
DIETER TONDOK – GEROLSBACH

Das Marine-Chronometer B-1390

von Ebauches S.A.

Jahresschrift 2007 - Deutsche Gesellschaft für Chronometrie,

Published with permission of author



Abb. 1: Das Marine-Chronometer Ebauches B-1390

Von dem ersten brauchbaren Seechronometer von John Harrison, das später als H4 bezeichnet wurde und 1761 bei einer Testfahrt seine Praxis-tauglichkeit unter Beweis stellte, bis zur heutigen Navigation mit GPS, die es erlaubt mit kleinen, tragbaren Geräten eine Positionsbestimmung mit einem Fehler von wenigen Metern durchzuführen, lag eine lange Entwicklung. Den größten Teil dieses Zeitraums, bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts, wurden für die Navigation auf See mechanische Uhren verwendet.

Die ersten Uhren, die einen Quarzschwinger als Zeitnormal benutzten, waren in Röhrentechnik gebaut, hatten noch die Ausmaße eines Schrankes, verbrauchten sehr viel Energie und dürften durch die Alterung der Röhren ohne regelmäßige Wartung nicht besonders zuverlässig und für den mobilen Einsatz wegen ihrer Erschütterungsempfindlichkeit ungeeignet gewesen sein. Vom Einsatz dieser Uhren auf Schiffen ist mir nichts bekannt.

Eine neue, vielversprechende Technologie zeichnete sich mit der Erfindung des ersten

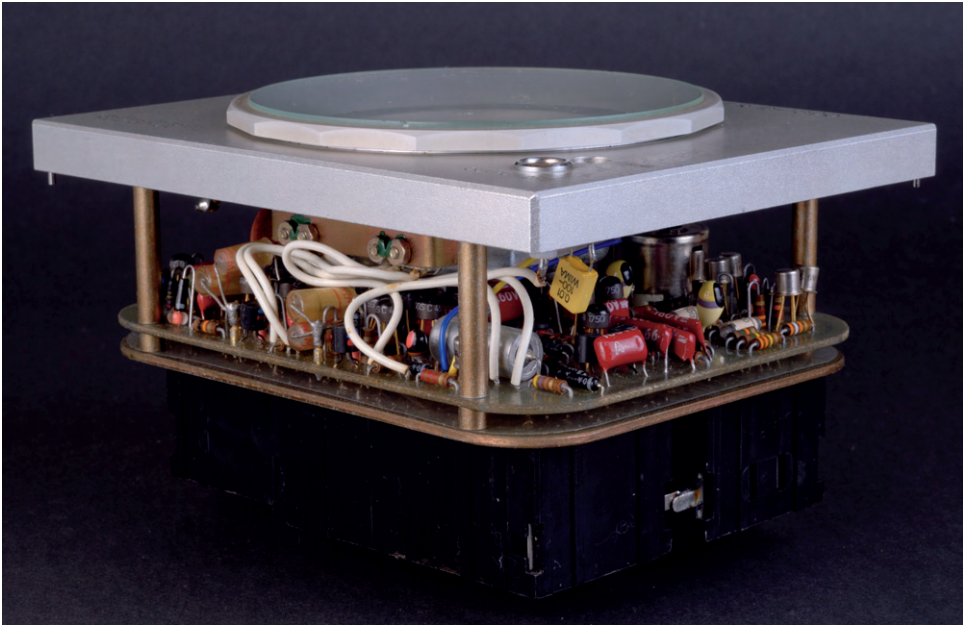


Abb. 2: Seitenansicht

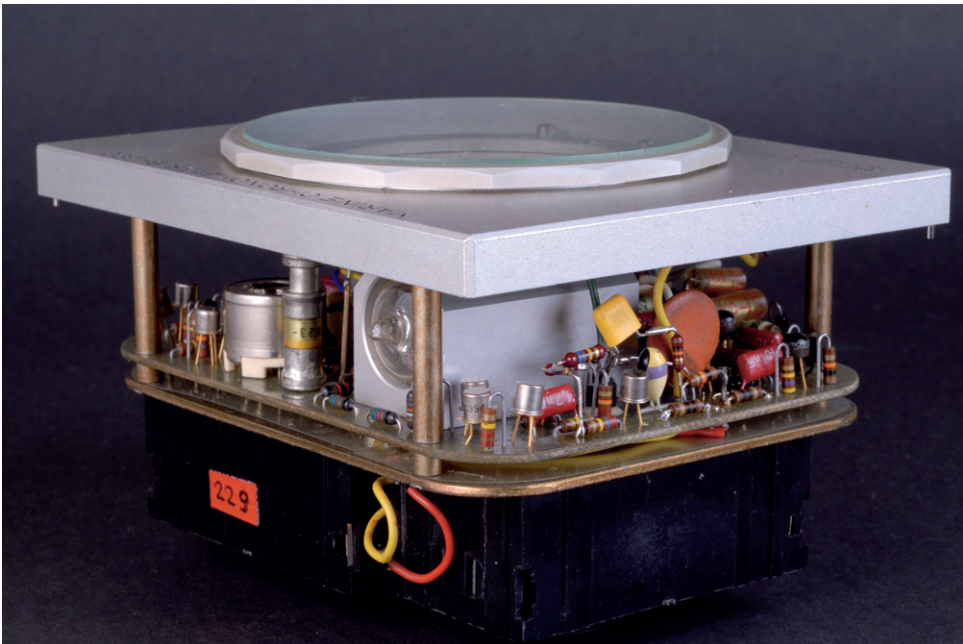


Abb. 3: Seitenansicht

funktionsfähigen Transistors im Jahre 1947 ab. Aber erst nach der Entwicklung des Siliziumtransistors, dessen Praxisreife und Verfügbarkeit zu akzeptablen Preisen, war es möglich und sinnvoll, eine kleine und transportable Quarzuhr zu entwickeln. Inwieweit diese Möglichkeit zu einer Massenproduktion von der Uhrenindustrie wahrgenommen wurde, soll nicht Thema dieses Artikels sein.

Die zu dieser Zeit verfügbare Technologie des diskreten Aufbaus, d. h. einzelne Transistoren, Dioden, Widerstände und Kondensatoren, verhinderte es wegen der Größe und der Leistungsaufnahme, tragbare Uhren mit den Abmessungen einer Armbanduhr aufzubauen. Dieses ermöglichte erst die integrierte Schaltung, die erstmals 1960 industriell gefertigt wurde. Die Reduzierung der Leistungsaufnahme auf das für eine Armbanduhr geeignete Maß war aber erst 1967 mit der komplementären MOS-Technologie (CMOS) realisierbar.

Das hier vorgestellte Marine-Chronometer habe ich schon vor einigen Jahren auf einem Flohmarkt entdeckt. Obwohl es nicht so recht in mein Sammelgebiet passt, konnte ich es bei dem niedrigen Preis nicht stehen lassen.

Das Marine-Chronometer B-1390 von Ebauches S.A. (Abb. 1) wurde in diskreter Technologie hergestellt. Das Gewicht der Uhr von 2,3 kg inklusive Batterie hat seine Ursache nicht nur in dem diskreten Aufbau und den drei Batterien mit der Größe LR20 (Mono), sondern insbesondere in dem äußerst massiven Gehäuse aus eloxiertem Aluminium. Die Seitenwände und die Oberseite haben eine Stärke von bis zu 11 mm und der Bodendeckel erreicht immer noch eine Dicke von 6 mm.

Die gesamten Baugruppen der Uhr sind an der Frontplatte befestigt, die außerdem das Schrittschaltwerk mit dem Zifferblatt, zwei Buchsen und die Schalter zum Stellen trägt. Der mechanische Aufbau ist aus Abb. 2 und Abb. 3 zu erkennen. Die Platine ist von hinten mit einer 2 mm starken, verzinkten Eisenplatte geschützt, welche auf ihrer Rückseite die drei Batteriehalterungen trägt. Die Eisenplatte bildet im zusammengebauten Zustand des Gehäuses eine Abtrennung zwischen Batteriefach und Elektronikteil.

Auf der Frontseite ist das Zifferblatt mit einem Durchmesser von 58 mm zu sehen, das durch



Abb. 4: Zifferblattseite

ein verschraubtes Uhrglas geschützt ist (Abb. 4). Nach Abnahme des Glases werden zwei Druckschalter zum Stellen der Uhr sichtbar (Abb. 5). Mit dem linken lässt sich die Uhr anhalten, während der rechte zum schnellen Vorlauf benutzt wird. Des Weiteren ist ein kleines Loch oberhalb der 12 sichtbar, durch das mit einem kleinen Schraubendreher ein Trimmkondensator betätigt werden kann, der zum Feinabgleich des Quarzoszillators dient. Neben dem Zifferblatt befinden sich zwei Buchsen, von denen die obere ein 12-kHz (Abb. 6) und die untere ein 2-Hz (Abb. 7) Signal führt. Das 2-Hz-Signal wird auch zur Ansteuerung des Schrittschaltwerks benutzt. Wie bei mechanischen Schiffschrono-



Abb. 5: Zifferblattseite nach Abnahme der Glasabdeckung.

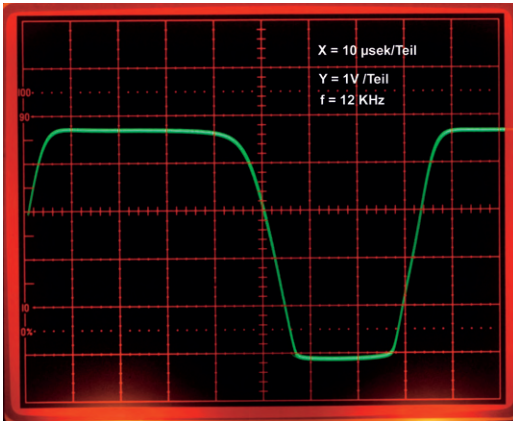


Abb. 6: Signalform des 12-kHz-Signals.

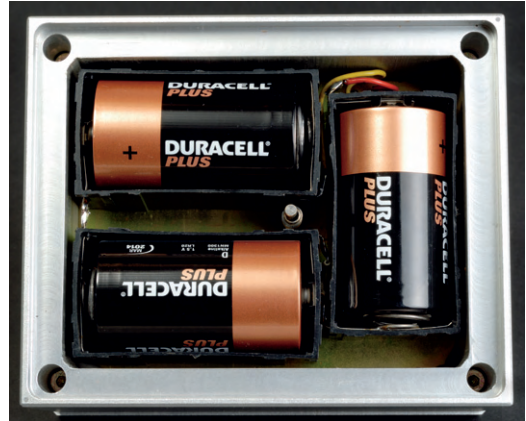


Abb. 8: Blick auf das Batteriefach nach Abnahme der Bodenplatte.

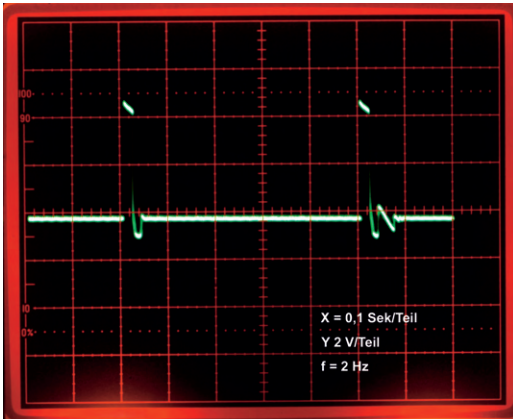


Abb. 7: Signalform des 2-Hz-Schaltimpulses.

metern üblich wird der Sekundenzeiger mit zwei Schritten pro Sekunde weitergeschaltet. Das entstehende Geräusch ist dem Ticken eines mechanischen Chronometers sehr ähnlich. Mit einem nach Abnehmen der Bodenplatte zugänglichen Drehknopf, der sich zwischen den Batteriehalterungen befindet (Abb. 8), kann eine grobe Einstellung der Uhr vorgenommen werden. Dieser kuppelt durch leichten Druck in die Welle des Minutenzeigers ein und ermöglicht so das schnelle Stellen der Uhr.

Aber nun zum elektronischen Innenleben der Uhr. Bei einem Blick auf die Bestückungsseite der Platine fällt sofort als größtes Bauteil ein

Aluminiumblock auf, in dem sich der in einer evakuierten Glasröhre eingebaute Schwingquarz befindet. Da ich nicht im Besitz eines Schaltbildes bin, habe ich versucht, die Arbeitsweise der Schaltung anderweitig herauszufinden. Zu diesem Zweck habe ich zuerst die Frequenz direkt am Ausgang des Oszillators gemessen. Mit Erstaunen stellte ich fest, dass der Quarzoszillator mit der auf der Frontplatte herausgeführten Frequenz von 12 kHz schwingt. Diese entspricht nicht einer heute üblichen Frequenz von 2ⁿ Hz, bei der der Einsatz von Binärteilern möglich wäre. Die niedrige Frequenz wurde vermutlich gewählt, um die Leistungsaufnahme durch wenige Teilerstufen so gering wie möglich zu halten. Gemessen wurde eine Stromaufnahme von etwa 1 mA bei 4,6 V Betriebsspannung. Die ungewöhnliche Frequenz des Quarzes erweckte in mir die Neugier, so dass ich versuchte, wenigstens einen Teil der Schaltung zu entschlüsseln.

Zuerst analysierte ich die Oszillatorschaltung. Diese ist sehr aufwendig, belegt beinahe die halbe Platine und beinhaltet als aktive Bauteile neun Transistoren. Im Aluminiumblock der Quarzhalterung befinden sich vier Bohrungen mit jeweils einem NTC-Widerstand. Diese bilden einen Teil eines großen Widerstandsnetzwerks in der Rückkopplung des Oszillators. In diesem kommen auch Widerstände mit besonders geringer Toleranz und kleinem Temperaturkoeffizienten zum Einsatz. Hier fiel mir erstmals auf, dass, wie ich

auch in anderen Schaltungsteilen feststellen konnte, beim Entwurf der Platine bereits die Möglichkeit berücksichtigt wurde, durch Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen und Kondensatoren einen Abgleich durch Austausch von Bauteilen vornehmen zu können. Dieses unterstreicht den experimentellen Charakter dieser Uhr, auf den ich später noch näher eingehen werde. Außergewöhnlich ist auch der auf einen Ferritschalenkern aufgebaute Übertrager mit mehreren Wicklungen im Rückkopplungs- und Verzweigungs- und Totzeitkreis. Obwohl ich die Wirkungsweise dieses Schaltungs- und Bauteils nicht genau erklären kann, vermute ich, dass die Induktivität des Übertragers zusammen mit den NTC-Widerständen eine Frequenzstabilisation des Oszillators bei Temperaturschwankungen bewirkt.

Die Analyse der Teilerschaltung begann ich am 2-Hz-Ausgang, der das Schrittschaltwerk ansteuert. Der von mir analysierte Schaltungsteil umfasst sieben der 26 zur Teilerschaltung gehörenden Transistoren.

Direkt am Ausgang befindet sich ein Verstärker, bestehend aus einem Transistor zur Ansteuerung des Schrittschaltwerks. Dessen Versorgungsspannung ist durch einen Widerstand und einen ELKO von der Versorgungsspannung der restlichen Schaltung entkoppelt.

Davor befindet sich ein stark gegengekoppelter Gleichspannungsverstärker bestehend aus zwei komplementären Transistoren. In diesen Verstärker wird aus einer weiter vorne gelegenen Stufe ein zusätzliches Signal eingekoppelt, dessen Funktion mir nicht ganz verständlich ist.

Vor diesem Verstärker befindet sich ein monostabiler Multivibrator (MonoFlop), der auch aus zwei komplementären Transistoren besteht. Diese Stufe bestimmt die Länge des Ausgangsimpulses.

Das MonoFlop wird von einem Transistor über zwei RC-Glieder angesteuert. Die Funktion dieses Transistors war mir zunächst nicht klar, sollte sich aber später als zentrales Bauteil des analysierten Schaltungsteils erweisen. Dieser Transistor wurde über einen Trennkondensator an der Basis angesteuert. Der Emitter des Transistors ist über eine Diode mit der davor liegenden Teilerschaltung verbunden.

Das Signal, das diese Stufe ansteuert, wird auch in die Basis eines anderen Transistors eingespeist, dessen Ausgangssignal in die vorher

beschriebene Verstärkerstufe eingekoppelt wird.

Zur weiteren Klärung der Funktion untersuchte ich zuerst das Eingangssignal mit einem Oszillografen und stellte fest, dass am Eingang kurze Impulse mit einer Frequenz von 50 Hz anliegen. Dieses würde bedeuten, dass bei einer Ausgangsfrequenz von 2 Hz diese Schaltung einen Frequenzteiler mit einem Teilungsverhältnis von 25:1 darstellt. Weitere Messungen brachten dann die Erklärung für dieses außergewöhnliche Teilungsverhältnis. An dem Transistor, der das MonoFlop ansteuert, liegt der kurze positive 50-Hz-Impuls an der Basis an. Am Emitter dieses Transistors konnte ich einen sehr kurzen negativen Impuls mit einer Frequenz von 96 Hz messen. Beide Signale werden von der selben 12-kHz-Schwingung abgeleitet, d. h. dass zwischen beiden Signalen eine feste Phasenbeziehung besteht. Der Transistor wird nur durchgeschaltet, wenn die Impulse an Basis und Emitter gleichzeitig anliegen, was einen negativen Impuls am Kollektor erzeugt. Durch das zeitliche Verhältnis des 50-Hz- und des 96-Hz-Signals geschieht das bei jedem 25. Impuls des 50-Hz-Signals, womit wir beim Teilverhältnis von 25:1 angekommen wären und das 2-Hz-Ausgangssignal seine Erklärung gefunden hätte.

Als ich den Weg des 96-Hz-Signals weiter verfolgte, gelangte ich zum Schalter für den schnellen Vorlauf der Uhr. Als ich diesen betätigte, konnte ich anstelle der 96 Hz 480 Hz messen. Bei diesem Frequenzverhältnis fiel nun jeder fünfte Impuls des 50-Hz-Signals mit einem Impuls des 480-Hz-Signals zusammen, womit sich ein Teilverhältnis von 5:1 ergibt und am Kollektor eine Frequenz von 10 Hz ansteht. Der Zeiger der Uhr wird also beim schnellen Vorlauf mit 10 Schritten pro Sekunde weitergeschaltet. Die folgende Ausführung soll die Funktionsweise des oben beschriebenen Frequenzteilers anhand einiger Oszillogramme (Abb. 9) anschaulich machen. Zur besseren Darstellung wurden nicht die Signale am Transistor gemessen, an dem die Frequenzteilung erfolgt, sondern es wurden Signale mit gleichem zeitlichen Verhalten, aber anderen Pegeln herangezogen. Die Abbildungen wurden bei schnellem Vorlauf aufgenommen, da das Teilverhältnis von 5:1 besser darstellbar ist.

Das erste Signal hat 10 Hz und liegt bei schnellem Vorlauf am Schrittschaltwerk an. Das

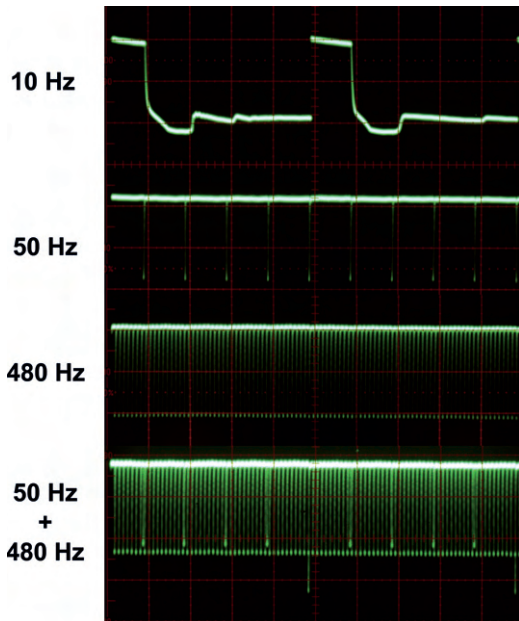


Abb. 9: Oszillogramme zur beschriebenen Teilerschaltung.

zweite Signal mit 50 Hz entspricht zeitlich dem an der Basis des Teilertransistors anliegenden, jedoch mit umgekehrter Polarität. Als drittes wurde ein 480-Hz-Signal dargestellt, entsprechend dem am Emitter anliegenden Signal. Der letzte Signalverlauf wurde durch Addition beider Eingangskanäle des Oszillografen aus den vorherigen Signalen erzeugt. Die längeren negativen Impulse entstehen, wenn die Impulse des 50-Hz- und des 480-Hz-Signals zeitlich zusammen fallen. Hier kann man sehen, dass jeder fünfte Impuls des 50-Hz-Signals mit jedem 48. Impuls des 480-Hz-Signals zusammenfällt. Zu diesem Zeitpunkt wird das Monoflop getriggert, was an der ansteigenden Flanke des 10-Hz-Ausgangssignals zu erkennen ist.

Folgende Teilverhältnisse müssen aufgrund der gemessenen Frequenzen in den vorhergehenden Teilerstufen noch vorhanden sein:

| | |
|---------|--------------------|
| 240 : 1 | 12.000 Hz : 50 Hz |
| 125 : 1 | 12.000 Hz : 96 Hz |
| 25 : 1 | 12.000 Hz : 480 Hz |

Wegen der in den nicht weiter untersuchten Teilen der Schaltung verwendeten Bauteile ist anzunehmen, dass hier eine vergleichbare Konstruktion realisiert wurde und weitere, aufwendige Untersuchungen keine zusätzlichen Erkenntnisse über die hier benutzte Technik bringen dürften. Bei dieser Schaltung handelt es sich auch noch um Analogtechnik und nicht um eine Form von früher Digitaltechnik.

Weitere Anhaltspunkte für den experimentellen Charakter dieser Uhr bringt ein Blick auf die Leiterbahnseite der Platine (Abb. 10), die eine sehr grobe Leiterbahnführung erkennen lässt, die außerdem noch durch zwei Drähte ergänzt wurde. Auch wurde die Platine noch von Hand verlötet.

Den Eindruck der Vor- oder Kleinserie vermitteln auch die übereinander gelöteten Kondensatoren auf der Bestückungsseite (Abb. 11), die vermuten lassen, dass der genaue Wert erst experimentell beim Abgleich ermittelt wurde.

Neben dem Quarz ist nachträglich ein Transistor aufgeklebt und zusammen mit ein paar Widerständen fliegend zu einem Trennverstärker verschaltet. Von diesem wurde das 12-kHz-Signal über einen fliegend eingelöteten Kondensator zur gleichstrommäßigen Entkopplung an die Buchse auf der Frontseite geführt, welche vermutlich nachträglich eingebaut wurde.

Da keine schriftlichen Unterlagen zu diesem Uhrenmodell vorliegen, kann das Baujahr nur anhand der verwendeten Bauteile abgeschätzt werden und dürfte nach 1969 liegen. In Anbetracht der Entwicklungsgeschichte der Elektronik darf es nicht verwundern, dass diese Art von Uhren nur sehr selten zu finden ist, da sie bereits zum Zeitpunkt ihrer Fertigung oder kurz danach von der Entwicklung der Elektronik überholt wurde.

Außergewöhnlich ist auch die Bildmarke auf Zifferblatt und Typenschild (Abb. 12). Der Umriss entspricht den Bildmarken aller 17 im Jahre 1950 unter dem Namen Ebauches zusammengeschlossenen Firmen, jedoch befindet sich im Inneren als Symbol eine Sinuskurve. Da mir auch hierzu keine Unterlagen vorliegen, kann ich nur vermuten, dass es sich hier um eine Bildmarke des in [1] mehrmals erwähnten Entwicklungs- und Produktionszentrums „Ebauches

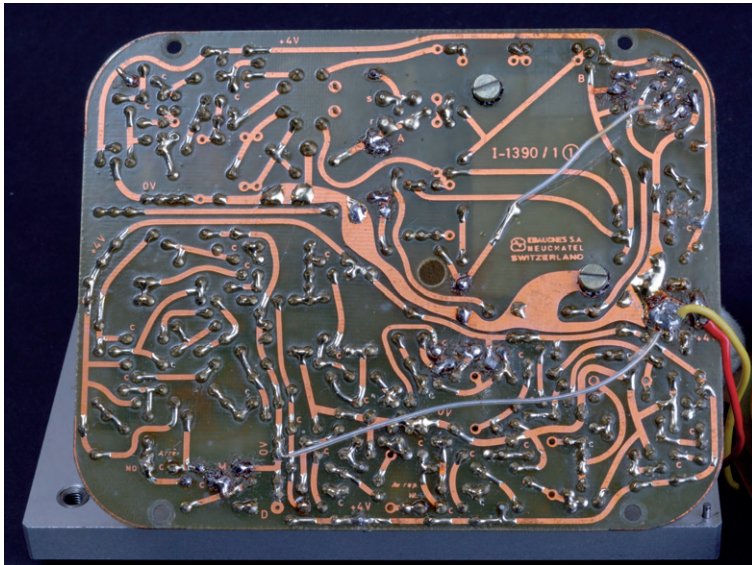


Abb. 10: Leiterbahnseite der Platine.

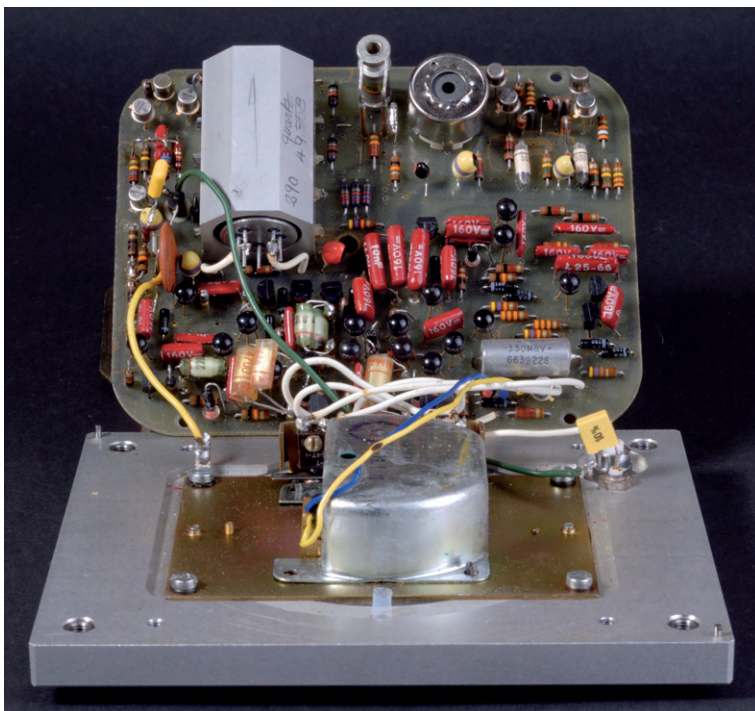


Abb. 11: Blick auf das Schrittschaltwerk und die Bestückungsseite der Platine.

Electroniques Marin“ handelt. Dieses nahm 1970 seinen Betrieb auf, was in etwa mit dem geschätzten Baujahr dieser Uhr übereinstimmt.

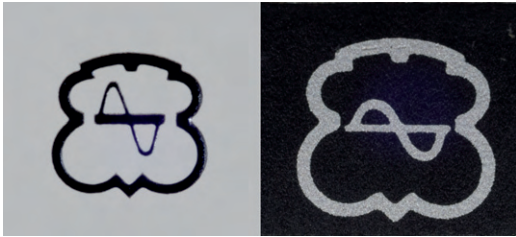


Abb. 12: Bildmarken von Zifferblatt und Typenschild.

Um eine Aussage über den Gang der Uhr treffen zu können, wurde die Uhr während eines Zeitraums von zehn Tagen mit einer Funkuhr verglichen. Die Uhr lief hierbei bei Zimmertemperatur und zeigte eine gemittelte Gangabweichung von unter $-0,1$ s/Tag.

Zur Überprüfung der Temperaturabhängigkeit wurde der Quarzoszillator der Uhr bei einer Umgebungstemperatur von $24,5$ °C auf 12.000 Hz abgeglichen. Nachdem das Chronometer 24 Stunden in einem Kühlschrank auf $5,2$ °C abgekühlt wurde, konnte eine Oszillatorfrequenz von $12.000,075$ Hz gemessen werden. Hieraus errechnet sich ein Temperaturkoeffizient von $-3,886 \cdot 10^{-3}$ Hz/°C, was einem täglichen Fehler von $-27,93 \cdot 10^{-3}$ s/°C entspricht.

Zur Frequenzmessung wurde eine Vergleichsfrequenz mit einem Frequenzsynthesizer Adret 3100B erzeugt. Dieser liefert eine Ausgangsfrequenz von $0,01$ Hz bis $199.999,99$ Hz in $0,01$ -Hz-Schritten. Der Frequenzsynthesizer wurde zur Erhöhung der Frequenzstabilität extern mit 10 MHz aus einem Rubidium-Frequenznormal Raca-Dana 9475 versorgt.

Wenn man die gesamte Elektronik dieser Uhr betrachtet, kann man behaupten, dass die Konstrukteure noch weitgehend der Analogtechnik verhaftet gewesen waren und keinen Versuch unternommen haben, die Uhr in digitaler Technik auszuführen, deren Grundlagen zu dieser Zeit bereits bekannt waren.

Vielleicht macht aber gerade dieser Sachverhalt diese Uhr als Zeitzeuge der frühen Entwicklung der Quarzuhr so interessant.

Nachdem ich die Beschreibung dieser Uhr schon beendet hatte, kam ich noch in den Besitz einer zweiten Uhr dieses Typs, die sich äußerlich nur unwesentlich von der ersten unterscheidet. Auf der Frontplatte fehlt die Buchse für die Oszillatorfrequenz und anstelle von 2 Hz wird ein 1 -Hz-Signal herausgeführt. Das Erstaunlichste aber war, daß als Hersteller auf Zifferblatt und Typenschild nicht Ebauches, sondern Oszilloquartz stand. Beide Uhren sind jedoch mit der gleichen Bildmarke auf Zifferblatt und Typenschild markiert. Das aktuelle Firmenzeichen der Firma Oszilloquartz, die heute zur SMH-Gruppe gehört, beinhaltet die gleiche Sinuskurve, jedoch mit einer anderen Umrahmung, wie wir sie auf beiden Uhren sehen (Abb. 12). Während die Frontplatten beider Uhren die Typenbezeichnung B-1390 tragen, ist auf dem Typenschild der Uhr von Oszilloquartz die Type B-1390c eingepreßt. Dieses lässt auf eine geänderte Ausführung schließen.



Abb. 13: Zifferblattseite des Marine-Chronometers Oszilloquartz B-1390c.

Eine Betrachtung der Elektronik zeigt, dass es sich um eine deutliche Weiterentwicklung des ersten Chronometers handelt. Die Schaltung des Quarzoszillators ist bei beiden Uhren noch weitgehend identisch aufgebaut, jedoch konnte beim Modell B1390c eine Quarzfrequenz von 8192 Hz (2^{13} Hz) gemessen werden, die es er-

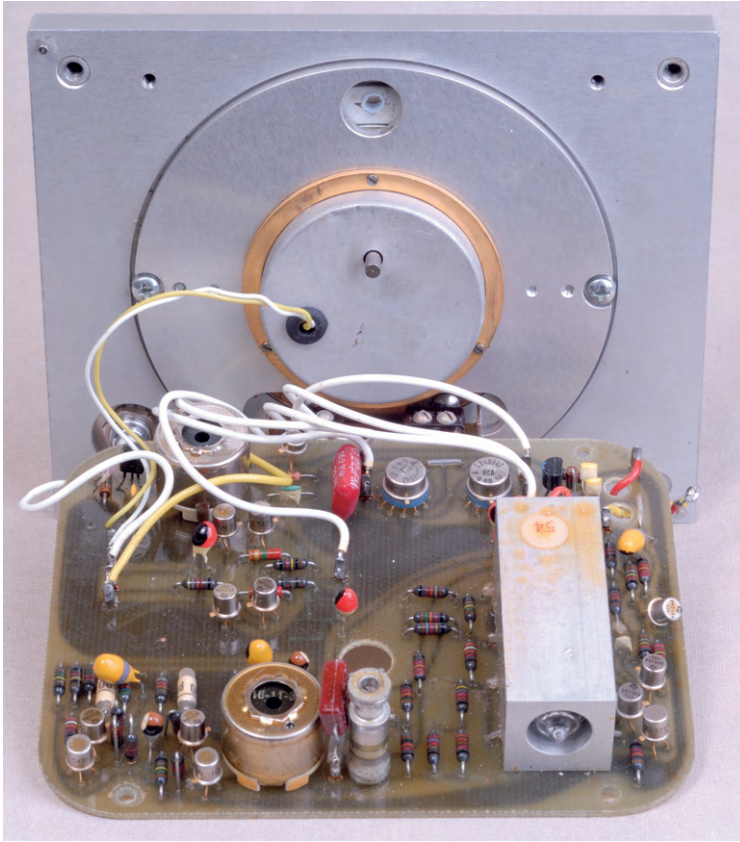


Abb. 14: Blick auf das Schrittschaltwerk und die Bestückungsseite der Platine (B-1390c).

möglichst, die an der Frontplatte herausgeführte 1-Hz-Frequenz mit einem 13-stufigen Binärteiler zu erzeugen.

Der zum Frequenzteiler gehörende Teil der Platine, in Abb. 14 annähernd die hintere Hälfte, ist nur mit wenigen passiven Bauteilen und einigen Transistoren bestückt. Bei dieser Uhr wird die Frequenzteilung von zwei Binärzählern übernommen. Es handelt sich um zwei integrierte Schaltungen (IC) vom Typ CD4004T des Herstellers RCA. Der Frequenzteiler wurde also in der heute noch üblichen Ausführung mit digitalen Binärteilern ausgeführt. Allerdings ist die Quarzfrequenz von 8192 Hz sehr niedrig. Heutzutage werden normalerweise 32.768 Hz (2^{15} Hz) bei tragbaren Uhren oder bei manchen größeren Uhren wie

z. B. dem Schiffs-Chronometer Typ 1-71 von GUB 4.194.304 Hz (2^{22} Hz) benutzt.

Diese beiden Modelle des Marine-Chronometer B-1390 sind ein hervorragendes Beispiel der frühen Quarzuhrentwicklung. Sie zeigen deutlich den Übergang von diskreten Transistoren zur integrierten Schaltung, wobei jedoch bei der B1390c noch eine Mischform zur Verwendung kommt. Es wird hier auch der Übergang von der Analogtechnik zur Digitaltechnik deutlich vor Augen geführt. Besonders interessant erscheint es mir, dass hier anhand zweier Varianten eines Uhrenmodells ein bedeutender Schritt in der Entwicklung der Quarzuhrentechnik dokumentiert werden konnte. Für die Hilfe bei der Beschaffung weiterer Informationen über diese Uhren, insbesondere von Schaltbildern, wäre ich dankbar.

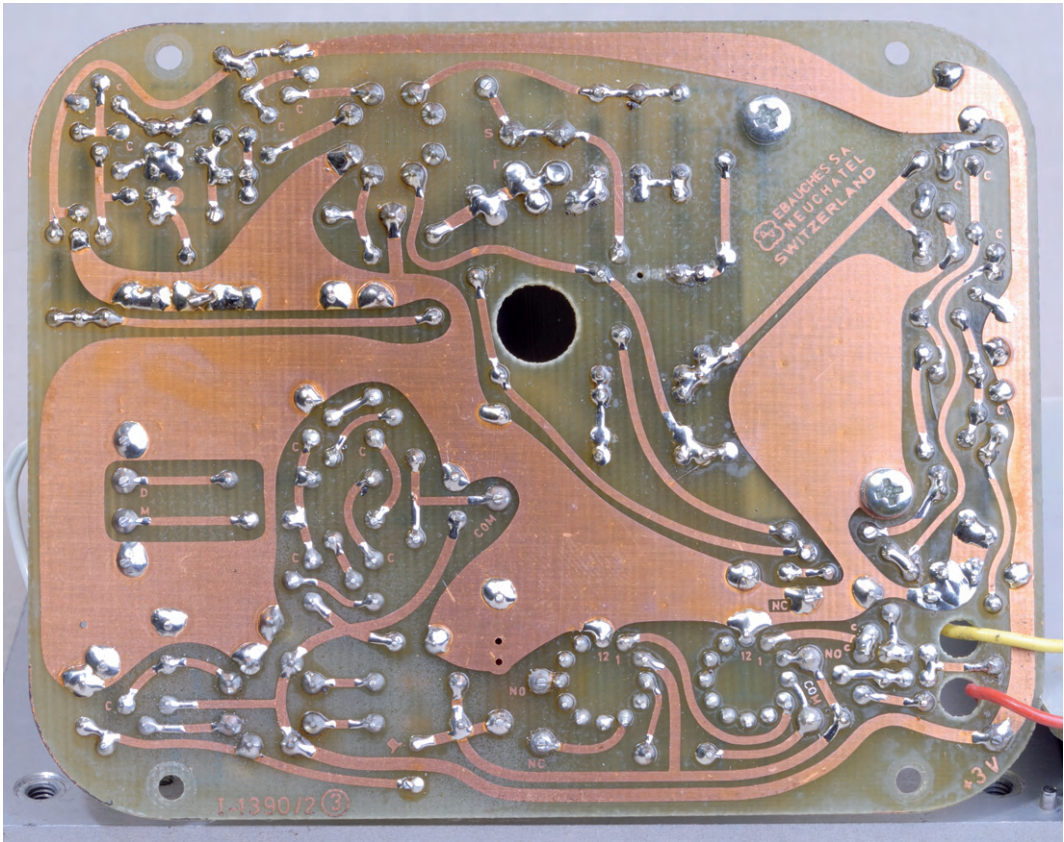


Abb. 15: Leiterbahnseite der Platine (B-1390c).

Technische Daten (Ebauches B-1390):

| | |
|-----------------------------|--|
| Hersteller: | Ebauches SA, Schweiz |
| Modell: | B-1390 |
| Seriennummer: | 229 |
| Zeitanzeige: | Analog mit Sekunden- anzeige in 0,5-s-Schritten |
| Höhe: | 85 mm |
| Breite: | 137 mm |
| Tiefe: | 112,5 mm |
| Gewicht: | |
| (inkl. Batterien): | 2,3 kg |
| Stromversorgung: | 3 X LR20 (Mono) |
| Stromaufnahme: | 1 mA |
| Quarzfrequenz: | 12 kHz |
| Temperatur- koeffizient: | $-3,886 \cdot 10^{-3} \text{ Hz/}^{\circ}\text{C}$ |

Technische Daten (Oszilloquartz B-1390c)

| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| soweit abweichend und bekannt: | |
| Hersteller: | Oszilloquartz SA, Schweiz |
| Modell: | B-1390c |
| Seriennummer: | 363 |
| Stromversorgung: | 2 X LR20 (Mono) |
| Quarzfrequenz: | 8192 Hz |

Literaturnachweis:

- [1] LUCIEN F. TRUEB, Zeitzeugen der Quarzrevolution, Editions Institut L'homme et le temps, 2006, La Chaux-de-Fonds, Schweiz