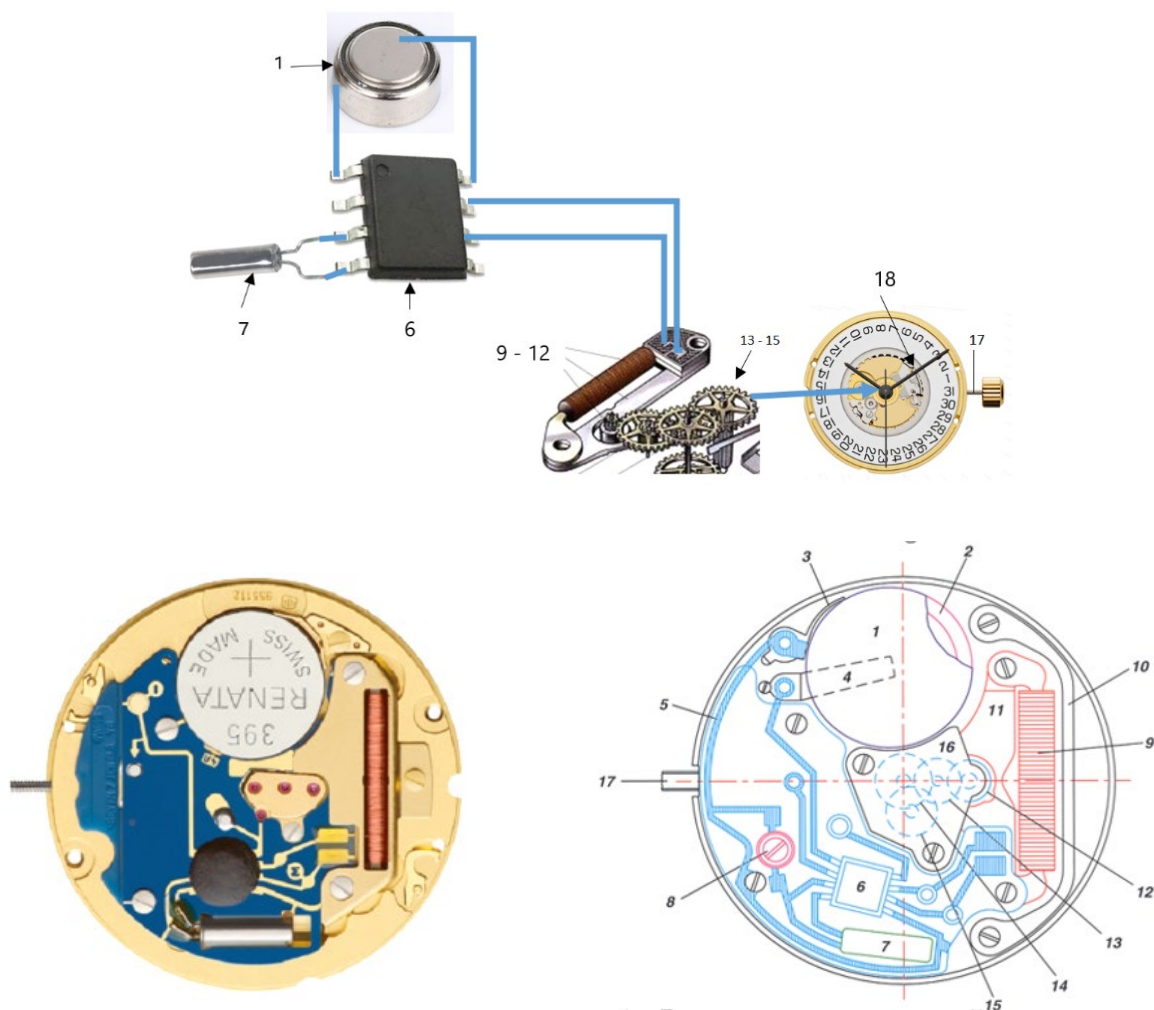


Abbildung 8: Aufbau einer analogen Quarzuhr

Teilenummer	Bauteil	Funktion
1	Batterie	Energiespeicher
2	Isolator	
3	Positiver Kontakt	
4	Negativer Kontakt	
5	Leiterplatte	
6	Integrierter Schaltkreis	Frequenzzähler, Inhibition, Motorsteuerung
7	Uhrenquarz	Der Uhrenquarz hat meist eine Frequenz von 32'768 Hz. Zusammen mit dem integrierten Schaltkreis bildet er einen Oszillator und ist somit das frequenzgebende Bauteil der Quarzuhr.
8	Variabler Kondensator	Die Abstimmung der Quarzfrequenz wird teilweise mit einem verstellbaren Kondensator durchgeführt (nur in Abbildung 8 , rechts).
9	Spule	Der Schrittmotor bestehend aus Spule, Stator und Rotor wandelt die elektrischen Motorpulse um in eine Drehbewegung.
10	Spulenschutz	
11	Stator	
12	Rotor	
13	Räderwerk	Bewegt die Zeiger, den Kalender und andere mechanische Funktionen.
14		
15		
16	Räderwerksbrücke	
17	Stellwelle	
18	Analoge Anzeige	Zifferblatt und Zeiger

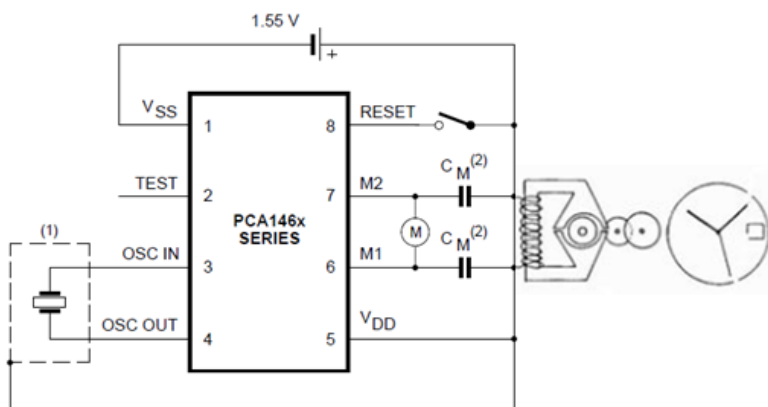


Abbildung 9: Schaltbild einer analogen Quarzuhr

Lavetmotor

Der Lavetmotor ist ein einphasiger Schrittmotor, der oft bei analogen Quarzuhren eingesetzt wird. Er wurde durch den französischen Ingenieur Marius Lavet erfunden und 1936 beschrieben.

Aufbau

Der Lavetmotor besteht aus einer Spule, einem Spulenkern, dem Stator und einem Rotor.

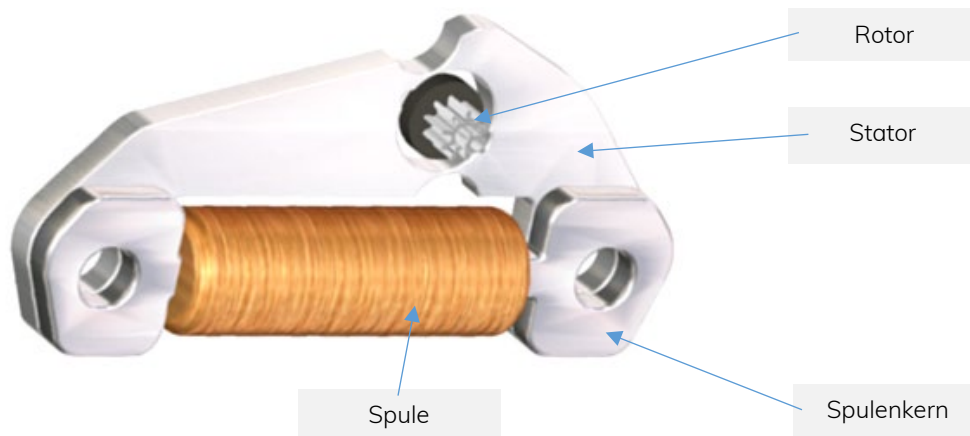


Abbildung 10: Lavetmotor

Wie andere einphasige Motoren kann der Lavet-Motor nur in eine Richtung drehen, die durch die Geometrie seines Stators bestimmt wird.

Ansteuerung

Lavetmotoren benötigen kurze elektrische Pulse mit alternierender Polarität. Die Pulsdauer hängt vom Motordesign ab.

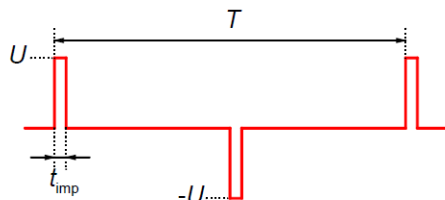


Abbildung 11: Spannung der Ansteuerung eines Lavetmotors

Das dargestellte Signal mit den Pegeln $0V$, $+U$ und $-U$ könnte durch eine positive und eine negative Versorgungsspannung erzeugt werden. In einem Uhrwerk steht jedoch nur eine einzelne Versorgungsspannung von $1,55\text{ V}$ oder 3 V zur Verfügung.

Ein gleichwertiges Signal kann dennoch erzeugt werden, indem die Spannungsausgabe alternierend an die beiden Anschlüsse der Motorspule geschaltet wird. Diese Funktion wird im Uhren-IC durch eine H-Brücke realisiert, die eine Umpolung mit einer einzigen Versorgungsspannung ermöglicht, so dass ein bidirektionaler **Strom** durch die Spule ohne eine negative Spannungsschiene möglich ist.

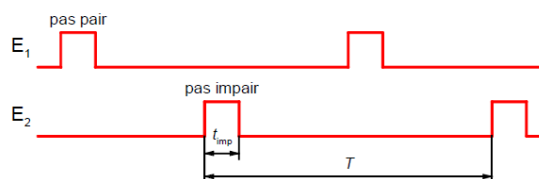
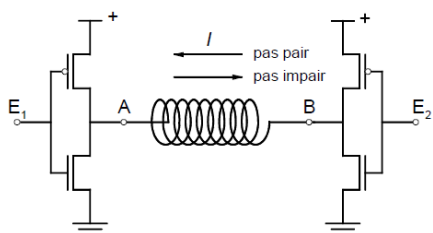


Abbildung 12: Links: H-Brücke und Spule zur Ansteuerung.

Rechts: Bipolares Ausgangssignal.

Spule

Die Spule ist aus einem langen, dünnen Kupferdraht gefertigt, der durch eine Schicht aus Polyurethan isoliert wird. Der Draht wird auf einen Weicheisenkern (FeNi) gewickelt. Wird die Spule bestromt, so generiert sie ein Magnetfeld, das den Rotor um einen Schritt (eine Halbdrehung) weiterbewegt. Ausserdem wird durch die Bewegung des Rotors auch eine Spannung in der Spule induziert, die durch den Uhren-IC genutzt werden kann zur Erkennung, ob der Schritt korrekt ausgeführt wurde.

Parameter		Typischer Wert	Einheit	Anmerkungen
Drahtdurchmesser	d	23	µm	
Drahtlänge	l	30.8	m	
Kupfergewicht		130	mg	
Anzahl Wicklungen	N	6700		
Widerstand bei 20°C	R ₀	1280	Ω	Der Widerstand variiert mit der Temperatur $R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ R _T : Widerstand bei Temperatur T R ₀ : Widerstand bei Temperatur T ₀
Thermischer Koeffizient	α	0.0038	K ⁻¹	
Induktivität		1.4	H	

Spulenkern

Der **Spulenkern** bündelt und leitet das Magnetfeld der Spule zum Stator. Der Spulenkern ist aus Weicheisen gefertigt, da dieses Material die Anforderungen erfüllen kann.

Das Material des Spulenkern muss einen tiefen magnetischen Widerstand (R_m) haben und somit eine hohe magnetische Permeabilität (μ).

Damit die gesamte Spule klein ist, ist der Durchmesser des Spulenkerns begrenzt. Dadurch gibt es sehr hohe magnetische Flussdichte. Das Material muss diese zulassen, ohne dass der Kern magnetisch gesättigt wird.

Das Magnetfeld der Spule wechselt die Richtung bei jedem Puls. Dadurch ergibt sich eine Hysteresekurve. Durch die Remanenz ergeben sich thermische Verluste.

Stator

Der **Stator** ist ebenfalls aus Weicheisen (FeNi) gefertigt. Er leitet das Magnetfeld der Spule effizient zum Rotor. Ausserdem legt der Stator die Ruhelage des Rotors und somit die Drehrichtung fest.

Der Querschnitt des Stators ist deutlich grösser als der der Spule, wodurch die magnetische Flussdichte reduziert wird. Dadurch wird das Risiko der magnetischen Sättigung erheblich verringert.

Moderne Statoren werden meist aus einem Stück gefertigt, was die Produktionskosten senkt und den Zusammenbau des Lavet-Motors vereinfacht.

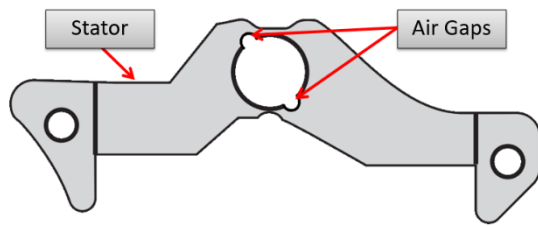


Abbildung 13: Stator des Lavetmotors

Die Rastpunkte des Rotors sind entscheidend für die Bewegung des Lavet-Motors und unterscheiden sich je nachdem, ob die Spule erregt ist oder nicht.

Ohne Stromfluss werden die Rastpunkte durch die Anordnung der Luftspalten festgelegt. Der Rotor richtet sich dabei so aus, dass der Winkel zwischen den Polen des Rotors und dem Hauptteil des Stators minimiert wird, wodurch eine stabile Ruhelage entsteht.

Rotor

Der **Rotor** besteht aus einem Permanentmagneten, der auf einem Stahlritzel (Pinion), einem Dorn (Arbor) und einem Drehzapfen (Pivot) befestigt ist.

Ist die Spule nicht bestromt (zwischen den Schritten), richtet sich der Rotor anhand der Luftspalten im Stator aus und hält das Räderwerk in Position.

Während eines Motorschritts erzeugt die Spule ein Magnetfeld, an dem sich der Rotor ausrichtet. Dadurch dreht sich der Rotor um eine halbe Umdrehung weiter und überträgt die Bewegung über das Ritzel auf das Räderwerk.

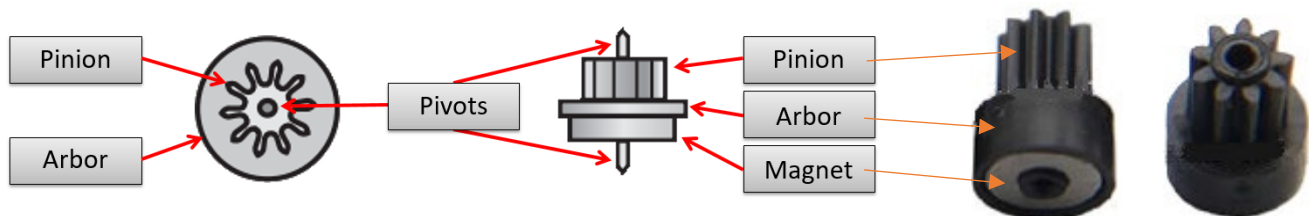


Abbildung 14: Rotor des Lavetmotors

Der Rotor ist aus einem magnetisch harten Material gefertigt, meist Samarium-Cobalt (SmCo_5). Im Gegensatz zu Stator und Spule muss der Rotor dauerhaft magnetisiert bleiben.

Dafür sind zwei Eigenschaften besonders wichtig:

- eine hohe Remanenz B_r , also die verbleibende Magnetisierung, nachdem das Magnetfeld entfernt wurde,
- sowie eine hohe Koerzitivfeldstärke H_c d. h. die Widerstandsfähigkeit gegen Entmagnetisierung.

Diese Eigenschaften sorgen dafür, dass der Rotor auch unter äusseren Einflüssen zuverlässig magnetisiert bleibt.

Integrated Circuit (IC)

Funktionen des IC

Der Uhren-IC kontrolliert eine Vielzahl von Funktionen der Quarzuhr.

- Anregen der Quarzoszillation.
- Frequenz des Quarzoszillators teilen bis zu einem Signal mit 1 Hz.
- Kompensation einer Abweichung der Schwingungsfrequenz des Quarzoszillators von der nominalen Frequenz durch Inhibition.
- Generieren der Motorpulse.
- Prüfung, ob Schritte korrekt ausgeführt wurden und allenfalls generieren von Korrekturpulsen.
- Prüfung der Batteriespannung (EOL).
- Betriebsmodus ohne Motorpulse zur genauen Zeiteinstellung und als Stromsparmodus während Lagerung.
- Betriebsmodus mit beschleunigten Motorpulsen für die Tests.
- Allenfalls weitere Funktionen wie Chronograph, Alarm, etc.

Die folgende Abbildung zeigt eine typische Schaltung für eine analoge Quarzuhr.

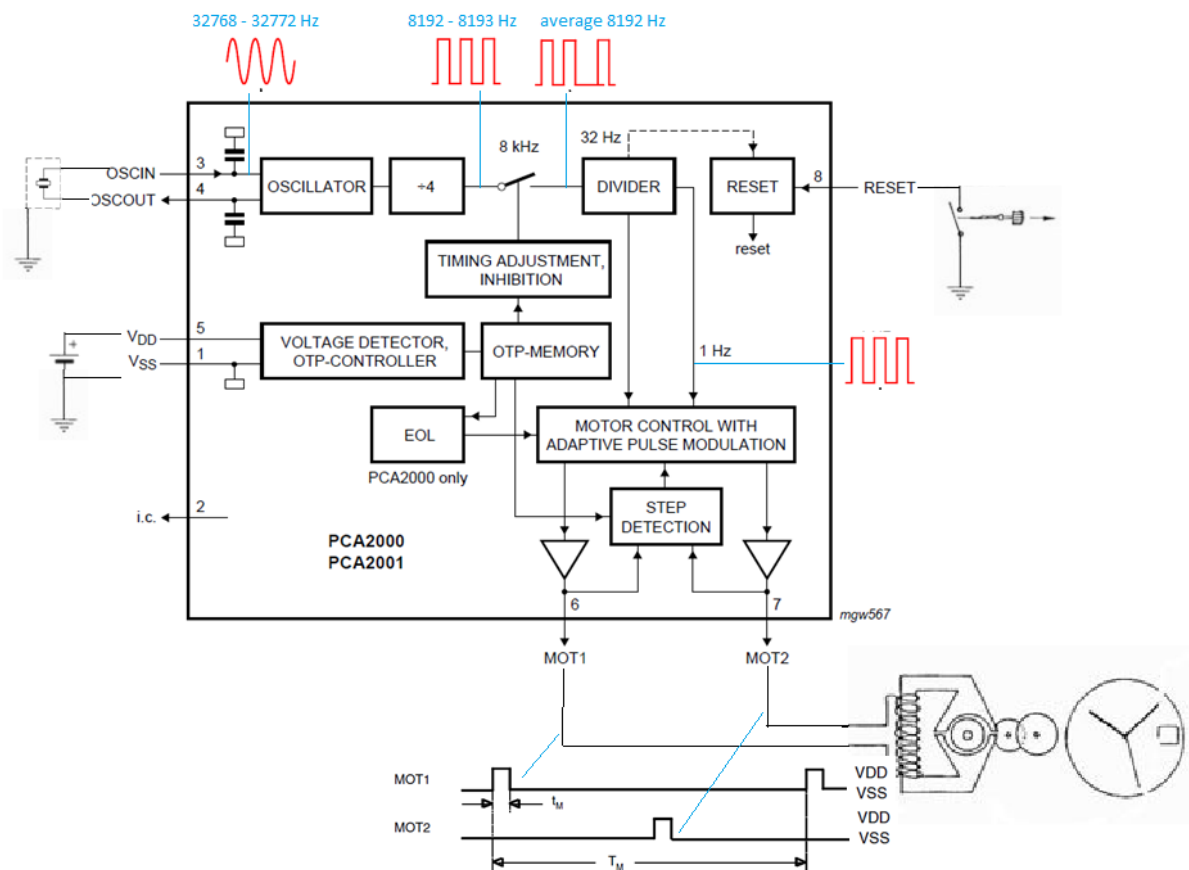


Abbildung 15: Schaltschema des Uhren-ICs

Bei diesem IC sind die Belastungskondensatoren für den Uhrenquarz bereits integriert und befinden sich an Pin 3 und Pin 4.

Die Frequenz des Uhrenquarzes wird zunächst durch 4 geteilt. Die so reduzierte Frequenz kann entweder weiter geteilt oder für eine kurze Zeit unterdrückt werden – diese Funktion nennt sich **Inhibition** und wird ausführlich in Abschnitt «Inhibition» behandelt.

Nach einem weiteren Frequenzteiler wird ein 1-Hz-Signal zum Motorkontroller gegeben. Sofern kein Reset-Signal an Pin 8 anliegt, generiert der Motorkontroller die Pulse an Pin 6 und Pin 7 und kontrolliert, ob der Schritt durch den Lavetmotor korrekt ausgeführt wurde.

Anzeige Batteriewechsel (EOL)

Die Versorgungsspannung an Pin 5 wird kontinuierlich überwacht. Wenn die Spannung unter einen bestimmten Wert fällt, schaltet der Motorkontroller in den **End-of-Life (EOL)-Modus**. In diesem Zustand generiert er alle 4 Sekunden 4 Schritte, wodurch sich der Sekundenzeiger in 4-Sekunden-Sprüngen bewegt.

Dies dient als visuelle Warnung für den Uhrenträger, dass ein Batteriewechsel erforderlich ist.

Motor-Management-System (Asservissement)

Das Drehmoment zum Bewegen des Räderwerks und der Zeiger variiert, etwa beim Datumwechsel, der mehr Kraft erfordert.

Moderne Uhren-ICs verfügen über ein **Motor-Management-System (Asservissement)**, das die Motorpulse an das benötigte Drehmoment anpasst, um die Stromaufnahme zu minimieren. Dazu erkennt das IC, ob der Rotor den Schritt ausgeführt hat.

Werden die Schritte korrekt ausgeführt, wird nach einer bestimmten Zeit (z. B. 4 Minuten) das Energielevel gesenkt, um den Stromverbrauch zu reduzieren.

Falls ein Schritt fehlschlägt, erfolgt eine Korrektursequenz, die den verpassten Schritt ausgleicht und das Energielevel wieder erhöht.

Die Stromzufuhr wird üblicherweise über ein **Hackimpulsverhältnis (Leistungsstufe)** geregelt, wobei die Gesamtdauer des Pulses konstant bleibt. Innerhalb dieser Zeit wird der Strom durch schnelles Ein- und Ausschalten moduliert.

Das Verhältnis zwischen eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand bestimmt die **Stromzufuhr**. Übliche Werte liegen zwischen **37,5 % und 100 %**, in **Schritten von 6,25 %**.

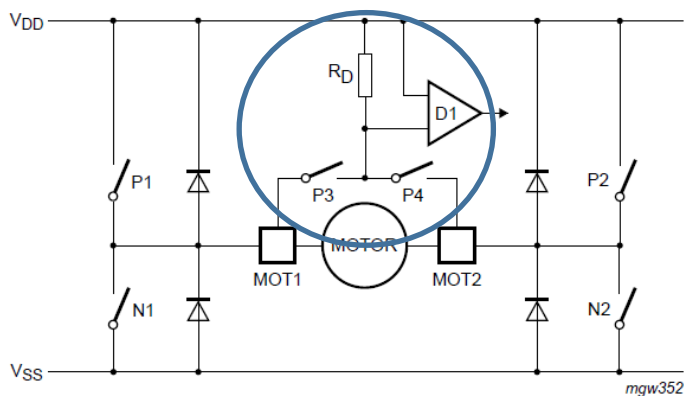


Abbildung 16: Schaltung zur Schritterkennung in Uhren-IC

Schritterkennung

Die **Schritterkennung** erfolgt nach einem Motorpuls und überprüft, ob der Rotor die halbe Rotation korrekt ausgeführt hat oder ob er in die vorherige Position zurückgefallen ist.

Der Motorpuls ist so kurz, dass der Rotor die Drehung beginnt, aber nicht während der Pulsdauer abschliesst. Danach dreht er entweder weiter (korrekte Bewegung) oder fällt in die Ausgangslage zurück (kein Schritt ausgeführt).

Dabei induziert der Rotor einen Strom in der Spule, der über einen Widerstand eine Spannung erzeugt, die vom Uhren-IC gemessen wird (siehe Abbildung 16). Die Prüfung erfolgt in vier Phasen (siehe Abbildung 17). Nach einer kurzen Wartezeit in Phase 2 wird in Phase 3 eine induzierte Spannung mit der gleichen Polarität wie der Motorpuls erwartet. In Phase 4 muss anschliessend eine invertierte Spannung auftreten. Werden diese Signale innerhalb von 31.25 ms nicht erkannt, gilt der Schritt als nicht ausgeführt.

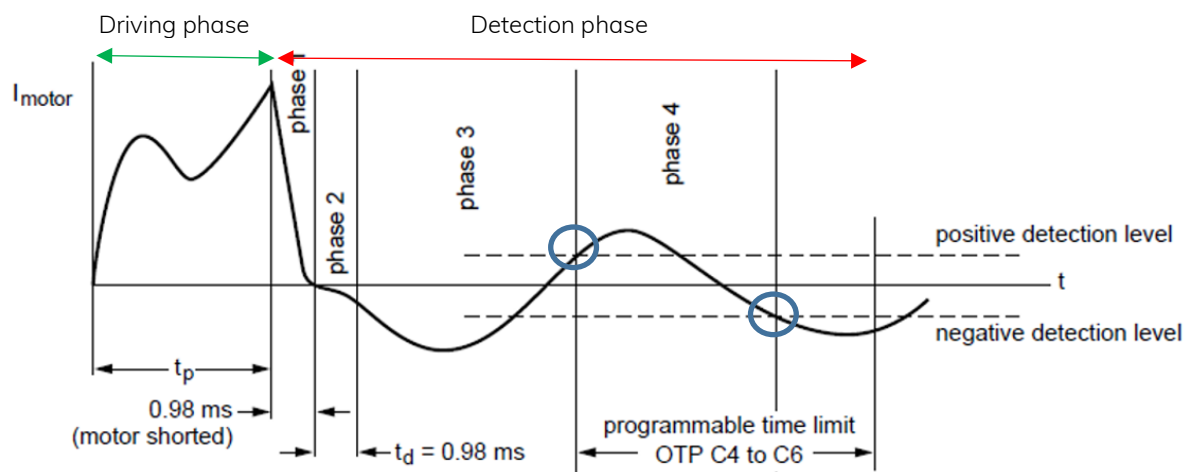


Abbildung 17: Stromverlauf während und kurz nach Motorimpuls.

Korrektursequenz

Wird ein verpasster Motorschritt detektiert, so wird eine Korrektursequenz generiert und das Energielevel erhöht. Während der Korrektursequenz wird zuerst ein kurzer Puls mit Dauer 0.98 ms und umgekehrter Polarität generiert und anschliessend ein Motorpuls im höchsten Energielevel.

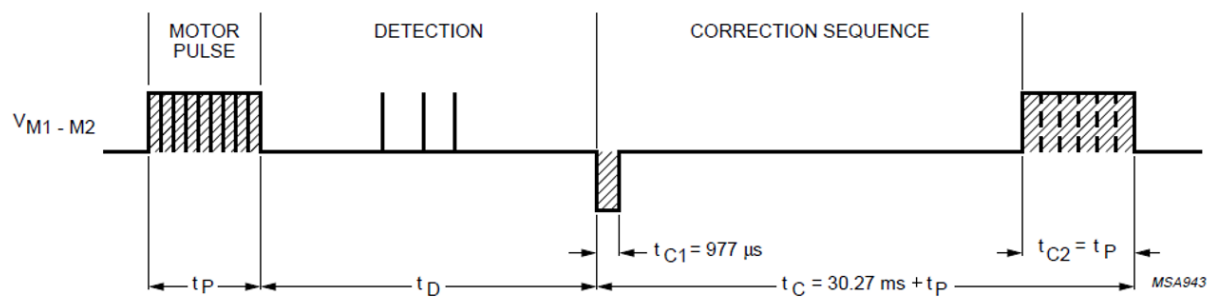


Abbildung 18: Detektion Motorimpuls und Korrektursequenz

Anpassung Energielevel

Die Anpassung des Energielevels beginnt beim programmierten Minimalwert (z. B. Stage 1 = 56.25 %). Falls ein Motorschritt nicht korrekt ausgeführt wurde, erhöht sich das Energielevel um eine Stufe, was einer Steigerung des Hackimpulsverhältnisses um 6.25 % entspricht.

Wird die höchste Stufe erreicht (z. B. Stage 8 = 100 %), wird die Schritterkennung deaktiviert.

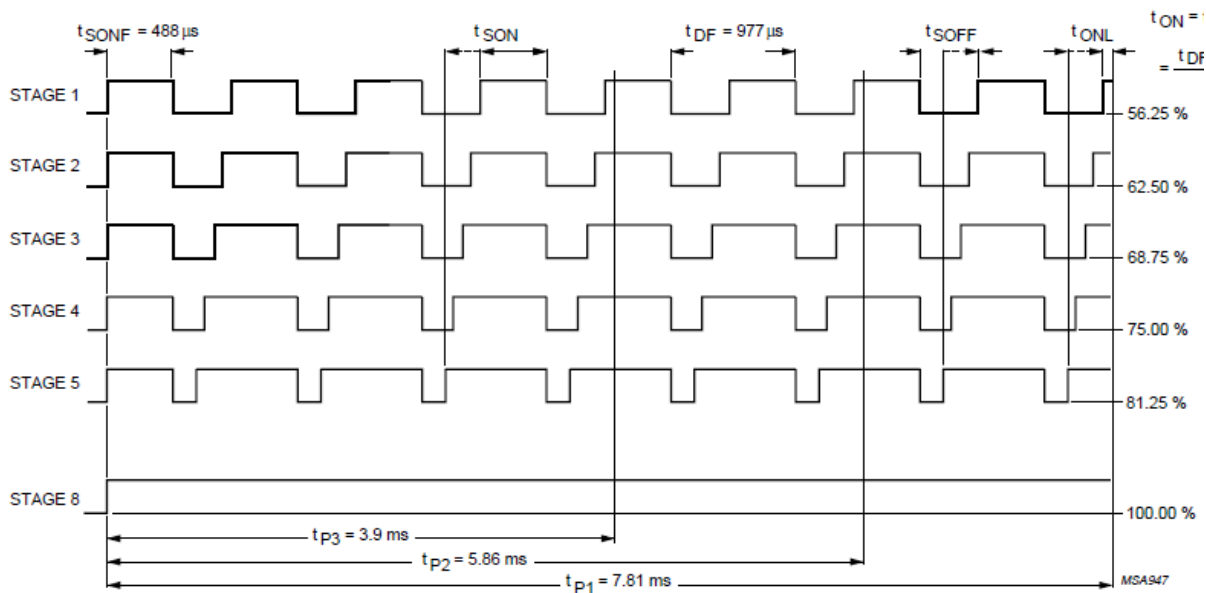


Abbildung 19: Schematische Darstellung Energielevel

Das Energielevel bleibt über 4 oder 8 Minuten konstant, sofern alle Motorschritte korrekt ausgeführt werden. Anschliessend wird es um eine Stufe reduziert und verbleibt auf diesem Niveau, solange keine verpassten Schritte erkannt werden.

Falls jedoch ein verpasster Schritt auftritt, wird eine Korrektursequenz ausgeführt und das Energielevel um eine Stufe erhöht.

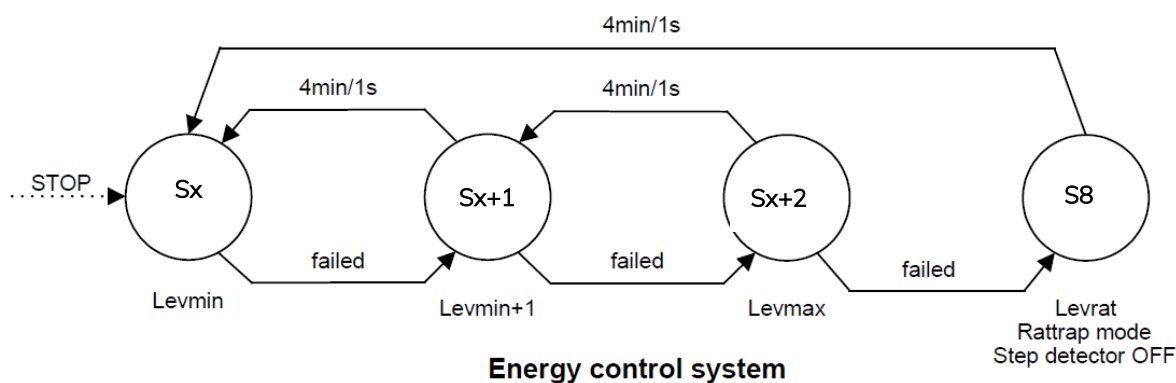


Abbildung 20: Flussdiagramm der Steuerung der Energielevel

Räderwerk

Das Räderwerk einer Quarzuhr dient der Übertragung der Bewegung vom Lavet-Schrittmotor auf die Zeiger der Uhr. Es besteht aus mehreren Zahnrädern, die die Drehbewegung in die entsprechenden Umdrehungsraten für Sekunden-, Minuten- und Stundenzeiger übersetzen.

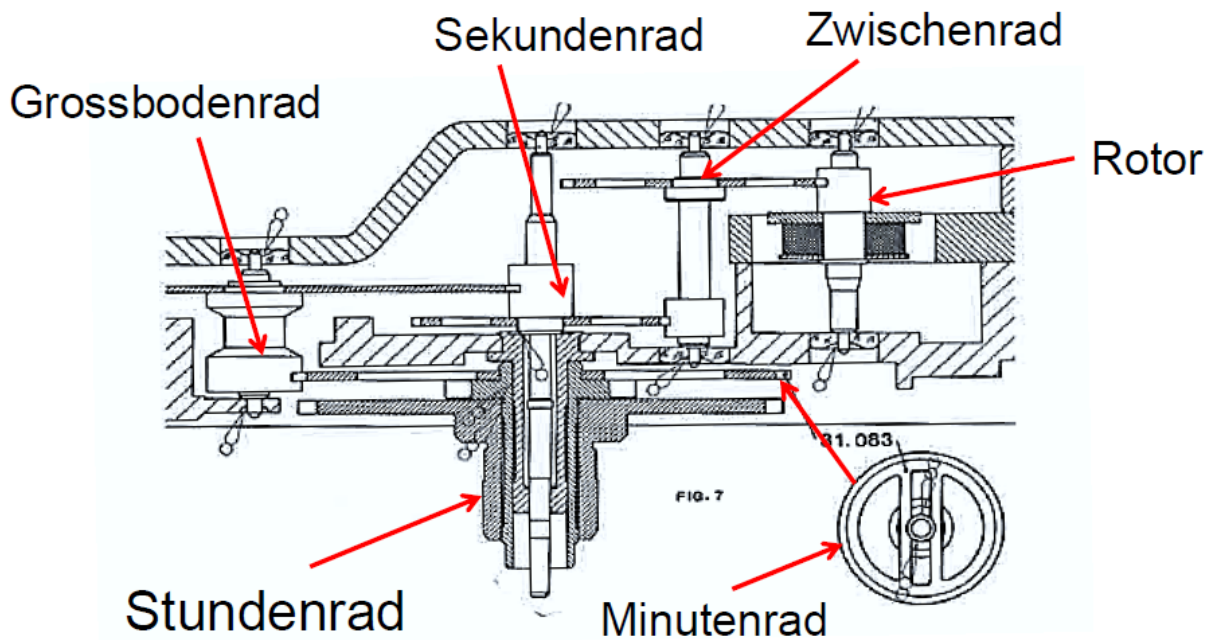


Abbildung 21 Räderwerkeiner Quarzuhr

Aufbau des Räderwerks einer Quarzuhr:

- **Rotor des Lavet-Motors** – Dreht sich jede Sekunde eine halbe Umdrehung, also 30-mal pro Minute.
- **Sekundenrad** – Direkt oder über ein Zwischenrad an den Rotor des Lavet-Motors gekoppelt und dreht sich in 60 Sekunden einmal.
- **Minutenrad** – Übersetzt die Bewegung des Sekundenrads auf eine 1/60 Drehung pro Minute.
- **Stundenrad** – Reduziert die Drehzahl weiter, sodass es sich einmal pro 12 Stunden dreht.
- **Zusätzliche Räder** – Falls eine Datums- oder Wochentagsanzeige vorhanden ist, treiben weitere Räder diese Funktionen an.

Das Räderwerk ist so konstruiert, dass es möglichst reibungslos arbeitet, um den Energieverbrauch zu minimieren und eine gleichmässige Zeigerbewegung zu gewährleisten.

Bei **Uhrwerken ohne Sekundenzeiger** läuft der Lavet-Motor meist mit einer niedrigeren Frequenz. Häufig erfolgt ein Schritt pro Minute, wodurch der Minutenzeiger sichtbar springt. Um die Bewegung weicher zu gestalten, wird oft ein Schritt alle 20 Sekunden ausgeführt.

Das Untersetzungsverhältnis vom Lavet-Motor zum Minutenrad beträgt in diesem Fall 1:90.

Digitale Quarzuhr

Eine digitale Quarzuhr besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- **Batterie** – dient als Energiequelle.
- **Integrierter Schaltkreis (IC)** – fungiert als Zähler und Treiber für die Anzeige.
- **Uhrenquarz** – arbeitet als Taktgeber mit einer Frequenz von **32.768 Hz**.
- **Anzeige** – meist eine **Flüssigkristallanzeige (LCD)**, da sie energieeffizient ist und mit sehr geringen Strömen betrieben werden kann.

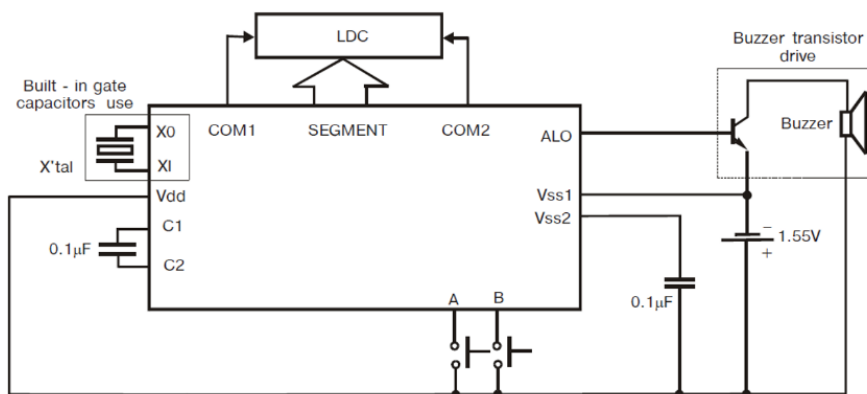


Abbildung 22: Schaltschema einer digitalen Quarzuhr



Abbildung 23: Links: Elektronische Darstellung von Zeigern. Mitte: Zeitanzeige mit Ziffern. Rechts: Kombination von Zeigerdarstellung und Ziffern.

Digitale Quarzuhren bieten meist zusätzliche Funktionen an:

- **Datumsanzeige** (Tag, Monat, Jahr, Wochentag)
- **Stoppuhr** (Millisekunden bis Stundenmessung)
- **Wecker** (mehrere Alarmzeiten möglich)
- **Hintergrundbeleuchtung** (EL-Panel oder LED)
- **Countdown-Timer**
- **Zweite Zeitzone (Dual Time)**
- **Funkempfang** zur automatischen Zeitkorrektur (bei Funkuhren)
- **Solarbetrieb** zur Verlängerung der Batterielaufzeit
- **Smartfunktionen** (Bluetooth-Verbindung zum Smartphone, Aktivitäts- und Gesundheitstracking, Musiksteuerung usw.)

Integrated Circuit (IC)

Ein Schaltschema aus dem Uhren-IC DS-A1369A-001 ist in Abbildung 24 gegeben. Die Quarzfrequenz wird mit einem verstellbaren Kondensator abgeglichen.

2) Piezo or Speaker Drive Type:

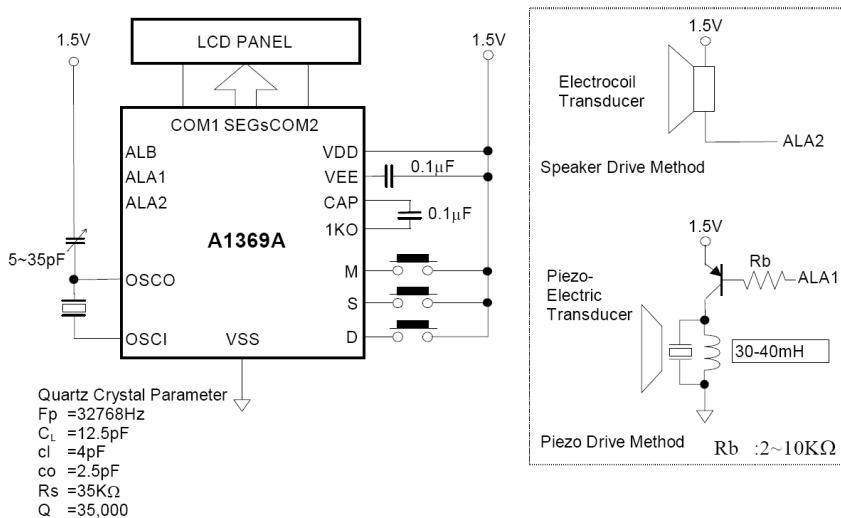


Abbildung 24: Schema für eine digitale Quarzuhr.

Flüssigkristallanzeige (LCD)

Flüssigkristallanzeigen (**Liquid Crystal Display**, LCD) bestehen aus Segmenten, die unabhängig voneinander ihre Transparenz ändern können, sodass Licht entweder durchgelassen oder blockiert wird. Ohne Hintergrundbeleuchtung muss das einfallende Licht hinter der Anzeige gespiegelt werden.

Jedes Segment enthält zwei Polarisationsfilter mit einer dazwischenliegenden Flüssigkristallschicht. Die Flüssigkristalle beeinflussen die Polarisation des Lichts abhängig von einer angelegten Spannung. In der einfachsten LCD-Bauform (Twisted Nematic, TN) sind die beiden Polarisationsfilter um 90° verdreht. Ohne Flüssigkristall würde das Licht, das durch den ersten Filter gelangt, vom zweiten vollständig blockiert werden.

Ohne Spannung ordnen sich die Flüssigkristallmoleküle jedoch schraubenartig an, sodass die Polarisation des Lichts um 90° gedreht wird – das Licht passiert den zweiten Filter, und das Segment erscheint hell.

Wird eine Spannung angelegt, richten sich die Moleküle am elektrischen Feld aus, die Verdrillung wird aufgehoben, und das Licht wird blockiert – das Segment erscheint dunkel.

In der Praxis wird eine Wechselspannung verwendet, um Schäden durch Elektrolyse zu vermeiden. Diese ist meist direkt an die Quarzfrequenz gekoppelt, sodass durch die Messung der LCD-Frequenz auch die Quarzfrequenz und Gangabweichung bestimmt werden können.

Gangabgleich

Nach dem Zusammenbau einer Quarzuhr wird ein Abgleich durchgeführt. Dabei wird zunächst die Frequenz des Schwingquarzes mit einer präzisen Referenz verglichen. In einem zweiten Schritt erfolgt eine Korrektur, um die Ganggenauigkeit der Uhr sicherzustellen.

Die Korrektur kann entweder durch direkte Beeinflussung der Quarzfrequenz oder durch elektronische Kompensation im IC erfolgen:

- Bei der direkten Frequenzanpassung wird die kapazitive Last des Quarzes verändert – entweder über einen variablen **Trimmer Kondensator** oder durch das Zuschalten von ausgewählten Festkondensatoren.
- Bei der elektronischen Kompensation wird im IC meist eine bestimmte Anzahl von Quarzschwingungen periodisch ausgelassen (**Inhibition**), um die effektive Frequenz zu korrigieren.

Weitere Methoden wie z. B. das Setzen eines programmierbaren Startwerts im Zähler existieren ebenfalls, sind jedoch weniger gebräuchlich und werden hier nicht näher behandelt.

Variablel Kondensator

An einem der Anschlüsse des Schwingquarzes ist ein variabler Kondensator platziert. Durch dessen Einstellung kann die Schwingfrequenz im Bereich von etwa ± 2.5 Sekunden pro Tag verändert werden.

Langfristig ist der Wert dieses variablen Kondensators jedoch nicht stabil, was zu einer Gangabweichung durch Alterung der Uhr führen kann. Ein Abgleich kann jederzeit von einem Service-Center oder einem geschulten Uhrmacher durchgeführt werden, um die Genauigkeit wiederherzustellen.

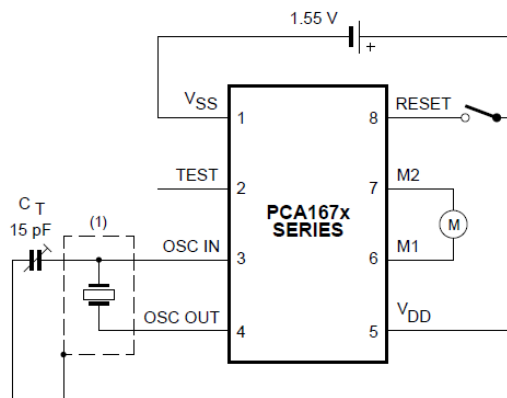


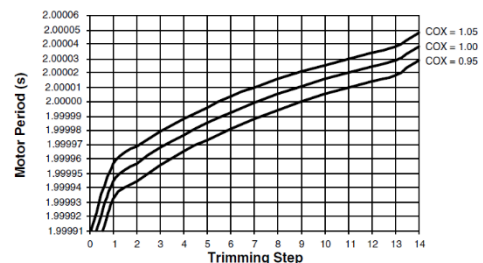
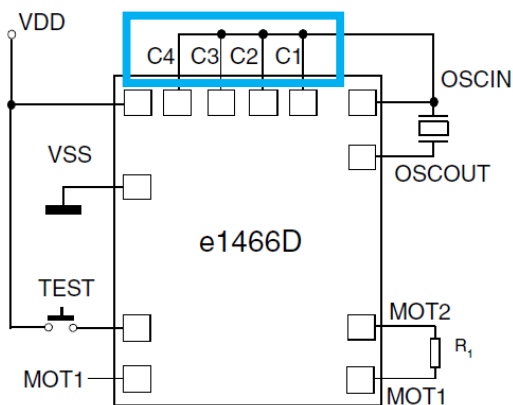
Abbildung 25: Links: Bild eines variablen Kondensators auf einem Uhrwerk. Rechts: Blockscheema einer analogen Quarzuhr mit variablem Kondensator.

Festkondensatoren

Anstelle eines variablen Kondensators kann auch ein Festkondensator verwendet werden. Ein nachträglicher Abgleich im Service ist damit zwar erschwert, jedoch bietet diese Lösung eine bessere Langzeitstabilität.

Da ein individueller Abgleich durch Bestückung aufwendig ist, wird in der Serienproduktion häufig ein Kondensatornetzwerk mit vier abgestuften Festkondensatoren eingesetzt. Die Verbindung zwischen Schwingquarz und Kondensator kann dabei per Laser unterbrochen oder mittels Lötbrücke hergestellt werden. So lassen sich $2^4 = 16$ Frequenzstufen realisieren, was den Fertigungsprozess vereinfacht.

Zusätzlich können durch den Einsatz thermisch abgestimmter keramischer Kondensatoren (z. B. parabolisch wirkender Thermic-Law-Capacitors) die temperaturbedingten Frequenzabweichungen des Quarzes teilweise kompensiert werden. Dadurch wird eine noch geringere Gangabweichung über einen grösseren Temperaturbereich erreicht.



COX means frequency deviation due to production process variations.

Trimming inputs C1 ... C4 are binary weighted, i.e.,

C1 ... C4 = 0 corresponds to trimming step 0

C1 ... C4 = 1 corresponds to trimming step 15

LSB = C1



Abbildung 26: Bild der Leiterplatte mit Uhren-IC und Abgleich durch Zuschalten von integrierten Festkondensatoren durch Lötbrücken.

Inhibition

Anstelle einer direkten Korrektur der Schwingfrequenz kann diese auch unverändert belassen und stattdessen eine Kompensation im Uhren-IC vorgenommen werden.

Bei der gängigsten Methode wird die Quarzfrequenz bewusst etwas zu hoch gewählt (z. B. zwischen 32'768 Hz und 32'771 Hz). Um die resultierende Gangabweichung auszugleichen, wird periodisch eine programmierbare Anzahl von Schwingungen unterdrückt, bevor sie dem Frequenzteiler zugeführt werden.

Diese Methode nennt man Inhibition. In Abbildung 27 sind die Funktionsblöcke des Frequenzeingangs dargestellt, inklusive eines Schalters zur Unterdrückung bei einer Zwischenteilfrequenz von ca. 8 kHz.

Ob die Eingangsfrequenz vor der Inhibition geteilt wird (und falls ja, um welchen Faktor), ist im Datenblatt des jeweiligen Uhren-ICs angegeben. Auch die Periodendauer der Korrektur ist IC-abhängig. Typische Werte liegen bei 60 oder 120 Sekunden, jedoch sind auch andere Korrekturperioden möglich.

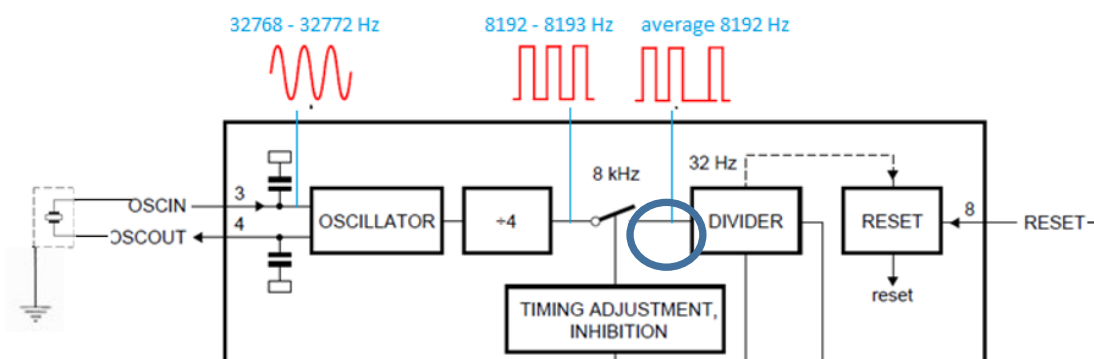


Abbildung 27: Funktionsblöcke im Uhren-IC beim Eingang der Schwingungsfrequenz

Als Beispiel zur Berechnung der Kompensation wird der Uhren-IC PCA2000 betrachtet. Am Uhrenquarz sind Kondensatoren mit 5.2 pF angeschlossen, was unter der spezifizierten Lastkapazität (CL) von 8.2 pF liegt.

Durch diese niedrigere Lastkapazität schwingt der Quarz etwa 60 ppm schneller, was einer Gangabweichung von ca. 5.18 Sekunden pro Tag entspricht (bezogen auf die Nennfrequenz von 32'768 Hz).

Vor dem Abgleich wird die tatsächliche Frequenzabweichung individuell gemessen. Die zu hohe Frequenz wird anschliessend durch eine periodische Unterdrückung einzelner Schwingungen (Inhibition) im IC kompensiert.

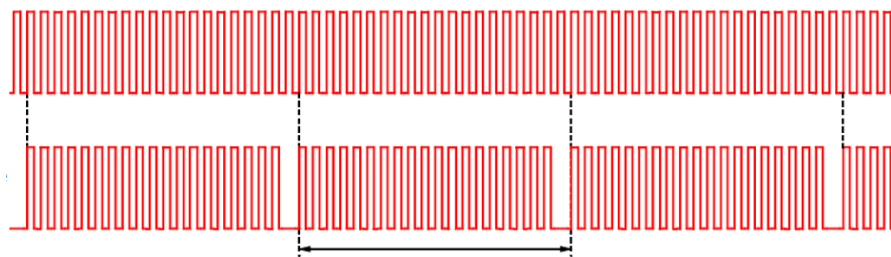


Abbildung 28: Darstellung der 8-kHz Frequenz vor und nach Inhibition

Wird die Inhibition einmal pro Minute durchgeführt, so führt jede entfernte Schwingung zu einer Verlangsamung um

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{F_p \cdot T_p}$$

mit F_p als Frequenz vor Inhibition und T_p der Dauer zwischen zwei Inhibitionen.
Als Beispiel ergibt sich bei $F_p = 8192$ Hz und $T_p = 60$ s eine Verlangsamung um

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{F_p \cdot T_p} = \frac{1}{8192 \cdot 60} = 2.03 \cdot 10^{-6} = 2.03 \text{ ppm} \rightarrow 0.176 \text{ s/d}$$

Eine Unterdrückung von N Schwingungen somit um

$$\varepsilon_N = N \cdot \varepsilon_1 = \frac{N}{F_p \cdot T_p}$$

Diese Informationen sind ebenfalls im Datenblatt des PCA2000 dokumentiert, wie in Abbildung 29 dargestellt.

Table 4. Time calibration

Calibration period	Correction per step (n = 1)		Correction per step (n = 127)	
	ppm	seconds per day	ppm	seconds per day
1 minute	2.03	0.176	258	22.3
2 minutes	1.017	0.088	129	11.15

Table 5. Words and bits

Word	Bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	number of 8192 Hz pulses to be removed							calibration period

Bit	Value	Description
Inhibition time		
1 to 7	-	adjust the number of the 8192 Hz pulses to be removed; bit 1 is the MSB and bit 7 is the LSB
Calibration period		
8	0	1 minute
	1	2 minutes

Abbildung 29: Beschreibung des Registers zum Inhibitionsabgleich im Datenblatt PCA2000.

Anhand dieses Beispiels soll nun der Korrekturwert berechnet werden, der in das Register A geschrieben wird. Es wird angenommen, dass die gemessene Frequenzabweichung des Quarzes $R_s = 5.18$ s/d beträgt und die gewünschte Abweichung bei Raumtemperatur $R_t = 0.2$ s/d ist.

Wie im Abschnitt zum Uhrenquarz erwähnt, wird häufig ein leicht positiver Gang angestrebt, um den Temperatureinfluss am Handgelenk auszugleichen.

Mit einer Inhibition jede Minute berechnet sich die Anzahl zu unterdrückenden Schwingungen mit

$$N = \frac{R_s - R_t}{\varepsilon_1} = \frac{5.18 \text{ s/d} - 0.20 \text{ s/d}}{0.176 \text{ s/d}} = 28.295.$$

Als nächste Ganzzahl wird 28 in das Register geschrieben. Der Gang nach Abgleich ist somit

$$R_r = R_s - (n \cdot \varepsilon_1) = 5.18 - (28 \cdot 0.176) = 0.252 \text{ s/d}.$$

Die Korrektur kann entweder mit **Programmiergeräten des Uhrwerkherstellers** oder mithilfe eines **Witschi Analyzer Q2** bzw. **QuartzMaster® QC** durchgeführt werden.

Messungen und Prüfungen

Im folgenden Kapitel werden die gängigen Prüfmethoden detailliert beschrieben.

Batteriespannung

Bei Uhrenbatterien bleibt die Spannung während des Grossteils der Lebensdauer nahezu konstant und fällt erst kurz vor dem Ende deutlich ab.

Eine Spannungsmessung, auch unter Belastung, zeigt daher nur, ob die Batterie noch verwendbar oder bereits erschöpft ist. Eine genaue Aussage über die verbleibende Kapazität ist auf diesem Weg nicht möglich.

Durch Belastung mit einem definierten Widerstand lässt sich prüfen, ob die Batterie den nötigen Strom liefern kann, ohne dass die Spannung unzulässig absinkt.

Zudem sollte bei jeder Prüfung auch die Dichtigkeit kontrolliert werden. Austretende Salzkristalle an der Dichtung deuten auf ein mögliches Auslaufen hin – in diesem Fall ist die Batterie auch bei ausreichender Spannung auszutauschen.

Für die Messung wird der positive Pol auf die Kontaktfläche gelegt, der negative Pol mit der Prüfsonde (meist der schwarze Bügel) verbunden. Je nach Gerät lassen sich verschiedene Lastwerte einstellen, um den Batteriezustand realistisch zu beurteilen.

Bezeichnung	Last	Bedeutung
No Load (B0)	2 MΩ	Simuliert die Belastung durch das Uhren-IC (nahezu ohne Stromverbrauch)
Low Drain (BL)	2 kΩ	simuliert die Belastung durch den Schrittmotor
High Drain (BH)	100 Ω	simuliert hohen Stromverbrauch wie bei Beleuchtung oder Weckerfunktion

Beim „Low Drain“-Test wird eine Last von 2 kΩ jede Sekunde für 10 ms aktiviert und die Spannung gemessen – entweder dauerhaft oder für 5 Sekunden.

Beim „High Drain“-Test wird eine Last von 100 Ω einmalig für 500 ms zugeschaltet (beim Analyzer Q1: 1000 ms), um die Spannung unter hoher Belastung zu prüfen.



Abbildung 30: Batteriespannungsmessung ohne Last, mit geringer Last und hoher Last.

Da das Verfahren keine Aussage über die verbleibende Kapazität erlaubt, wird empfohlen, die Batterie bei jedem Service vorsorglich zu ersetzen.

Zur Feststellung, ob eine Batterie vollständig entladen ist, gelten bestimmte Spannungsgrenzwerte.

Batterietyp	Last	Batterie entladen	Batterie gut
Silberoxid	No Load	< 1.4 V	1.45 bis 1.6 V
	Low Drain	< 1.4 V	1.45 bis 1.6 V
	High Drain	< 1.2 V	>1.25 V
Alkali (Grossuhren)	High Drain	< 1.2 V	1.4 bis 1.6 V
Lithium [1]	No Load	< 2.8 V	2.9 bis 3.2 V
	Low Drain	< 2.8 V	2.9 bis 3.2 V

[1] Bei Lithium-Batterien gibt es eine Vielzahl von Technologien mit unterschiedlichen Spannungen und Grenzwerten.

Stromaufnahme

Die Stromaufnahme einer Quarzuhr ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal, da sie direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Batterie hat.

IC-Strom (CI): Bei analogen Quarzuhren wird permanent ein geringer Strom vom integrierten Schaltkreis (IC) verbraucht.

Totalstrom (CT): Während der Motorimpulse kommt kurzzeitig ein deutlich höherer Stromverbrauch hinzu. Die Summe aus IC-Strom und Motorstrom ergibt den Totalstrom.

Witschi-Messgeräte erfassen diesen durch eine integrierende Messung, wodurch der mittlere Gesamtstrom über die Messdauer angegeben wird.

Moderne Geräte ermöglichen es, während des Betriebs mit aktivem Motor automatisch zwischen IC-Strom und Totalstrom zu unterscheiden und beide Werte zeitgleich anzuzeigen.

Zudem kann bei vielen Uhren durch Ziehen der Zeigerstellwelle ein Stromsparmodus aktiviert werden. Der IC ist aktiv, die Motorpulse werden nicht durchgeführt. In diesem Modus kann der IC-Strom ebenfalls geprüft werden.

Für die Beurteilung der Stromaufnahme gelten die Toleranzangaben des Herstellers als verbindlich.

Typische Werte CT für analoge Quarzuhren:

- mit Sekundenanzeige: ca. **0.7–1.2 µA**
- mit längerer Impulsperiode (ohne Sekundenzeiger): ca. **0.5–0.7 µA**

Diese Werte dienen als Richtgrösse für eine normale Stromaufnahme. Ein deutlicher Anstieg kann auf mechanische oder elektronische Probleme im Uhrwerk hinweisen.

Eine erhöhte Stromaufnahme führt dazu, dass die Batterie schneller entladen wird. Besonders bei ICs mit adaptiven Motorimpulsen (Asservissement) ist dies ein Hinweis auf mögliche Störungen wie:

- ein Räderwerk, das sich nicht leichtgängig bewegt,
- Zeiger, die sich leicht berühren und dadurch mehr Kraft benötigen,
- eine Spule mit beschädigter Isolation, die zu Leistungsverlusten führt.

In solchen Fällen sollte eine gezielte Fehlersuche erfolgen, um den Stromverbrauch zu senken und eine vorzeitige Batterieentladung zu vermeiden.

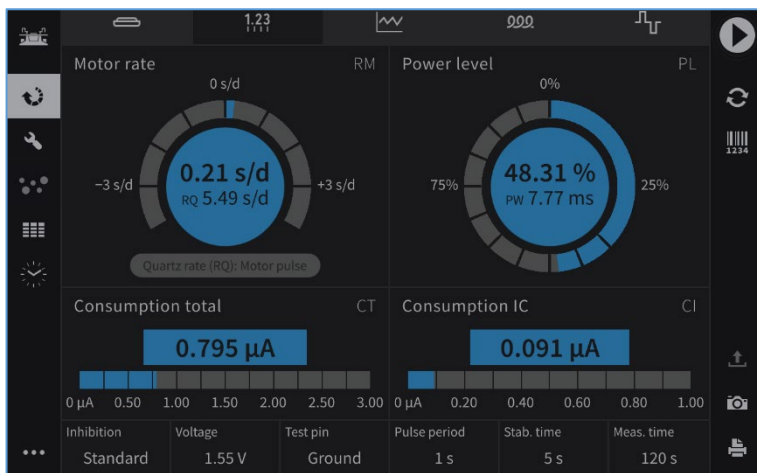


Abbildung 31: Stromaufnahme einer Quarzuhr. Totalstrom (CT) und IC-Strom (CI)

Minimale Betriebsspannung

Die **minimale Betriebsspannung (MV)** gibt Aufschluss über die Kraftreserve einer Uhr und darüber, wie gut sie bei stark entladener oder belasteter Batterie noch funktioniert.

Zur Bestimmung wird die Speisespannung schrittweise abgesenkt, während im Spiegel die Zeigerbewegung beobachtet wird. Sobald die Uhr stehen bleibt, wird die Spannung langsam wieder erhöht, bis sie erneut anläuft.

In der Praxis genügt meist eine Prüfung, ob die Uhr bei einer reduzierten Betriebsspannung noch korrekt funktioniert. Bei Uhren mit Silberoxid-Batterien liegt die typische minimale Betriebsspannung bei etwa 1.2 V.

EOL-Spannung

Durch Absenken der Versorgungsspannung kann die **End-of-Life-Funktion (EOL)** überprüft werden. Viele Quarzuhren verfügen über eine solche Anzeige für das Ende der Batterielebensdauer.

Sinkt die Spannung unter einen definierten Wert (typisch etwa 1.25 V), **führt der Schrittmotor alle vier Sekunden vier Schritte aus**, wodurch sich der Sekundenzeiger in 4-Sekunden-Sprüngen bewegt – ein Hinweis für den Benutzer, dass ein Batteriewechsel erforderlich ist.

Zu beachten ist, dass die EOL-Funktion nicht sofort auf eine Spannungsänderung reagiert, die elektronische Schaltung die Batteriespannung meist nur einmal pro Minute prüft.

Einige moderne Uhren-ICs verfügen jedoch über einen beschleunigten Testmodus, in dem die Spannung häufiger überprüft wird. In diesem Modus kann die EOL-Funktion schneller getestet werden, da das Uhrwerk sofort auf Änderungen der Versorgungsspannung reagiert – z. B. durch erhöhte Schrittfrequenz bei Unterschreitung der EOL-Grenze.

Gangabweichung

Die Gangabweichung gibt an, wie stark eine Uhr im Vergleich zur Referenzzeit vor- oder nachgeht. Dazu werden Zeitintervalle, z. B. zwischen zwei Motorpulsen, mit einer Referenzdauer verglichen. Diese Referenz wird in Witschi-Messgeräten mittels hochpräziser OCXOs (Oven Controlled Crystal Oscillators) bzw. TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) bereitgestellt.

Es werden zwei Gangabweichungen dargestellt:

- **Gangabweichung Motor (RM):** Integriert über die gesamte Messdauer und berücksichtigt die tatsächlich ausgeführten Schritte des Motors.
- **Gangabweichung Quarz (RQ):** Ignoriert den Inhibitionsschritt und spiegelt im Wesentlichen die Abweichung der Quarzfrequenz wider.

Für den tatsächlichen Gang der Uhr ist die Gangabweichung Motor relevant, da sie auf den effektiv ausgeführten Motorschritten basiert. Die Gangabweichung Quarz zeigt nur die theoretische Abweichung der Quarzfrequenz – ohne Berücksichtigung der Inhibition.

Die Messdauer muss bei analogen Quarzuhren ein Vielfaches der Schrittperiode des Schrittmotors betragen. Bei Uhren mit Inhibitionsabgleich sollte sie ein Vielfaches der Inhibitionsperiode umfassen, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

Uhren mit Inhibitionsabgleich

Bei Uhren mit Inhibitionsabgleich wird die Quarzfrequenz nicht abgeglichen, sondern im IC leicht über der Sollfrequenz ausgelegt (typisch +0,5 bis +10 s/d). Um den Gang zu korrigieren, werden im Frequenzteiler periodisch Schwingungsimpulse unterdrückt – dieser Vorgang heisst **Inhibition**.

Typische Inhibitionsperioden sind 60 s oder 10 s, bei Präzisionsuhren auch 120 s oder länger (bis 960 s). Während der Periode läuft die Uhr leicht vor, in der Sekunde mit Inhibition stark nach.

Wird bei solchen Uhren über eine zu kurze Messdauer gemessen, können regelmässige Schwankungen im Ergebnis auftreten. Zeigt eine Uhr bei 60 s Messdauer abwechselnd positive und negative Abweichungen, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Inhibitionsuhr vor. In diesem Fall sollte die Messdauer an die Inhibitionsperiode angepasst werden.

Temperatureinfluss

Die Gangabweichung von Quarzuhren hängt von der Temperatur der Uhr ab. Es ist daher wichtig, dass die Uhr bei der Messung die normale Raumtemperatur (~23°C) hat. Vergleichende Messungen müssen bei gleicher Temperatur ausgeführt werden.

Die Messgenauigkeit des QuartzMaster® wird durch Schwankungen der Umgebungstemperatur nicht beeinflusst.

Typische Werte für die Gangabweichung

Bei Uhren mit Inhibitionsabgleich erfolgt der Abgleich meist in Schritten von 0.18 s/d (bei einigen Uhren auch 0.09 s/d oder 0.36 s/d). Der Abgleich erfolgt meist so, dass die Gangabweichung möglichst nahe bei 0 aber im positiven Bereich ist.

Zur Initialabweichung addiert sich die Abweichung durch die Alterung des Quarzes und die Temperaturabweichung.

Für Quarzuhren mittlerer Qualität kann daher eine Gangabweichung zwischen -0.1 s/d und $+0.3$ s/d erwartet werden.

Für die maximal zulässigen Abweichungen sind die Angaben des Herstellers verbindlich.



Abbildung 32: Messung der Gangabweichung Motor (RM), Gangabweichung Quarz (RQ), Leistungsstufe (PL) und Impulsdauer (PW)
Links: Mit QuartzSensor/Terminal über einen induktiven/kapazitiven Aufnehmer. Rechts: Mit QuartzMaster®/Terminal über die Strommessung.

Gangabweichung Quarz

Die Messung der Quarzfrequenz erfolgt durch Erkennung der periodischen Schwankungen der Stromaufnahme bei etwa 32'768 Hz. Damit ist eine Frequenzmessung auch bei Uhren ohne Motorimpulse möglich.

Bei Uhren, deren Gang durch Kondensatorabgleich erfolgt, lässt sich über die Quarzfrequenz direkt die Gangabweichung bestimmen. **Bei Uhren mit Inhibition hingegen hat die gemessene Quarzfrequenz keinen Bezug zum effektiven Gang, da die Korrektur durch Unterdrückung einzelner Schwingungen erfolgt.**

Die Frequenz kann entweder kapazitiv, durch Erfassung des elektrischen Felds des Quarzes, oder akustisch, als Ultraschallwelle, gemessen werden.

In inhibitionsgesteuerten Uhrwerken wird die Quarzfrequenz nicht direkt abgeglichen und liegt in der Regel bei oberhalb $+1$ s/d.

Die indirekte Bestimmung des Gangs aus den Motorimpulsen, ohne Berücksichtigung der Inhibition, wird im Kapitel „Gangabweichung“ behandelt.

Impulsdauer

Bei der Messung der Stromimpulse des Schrittmotors kann neben der Gangabweichung auch eine Analyse der Motorimpulse erfolgen. Dabei werden Informationen zur **Impulsdauer (PW)** und zur **Leistungsstufe (PL)** ermittelt. Die Impulsdauer beschreibt die Länge des Motorpulses und ist in der Regel bereits ab Werk festgelegt.

Leistungsstufe

In analogen Quarzuhren werden zwei Arten von Motorimpulsen verwendet:

- **Festimpuls:** Die Batteriespannung liegt während der gesamten Impulsdauer konstant an der Motorspule an.
- **Hackimpuls:** Die Spannung an der Motorspule wird während der Impulsdauer mit einer festen Frequenz (meist 1 kHz) schnell ein- und ausgeschaltet.

Beim Hackimpuls lässt sich die der Spule zugeführte Energie über das Verhältnis von Ein- zu Ausschaltdauer (das Hackverhältnis) steuern. Dadurch kann der Energieverbrauch flexibel an die Anforderungen des Uhrwerks angepasst werden.

Bei Uhren mit **adaptiven Motorimpulsen** ermittelt das Uhrwerk automatisch die minimale Impulsenergie, die für einen zuverlässigen Schrittbetrieb erforderlich ist. Das Hackverhältnis (Power Level) – und in manchen Fällen auch die Impulsdauer – kann dabei in mehreren Stufen dem aktuellen Leistungsbedarf angepasst werden, was sich auch in der Stromaufnahme messbar zeigt.

Diese Uhren verfügen über eine Schritüberwachung, die erkennt, ob der Motor den Schritt korrekt ausgeführt hat. Bleibt ein Schritt aus, wird ein zweiter Impuls mit maximaler Energiestufe (Festimpuls) nachgeschickt.

Im laufenden Betrieb wird die Leistungsstufe regelmässig (z. B. alle 4 Minuten) um eine Stufe reduziert, solange die Schritte korrekt ausgeführt werden. Sobald ein Fehlschritt erkannt wird, erhöht die Uhr die Leistungsstufe wieder, um einen stabilen Motorbetrieb sicherzustellen.

Eine Messung der aktuellen **Leistungsstufe** kann daher Hinweise auf den Zustand des Uhrwerks geben.

Der Stromverbrauch steigt bei Erschütterungen, Datumwechsel, sinkender Batteriespannung oder mechanischen Problemen (z. B. schwergängiges Räderwerk). Nach einer Störung kann es mehrere Minuten dauern, bis sich die Leistungsstufe wieder auf das ursprüngliche Niveau stabilisiert.



Abbildung 33: Messung Impulsdauer (PW) und Leistungsstufe (PL)

Form des Motorpulses

Die **Pulsform** zeigt den zeitlichen Verlauf der Stromaufnahme während eines Motorpulses und gibt Aufschluss über den Zustand des Uhrwerks.

Bei einer normal funktionierenden Uhr steigt der Strom zu Beginn des Pulses kontinuierlich an, erreicht ein Maximum, sinkt leicht ab und steigt kurz vor Impulsende nochmals an.

Bei einer mechanischen Blockierung steigt der Strom kontinuierlich bis zum Maximalwert und bleibt dort konstant bis zum Impulsende – ein Hinweis auf erhöhten Widerstand im Räderwerk oder blockierte Zeiger.

Eine deutliche Asymmetrie zwischen positivem und negativem Impuls deutet bei laufender Uhr auf ein Problem im Schrittmotor hin (z. B. Spulenfehler oder Ungleichgewicht im Magnetfeld).

Jeder Impuls wird einzeln aufgezeichnet und als Oszillogramm dargestellt, wobei abwechselnd positive und negative Impulse sichtbar sind. Dies ermöglicht eine detaillierte Analyse der Pulsform und eine gezielte Fehlersuche.



Abbildung 34: Links: gute Uhr mit Hackimpuls. Rechts: Schlechte Uhr mit Hackimpuls.

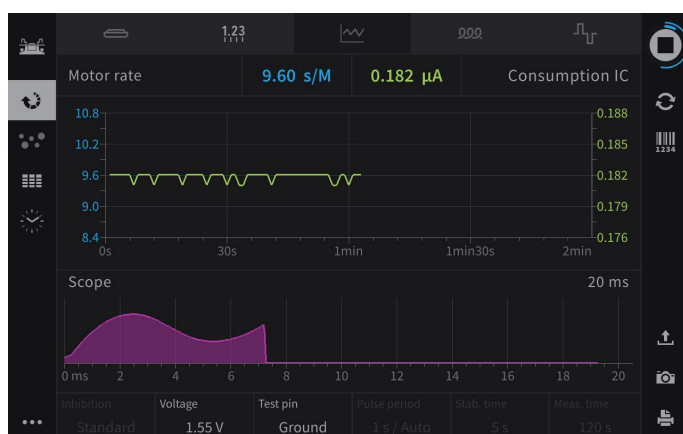


Abbildung 35: Links: gute Uhr ohne Hackimpuls. Rechts: Schlechte Uhr ohne Hackimpuls.

Widerstandsmessung

Die Widerstandsmessung dient dazu, Unterbrechungen oder Kurzschlüsse in der Motorspule von analogen Uhren sowie Isolationsfehler zwischen Spule, Spulenkern oder Platine zu erkennen. Sie ist zudem hilfreich bei der Durchgangs- und Isolationsprüfung von Leiterbahnen, Verbindungen und Schaltern.

Die Widerstandsmessung erfolgt mit sehr geringer Spannung, so dass weder Gefahr für die Uhr besteht noch die Schutzdioden im IC die Messung beeinflussen.

Spulenwiderstand

Für die Widerstandsmessung muss die Batterie aus der Uhr entfernt werden. Die beiden Anschlusspunkte der Spule werden mit den beweglichen Kontaktbügeln oder Prüfspitzen kontaktiert – die Polarität spielt dabei keine Rolle. Wenn die Messpunkte nicht eindeutig erkennbar sind, empfiehlt es sich, das Datenblatt des jeweiligen Uhren-Kalibers zu konsultieren.

Der typische **Spulenwiderstand** analoger Quarzuhren liegt zwischen **1 und 3 k Ω** . Für exakte Werte siehe bitte die technischen Spezifikationen des Uhren-Kalibers.

- Ein Unterbruch der Spule zeigt sich als sehr hoher Widerstand oder „offen“.
- Ein Windungsschluss (Kurzschluss einzelner Windungen) führt zu einem deutlich reduzierten Widerstandswert.

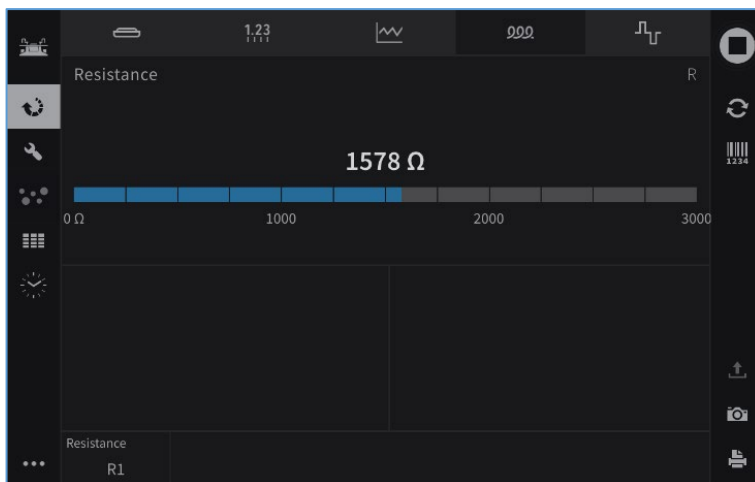


Abbildung 36: Messung Spulen-Widerstand mit QuartzMaster® und Terminal.

Spulenisolation

Zur Prüfung der **Isolation** zwischen Spule und Platine kontaktieren Sie mit den Kontaktbügeln oder Prüfspitzen einen Anschlusspunkt der Spule sowie die Uhrwerkplatine. Der gemessene Widerstandswert wird numerisch angezeigt. Ein einwandfreier Isolationszustand liegt vor, wenn das Gerät einen Widerstand grösser als 1 M Ω anzeigt. Ein niedrigerer Wert kann auf einen Isolationsfehler hinweisen.

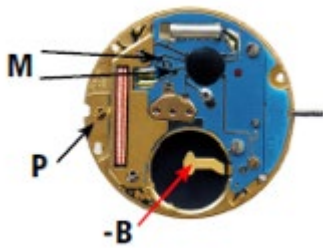


Abbildung 37: Anschlüsse M für die Messung der Spule.

BATTERY			MOVEMENT		
		✓			✓
Batt. voltage no load	B0	1.60 V	Min. voltage	MV	OK
Batt. voltage low load	BL	1.59 V	Acceleration	AC	OK
Batt. voltage heavy load	BH		EOL	EO	1.38 V
			Consumption IC	CI	0.099 µA
			Consumption total	CT	0.899 µA
			Quartz rate	RQ	8.02 s/d
			Motor rate	RM	6.26 s/d
			Pulse width	PW	4.85 ms
			Power level	PL	61.00 %
			Resistance R1	R1	open
			Resistance R2	R2	
			Resistance R3	R3	
			Resistance R4	R4	
DEMO Quartz Complete (DEMO Quartz...)					

Abbildung 39: Beispiel eines kompletten Messprotokolls:

Min. Spannung (MV), Beschleunigung (AC), EOL (EO), Stromaufnahme IC (CI), Stromaufnahme Total (CT), Gang Quarz (RQ), Gang Motor (RM), Impulsdauer (PW, Leistungsstufe (PL)

Das Messprotokoll, wie in Abbildung 39 dargestellt, wird vom QuartzMaster in Verbindung mit dem Witschi Terminal automatisch erzeugt. Die aufgezeichneten Werte – darunter minimale Betriebsspannung, Stromaufnahmen, Gangabweichungen und Motordaten – erscheinen direkt auf dem Display des Geräts.

In Kombination mit Wicotrace 360° werden diese Messdaten zusätzlich in der integrierten Datenbank gespeichert. Dort können sie systematisch verwaltet, analysiert und für spätere Nachweise exportiert werden. Damit entfällt die manuelle Protokollführung und es steht ein vollständiger, rückverfolgbarer Datensatz für jede geprüfte Uhr zur Verfügung.

Beschleunigter Modus

Viele Uhren-Kaliber verfügen über einen **Testpunkt**, häufig mit **R/T** gekennzeichnet, der auf dem Elektronikmodul zugänglich ist. Über diesen Testpunkt lassen sich die Beschleunigungs- und Resetfunktionen aktivieren.

Dazu wird – zusätzlich zur normalen Speisung über die Kontaktbügel – der Testpunkt mit dem gelben Kontaktbügel kontaktiert:

- **Positive Spannung** am Testpunkt → **Reset**: Motorimpulse werden unterdrückt
- **Negative Spannung** am Testpunkt → **Beschleunigter Modus** wird aktiviert

Für spezifische Informationen sollte das technische Datenblatt des jeweiligen Uhrwerks konsultiert werden.

Im beschleunigten Modus macht die Uhr 16 oder 32 Schritte pro Sekunde. Dadurch lassen sich Zeigerbewegungen im Spiegel beobachten und mechanische Probleme wie blockierende Zeiger oder Störungen beim Datumwechsel schnell erkennen.

Pulsgenerator

Mit dem Pulsgenerator kann der Schrittmotor und der mechanische Teil einer analogen Quarzuhr unabhängig von der Elektronik geprüft werden.

Prüfen des Schrittmotors

Durch den beschleunigten Betrieb werden mechanische Fehler wie streifende Zeiger oder Probleme beim Datumwechsel schnell erkennbar.

Vor der **Schrittmotorprüfung** ist die Batterie zu entfernen, und die Kontaktbügel sind an den dafür vorgesehenen Motoranschlüssen (M) anzubringen.

- Wählen sie die Impulsdauer und das Hackimpulsverhältnis entsprechend den Spezifikationen der zu prüfenden Uhr.
Für einen **beschleunigten Test** wählen sie die Impulsfrequenz 16 Hz.
Sind keine Uhrendaten bekannt, liefern die voreingestellten Standardwerte in der Regel ein ausreichend gutes Ergebnis.
- Wählen Sie eine Spannung, die etwa 0,2 V unter der Nennspannung der Uhrenbatterie liegt (z. B. 1.35 V bei Silberoxidbatterien).
So wird der Spannungsverlust im Uhren-IC während des Motorimpulses realistisch berücksichtigt.
- Spannen Sie das Uhrwerk in den Werkhalter und platzieren Sie diesen auf der Glasauflage des Geräts.
- Kontaktieren Sie die beiden Anschlusspunkte der Spule mit den beweglichen Kontaktbügeln. Die Polarität spielt keine Rolle.
Falls die Anschlusspunkte nicht offensichtlich sind, konsultieren sie das Datenblatt der betreffenden Uhren-Kalibers.
- Überprüfen Sie im Spiegel, ob sich der Sekundenzeiger bewegt.
- Zur Überprüfung der **Anlaufspannung** reduzieren Sie die Spannung schrittweise, bis der Sekundenzeiger stoppt, und erhöhen sie dann, bis er wieder läuft.
Auch die Parameter Impulsdauer und Impulsverhältnis können schrittweise reduziert werden, um die Betriebsgrenzen der Schaltung zu ermitteln.



Abbildung 38: Modus Pulsgenerator beim Generieren von Motorpulsen.

Prüfen von Buzzer

Zur Prüfung eines Piezosignalgebers (Buzzers) kann ein permanentes Signal erzeugt werden. Der Piezo sollte daraufhin ein hörbares Signal abgeben.

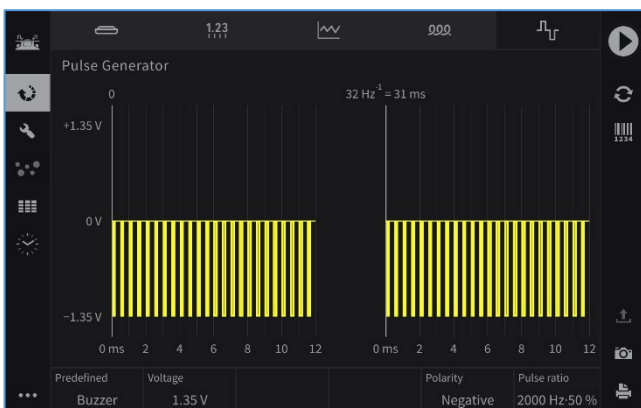


Abbildung 39: Modus Pulsgenerator beim Generieren eines Piezosignals.

Einige der beschriebenen Messungen lassen sich auch ohne Öffnung der Uhr durchführen – entsprechende Geräte machen dies möglich.

Prüfung von geschlossenen Quarzuhren



Abbildung 42: QuartzSensor mit Terminal

Kompaktes und ergonomisches Messgerät für Quarzuhren und Uhrwerke mit eingelegter Batterie.

Eine Quarzuhr sollte nur geöffnet werden, wenn es unbedingt nötig ist. Jedes Öffnen birgt Risiken, etwa das Eindringen von Staub oder Schmutz. Bei einigen Modellen ist selbst der Batteriewechsel ohne Gehäuseöffnung möglich – in manchen Fällen lässt sich das Gehäuse nicht zerstörungsfrei öffnen.

Auch im geschlossenen Zustand können verschiedene Prüfungen durchgeführt werden, die eine Zustandsbeurteilung der Uhr erlauben.

Die **Quarzfrequenz** kann auch bei **geschlossener Uhr** gemessen werden – entweder mit einem kapazitiven oder einem akustischen Aufnehmer. Dabei wird die Schwingung bei ca. 32'768 Hz direkt mit einer Referenzfrequenz verglichen.

Bei Uhren mit Flüssigkristallanzeige (LCD) kann der kapazitive Aufnehmer zusätzlich die Umschaltfrequenz der Anzeige messen, die meist direkt an die Quarzfrequenz gekoppelt ist.

Bei analogen Quarzuhren können die Motorimpulse mithilfe eines induktiven Aufnehmers erfasst werden. Dies ermöglicht die **Gangmessung** mit und ohne Inhibition, sowie die Messung der **Impulsdauer** und der aktuellen **Leistungsstufe** – und erlaubt somit eine gezielte Beurteilung des Uhrwerkszustands.

Induzierte Bewegung der Zeiger

Zeigt das Uhrwerk einen Betrieb in erhöhter Leistungsstufe, kann dies auf ein schwerfälliges Räderwerk hinweisen, etwa durch Verharzung.

Durch ein **extern erzeugtes, rotierendes Magnetfeld** kann auch bei geschlossener Uhr eine schnelle Zeigerbewegung ausgelöst werden. Diese beschleunigte Bewegung kann helfen, Verharzungen zu lösen und das Räderwerk wieder leichtgängig zu machen.

Hinweis: Das früher dafür eingesetzte Gerät **Witschi Cyclonic** ist nicht mehr im aktuellen Geräteprogramm erhältlich.

Ist ein Öffnen der Uhr jedoch möglich und notwendig, kann eine detailliertere Prüfung erfolgen.

Prüfung von geöffneten Quarzuhren

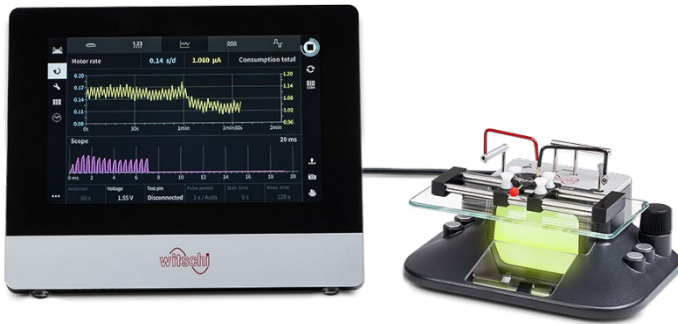


Abbildung 43: QuartzMaster® mit Terminal
Kompaktes und ergonomisches Messgerät für offene Quarzuhren / Quarzwerke.

Bei geöffneten Quarzuhren können mit dem QuartzMaster alle Messungen durchgeführt werden, wie sie im Kapitel „Messungen und Prüfungen“ beschrieben sind.

Es wird empfohlen, bei jedem Batteriewechsel eine Messung der Stromaufnahme vorzunehmen. Dadurch lassen sich mögliche Probleme im Uhrwerk erkennen, die zu einer verkürzten Batterielaufzeit geführt haben könnten.

Prüfablauf

[1] Visuelle Prüfung

- Bereich zwischen Krone und Gehäuse auf Schmutz oder Ablagerungen prüfen.
- Sicherstellen, dass sich die Zeiger frei bewegen und nicht streifen.
- Funktion des Kalenders überprüfen (z. B. Datumsschaltung).
- Räderwerk auf Verschmutzungen oder Fremdpartikel kontrollieren.

[2] Prüfung Spulenwiderstand und Spulenisolation

- Batterie entfernen. Spulenwiderstand und Spulenisolation prüfen.
- Falls Werte ausserhalb Toleranz: Wechseln des Uhrwerks. Ansonsten weiter mit [3].

[3] Stromaufnahme und Gangmessung

- Uhrwerk über dem Spiegel platzieren und Kontaktbügel Supply+ (rot) und Supply- (schwarz) anschliessen.
- Stromaufnahme und Gangabweichung messen.
- Liegt ein Wert ausserhalb der Toleranz, sollte das Uhrwerk ersetzt werden. Bei unauffälligen Werten: weiter mit Schritt [4].

[4] Minimalspannung prüfen

- Das Uhrwerk über dem Spiegel platzieren und Kontaktbügel Supply+, Supply- und RT/T (gelb) anschliessen.
- Spannung schrittweise senken, bis keine Motorschritte mehr erfolgen
- Ausserhalb der Toleranz: Uhrwerk ersetzen.
Innerhalb der Toleranz: Batterie einsetzen und Uhr schliessen.

Fehlersuche

Vorgehen bei nicht funktionierender analoger Quarzuhr

- Krone/Stellwelle prüfen, ob sie gezogen ist (keine Motorimpulse)
- Zeigerabstände und Abstand zu Glas/Zifferblatt kontrollieren
- Uhr öffnen und Reset prüfen
- Uhrwerk auf Verschmutzung, Staub oder Abrieb untersuchen, besonders bei Räderwerk und Rotor
- Batteriespannung messen
- Stromaufnahme prüfen; bei zu hohem Wert → Spulenwiderstand messen
- Räderwerk, Motor und Rotor auf Funktion prüfen
- Weitere Funktionen und Bauteile überprüfen

Defekt	Ursache	Massnahme
Uhr bleibt stehen	Batterie entladen	⇒ Batterie wechseln Bei vorzeitiger Entladung der Batterie: (a) Stromaufnahme prüfen. Spulenwiderstand prüfen (b) Prüfen, ob die Kontaktzunge für den negativen Anschluss die Platine berührt und zu einem Kurzschluss führt.
	Spreizfeder Stundenrad klemmt	In bestimmten Uhrwerkskonstruktionen wird das Stundenrad unter dem Zifferblatt durch eine Spreizfeder in Position gehalten. Wird die Spreizfeder beim Zusammenbau beschädigt oder versehentlich doppelt eingesetzt, verringert sich der erforderliche Spielraum des Stundenrads. Dies kann zu einer Blockierung und damit zum Stillstand des Uhrwerks führen.
	Beschädigtes Zahnrad	Vor der Montage von Zifferblatt und Zeigern ist sicherzustellen, dass das Stundenrad korrekt mit dem Minutenradzapfen fluchtet. Beim Aufsetzen der Stunden- und Minutenzeiger kann übermässiger Druck das Stundenrad beschädigen. Deshalb ist es erforderlich, die aufgewendete Kraft während der Zeigermontage sorgfältig zu kontrollieren.
	Übermässiges Fetten des Gehäuseohrs	Es ist gängige Praxis, das Gehäuseohr (Tube) mit Fett zu versehen, um das Eindringen von Wasser in die Uhr zu verhindern. Überschüssiges Fett kann jedoch bei der Montage der Stellwelle ins Innere der Uhr gelangen und dort zu Funktionsstörungen führen. Deshalb ist beim Auftragen des Fetts auf eine präzise und sparsame Dosierung zu achten.
	Probleme mit der Stellwelle	Klebstoff auf dem Vierkant oder eine zu kurz abgeschnittene Stellwelle entstehen meist beim Zuschneiden der Stellwelle und beim Befestigen der Krone. In der Praxis zeigt sich bei der Inspektion häufig folgendes Symptom: „Die Zeiger bewegen sich bereits, obwohl sich die Stellwelle noch in normaler (eingeschobener) Position befindet.“ Beim Aushärten des Klebstoffs muss darauf geachtet werden, dass die Stellwelle korrekt ausgerichtet bleibt, um Klebstoff an funktionsrelevanten Bereichen zu vermeiden. Beim Kürzen der Stellwelle ist auf ausreichende Länge sowie auf die Unversehrtheit des Vierkants zu achten.
	Staub und Abrieb	Staubpartikel, Textilfasern oder Abrieb können sich zwischen Rädern und Trieben festsetzen und zum Stillstand der Uhr führen.
	Zeigerabstand	Überprüfen Sie den Abstand der Zeiger sorgfältig und passen Sie ihn an, falls sich Zeiger gegenseitig berühren. Achten Sie dabei besonders darauf, dass das Gegengewicht des Sekundenzeigers den Minutenzeiger nicht streift oder berührt.

Uhr zeigt Nachgang	Unzureichender Zeigerabstand / Streifen Sekundenzeiger am Glas	Uhren, die nachgehen, sind häufig auf unzureichende Abstände zwischen den Zeigern zurückzuführen. Dabei ist es nicht nur wichtig, den Abstand zwischen Zifferblatt und Stundenzeiger sowie zwischen Stunden- und Minutenzeiger sicherzustellen, sondern auch den Abstand zwischen Sekundenzeiger und Glas sowie zwischen dem Gegengewicht des Sekundenzeigers und dem Minutenzeiger. In einigen Fällen funktioniert die Uhr ausserhalb des Gehäuses einwandfrei, bleibt jedoch nach dem Einsetzen ins Gehäuse stehen. Dies weist oft darauf hin, dass der Sekundenzeiger das Glas berührt. Tipp: Ein kleiner Tropfen Öl auf der Spitze des Sekundenzeigers kann helfen, bei der Montage zu erkennen, ob ein Kontakt mit dem Glas besteht.
Datum schalten nicht	Kleber auf der Rückseite des Zifferblatts / Datum Schaltfinger beschädigt	Klebereste auf der Rückseite des Zifferblatts können an der Datums- oder Tagesscheibe reiben und dadurch einen Stillstand verursachen. Die Datumscheibe besitzt eine Innenverzahnung, in die der Schaltfinger des Datumschaltrades eingreift und die Scheibe alle 24 Stunden um eine Teilung weiterschaltet. Schäden am Schaltfinger oder an der Datumscheibe treten häufig auf, wenn beim Setzen der Zeiger rückwärts gedreht wird, während sich der Schaltfinger im Eingriff mit der Innenverzahnung befindet.
Falscher Datumswechsel	Falsche AM/PM-Einstellung	Bei Uhrwerken mit Tages- und Datumsanzeige muss die Stellwelle so lange gedreht werden, bis Tag und Datum wechseln. Erst dann dürfen die Zeiger montiert werden, damit der Wechsel später zum richtigen Zeitpunkt erfolgt. Der Träger ist zudem darüber zu informieren, wie Tag und Datum korrekt eingestellt werden, damit der Wechsel um 12 Uhr Mitternacht erfolgt.
Spalt zwischen Gehäuseboden und Gehäuse	Kunststoff-Werkehalter nicht richtig positioniert	Ein nicht korrekt befestigter Gehäuseboden kann einen Spalt zwischen Gehäuseboden und Gehäuse verursachen und dadurch die Wasserdichtigkeit der Uhr beeinträchtigen. Vor dem Einsetzen des Gehäusebodens muss die Position der Aussparung im Kunststoff-Werkehalter korrekt auf die Stellwelle ausgerichtet werden. Erfolgt diese Ausrichtung nicht, sitzt der Kunststoffhalter auf der Stellwelle auf, was einen Spalt zwischen Gehäuseboden und Gehäuse verursacht.
Staub zwischen Zifferblatt und Glas sichtbar	Unsachgemässe Reinigung	Um Staub und Textilfasern zu vermeiden, wird empfohlen, über dem Montagearbeitsplatz, an dem das Einschalen erfolgt, eine Schutzhaube oder idealerweise einen Laminar-Flow anzubringen. Dadurch wird verhindert, dass sich Staub auf der Werkbank oder am Uhrengehäuse absetzt. Zur Reinigung von Zifferblättern und Gläsern sollten ausschließlich Vakuumstifte verwendet werden, da sie den Staub zuverlässig entfernen. Druckluftstifte hingegen verlagern Staub lediglich von einer Stelle zur anderen und sind daher nicht geeignet.
Eintritt von Feuchtigkeit	Undichtigkeit: Glas / Krone / Gehäuseboden	In solchen Fällen müssen alle Dichtungen ersetzt werden. Die Kronendichtung kann sich beim Zusammenbau verdrehen oder beschädigt werden. Daher ist das Gehäuserohr (Tube) mit Silikonfett zu schmieren, damit die Krone leicht ein- und ausgedreht werden kann. Beim Öffnen des Gehäusebodens ist ein geeignetes Werkzeug zu verwenden, um die Dichtung nicht zu beschädigen. Die Bodendichtung sollte mit Silikonfett behandelt und bei jedem Öffnen ersetzt werden.

Übersicht Witschi-Messgeräte für Quarzuhren

Funktion	Q-Test 6000	New Tech Handy	Analyzer Q1	Analyzer Q2	Analyzer Twin	CS1 (G2) mit Quartz-Mikrofon	Quartz Master	Quartz Sensor
Messung Gang Quarz								
durch kapazitiven Aufnehmer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
durch akustischen Aufnehmer	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-
durch Stromaufnahme	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Messung Gang								
durch induktive Aufnehmer	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓
durch kapazitiven Aufnehmer (LCD)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
durch Stromaufnahme	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Messung Stromaufnahme	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Batterietester	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Widerstandsmessung	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-
Pulsgenerator	✓	-	✓	✓	✓	-	✓	-
Analyse des Motorpulses	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abgleich Inhibitionsuhren für ausgewählte ICs	✓	-	-	✓	-	-	-	-
Automatisierte Prüfabläufe	-	-	-	✓	-	-	✓	✓
Messung Stimmgabeluhren	✓	-	-	-	-	✓	-	✓
Messung mechanische Uhren	-	-	✓	-	✓	✓	-	-