

Die ersten Quarzarmbanduhren in der Schweiz und in Japan

Autor(en): **Trueb, Lucien F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **82 (2010)**

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-378471>

Nutzungsbedingungen

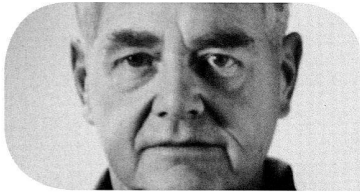
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

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

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

Haftungsausschluss

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



Die ersten Quarzarmbanduhren in der Schweiz und in Japan

Dipl. Ing.-Chem., Dr. sc. techn.
ETHZ, Dr. phil. h.c. Lucien
F. Trueb

Geboren 1934 in Zürich, Studium der Chemie an der ETHZ, Promotion im Bereich Physikalische Chemie und Elektrochemie. Nach einem Jahr an der Abt. Seltene Metalle der CIBA Basel elf Jahre industrielle und akademische Forschung in den USA (DuPont bzw. University of Denver) mit Schwerpunkt Materialwissenschaften und physikalische Metallurgie. Von 1972 bis 1997 Leitung des Ressorts Forschung und Technik der NZZ. Seither frei arbeitender Wissenschaftsjournalist und Buchautor.

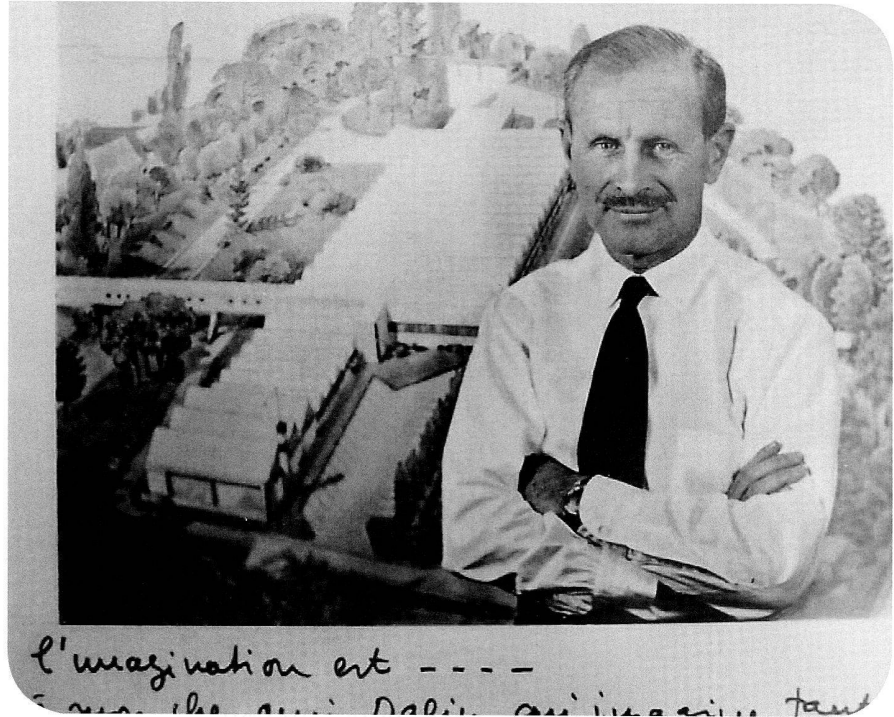


Bild 1: Fred Lip, der 1952 ungewollt die Quarzrevolution auslöste. (Foto: Privatarhiv L. Trueb)

Die «Elektrifizierung» der Armbanduhr verlief in drei Phasen und begann in den frühen 1950er-Jahren. Auf die elektromechanischen und elektrodynamischen Uhrwerke mit Unruhmotor – zuerst kontaktgesteuert, dann transistorgesteuert – folgte 1960 die Stimmgabeluhr mit elektronisch angeregtem Schwingkörper. Die ersten analog (mit Zeigern) anzeigenden Quarzarmbanduhren wurden unabhängig voneinander in der Schweiz bzw. in Japan entwickelt und 1968 zeitgleich vorgestellt. Zwei Jahre später folgte in den USA die erste digital anzeigende Armbanduhr mit Leuchtdiodenanzeige. Sie wurde bald verdrängt von viel billigeren Uhren mit Flüssigkristallanzeige. Diese neuartigen Zeitmesser lösten eine wahre Revolution aus, die eine sehr weitgehende Umstrukturierung der Uhrenindustrie zur Folge hatte. Heute sind über 99 Prozent der weltweit produzierten Uhren quarzgesteuert; die Mikromechanik hat sich in den Luxussektor zurückgezogen.

The «electrification» of the wristwatch proceeded in three phases and began in the early 1950s with electro-mechanical and electrodynamic movements with balance wheel motor. They were contact controlled at first, but eventually transistors were added to avoid spark erosion of the contacts. The electronically excited tuning fork watch «Accutron» followed in 1960. Analog quartz wristwatches

were developed fully independently from each other in Switzerland and in Japan; they were presented to the media in early 1968. Two years later, the first digital quartz watch with light emitting diode display appeared in the United States. It was soon replaced by much cheaper digital watches with liquid crystal display. These entirely new timepieces triggered a true revolution that led to a complete restructuring of the watch industry. Today, over 99 percent of the watches produced worldwide are quartz while micro-mechanical timepieces have found a niche in the luxury sector.

Mindestens im Bereich der grundlegenden Erfindungen gab es im Fall der Quarzarmanduhr keinen nennenswerten Wissens- und Technologietransfer zwischen der Schweiz und Japan. Die analog anzeigende Quarzarmanduhr wurde nämlich völlig unabhängig am Centre Electronique Horloger (CEH) in Neuchâtel und bei Seiko in Suwa (Japan) entwickelt. Bemerkenswert ist, dass beide Gruppen fast gleichzeitig – d.h. innerhalb weniger Wochen – ans Ziel kamen.

Natürlich gab es z.T. weit zurückliegende, aber grundlegende Technologie-Transfers nach Japan, das sich ja erst 1853 dem Westen öffnete. So begann Kintaro Hattori (1860 bis 1934), Urvater von Seiko und der japanischen Uhr, seine Karriere als Unternehmer 1892 mit einem Amerika-Japan-

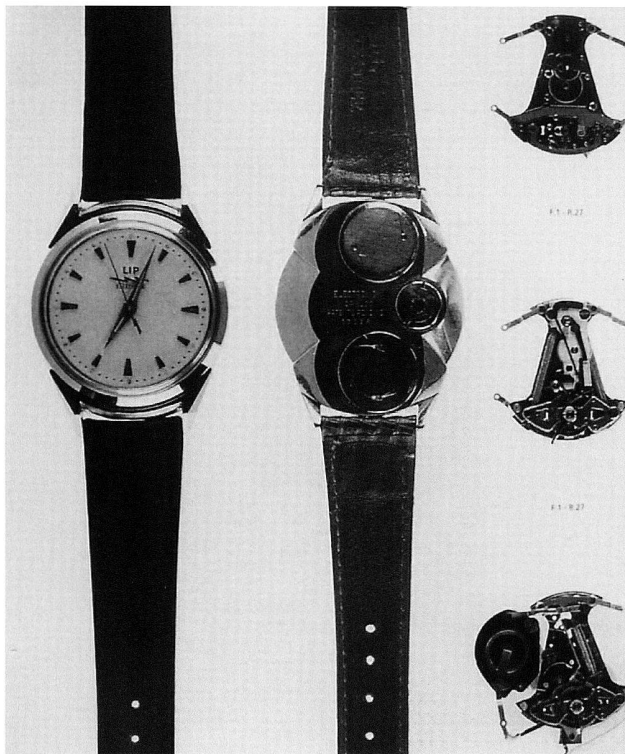


Bild 2: Das elektromechanische Kaliber R27 von LIP.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

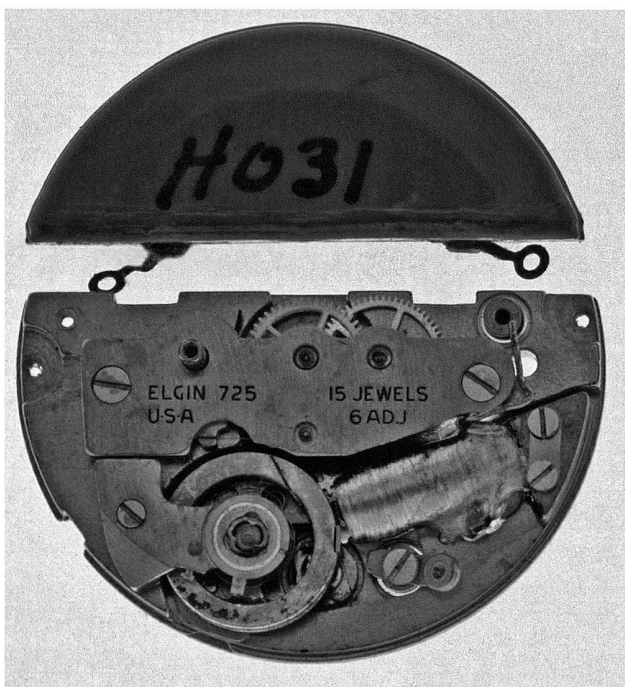


Bild 3: Das elektromechanische Elgin-Kaliber 725.
(Foto: H.R. Bramaz)

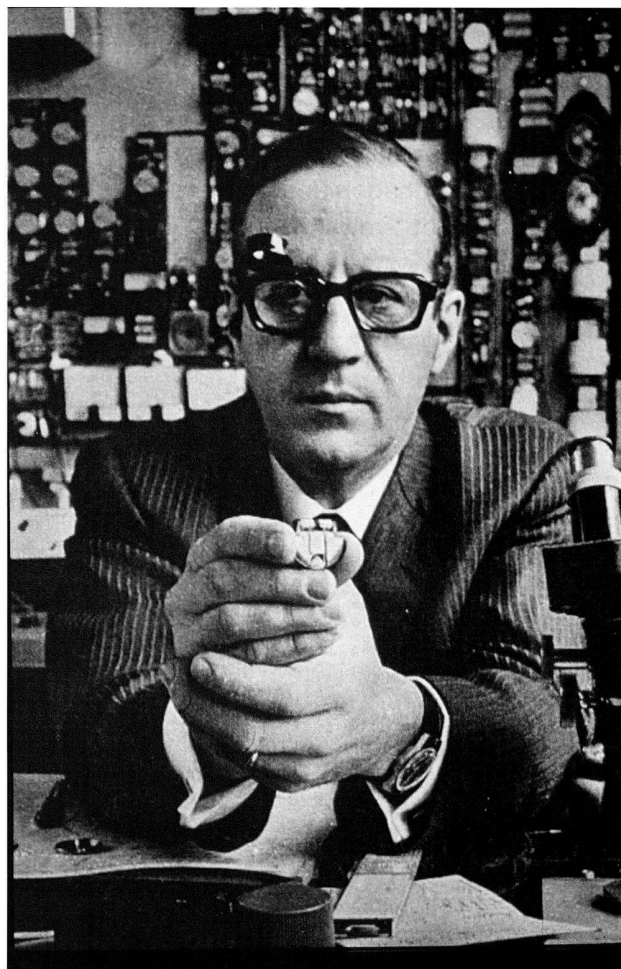


Bild 4: Max Hetzel, der Erfinder der Stimmgabeluhr Accutron.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

Technologie-Transfer. Er kopierte nämlich eine in den USA enorm erfolgreiche Wanduhr, die sog. Waterbury Clock aus Connecticut, die er sogar nach China exportierte.

Hattori verkaufte auch Schweizer Taschenuhren und kam zur Überzeugung, dass er qualitativ einwandfreie Uhren dieser Art selbst fertigen könnte. Er begann mit Schweizer Ebauches, die er ab 1895 vor Ort veredelte und montierte. Nach und nach gelang ihm die Fertigung aller Teile der Taschenuhr. Seine Produkte trugen die Marke Seikosha, was Präzision bedeutet. Hattori unternahm 1899 eine Weltreise, in deren Lauf er auch die Schweiz besuchte und dort spanabhebende Metallbearbeitungsmaschinen der höchsten Präzisionsklasse einkaufte – ein weiterer Technologie-Transfer Schweiz-Japan.

1950: Elektromechanische Uhrwerke

Die Quarz-Armbanduhr entstand über verschlungene Pfade und mehrere internationale Technologie-Transfers. Alles begann mit Fred Lip, der die Uhrenfabrik LIP in Besançon führte und auch die Aktienmehrheit des Unternehmens besass. Nach der Befreiung von Besançon von der deutschen Besatzung gab Lip 1945 seinen Ingenieuren die Weisung, die Armbanduhr zu elektrifizieren. Ausgangspunkt war eine in Zusammenarbeit mit der schwedischen Ericsson schon in den 1930er-Jahren entwickelte elektrische Tischuhr mit Unruhmotor und Kontaktsteuerung. Der erste Prototyp des elektromechanischen LIP-Kalibers R27 wurde 1952 von Fred Lip persönlich der prestigeträchtigen Académie des Sciences in Paris vorgeführt. Es vergingen dann noch sechs Jahre, bis die Serienproduktion anlaufen konnte.

Im Lauf dieser Entwicklung hatte es sich gezeigt, dass die amerikanische Elgin an einer ähnlichen Uhr arbeitete. Es ergab sich eine lockere Zusammenarbeit zwischen LIP und Elgin, die elektrische Elgin 725 wurde in Chicago am Tag des Vortrags von Fred Lip in Paris vorgestellt.

Arde Bulova, Präsident der Bulova Watch Company und Sohn von deren Gründer Joseph Bulova, wurde durch diese Mitteilungen aufgeschreckt. Kam ein elektronisches Uhrenzeitalter auf ihn zu? Was war zu tun? Um Rat zu holen, flog er in die Schweiz, wo er in Biel seine Uhrwerke herstellen liess. Er traf sich dort mit einem jungen Elektroingenieur namens Max Hetzel, den man zur Automatisierung der Produktionsmaschinen angestellt hatte.

Hetzel erhielt den Auftrag, für den grossen Chef ein Gutachten über die LIP-Elgin-Entwicklungen zu schreiben. Dieser Bericht war ziemlich niederschmetternd, denn der einzige Vorteil der elektromechanischen Uhr war anscheinend eine Gangautonomie von gut einem Jahr. In einer Knopfzelle liess sich nämlich rund hundertmal mehr Energie speichern als in einer Feder. Zudem sah Hetzel gravierende Probleme mit der Kontaktsteuerung voraus: Die Funkenbildung an den Kontakten würde über kurz oder lang jedes Metall zerstören. In einer Fussnote erwähnte er noch, dass man eine viel bessere Uhr auf der Basis einer elektronisch angeregten Stimmgabel bauen könnte, die als Zeitbasis und als Motor dienen würde. Diese geniale Idee basierte auf Hetzels Diplomarbeit an der ETH, deren Thema elektronisch angeregte Lamellen und Stimmgabeln gewesen war.

1960: Stimmgabeluhr Accutron

Die Stimmgabeluhr wurde Ende 1953 in der Schweiz patentiert. Hetzel durfte dann «seine» Uhr entwickeln, zuerst in Biel, dann am Bulova-Stammsitz in der Nähe von New York. Sie erhielt den Namen Accutron und wurde 1960 lanciert: Es war die erste wirklich elektronische Uhr, beinhaltet sie doch einen Transistor. Überall war man begeistert: Die Russen

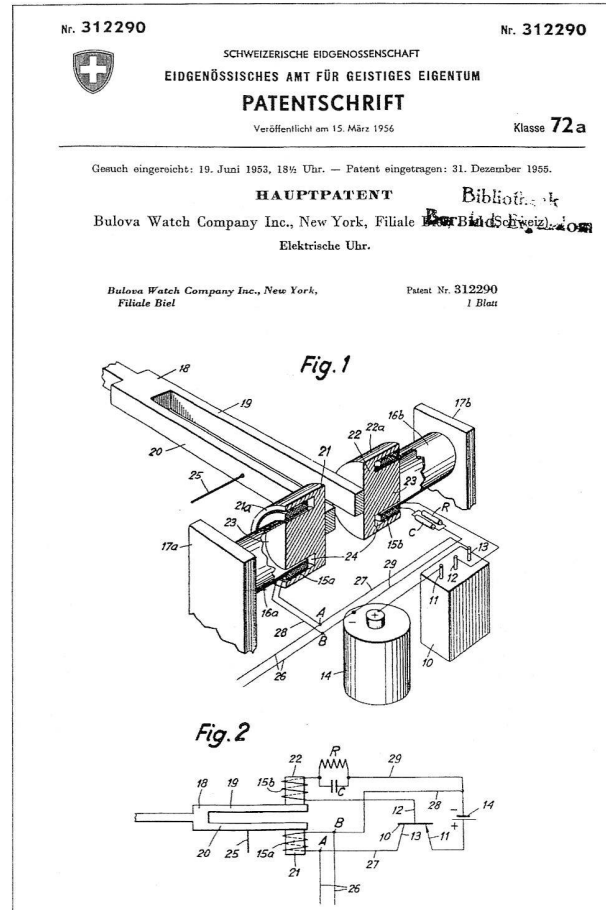


Bild 5: Hetzels Schweizer Patent von 1953.
[Foto: Privatarchiv L. Trueb]

bauten die Accutron ohne Skrupel nach und nannten sie Kamertoni. In Japan und in der Schweiz war man frustriert, denn Hetzels Patent erwies sich als nicht umgehbar. Zudem verkaufte Bulova bis 1967 keine Lizenzen auf ihre Patente.

Es war klar geworden, dass die Elektronik künftig eine wichtige Rolle in der Uhrentechnik spielen würde. Wenn man schon die Stimmgabeluhr nicht nachbauen durfte, beschloss man sowohl in Japan als auch in der Schweiz, etwas noch besseres zu entwickeln: eine Quarzuhr im Armbanduhrenformat. Wie einleitend erwähnt, gelang dies in Neuchâtel und in Suwa praktisch gleichzeitig – ganz ohne Technologie-Transfers.

CEH versus Seiko Suwa

Sehr wahrscheinlich begann die weltweit erste Quarz-Armbanduhr im Sommer 1967 am CEH in Neuchâtel zu ticken. Es gibt dazu keine Laborjournale oder interne Berichte mehr, aber ein Datum steht fest:

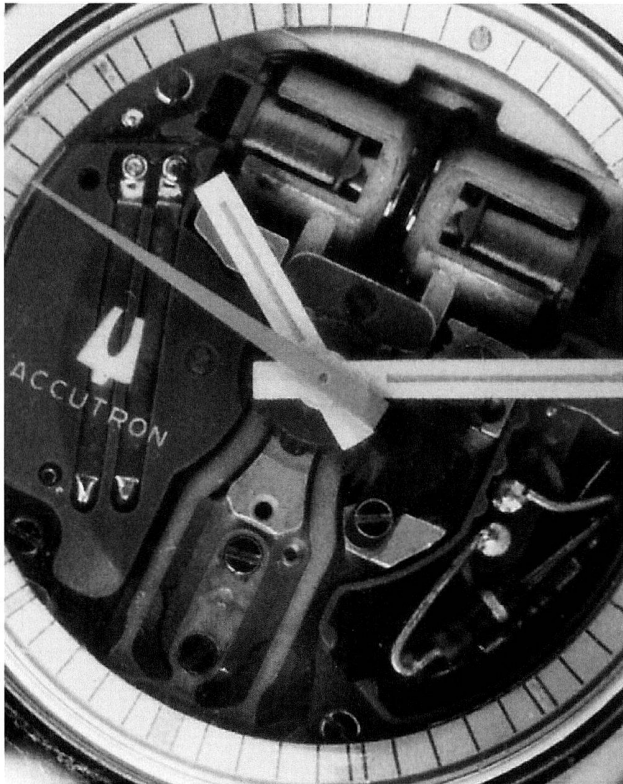


Bild 6: Die Stimmgabeluhr Accutron von Bulova.
(Foto: Privatarhiv L. Trueb)



Bild 7: Die drei Schweizer «Quarzrevolutionäre».
Von links: René Le Coultre, Roger Wellingner und Max Forrer.
(Foto: Privatarhiv L. Trueb)

Laut den akribisch geführten Büchern des Observatoriums Neuchâtel wurde am 13. August 1967 mit den 45 Tage dauernden Tests des ersten CEH-Quarzarmbanduhren-Prototyps begonnen. Bis im November wurden insgesamt elf der sog. Beta-Kaliber am Observatorium hinterlegt, in der Regel ein bis zwei Wochen, nachdem sie im Labor zufriedenstellend liefen.

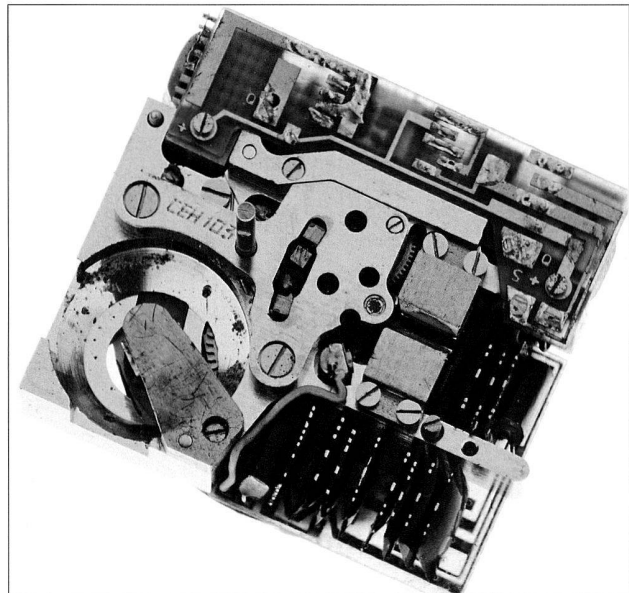


Bild 8: Der Quarzprototyp Beta 1 vom Centre Electronique Horloger (CEH) in Neuchâtel (1967). (Foto: H.R. Bramaz)

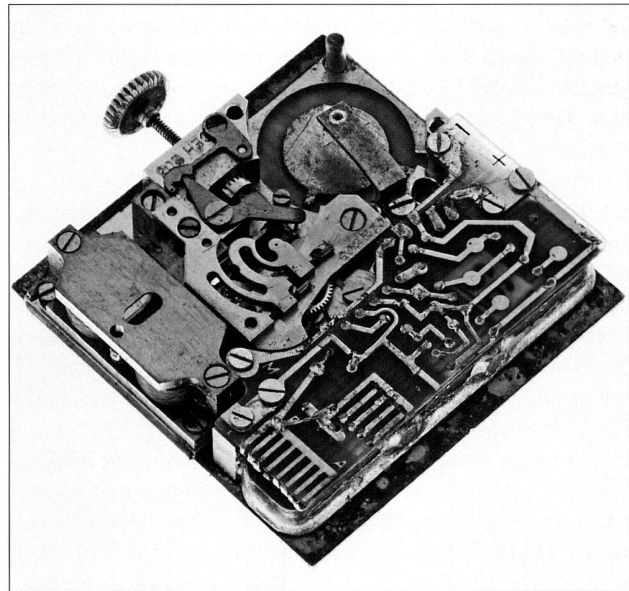


Bild 9: Der Quarzprototyp Beta 2 vom Centre Electronique Horloger (CEH) in Neuchâtel (1967). (Foto: H.R. Bramaz)

In der ersten Novemberwoche traf am Observatorium Neuchâtel ein Luftpostpaket von Seiko in Japan ein. Es enthielt fünf Quarzwerk-Prototypen im Armbanduhrenformat; eines davon hatte den Transport nicht überlebt, für die restlichen vier begannen die Tests am 11. November 1967. Alle vier wurden prämiert und erhielten die Ränge 11, 13, 14 und



Bild 10: Tsuneya Nakamura, Leiter des Quarzuhrenprojekts der Seiko in Suwa.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

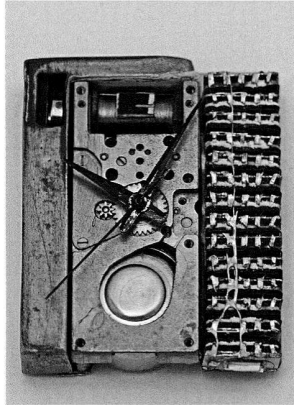


Bild 11: Der Seiko Suwa Quarzuhren-Prototyp (1967).
(Foto: H. R. Bramaz)



Bild 12: Beta 21, die kommerzielle Version der Beta 2.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

15, während die Schweizer Quarzwerke die zehn ersten Plätze sowie Platz 12 belegten. Das hatten sie einem Trick zu verdanken. Am CEH wusste man nämlich, dass die Tests am Observatorium nicht nur bei Raumtemperatur, sondern auch bei $+4^{\circ}\text{C}$ und bei $+36^{\circ}\text{C}$ durchgeführt wurden. Dabei musste sich der Pferdefuss des Quarzresonators unangenehm bemerkbar machen: Seine Frequenz ist nämlich stark temperaturabhängig.

Um dies auszugleichen, schalteten sich bei den Schweizer Prototypen automatisch in Funktion der Temperatur Kondensatoren in Serie mit dem Quarz, und man erreichte spektakuläre Noten von 0,15 bis 0,33 (null wäre perfekt). Dies entspricht einem Gangfehler von 0,1 bis 0,2 Sekunden pro Tag. Die Seiko-Uhrwerke (ohne Thermokompensation) erzielten Noten zwischen 0,30 und 1,61. Zum Vergleich: Mit einem extrem hochgezüchteten mechanischen Chronometer erreicht man mit viel Können und Glück die Note 2 oder sogar etwas darunter.

Quarzresonator und Frequenzteilung

Es ist interessant, die ganz unabhängig voneinander in Neuchâtel bzw. Suwa entwickelten Quarzwerke zu vergleichen. Beide verwendeten als Oszillator einen Quarzkristall mit einer Resonanzfrequenz von 8192 Hz. Doch in Japan war er stimmgabelförmig geschliffen, in der Schweiz war es ein Balken. Die Frequenzteilung erfolgte in beiden Fällen durch mehrfache Teilung durch zwei, um schliesslich einen Motor anzusteuern. Das Problem der Teilung wurde ganz verschiedenartig gelöst. In Suwa, wo ein Team von etwa 20 Seiko-Leuten unter der Leitung von Tsuneya Nakamura an der Quarzuhr arbeitete, verwendete man eine Schaltung aus diskreten Komponenten.

Es handelte sich um 76 winzige Transistoren, 84 Widerstände und 29 Kondensatoren, die kunstvoll verlötet alle zusammen in schwarzem Kunststoff vergossen waren. Ihre Aufgabe war es, das Quarzsignal 11-mal durch 2 zu dividieren. Diese Art von Schaltung hatte gegenüber den damaligen integrierten Schaltungen des bipolaren Typs den Vorteil einer viel geringeren Stromaufnahme. Mit dem 1-Hz-Signal alternierender Polarität wurde nach Verstärkung ein sog. Schrittschaltmotor des Ankertyps angesteuert.

Ganz anders ging das bis 90-köpfige Team am Centre Electronique Horloger (CEH) unter der Leitung von Roger Wellinger vor. An diesem von der Uhrenindustrie gemeinsam finanzierten Institut wurde die erste Silicon Foundry der Schweiz aufgebaut, um eigene integrierte Schaltungen fertigen zu können. Natürlich in der damals gängigen, leider viel Leistung aufnehmenden Bipolartechnik, obwohl sie durch Integration hochohmiger Widerstände in das Silicium deutlich weniger «gefrässig» gemacht wurde.

Doch der Betrieb mit einer Quecksilberoxidbatterie während eines Jahres – eine Bedingung für eine verkäufliche Uhr – schloss eine bipolare integrierte Schaltung mit 11 Teilerstufen aus. Der Kompromiss war eine fünffache Teilung von 8192 Hz durch 2, was 256 Hz ergab. Damit konnte man einen Vibratormotor betreiben, die vibrierende Lamelle stiess über ein Klinkensystem ein Zahnrad immer einen Zahn weiter voran, sodass man eine Drehbewegung zum Antrieb des Getriebes und letztlich der Zeiger hatte. Der Prototyp dieser Art hiess Beta 2 und wurde später als Beta 21 kommerzialisiert.

Sensationelle Resultate

Parallel zu Beta 2 wurde am CEH die Entwicklung eines weiteren, Beta 1 genannten Prototyps vorangetrieben. Beim Be-

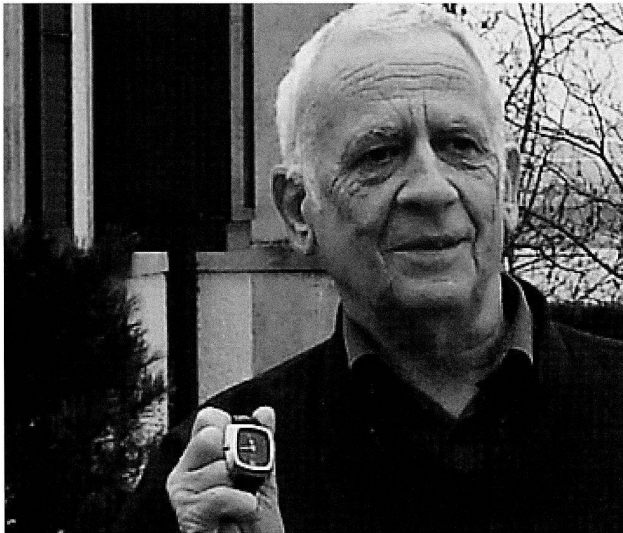


Bild 13: Jean Hermann, der 1967 alle Beta-1- und Beta-2-Prototypen ans Observatoire de Neuchâtel brachte. (Foto: Privataarchiv L. Trueb)

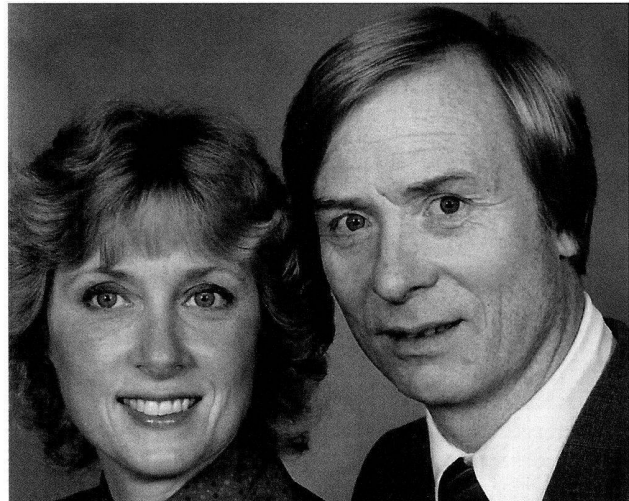


Bild 15: Jürgen Staudte, Erfinder des Fotolithografischen Quarzresonators in Stimmgabelform, mit seiner Frau Marcy. (Foto: Privataarchiv L. Trueb)

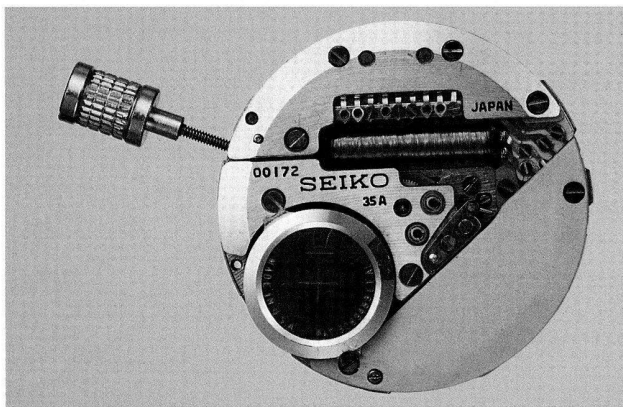


Bild 14: Die Ende 1969 lancierte Seiko Astron. (Foto: Privataarchiv L. Trueb)

ta 1 teilte man die Quarzfrequenz 11-mal durch zwei und trieb mit dem 1-Hz-Signal einen Ankermotor an. In diesem Fall hatte die Batterie nur eine Lebensdauer von drei Monaten, doch dies reichte für den Concours d'Observatoire. Man rechnete damit, dass früher oder später stromsparende integrierte Schaltungen verfügbar würden, 1967 ging es nur um den Machbarkeitsbeweis der Quarzarmbanduhr. Jedenfalls gehörte der erste, ab dem 13. August 1967 am Observatoire geprüfte Prototyp zum Typ Beta 1. Es folgten für den Concours vier weitere Kaliber dieser Art. Die sechs anderen für den Concours am CEH gebauten Prototypen gehörten zum Typ Beta 2.

Anfang 1968 wurden die sensationellen Resultate des Concours bekannt gegeben. Doch nach einer Welle der Eu-

phorie glätteten sich in der Schweiz bald die Wogen. Die hiesige Uhrenindustrie wusste nicht, was sie mit dem neuen Produkt anfangen sollte. Schliesslich einigte man sich halbherzig darauf, eine Serie von 6000 überarbeiteten Kalibern Beta 2 unter der Bezeichnung Beta 21 zu produzieren – je zu einem Drittel bei Ebauches Electroniques Marin, Omega in Biel und einem ad hoc geschaffenen Atelier in Yverdon. Das CEH hielt man mit Aufträgen wie die Kaliber Beta 3 und 4 sowie Gamma und Delta auf Trab. Ganz anders war es in Japan. Schon bei der Entwicklung hatten zwei Leute des Teams in Suwa die Aufgabe, die Industrialisierung des Kalibers voranzutreiben. Seiko ging es vor allem um ein praxistaugliches Quarzwerk, das kostengünstig in grossen Serien fabrizierbar war.

Mikroelektronische Technologie-Transfers

Nach dem Concours ging in Japan (im Gegensatz zur Schweiz) alles verblüffend rasch: Schon am zweiten Weihnachtstag 1969 wurde die erste Serie von 100 Seiko Astron mit dem Quarzkaliber 35SQ in den vornehmen Geschäften Tokyos zum Verkauf angeboten.

Das Goldmodell kostete 45000 damalige Yen. Obwohl die Seiko-Leute nicht sagen wollen oder können, wann ihr erster Prototyp im Labor lief, überlassen sie die technische Priorität der Quarz-Armbanduhr stillschweigend den Schweizern, nehmen aber die kommerzielle Priorität für sich in Anspruch. Das Astron-Folgemodell von 1971 war bereits mit einer extrem energiesparenden CMOS-Schaltung von Intersil und einem 16-kHz-Stimmgabel-Quarzresonator ausgerüstet. Im folgenden Jahr erfolgte mit der Kaliberfamilie 39 der Über-

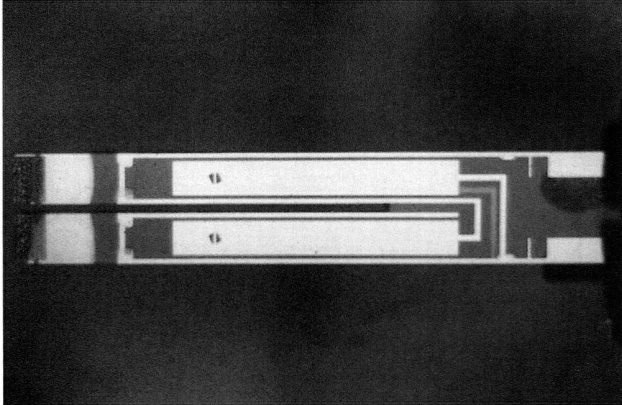


Bild 16: Fotolithografisch hergestellter Quarzresonator.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

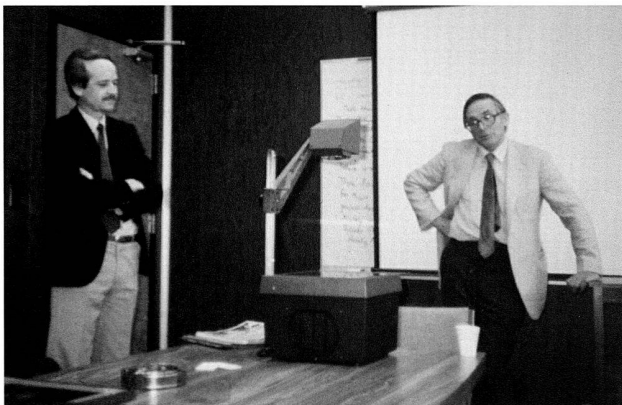


Bild 17: Jean Hoerni (an der Wandtafel), stehend Luc Bauer.
(Foto: Privataarchiv L. Trueb)

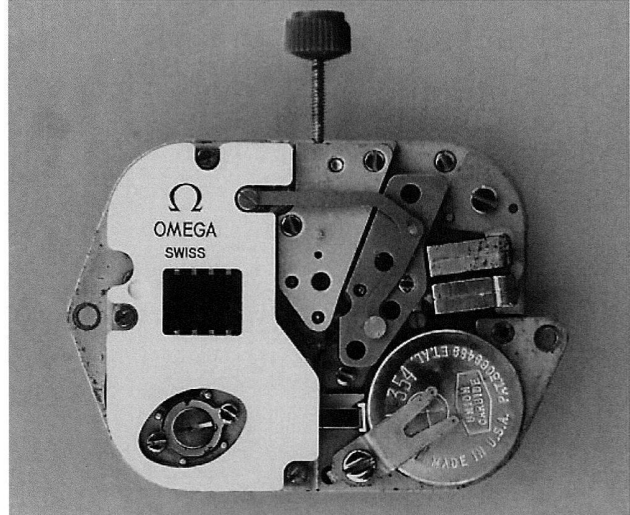


Bild 18: Die Omega Megaquartz 2400. (Foto: Privataarchiv L. Trueb)

gang zur Resonatorfrequenz von 32 kHz, die zum Industriestandard wurde.

Seiko war 1973 erste Lizenznehmerin der kalifornischen Firma Statek, die von einem DDR-Flüchtling namens Jürgen Staudte gegründet worden war. Staudte hatte ein Verfahren zur fotolithografischen Herstellung von Stimmgabelquarzen entwickelt, das letztlich eine Verbilligung um einen Faktor 1000 brachte. Staudte hatte die Lizenz auf sein Patent zuerst der Schweizer Uhrenindustrie angeboten, doch war man hierzulande nicht interessiert. Dem NIH-Prinzip (Not Invented Here) war man damals noch voll verschrieben. So trieb man Staudte in die Arme von Seiko, wo man das Potenzial der Erfindung gleich erkannte und die Lizenz kaufte. Hier haben wir also einen USA-Japan-Technologie-Transfer. Mehrere Jahre später erkannte man bei ETA den Fehler und musste dann für die Statek-Lizenz fünfmal mehr bezahlen als Seiko.

Ähnlich ging es übrigens dem Amerikaschweizer Jean Hoerni, einem echten Genie mit zwei Doktorhüten, der we-

sentliche Elemente der heute noch überall dominierenden, extrem stromsparende CMOS-Halbleitertechnik mit Feldeffekt-Transistoren entwickelte. Insbesondere machte er diese Technologie für den Betrieb bei Spannungen von nur 1 Volt und darunter tauglich – genau was man für Quarzuhren brauchte. Hoerni gründete in Kalifornien die Firma Intersil, die später den Ableger Eurosil in München aufbaute. Doch in der Schweiz war man einmal mehr nicht interessiert. So bot Hoerni seine Patentlizenzen Seiko an, wo man gleich zuschlug und Intersil IC verwendete, bis man in der Lage war, CMOS-Uhrensaltungen nach Hoerni selbst massenweise zu produzieren.

Selektion des Tüchtigsten

Es scheint, dass die Quarzarmbanduhr insgesamt mindestens achtmal erfunden wurde. Allerdings waren das CEH und Seiko-Suwa die echten Pioniere. Doch auch Omega ist er-

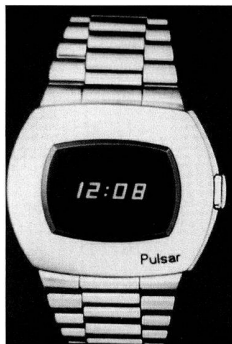


Bild 19: Die Pulsar von Hamilton.
(Foto: Privatarhiv L. Trueb)

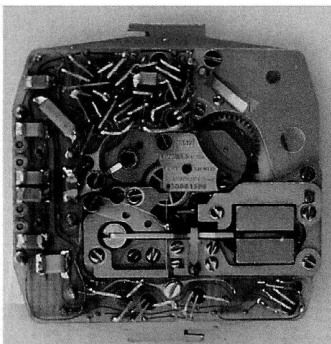
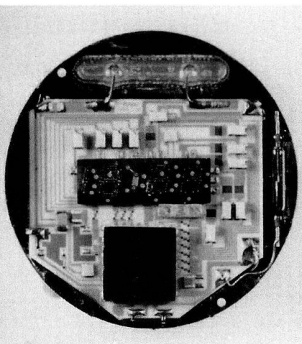


Bild 20: Die Ultra-Quartz von Longines. (Foto: H. R. Bramaz)

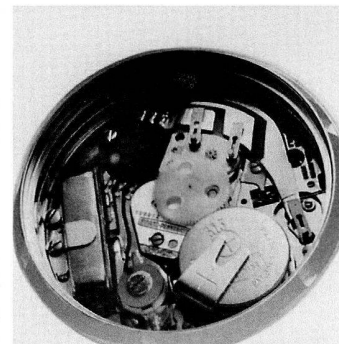


Bild 21: Die GP359 von Girard-Perregaux. (Foto: H. R. Bramaz)

wähnenswert: Sie gab dem Battelle-Forschungsinstitut in Genf schon 1955 den Auftrag zur Entwicklung einer Hochfrequenz-Quarzarmbanduhr. Die Produktion dieses Marinechronometers für das Handgelenk kam leider erst 1974 in Gang, als qualitativ hochwertige Quarzuhren aus Japan zu immer tieferen Preisen weltweit angeboten wurden. Die Omega Megaquartz 2400 wurde ein spektakulärer Flop.

Erwähnenswert ist auch Hamilton mit der digital anzeigenden Pulsar, der ersten vollelektronischen Armbanduhr ohne mechanisch bewegte Teile. Sie löste die Welle der Digitaluhr mit Flüssigkristallanzeige aus, heute ist es der preiswerteste Zeitmesser. Man kann ihn in den Entwicklungsländern für einige Dollar auf der Strasse kaufen, er kommt unweigerlich aus China. Die Produktion liegt bei 300 Millionen Stück pro Jahr.

Interessant sind zweifellos auch die Ultra-Quartz von Longines, die GP350 von Girard-Perregaux, die AFIF-Quarzuhr und das von Daini Seikosha unabhängig von Suwa entwickelte Kaliber 3922A. Nicht vergessen werden dürfen das 1971 in Deutschland bei Arctos entwickelte Quarzkaliber sowie die im gleichen Jahr vorgestellte Exachron R032 von LIP. Die beiden Letzteren waren weitgehend konventionell aufgebaut und profitierten von der schon zuvor mehrfach erwiesenen Erkenntnis, dass Quarzarmbanduhren machbar waren. Sobald dieses Geheimnis 1968 gelüftet wurde, konnte im Prinzip jedermann Quarzarmbanduhren bauen.

Für das Thema des Technologie-Transfers ist noch folgender Punkt interessant: Von den hier beschriebenen technischen Konzepten für Quarzarmbanduhrwerke hat nur eines längerfristig überlebt, alle anderen wurden vollständig vom Markt verdrängt. Als 1971 der zur Produktion von Quarzuhren und ihrer Komponenten gebaute Fabrikenkomplex von Ebauches Electroniques Marin eröffnet wurde, war die Beta 21 bereits ein Auslaufmodell. Sie war gross, schwer, teuer und nahm unsinnig viel Leistung auf. Es war eine typische «Labor-Uhr», kein massenfertigbarer Zeitmesser.

Das technische Design der in Marin gebauten Quarzwerke entspricht fast genau der dritten Generation der Seiko-Analogkaliber mit 32-KHz-Quarzresonator, die Anfang der 1970er-Jahre lanciert wurde. Dieses Konzept hat sich weltweit durchgesetzt. Mit der Ausnahme von einigen Zehntausend COSC-zertifizierbaren Quarzchronometern von ETA sowie der nur in Deutschland, Japan und China gefertigten Funkuhren werden heute Jahr für Jahr etwa 900 Millionen technisch fast identischer analog anzeigender Quarzuhrenwerke nach dem Seiko-Konzept produziert – auch in der Schweiz.

Dieses Konzept ist gekennzeichnet durch einen fotolithographisch hergestellten, stimmungsförmigen Quarzresonator von 32768 Hz und eine 15-stufige, binäre CMOS-Teilerschaltung, um Stromimpulse von 1 Hz zu erhalten. Auf demselben Chip sind die Oszillatorschaltung zum Anregen des Quarzresonators sowie die Motor-Ansteuerung integriert. Dazu kommen ein Lavet-Schrittschaltmotor und eine Silberoxid-Zinkbatterie. Eine gedruckte Schaltung verbindet alle diese Teile, die natürlich im Lauf mehrerer Jahrzehnte allesamt drastisch verbessert und enorm verbilligt wurden. Das Grundprinzip ist aber stets dasselbe geblieben und ist das frappante Beispiel eines Ost-West-Technologie-Transfers.