

Schwingquarze

Geschichte
und
Technik



Heinz Claus

Anmerkung des Herausgebers

Heinz Claus hat sehr detailliert recherchiert.

Leider wurden seine Bemühungen nicht immer von Erfolg gekrönt.

Sein Anliegen war es, in dieser *Dokumentation* der Nachwelt die Geschichte des Schwingquarzes in erzählender Form zu vermitteln. Er starb am 3.4.2004 im Alter von 77 Jahren ohne sein Werk vollenden zu können.

Nachdem auch sein letzter Nachkomme Joachim Claus kurze Zeit nach seinem Vater verstarb, gingen alle seine Unterlagen und das Museum in unbekannte Hände.

*„Es ist leider nichts mehr vorhanden!“ *)*

Sein mit viel Mühe handgeschriebenes Manuskript wurde von mir erfasst und nach seiner Anweisung korrigiert. Zeichnungen und Fotos wurden nach zum Teil sehr schlechten Kopien nach seinen Vorgaben von mir überarbeitet.

So weit es nicht aus dem Text hervorgeht, stammen die Fotos von Heinz Claus oder wurden in seinem Auftrag von mir erstellt, die weiteren Abbildungen stammen aus der Sammlung von Herrn Claus.

Herr Claus war kein Fachmann. So kann es durchaus sein, dass sich der eine oder andere sachliche Fehler eingeschlichen hat, gerade was Formeln etc. anbelangt.

So war in einigen Kopien von Zeichnungen die Beschriftung nicht eindeutig zu erkennen - handelte es sich z. B. um ein e oder θ (?).

Für den Techniker werden die Ausführungen möglicher Weise zu ausschweifend sein, aber das *Menscheln* hinter der Technik liest sich wie ein Krimi.

Vielleicht findet sich ja ein Interessierter, der dieses Manuskript überarbeitet und ergänzt, z. B. durch ein Stichwortregister.

Ich denke, das es das allemal wert ist.

Gäufelden im November 2018

Adalbert Helwig

*) außer diesem Manuskript (*siehe auch Seite 530*)

Adalbert Helwig · Sindlinger Straße 10/1 · D-71127 Gäufelden

E-Mail: adalberthelwig1@mac.com

Telefon: +49 7032 209962

Schwingquarze

Geschichte und Technik

von Heinz Claus †

aus dem
Nachlass

Sindelfingen
2004

Impressum

Heinz Claus – Schwingquarze – Geschichte und Technik

© Heinz Claus † 3 .4. 2004

Aus dem Nachlass

herausgegeben als Manuskript von Adalbert Helwig 2018

Es ist davon auszugehen, dass Herr Claus die Genehmigung zur Veröffentlichung der Dokumente und Abbildungen eingeholt hat.

Alle Rechte vorbehalten

Texterfassung, Fotografie, Reproduktion, Zusammenstellung

Adalbert Helwig – Gäufelden 2005

Inhaltsübersicht

Vorwort

Einleitung

Erstes Kapitel ***Die Geschichte der Piezoelektrizität***

Zweites Kapitel ***Piezoelektrische Materialien***

Die Kristallart Quarz

Die Kristallart Turmalin

Drittes Kapitel ***Synthetische Quarze***

Über einige andere synthetische piezoelektrische Kristalle

Viertes Kapitel ***Wie Schwingquarze entstehen***

Fünftes Kapitel ***Schwingquarze – Gestern – Heute – und Morgen***

Sechstes Kapitel ***Quarzoszillatoren***

Quarzfilter

Quarz-Thermostate

Siebttes Kapitel ***Firmenprofile***

Achtes Kapitel ***Schwingquarz-Museum Sindelfingen***

Epilog

Anhang

Inhaltsverzeichnis *Seiten 532/533*

*... Übrigens ist es viel schwerer, Geschichte
zu schreiben, als Geschichte zu machen!*

*Denn wenn man die Geschichte vergangener
Zeiten darstellen will, so bekommt man nur
mit Mühe die Quellen in die Hand,
um sich seiner Aufgabe gut zu entledigen.*

*Wenn man aber die Geschichte der Gegenwart
niederschreibt, so ist es schwer,
alle Welt zufriedenzustellen. ...*

Prinz Eugen von Savoyen
an J. Rousseau, 1712

Vorwort

In der Geschichtsschreibung, welche das große Gebiet der Funktechnik betrifft, wurde der Schwingquarz bisher relativ stiefmütterlich betrachtet. Dieses wichtige Bauelement ist auch in der heutigen Zeit aus den unterschiedlichen Anwendungs- gebieten nicht mehr wegzudenken.

Vor etwa fünf Jahren lernte ich Herrn Claus während meiner Recherchen für meine Dissertation, den piezoelektrischen Effekt betreffend, kennen. Die Firma Carl Zeiss in Jena nannte mir seinerzeit ein Schwingquarzmuseum in Sindelfingen, Inhaber und Sammler dieser herrlichen Museumstücke war Herr Claus. Für mich erwies sich diese Bekanntschaft als äußerst förderlich, da Herr Claus mir durch sein umfangreiches Wissen über Schwingquarze und deren Anwendung viele Fragen beantworten konnte.

Dieses Buch entstand mit großer Mühe und Sorgfalt, durch langjährige Recherchen, Interviews mit Zeitzeugen und umfangreiche Archivarbeit. Es liefert einen weiteren wichtigen Baustein in der Geschichte der Schwingquarze.

Ich wünsche Herrn Claus alles Gute für sein Buch und dem Leser viele interessante Stunden.

Dr. Sabine Barth im Juli 2001

Einleitung

Was ist ein (Schwing-) Quarz?

Ich möchte dazu erst eine kleine Begebenheit erzählen. Daß ein Schwingquarz dazu dient, die Frequenz eines Senders konstant zu halten, wissen wohl viele der Leser und sie haben einen Quarz auch schon einmal gesehen, vielleicht auf einer Leiterplatte – aber wer hatte damals so einen Quarz mal zu Gesicht bekommen? Und so konnte die nachstehende kleine Geschichte entstehen.

Für eine unserer großen Funkstellen wurde kurz vor dem Kriege ein Steuerquarz für eine neu zugewiesene Frequenz bestellt. Der Betrieb wartete händeringend auf die Lieferung, um diese so dringend benötigte Frequenz einsetzen zu können, aber der Quarz kam und kam nicht.

Schließlich ging man höheren Orts der Sache nach und stellte fest, daß der Quarz schon lange geliefert war, daß man ihn aber versehentlich im Fernmelde-Zeugamt auf Lager genommen hatte. Natürlich gab es nun ein Donnerwetter und der Übeltäter wurde persönlich dafür verantwortlich gemacht, daß der Quarz noch am gleichen Tag zur Funkstelle befördert würde. Es entwickelte sich also eine unheimliche Betriebsamkeit mit dem Ziele, den Quarz so schnell wie möglich an den Bestimmungsort zu bringen. Ein Kraftwagen wurde angefordert, aber es traten nun gewisse Unklarheiten auf, was ein Quarz wäre, und wie groß und wie schwer er sei, usw. Da sich schließlich allgemein die Überzeugung durchrang, daß ein Quarz ein Felsgestein sei, und da man die rechtzeitige Überkunft des Quarzes nicht an der mangelnden Tragfähigkeit des Fahrzeugs scheitern lassen wollte, wurde also vorsichtshalber ein LKW mit einer Tragfähigkeit von 5 Tonnen zur sicheren Beförderung des kleinen Quarzes eingesetzt!

In unserer High-Tech-Zeit ist der Schwingquarz sicherlich bekannter geworden, und sei es nur durch die Quarzuhren.

In der Eröffnungsrede des 1. Quarz-Symposiums 1985, das unter dem Motto stand *„Der Schwingquarz, ein unverzichtbares Bauelement der Elektronik“* sagte der Tagungsleiter Dipl. Ing. F. Fick:

„Die Bedeutung von Schwingquarzen für die Elektronik sei nur mit einigen Zahlen angedeutet. Wir rechnen zur Zeit mit durchschnittlich mehr als sieben Quarzen pro Haushalt: Farbfernseher, Fernbedienung, Wecker, Armbanduhr, Auto-Uhr, Motor-elektronik, BremselElektronik, Video, Home-Computer und CB-Funk sind die bekanntesten. Bei ca. 20 Millionen Haushalten sind das ca. 150 Millionen Schwing-quarze, die allein in diesen Haushalten in Betrieb sind. Prognosen deuten an, daß sich die Zahl der Schwingquarze pro Haushalt noch einmal verdoppeln wird.“

Während ich hier diese Geschichte niederschreibe vollenden sich gerade hundert Jahre seit der Entdeckung des Piezoelektrischen Effekts.

Von der Entdeckung der Piezoelektrizität des Quarzes bis zu ihrer ersten praktischen Anwendung vergingen 40 Jahre, in denen nur wenige Gelehrte über diese Erscheinung etwas Näheres wußten.

Ohne Schwingquarze wäre die heutige Nachrichtentechnik überhaupt nicht mehr denkbar. Sie bilden sozusagen das Herz eines jeden Senders und auch vieler Empfänger.

Für die Technik-Geschichte über dieses Gebiet habe ich hier in Sindelfingen im Verlauf von über 40 Jahren ein Museum aufgebaut.

Das große Interesse der vielen Besucher warf immer wieder die Frage auf: Gibt es keine Literatur über die geschichtlichen Hintergründe und die Hintergründe in der Entwicklung?

So habe ich mich entschlossen, diese Kapitel zu schreiben. Sie sollen einen kleinen Überblick in die weniger bekannte Geschichte und Technologie der Schwingquarze geben.

Die vorliegende Schrift soll kein Lehrbuch sein, sie ist vielmehr als ergänzende Informationsquelle gedacht.

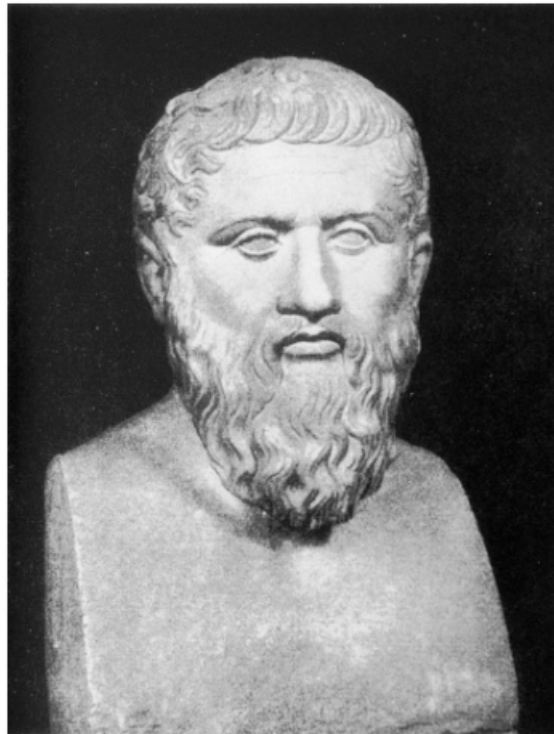


Die Geschichte der Piezoelektrizität

Am Anfang war das Wort ...

Die früheste menschliche Erkenntnis einer mysteriösen anziehenden Kraft wurde von den alten griechischen Philosophen am Bernstein beobachtet. Die durch Reibung mit einem Wolltuch hervorgerufene Eigenschaft des Bernsteins, leichte Körperteilchen anzuziehen, nannte man deshalb entsprechend dem griechischen Namen des Bernsteins: *λεκτρον*, d. h. Elektron = elektrische Erscheinungen.

Diese Erkenntnis wird Thales von Milet im sechsten Jahrhundert vor Christus zugeschrieben. Die erste authentische Beschreibung erscheint jedoch in Platons *Timaios* 427–347 v. Chr. in Abschnitt 80 c: *... und die auffälligen Erscheinungen der Anziehung durch Bernstein und Magnet.*



Platon

Nach der Herme aus den Staatlichen Museen, Berlin

Abb. 1.1

Auch lange schon wurden in Ceylon und Indien bei Turmalin-Kristallen seltsame Eigenschaften beobachtet. Wirft man sie in heiße Glutasche, so ziehen sie an ihren Enden Ascheteilchen und Staub an. Nach Erkaltung stoßen sie diese wieder ab. Im Jahre 1703 brachten holländische Edelsteinhändler zusammen mit anderen Edelsteinen einen wunderbaren roten Stein, der bei den Eingeborenen *turamali* hieß, nach Europa, wo er vielfach auch als Ceylon-Magnet bezeichnet wurde.

Diese Besonderheit des Turmalins fiel sofort auf, man konnte mit ihm Asche aus den Pfeifen ziehen. So bekam er auch den Namen *Aschentrekker* (= Aschenzieher).

Auf Grund des beschriebenen Effekts führte der schwedische Naturforscher Carl v. Linné im Jahre 1747 die wissenschaftliche Bezeichnung *lapis electricus* ein. Im Jahre 1759 wies der deutsche Naturforscher Franz Ulrich Aepinus (1724–1802) die elektrische Natur der Erscheinung nach. Durch Erhitzen der Enden eines Turmalins fand er die dabei auftretenden Polaritäten Plus und Minus.

Der englische Physiker Sir David Brewster (1781–1868) führte im Jahre 1824 die Bezeichnung *Pyroelektrizität* (Pyros = Feuer) ein, die auch beim Seignettesalz (Rochellesalz) beobachtet wird.

Ein von I. Canton 1759 durchgebrochener Turmalin-Kristall wies zwei Pole auf, was von Lord Kelvin erstmals als permanente Polarisation gedeutet wurde, die auch an jedem anderen pyroelektrischen Kristall auftritt.

C. A. Coulomb (1736–1806) vermutete 1784 auf Grund der pyroelektrischen Versuche, daß bei solchen Kristallen eine Druckänderung elektrische Ladungen hervorrufen könnte.

Darauf wurden von dem französischen Mineralogen R. J. Haüy (1743–1822) (dem Vater der Kristallographie) Experimente durchgeführt. Sie führten zu der Entdeckung, daß die elektrische Achse eine polare Achse der Kristallform ist, d. h. daß die Turmalin-Kristalle an den beiden elektrischen Polen von verschiedenen Flächen begrenzt werden. Diesen Zusammenhang fand er auch am Kieselzinkerz bestätigt, sowie am Borazit, welcher an den Ecken des Würfels abwechselnde Pole aufwies, entsprechend den vier polaren dreizähligen Achsen.

Demnach hielt Haüy, und nach ihm P. T. Riess (1805–1883), G. Rose (1798–1873) u. a., das Vorhandensein polarer Achsen für die wesentliche Bedingung für das Auftreten der Pyroelektrizität.

Die Beobachtungen wurden namentlich durch den deutschen Physiker W. G. Hankel (1814–1899) und später durch A. C. Bequerel (1788–1878) auf eine größere Zahl von Kristallen ausgedehnt. Was sie dabei beobachtet hatten, führte sie zu dem Schluß, daß das hauptsächlich, wenn nicht völlig, Kontaktelektrizität war. Den Brüdern Pierre und Jacques Curie blieb es vorbehalten, eine Beziehung zwischen mechanischer Kraftwirkung und der hervorgerufenen Elektrizität zu finden. Die Familie Curie war in den Jahren von 1879 an in Paris an verschiedenen wissenschaftlichen Aktivitäten beteiligt.

Neben seiner Arbeit mit Radioaktivität untersuchte Pierre Curie experimentell die magnetischen Eigenschaften vieler Materialien. Er stellte fest, daß die Temperaturkoeffizienten der Magnetisierung ferromagnetischer Materialien alle sehr ähnlich sind. Diese empirische Untersuchung über die Ähnlichkeit der Magnetisierungsabhängigkeit von der Temperatur wurde später als *Curie-Weißsche Gesetz* bezeichnet.

Das *Curie-Weißsche Gesetz* beinhaltet den Gedanken einer kritischen Temperatur, die später als *Curie-Temperatur* bezeichnet wurde. Eine entsprechende kritische Temperatur für die elektrische Konstante wird auch als *Curie-Temperatur* oder *Curie-Punkt* bezeichnet.

Im Jahre 1879 untersuchten Pierre Curie und sein Bruder Jacques den piezoelektrischen Effekt in verschiedenen Materialien.

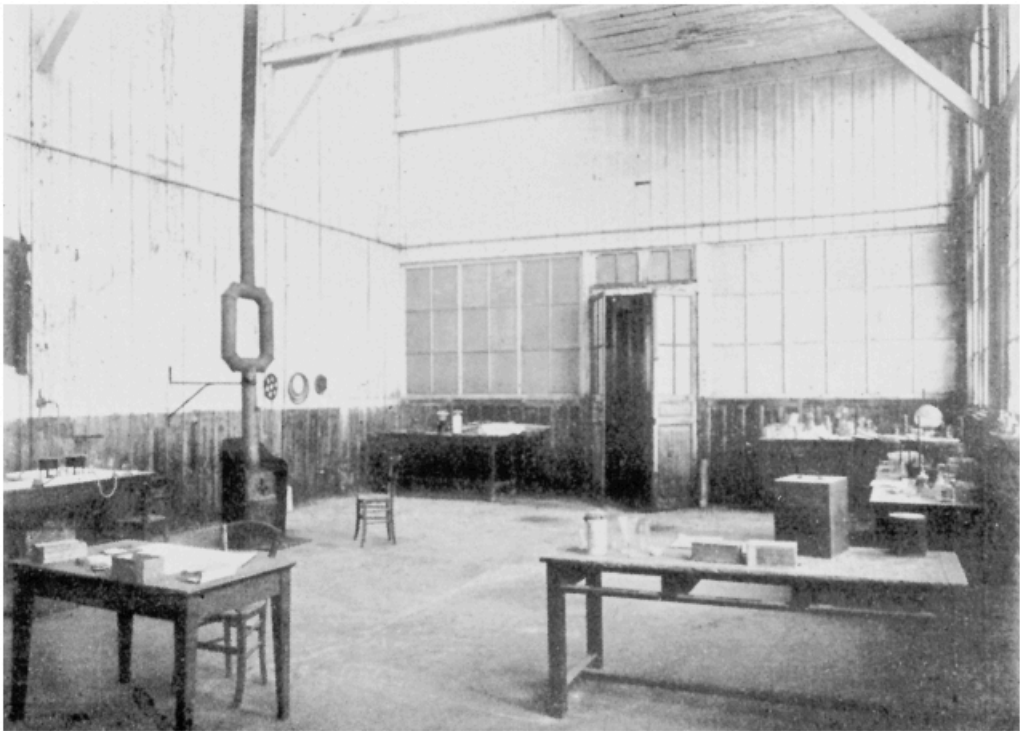


Abb. 1.2 Labor der Curies

Bei ihren ersten Experimenten und Beobachtungen zeigte sich, daß in den Kristallen mit polaren Achsen auch durch rein mechanische Einwirkung eine elektrische Polarisation bewirkt werden kann.

Sie preßten solche Kristalle auf zwei zu einer polaren Achse senkrechten Flächen, die mit Zinnfolie belegt und mit den Quadranten eines *Thomsonschen Elektrometers* verbunden waren, in einem Schraubstock und beobachteten die Ausschläge des Elektrometers; so fanden sie, daß die beiden Flächen bei einer Druckänderung entgegengesetzt elektrisch werden, und zwar bei einer Zunahme des Druckes in umgekehrtem Sinne wie bei einer Abnahme. Indem sie nach dieser Methode das Vorzeichen der an den beiden Enden der polaren Achse durch Druck entwickelten Elektrizität bei Turmalin, Seignettesalz und Quarz bestimmten und mit demjenigen verglichen, welches bei der pyroelektrischen Erregung nach dem Verfahren des Professors der Mineralogie an der Sorbonne, C. Friedel, beobachtet wurde, gelangten die beiden Forscher zu dem Resultat, daß durch Kompression in der Richtung einer polaren Symmetrieachse dasjenige Ende derselben positiv elektrisch wird, an welchem auch bei Abkühlung positive Elektrizität auftritt. Dies führte sie zu der allgemeinen Annahme, daß bei der pyroelektrischen Erregung sowohl wie bei der piezo-elektrischen, die Dilatationen in der Richtung der polaren Achsen oder überhaupt die Deformationen der Volumenelemente das Maßgebende seien, eine Anschauung, welcher sich auch Röntgen im Jahre 1883 anschloß. Dies war keine zufällige Entdeckung.

Pierre Curies vorhergehende Studie über die Relation zwischen pyroelektrischen Phänomenen und Kristallsymmetrie führte die beiden Brüder nicht nur dazu, nach der Elektrisierung durch Druck zu suchen, sondern auch vorauszusehen, in welche Richtung Druck angewandt werden sollte, und in welchen Klassen der Effekt auftreten würde.

Die *Abb. 1.3* zeigt die typische Form eines Quarzkristalls (Idealquarz). Bei diesem dem trigonalen Kristallsystem angehörenden Kristall haben wir drei zweizählige polare Achsen, die mit \mathbf{x}_1 , \mathbf{x}_2 , \mathbf{x}_3 bezeichnet sind. Diese Achsen verbinden zwei gegenüberliegende Kanten des sechseitigen Prismas. Die vierte beim Quarz vorhandene Achse ist mit \mathbf{Z} bezeichnet, sie ist nicht polar. Da die \mathbf{Z} -Achse in optischer Beziehung eine Symmetrieachse darstellt, wird sie auch als optische Achse bezeichnet.

Die polaren Achsen lassen sich nicht nur aus der äußeren Gestalt des Quarzes erkennen, sondern auch in physikalischer Beziehung sind vorderes und hinteres Ende einer polaren Achse verschieden.

Die Piezoelektrizität ist in diesem Sinne ein Kennzeichen dafür, daß der betreffende Kristall polare Achsen besitzt. Stets treten bei einer mechanischen Beanspruchung, Druck oder Zug des Kristalls an den Enden einer polaren Achse, bzw. auf den zur polaren Achse senkrechten Flächen, entgegengesetzte Ladungen auf.

Da bei Druck oder Dehnung maximale elektrische Ladungen nur an den Enden einer polaren Achse entstehen, werden die zu piezoelektrischen Experimenten verwendeten Platten so aus dem Kristall herausgeschnitten, daß ein Flächenpaar

senkrecht zu einer polaren Achse, welche man auch elektrische Achse nennt, verläuft. Wie in dem aufgezeichneten Fall des Quarzes ist die Lage des Schnittes in Abb. 1.4 für eine Platte angegeben.

Abb. 1.3

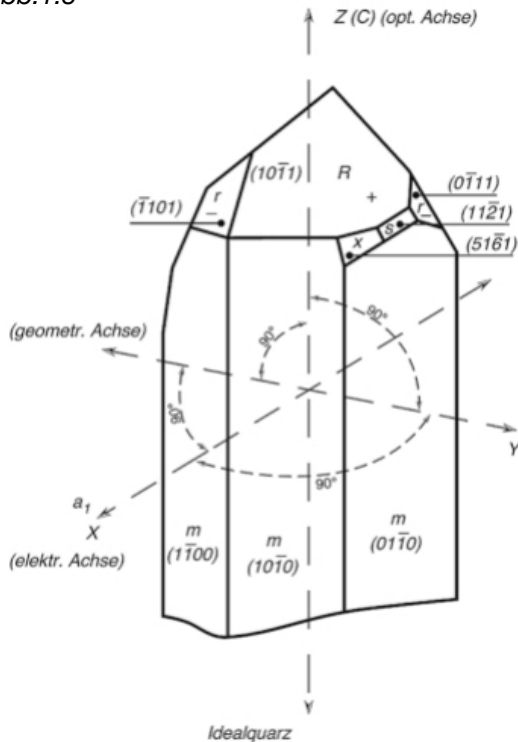
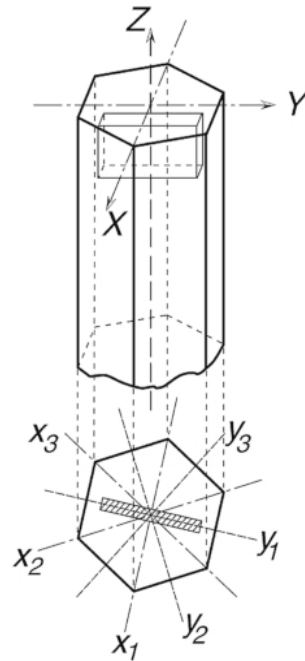


Abb. 1.4



Die Ergebnisse wurden als erstes in der französischen wissenschaftlichen Zeitschrift *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* im März des Jahres 1880 bekannt gegeben.

Der erste umfassende Bericht darüber wurde bei der

Société Française de Minéralogie et de Cristallographie

während der Sitzung am 24. August 1880 präsentiert.

Ein großes Echo gab es danach bei allen wissenschaftlichen Zeitschriften:

„Neuer elektrischer Effekt entdeckt“

waren die Schlagzeilen. Das Faksimile zeigt den Originalbericht, erschienen im *Bulletin de la Société Minéralogique de France*.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE

DE FRANCE

Fondée le 21 mars 1878

TOME TROISIÈME



PARIS

1880

M. J. Curie fait la communication suivante :

Développement par compression de l'électricité polaire dans les cristaux hémédres à faces inclinées,

par MM. JACQUES et PIERRE CURIE.

1. L'hémédrie à faces inclinées est caractérisée dans les cristaux qui en sont affectés par la dissymétrie des extrémités d'un ou de plusieurs de leurs axes ; on sait depuis longtemps qu'à cette dissymétrie correspond une propriété physique spéciale : la pyroélectricité, c'est-à-dire le développement de l'électricité polaire suivant un axe d'hémédrie sous l'action de changements de température.

Les expériences, que nous allons décrire, nous semblent établir nettement que des variations de pressions exercées suivant un des axes susdits, donnent lieu à un phénomène entièrement analogue.

Lorsqu'on comprime un de ces cristaux, suivant un axe d'hémédrie à faces inclinées, il se développe des électricités de noms contraires aux deux extrémités de cet axe.

L'électricité ne se produit que tant que la pression varie.

Le cristal étant déchargé, si on le décomprime, il y a de nouveau production d'électricité, mais le sens du phénomène se renverse : l'extrémité qui se chargeait positivement par compression devient négative ; celle qui se chargeait négativement devient positive.

2. Voici les dispositions expérimentales que nous avons employées : Un cristal terminé par deux faces parallèles, taillées perpendiculairement à l'axe d'hémédrie, était placé entre deux lames de cuivre, extérieurement isolées par deux plaques en caoutchouc durci. Le tout pouvait être serré entre les mâchoires d'un étai.

Premier mode opératoire : chacune des lames de cuivre était mise en communication avec l'un des couples de secteurs d'un électromètre Thomson, dont l'aiguille était chargée d'une électricité connue au moyen d'une pile zinc, platine et

eau distillée. Dans ces conditions, l'étai permet de comprimer ou de décompresser le cristal suivant l'axe d'hémédrie, et on constate que l'électromètre donne des déviations de sens inverse pour chacune de ces opérations.

Deuxième mode opératoire : On charge les secteurs de l'électromètre avec la pile ; l'une des lames de cuivre est mise en communication avec l'aiguille, l'autre lame avec la terre. On peut ainsi montrer séparément sur chacune des extrémités de l'axe qu'elles se chargent d'électricités contraires ; que celle qui devient positive par compression, devient négative par décompression, et réciproquement.

3. Nos expériences ont porté sur la tourmaline, la topaze, la blende, le quartz, la calamine et la boracite.

La tourmaline donne des effets très-énergiques suivant son axe principal. La blende, suivant ses quatre axes d'hémédrie tétraédrique, produit aussi une action assez intense. Ces deux substances, la blende et la tourmaline, se chargent même de quantités d'électricités assez fortes pour qu'on puisse se passer de la pile qui chargeait l'électromètre ; opérer simplement en faisant communiquer l'une des lames de cuivre avec l'un des couples de secteurs ; l'autre lame étant unie à la fois à l'autre couple et à l'aiguille.

La calamine et la boracite suivant leurs axes de pyroélectricité sont aussi très-actives.

La topaze donne, suivant son axe vertical, des effets assez faibles quoique parfaitement nets.

Dans le quartz, les deux faces sur lesquelles on exerce la pression doivent naturellement être taillées parallèlement à l'axe principal, et perpendiculairement à l'un des trois axes hémédres horizontaux, que notre cher maître, M. Friedel, a démontré récemment être des axes pyroélectriques. L'intensité du phénomène est assez notable suivant ces trois directions. Comprimé suivant d'autres, horizontales aussi, par exemple sur les faces naturelles du prisme, le quartz donne des effets beaucoup plus faibles, qui ne sont pas réguliers, et dont nous n'avons pas terminé l'étude. Lorsqu'on agit suivant son axe principal, le quartz ne donne rien.

4. Nous avons comparé le sens du phénomène produit par des changements de température avec le sens de celui produit par des variations de pression ; dans les six espèces de cristaux que nous avons étudiés, les effets dus à la compression sont de même sens que ceux produits par le refroidissement du cristal ; c'est-à-dire que l'extrémité de l'axe d'hémédrie qui devient positive par compression, devient aussi positive par refroidissement.

Les effets dus à la décompression sont de même sens que ceux dus à l'échauffement du cristal.

On peut remarquer que les coefficients de dilatation sont positifs suivant les axes d'hémédrie dans la tourmaline, la topaze, le quartz, la blende et la boracite. Le coefficient n'est pas connu pour la calamine.

Pour des pressions finales semblables, la blende a donné des effets électriques énergiques, et la topaze des effets très-petits ; au contraire pour un même abaissement de température l'action de la blende est faible, tandis que celle de la topaze est assez forte. Toutefois nous n'avons pas encore de mesure exacte de la pression exercée et de l'action électrique correspondante. Du reste dans les cristaux possédant plusieurs axes d'hémédrie, la chaleur agit également sur tous, tandis que la pression agit principalement suivant l'axe comprimé.

5. Pour être en droit de conclure que les cristaux hémédres à faces inclinées possèdent seuls la propriété de développer de l'électricité polaire par pression, nous avons fait un certain nombre d'expériences : sur un corps amorphe, le verre ; sur des cristaux holédres : la fluorine, le gypse, le spath ; sur un cristal hémédre à faces parallèles : l'apatite. Dans les conditions décrites au premier mode opératoire, aucun de ces corps n'a donné d'action : ils ne développent donc pas d'électricité polaire par pression.

Il se présente ici une question incidente : en dehors de l'électricité polaire qui, nous venons de le démontrer, ne se produit pas, la pression est-elle capable de charger électriquement un cristal holédre ? Cela a été dit pour plusieurs corps, en particulier pour le spath. Nous avons cherché cette action en nous plaçant dans des conditions où nous devions la constater ; si elle existe, elle est toujours très-faible, et les frottements, difficiles à éviter complètement tendent à masquer le phénomène.

Herr J. Curie macht folgende Mitteilung:

Entstehung polarer Elektrizität durch Druck bei hemiedrischen Kristallen mit schrägen Flächen

von Herrn Jacques Curie und Herrn Pierre Curie

1. Es ist kennzeichnend für die Hemiedrie mit schrägen Flächen, daß die Enden einer oder mehrerer der Achsen der dazu gehörenden Kristalle nicht symmetrisch sind.

Seit langem ist bekannt, daß dieser fehlenden Symmetrie eine besondere physikalische Eigenschaft entspricht. Gemeint ist die Pyroelektrizität, d. h. die Entstehung polarer Elektrizität in der Richtung einer Hemiedrieachse infolge von Temperaturveränderungen.

Die Versuche, die wir im folgenden beschreiben, zeigen u. E. eindeutig, daß Veränderungen in einer der oben genannten Achsen nach ausgeübten Drucks zu einer völlig analogen Erscheinung führen.

Wird einer der beschriebenen Kristalle in der Richtung einer Achse der Hemiedrie mit schrägen Flächen zusammengepreßt, so entwickeln sich an beiden Enden dieser Achse ungleichnamige elektrische Ladungen.

Nur solange der Druck schwankt, entsteht Elektrizität.

Wenn der Kristall entladen ist und der darauf ausgeübte Druck verringert wird, so entsteht erneut Elektrizität, jedoch kehrt sich die Richtung des Phänomens um: das Ende, das sich durch Zusammenpressen positiv auflud, wird negativ; das Ende, daß das sich negativ auflud, wird positiv.

2. Wir haben folgende Versuchsanordnung gewählt: Ein mit zwei parallelen, senkrecht zur Hemiedrieachse geschnittenen Flächen abschließender Kristall wurde zwischen zwei Kupferstreifen gelegt, die nach außen mit zwei Hartgummiplatten isoliert wurden. Das Ganze konnte in die Backen eines Schraubstockes eingespannt werden.

Erste Vorgehensweise: beide Kupferstreifen wurden mit einem der Sektorenpaare eines *Thomson-Elektrometers* „Quadrantenelektrometer nach Kelvin“ verbunden, dessen Nadel mittels einer Batterie aus Zink, Platin und destilliertem Wasser mit einer bekannten Elektrizität geladen wurde. Unter solchen Bedingungen ermöglicht es der Schraubstock, den Kristall der Hemiedrieachse nach zusammenzupressen bzw. den Druck darauf zu verringern; es ist fest-zustellen, daß das Elektrometer dabei in jeweils entgegengesetzter Richtung ausschlägt.

Zweite Vorgehensweise: Die Elektrometersektoren werden mit der Batterie aufgeladen; der eine Kupferstreifen wird mit der Nadel verbunden, der andere mit der Erde. So läßt sich an jedem Achsenende einzeln zeigen, daß sich die Enden elektrisch umgekehrt aufladen, daß das Ende, das durch Zusammenpressen positiv wird, bei Druckverringern negativ wird und umgekehrt.

3. Wir haben unsere Versuche mit Turmalin, Topas, Zinkblende, Quarz, Calamine „Heminorphit oder Smithsonit“ und Borazit durchgeführt.

Bei Turmalin ist die Wirkung in der Richtung der Hauptachse sehr stark. Zinkblende reagiert ebenfalls recht kräftig den vier Achsen tetraedrischer Hemiedrie nach. Die beiden Substanzen Zinkblende und Turmalin laden sich sogar so stark elektrisch auf, daß auf die Batterie zur Aufladung des Elektrometers verzichtet und einfach so vor-gegangen werden kann, daß einer der Kupferstreifen mit einem der Sektorenpaare verbunden wird, während der andere Streifen gleichzeitig mit dem anderen Paar und der Nadel zusammengebracht wird.

„Calamine“ und Borazit sind in der Richtung ihrer Pyroelektrizitätsachsen ebenfalls sehr aktiv. Bei Topas wurde recht schwache, wenn auch ganz eindeutige Wirkung der Vertikalachse nach erzielt.

Bei Quarz müssen die beiden Flächen, auf die der Druck ausgeübt wird, selbstverständlich parallel zur Hauptachse und senkrecht zu einer der drei hemiedrischen Horizontalachsen geschnitten werden, die, wie unser geschätzter Lehrmeister, Herr Friedel, jüngst bewiesen hat, pyroelektrische Achsen sind. Die Stärke der Erscheinungen ist in diesen drei Richtungen sehr beachtlich. Wird Quarz in anderen, auch horizontalen Richtungen zusammengepreßt z. B. durch Druck auf die natürlichen Flächen des Prismas), so tritt eine sehr viel schwächere Wirkung ein, die nicht gleichmäßig ausfällt und die wir noch nicht abschließend untersucht haben. Bei Einwirkung der Hauptachse nach reagiert Quarz nicht.

4. Wir haben die Richtung der Erscheinungen bei Temperaturänderungen mit der bei Druckschwankungen verglichen: bei den sechs von uns untersuchten Kristallarten verläuft die auf Zusammenpressen beruhende Wirkung in derselben Richtung wie die durch Abkühlung des Kristalls hervorgerufene, d. h. das Ende der Hemiedrieachse, das durch Druck positiv wird, wird auch durch Abkühlung positiv.

Die auf Verringerung des Drucks beruhende Wirkung verläuft in derselben Richtung wie die durch die Erwärmung des Kristalls hervorgerufene.

Es ist festzustellen, daß die Ausdehnungskoeffizienten in der Richtung der Hemiedrieachsen bei Turmalin, Topas, Quarz, Zinkblende und Borazit positiv sind.

Für „Calamine ist der Beiwert nicht bekannt.

Ähnlicher Enddruck erzielte bei Zinkblende eine sehr kräftige, bei Topas sehr geringe, elektrische Wirkung; demgegenüber ist die Wirkung ein und derselben Temperatursenkung auf Zinkblende schwach, auf Topas hingegen recht stark. Allerdings verfügen wir noch nicht über eine genaue Messung des ausgeübten Drucks und der entsprechenden elektrischen Wirkung. Im übrigen wirkt Wärme bei Kristallen mit mehreren Hemiedrieachsen auch auf alle, während Druck hauptsächlich in der Richtung der zusammengepreßten Achse wirkt.

5. Um zu Recht darauf schließen zu können, daß allein hemiedrische Kristalle mit schrägen Flächen die Eigenschaft besitzen, durch Druck polare Elektrizität aufzubauen, haben wir eine gewisse Anzahl von Versuchen durchgeführt, und zwar mit einem amorphen Körper (Glas), mit holloedrischen Kristallen (Flußspat, Gips und Spat) und mit einem hemiedrischen Kristall mit parallelen Flächen (Apatit). Unter den Bedingungen, wie sie bei den Ausführungen zur ersten Vorgehensweise beschrieben wurden, hat keiner dieser Körper reagiert, d. h. sie bauen durch Druck keine polare Elektrizität auf.

Am Rande stellt sich hier eine Frage: kann Druck außerhalb der polaren Elektrizität, die, wie wir gezeigt haben, nicht entsteht, einen holloedrischen Kristall elektrisch aufladen? Dies wurde für verschiedene Körper behauptet, insbesondere für Spat. Wir haben dieser Wirkung nachgespürt, indem wir Bedingungen schufen, unter denen wir sie hätten feststellen müssen; wenn sie existiert, so ist sie stets sehr schwach, und die Reibung, die schwer völlig zu vermeiden ist, überdeckt das Phänomen leicht.

Dann gab es weitere Abhandlungen mit einer Reihe von Resultaten über Experimente mit Quarz, die zu einigen Laborexperimenten anregten, bei denen der piezoelektrische Effekt genutzt werden könnte. 1888 schlugen Pierre und Jacques Curie vor, die Verwendung piezoelektrischer Quarze als meßtechnische Instrumente für die Messung elektrischer Ladungen und Schwachströme zu verwenden. Dieses *Piezoquarz-Instrument* spielte eine bedeutende Rolle als *Quarz-Elektrometer* in Marie Curies späteren Arbeiten mit Radioaktivität. Diese Ereignisse und Veröffentlichungen waren der Anfang der Geschichte der Piezoelektrizität.

In wissenschaftlichen Kreisen zeigte sich sofort ein großes Interesse: Insbesondere erhob der deutsche Physiker Wilhelm Gottlieb Hankel (1814–1899) Einspruch gegen den Bericht der Curies an eine gegenseitige Übereinstimmung zwischen den elektrischen Wirkungen der thermischen und der mechanischen Formveränderung. Er behauptete, daß der neue Effekt speziellen eigenen Gesetzen gehorche und schlug den Namen *Piezoelektrizität* vor, ein Ausdruck, der sofort von allen akzeptiert wurde einschließlich den Brüdern Curie.

Wie schon aus den Curieschen Versuchen ersichtlich ist, werden die zur **X**-Achse senkrechten Flächen einer nach *Abb. 1.5* aus dem Kristall geschnittenen Platte in Richtung der **X**-Achse mit einer Kraft **K_x** gedrückt, so entstehen auf diesen Flächen der Kraft proportionale entgegengesetzt gleiche Ladungen:

$$\text{Gl. 1} \quad Q_x = d \cdot K_x$$

d ist eine von den Abmessungen der Platte unabhängige piezoelektrische Konstante des Quarzes. Werden die Ladungen abgeführt und dann die Flächen vom Druck entlastet, so entstehen die gleichen Ladungen mit umgekehrten Vorzeichen.

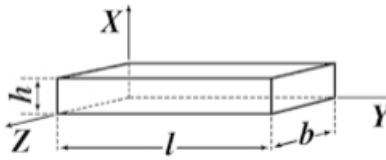


Abb. 1.6 Quarzplatte, Orientierung nach Curie (X-Schnitt)

Bei Einwirkung der Kraft in Richtung der **Y**-Achse auf die Flächen **b · h** entstehen wieder auf den zu **X** senkrechten Flächen Ladungen, aber mit umgekehrten Vorzeichen gegenüber Gl. 1 und um den Faktor $\frac{1}{h}$ größeren Betrag

$$\text{Gl. 2} \quad Q_x = d \cdot K_y \frac{1}{h}$$

Druck und Zug in Richtung der **Z**-Achse ergibt keinen piezoelektrischen Effekt. Aus dem Vorzeichenwechsel der Ladungen bei umgekehrter Kraft folgte der französische Physiker Gabriel Franz Lippmann 1881 auf Grund thermodynamischer Überlegungen, daß ein reziproker Effekt vorhanden sein müsse. Seine Voraussage konnte von den Brüdern Curie alsbald durch den Versuch auch zahlenmäßig in demselben Jahr (1881) bestätigt werden.

Die Erscheinung des reziproken piezoelektrischen Effekts äußert sich in der Form: wird ein piezoelektrischer Kristall so in ein elektrisches Kraftfeld gebracht, daß die elektrische Feldrichtung in die Richtung einer piezoelektrischen polaren Achse fällt, so wird der Kristall in bestimmten Richtungen komprimiert bzw. dilatiert. Eine Dilatation in Richtung einer elektrischen Achse tritt dann auf, wenn auf die Elektroden auf den Flächen senkrecht zur elektrischen Achse die gleichnamigen Elektrizitätsmengen gebracht werden, die beim direkten piezoelektrischen Effekt durch Kompression in Richtung der betreffenden elektrischen Achse entstehen.

Sehr schwierig waren die Versuche, den reziproken piezoelektrischen Effekt mit einfachen Mitteln darzustellen, da die mechanischen Längenänderungen selbst bei Spannungen von einigen 1000 Volt sehr klein sind. Mit nachstehender Versuchsvorrichtung haben die Brüder Curie dies in sinnreicher Weise nachgewiesen.

Bei dem Gerät (Abb. 1.6) handelt es sich um eine Presse, bestehend aus zwei massiven Bronzeplatten, eingebunden in drei dicke Säulen. Sie bilden zusammen mit der unteren Platte eine Einheit. Die obere Bronzeplatte ist abnehmbar.

Die Säulen sind oben mit einem Gewinde versehen, und mit Hilfe der Muttern wird zwischen den Platten ein Stapel aufeinander geschichteter Quarzplatten zusammengepreßt.

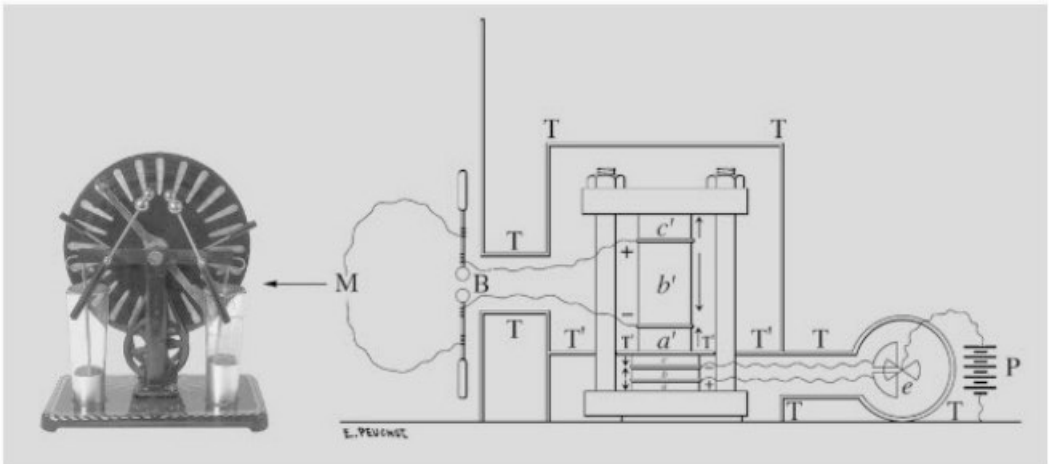


Abb. 1.7 Holtzsche Influenzmaschine

Die Anordnung zwischen den beiden Endplatten ist folgendermaßen: es sind dies zwei Systeme von je drei senkrecht zu einer elektrischen Achse geschnittenen Quarzplatten **a, b, c** und **a', b', c'**. Die einzelnen Quarze sind durch Metallfolien voneinander getrennt und bezüglich ihrer polaren Achse so orientiert wie es die eingezeichneten Pfeile angeben.

Das untere System dient allein zur Messung der Druckveränderungen. Es besteht aus drei Quarzplättchen (**a, b, c**), die durch zwei Metallfolien getrennt sind und mit einem Quadranten-Elektrometer **e** verbunden, dessen Anzeigenadel an die Batterie **P** angeschlossen wird.

Das obere System (**a', b', c'**) ist mit dem vorhergehenden identisch, die beiden metallenen Zwischenplatten sind jedoch mit einer Spannungsquelle (einer Holtzschen Influenzmaschine) von einigen 1000 Volt verbunden. So erfahren diese drei Quarzplatten eine Ausdehnung bzw. Zusammenpressung, und zwar im gleichen Sinn.

Die Quarzplatten sind auch dicker als die des unteren Systems, damit relativ hohe Potentiale verwendet werden können, ohne daß Funken entstehen.

Diese Dilatation bzw. Kompression bewirkt dann, bei den unteren Quarzplatten (**a, b, c**) in Folge des direkten piezoelektrischen Effekts, das Auftreten von Ladungen, die sich ebenfalls addieren und an dem angeschlossenen Elektrometer einen Ausschlag erzeugen, der, wie zu erwarten, jeweils der an die oberen Platten angelegten Spannung proportional ist. – Bei diesen Versuchen gilt es einige Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Da nämlich sehr kleine vom unteren System abgegebene Elektrizitätsmengen gemessen werden, während enorme Spannungen an dem oberen System anliegen, werden die beiden Systeme elektrisch vollständig voneinander getrennt. Sie werden jeweils in metallene Hüllen (Abschirmungen) eingeschlossen, welche mit der Erde verbunden sind (**T, T, T, ...**).

Das untere System, das als Druckmesser dient, befindet sich ebenfalls mit dem Elektrometer in einer Abschirmhülle.

Der Körper der Presse ist ebenfalls metallisch mit der Erde verbunden.

Schließlich trennt eine mit der Erde verbundene Kupferplatte (T', T', T', T'), die in ihrer Mitte zwischen die beiden Quarzplattensysteme eingebunden ist, diese elektrisch vollständig voneinander. Diese Platte, die ist breiter als die Presse, beeinflusst die Elektrizitätsvorgänge nicht, weil die Säulen diese durchqueren, ohne sie zu berühren. Die Säulen und die Platten werden mit Hilfe von Zinnfolien vollständig metallisch verbunden.

Unter diesen Bedingungen ist es gewährleistet, daß die im oberen System auftretenden Spannungen das untere System auf keinerlei Art und Weise beeinflussen. Sehr wichtig ist auch bevor der Versuch beginnt, daß die Gesamtapparatur vollständig trocken ist.

Der Versuchsablauf stellt sich wie folgt dar:

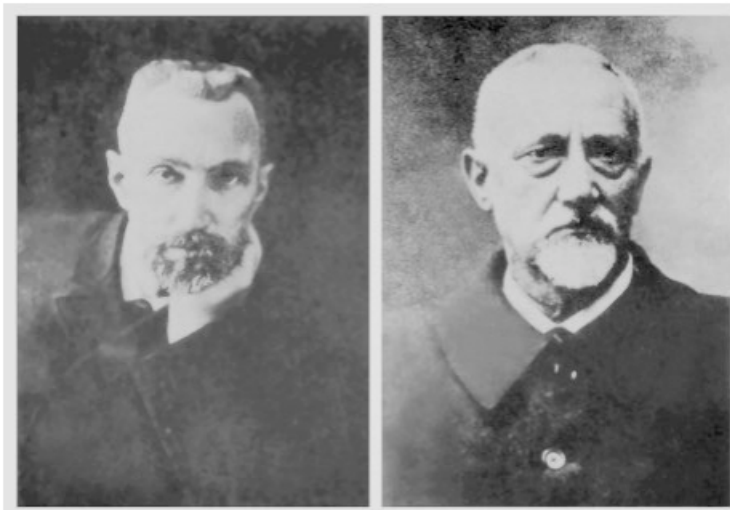
Nachdem in der Mitte die Teile (Quarzplättchen) gestapelt sind, wird zunächst die Presse sehr stark angezogen. In kurzer Zeit wird ein enormer Druck aufgebaut. Dabei findet eine Verdichtung der Teile statt, wodurch sich der Druck wieder verringert. Nach einer Stunde etwa, wenn die Verdichtung vollständig abgeklungen ist, steht die Anzeige des Elektrometers stabil auf Null.

Daraufhin können jetzt die Metallplatten des oberen Plättchensystems mit einer *Holtz-Wimshurst-Influenzmaschine* geladen werden. Die beiden Pole der Maschine sind mit zwei *Leidener Flaschen* verbunden, damit die Potentialdifferenz langsam ansteigend erreicht wird. Zwischen den beiden Polen befindet sich ein *Kugelmikrometer* (B). Es ermöglicht, im Moment der Entladung die Höhe des Potentials über die Einstellung der Entladungsweite festzulegen. Da die Elektrisiermaschine drehzahlabhängig ungleiche Spannungswerte und damit Ladungsmengen abgibt, lädt man einen Kondensator (*Leidener-Flasche*) auf, bis die Überschlagsspannung dieses „*Funken-Spannungsreglers*“ erreicht ist. Die Aufladung des Kondensators erfolgt ja nach einer e -Funktion, also kontinuierlich. Wenn jetzt die Maschine gedreht wird, schlägt das Elektrometer kontinuierlich aus. In dem Moment, wenn der Überschlag erfolgt, ergibt sich durch die Weite der Funkenstrecke der am Funken-Mikrometer eingestellten Spannungsdifferenz der oberen Metallplatte eine proportionale Ablenkung der Nadel. Nach dem Überschlag geht die Anzeige plötzlich auf Null zurück.

Jacques Curie schrieb in einer Veröffentlichung in der Zeitschrift „*Journal de Physique*“:

... Wir haben diese Versuche erfolgreich wiederholt, und uns erscheint dieser Apparat auch für andere Anwendungen sehr brauchbar. Leider konnten wir keine Messungen der wirklichen Größe der Phänomene (Ausdehnung in Richtung der elektrischen Achse) vornehmen, da uns die elastischen Eigenschaften des Apparates völlig unbekannt waren. In der Annahme, daß sich allein der Quarz zusammenzieht und dieser Körper denselben Elastizitätskoeffizienten hat wie Glas, gelangt man über die Theorie zu Werten, die in ihrer Größenordnung den tatsächlich erhaltenen entsprechen. Doch ist diese Überprüfung noch nicht sehr genau. ...

Für die Entdeckung der Piezoelektrizität erhielten die Brüder Curie im Jahre 1895 den *Planté-Preis*.



Pierre Curie 1859–1906

Jaques Curie 1855–1941

Abb. 1.8 Die Brüder Curie

Pierre Curie wurde am 15. Mai 1859 in Paris geboren. Nach dem Besuch der Sorbonne, wo er als Präparator in der Physik tätig war, und den Magister, später den Dokortitel für Naturwissenschaften erhielt, wurde er 1895 für den Lehrstuhl an der „Schule für Physik und Chemie“ in Paris berufen. Noch im selben Jahr heiratete er Maria Skłodowska. Im Jahre 1900 wurde er Professor an der Sorbonne. Außer seiner berühmten Arbeit auf dem Gebiet der Radioaktivität in Zusammenarbeit mit seiner Ehefrau gehörten zu seinen Forschungsarbeiten die Erforschung der Piezoelektrizität sowie anderer Eigenschaften von Dielektrika in Zusammenarbeit mit seinem Bruder

die Grundsätze der Symmetrie, die Konstruktion verschiedener hochempfindlicher Meßgeräte und ganz besonders die Wirkung der Temperatur auf den Magnetismus. Er starb am 19. April 1906 durch einen Verkehrsunfall beim Überqueren einer Straße in Paris.

Paul-Jacques Curie wurde 1855 in Paris geboren. Im Alter von 20 Jahren wurde er Präparator für Chemiekurse an der Schule für Pharmazie und später unter Ch. Friedel Präparator im Mineralogie-Labor an der Sorbonne. Er wurde mit Friedel in einer Reihe von Veröffentlichungen über die Pyroelektrizität in Verbindung gebracht.

Genau in diesem Labor entdeckten er und Pierre Curie 1880 das Phänomen der Piezoelektrizität. 1889 wurde Jacques Curie Oberlehrbeauftragter für Mineralogie an der Universität Montpellier. Seine letzte Arbeit in der Physik war die Bestimmung der piezoelektrischen Konstante von Quarz im Jahre 1910. Da er an schwerer Taubheit litt, begab er sich 1925 in den Ruhestand. Im Jahre 1941 starb er.

Für längere Zeit stellte dann die Entdeckung lediglich eine Bereicherung der Kristallphysik dar, die bald wieder in Vergessenheit geriet und in den Lehrbüchern der Physik kaum Erwähnung fand. Vielleicht in der Unzulänglichkeit der damaligen experimentellen Hilfsmittel begründet, fand die Piezoelektrizität nur theoretisches Interesse.

Der Göttinger Hochschullehrer Woldemar Voigt (1850–1919) gab 1898 in seinem Buch *Die fundamentalen physikalischen Eigenschaften der Kristalle* und 1910 in dem monumentalen Werk *Lehrbuch der Kristallphysik* eine bis heute unübertroffene Darstellung der Theorie der Piezoelektrizität.

Erstmals zeigte W. Voigt in seinem Buch, daß sich die bei Druck oder Dehnung im Piezokristall frei werdende Elektrizitätsmenge berechnen läßt.

Wie bereits oben angedeutet, läßt sich die bei gegebener Kompression bzw. Dilatation frei werdende Elektrizitätsmenge berechnen. Hierzu ist die Kenntnis der sogenannten piezoelektrischen Moduln des betreffenden Kristalls notwendig. Ohne jetzt im einzelnen auf die mathematische Behandlung einzugehen, sei nur angegeben, daß beim Quarz im Falle des longitudinalen Effekts bei einem Gesamtdruck \mathbf{P} in Richtung einer \mathbf{X} -Achse auf der Oberfläche $\mathbf{b} \cdot \mathbf{L}$ die Ladung $\mathbf{q} = \frac{L}{d} \mathbf{d}_{11} \cdot \mathbf{P}$ frei wird (\mathbf{d}_{11} = der in diesem Fall in Betracht kommende piezoelektrische Modul), während im vorliegenden Fall des longitudinalen Effektes die frei werdende Elektrizitätsmenge von den Abmessungen des Kristalls unabhängig ist. Es zeigte sich bereits bei den ersten Versuchen der Brüder Curie, daß beim Übergang von einer Kompression zu einer Dilatation sich das Vorzeichen der frei werdenden elektrischen Ladungen ändert, daß ferner die Größe der elektrischen Ladungen der mechanischen Belastung genau proportional ist und bei gegebener Gesamtbelastung nicht von den Dimensionen des Kristalls abhängt, d. h., die Länge des Kristalls in Richtung der mechanischen Beanspruchung hat keinen Einfluß auf die Größe der frei werdenden elektrischen Ladungen.

Wird ferner bei gleicher Gesamtbelastung der Kristallquerschnitt halbiert, so tritt in Folge des doppelten Druckes auf die Flächeneinheit die doppelte Ladungsdichte und somit die gleiche Gesamtladung auf. Dies ist beim transversalen Effekt nicht der Fall. Hier liefert die theoretische Berechnung bei Quarz für die durch den Druck \mathbf{P} in Richtung der \mathbf{Y} -Achse auf der Fläche $\mathbf{L} \cdot \mathbf{b}$ erzeugte Ladung den Wert $\mathbf{q} = \mathbf{d}_{12} \cdot \mathbf{P} \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{d}}$, wobei $\mathbf{d}_{12} = \mathbf{d}_{11}$ ist.

Die Piezoelektrizität ist von Voigt die komplizierteste Richtung der Kristallphysik genannt worden.

Woldemar Voigt wurde 1850 geboren. Er studierte in Königsberg unter F. Neumann, auf dessen Einfluß sein Interesse an der Kristallphysik zurückzuführen ist. 1875 wurde er Außerordentlicher Professor der Physik in Königsberg und 1883 Professor der Theoretischen Physik in Göttingen, wo er bis zu seinem Tode im Jahre 1919 blieb.

Zweimal bekleidete er das Amt des Rektors an der Universität Göttingen.

Neben seiner umfangreichen Arbeit in der Kristallphysik lieferte er bemerkenswerte Beiträge auf den Gebieten der Elastizität, Thermodynamik, Magneto- und Elektrooptik.

Voigt könnte man beinahe als den Erfinder des Kristallresonators bezeichnen.

In seinem *Lehrbuch* beschrieb er die Differentialgleichungen für elastische Schwingungen in Kristallen, ohne dabei jedoch die Auswirkungen des piezoelektrischen Effekts auf diese Schwingungen zu erwähnen. Er schrieb über den Einsatz der Hochfrequenz beim Messen von Dielektrizitätskonstanten und erkannte gleichzeitig die Tatsache, daß bei den Frequenzen molekularer Resonanzen anomale Resultate zu erwarten sind. Er sah aber nicht vorher, daß ähnliche Anomalien bei allen schwingenden Piezokristallen auftreten würden, sobald sich die angelegte Frequenz mit der einer normalen Schwingungsmode der Kristallprobe deckte. Der elektronische Hochfrequenzgenerator, der die Induktionsspule aus den Tagen Voigts ersetzte, ebnete schließlich dem Piezogenerator den Weg.

Der erste Hinweis auf eine praktische Anwendung der Piezoelektrizität geht auf den Engländer L. M. F. Richardson zurück, der im Jahre 1912 auf die Möglichkeit einer Unterwasser-Schallsignalisierung mit Hilfe piezoelektrischer Kristalle zum Schutze fahrender Schiffe gegen Eisberge und Zusammenstöße im Nebel aufmerksam machte. Veranlassung zu diesen Überlegungen gab der seinerzeit größtes Aufsehen erregende Zusammenstoß des Dampfers *Titanic* mit einem Eisberg. Praktische Versuche wurden jedoch nicht durchgeführt. Dabei darf man nicht übersehen, daß wahrscheinlich experimentelle Schwierigkeiten derartige Versuche erschwerten. Die zur Anregung der Kristalle erforderlichen Hochfrequenzschwingungen konnten nur durch Lichtbogensender erzeugt werden, Röhrengeneratoren standen damals noch nicht zur Verfügung. Erst im Jahre 1917 führten der französische Physiker Paul Langevin und

sein Mitarbeiter Chilowsky von der Sorbonne im Auftrag ihrer Regierung praktische Versuche zur Ortung von Unterseebooten unter Wasser durch. Langevin und Chilowsky beschritten zuerst den Weg mit der Konstruktion eines elektrostatischen Schallgebers, dessen Leistung aber bei den praktisch noch anwendbaren Spannungen nicht ausreichte.

Kurze Zeit später gelang Langevin unter Benutzung des **quartz piézo- électrique** die Erfindung des ersten praktisch brauchbaren Ultraschallgebers und -empfängers großer Leistung.

Professor Langevin hat schon vor dem Jahre 1917 gezeigt, daß piezoelektrischer Quarzkristall verwendet werden konnte, um hochfrequente Wellen in Meerwasser zu erzeugen. Die erste wirkliche Anwendung fand in der Tiefenmessung des Ozeans statt.

Langevins Wandler zeigt die Abb. 1.9.

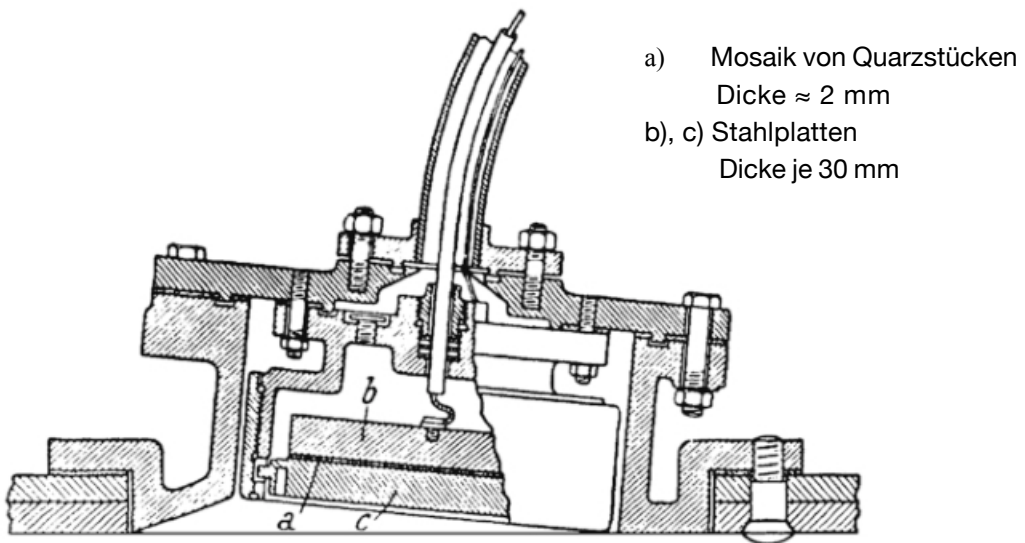


Abb. 1.9 Unterwasserschallsender (nach Langevin-Florisson)

Er besteht aus einem Mosaik von Quarzkristallen verkittet mit Stahlgewichten. Diese Kombination erzeugte eine Resonanzfrequenz unterhalb von 50 kHz. Langevin demonstrierte, daß so ein Wandler Längswellen in Meerwasser erzeugen kann, und ein Indikator (Detektor) Reflexionen von Objekten aus einiger Entfernung anzeigt.

Versuche und Aufbau des Langevinschen Quarz-Stahl-Oszillators

In einem späteren Kapitel soll noch gezeigt werden, daß eine **X**-Schnitt-Quarzplatte sich in die Richtung ihrer Dicke ausbreitet oder zusammenzieht, sobald ein einelektrisches Feld in **X**-Richtung mit Hilfe von Elektroden, die einen Großteil ihrer Fläche bedecken, angelegt wird, und daß sie durch Anlegen einer Wechselspannung entsprechender Frequenz in Eigendickenschwingungen versetzt werden kann. Quarzplatten angemessener Dicke besitzen zu hohe Eigenfrequenzen, welche für U-Boot-Signale und Erzeugung von Echowellen ungeeignet sind. Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, hat Langevin eine wenige Millimeter dicke Quarzplatte zwischen zwei massiven Stahlplatten befestigt. Die Dicke dieser Platten war so gewählt, daß die Gesamtfrequenz des ganzen *Sandwichs* den gewünschten Wert aufwies. Die Platten dienten auch als Elektroden. Sobald diese Einheit an der Luft mit der Dickenresonanz

zu schwingen begann, bildeten sich darin stehende Wellen. Dabei entsprach die Dicke der gesamten Einheit der halben Wellenlänge der Druckwelle.

Als die zusammengebauten Stahlplatten ins Wasser getaucht werden sollten, befand sich eine Stahlplatte in direktem Kontakt mit dem Wasser und strahlte Ultraschallwellen ab, wohingegen die andere Platte, die mit Luft in Berührung stand, die Wellenenergie ohne erhebliche Verluste zurückwarf.

Bei seinen ersten Experimenten benutzte Langevin einen Paulsen-Lichtbogengenerator. In der Zwischenzeit wurde dann durch die Erfindungen der Elektronenröhre durch R. v. Lieben und der Rückkoppelung von A. Meissner die Hochfrequenzquelle von einem Röhrengenerator ersetzt.

Damit die Stahlplatten mehr Energie abstrahlten, und um gleichzeitig die Energie in einem engen Strahl zu bündeln, erhöhte Langevin ihre Seitenabmessungen auf mindestens 20 cm und befestigte sie zwischen einem Mosaik aus **X**-Schnitt-Platten, die alle vorsichtig auf dieselbe Dicke zugeschliffen waren. Auf diese Art konnten kleine Kristallstücke zum Bau eines Ultraschallerzeugers von beliebiger Fläche verwendet werden. Obwohl die Schwingungen durch die Strahlung im Wasser erheblich gedämpft werden, ist es trotzdem wichtig, den Oszillator bei oder nahe seiner Eigenfrequenz zu erregen. Wenn man z. B. 50 000 Volt zur Erzeugung einer gewünschten Amplitude durch erzwungene, weit von der Resonanz entfernt liegende Schwingungen benötigte, würden 2 500 Volt bei der Resonanzfrequenz ausreichen. Da der Oszillator gewöhnlich auch als Detektor von Wellen, die von weit entfernten Objekten zurückgeworfen werden, dient, ist es besonders wichtig, daß er auf die ausgesendete Frequenz eingestellt ist.

Die geeignetste Größe und Frequenz für eine gebündelte Strahlenquelle unter Wasser ermittelt man durch folgende Überlegungen: wie alle Medien absorbiert Wasser Schallenergie bis zu einem Grad, der von der zurückgelegten Distanz sowie von der

Frequenz abhängt. Der Absorptionsgrad nimmt mit dem Quadrat der Frequenz zu. Wellen im akustischen Bereich werden kaum absorbiert. Langevin wies darauf hin, daß Energie bei einer Frequenz von 40 kHz nach ungefähr 30 km auf ein Drittel ihres ursprünglichen Wertes reduziert wird, während sie bei 100 kHz nach 5 km um denselben Wert gesenkt wird. Wenn die Ausstrahlung an der Luft anstatt im Wasser stattfände, würden zwei Drittel der Energie bei dieser höheren Frequenz nach wenigen Metern absorbiert werden.

Die zweite Überlegung hat mit der Tatsache zu tun, daß eine einfache Schallquelle eher ebene Wellen, also einen hoch konzentrierten Strahl emittiert, je größer ihre Seitenmaße im Vergleich zur Wellenlänge des Schalls sind.

Ein für 100 kHz konstruierter Oszillator mit einem Durchmesser von 20 cm, der im Wasser eine Wellenlänge von ungefähr 1,5 m erzeugt, würde einen Strahl mit sehr exakten Richteigenschaften emittieren. Zur Beobachtung von Echos entfernter Objekte wäre ein so enger Strahl ungünstig, und außerdem wäre bei dieser Frequenz die relativ große Energieaufnahme durch das Wasser störend. Für die Entdeckung von Echos ist es vorteilhafter, wenn ein Großteil der Energie auf die Form eines Kegels mit einer Gesamtapertur von ungefähr 20° reduziert ist. Diese Anforderung ist dann erfüllt, wenn der Durchmesser der Abstrahlungsfläche ungefähr sechsmal größer ist, als die Wellenlänge in dem Medium.

R. W. Boyle, ein früherer Mitarbeiter Langevins führte nach dem Kriege mittels Langevinscher Schallgeber wissenschaftliche Untersuchungen über die Ausbreitung und Eigenschaften von Ultraschallwellen aus. Auf diesen Erfahrungen von P. Langevin und R. W. Boyle fußend, konnten die beiden amerikanischen Forscher R. W. Wood und A. L. Loomis in den zwanziger Jahren aufsehenerregende mechanische, thermische, kolloidchemische und biologische Wirkungen von intensiven Ultraschallwellen feststellen, die der Forschung und Technik neue Möglichkeiten zeigten.

Prof. Ludwig Bergmann schreibt im Vorwort der ersten Auflage seines ausgezeichneten Lehrbuchs *Der Ultraschall* im Jahr 1937 einleitend, daß nur selten eine physikalische Erscheinung innerhalb weniger Jahre eine so vielseitige Anwendung gefunden habe wie der Ultraschall.

Anerkennend spricht man noch heute über den Physiker P. Langevin als dem *Vater des Ultraschalls*.

Zur gleichen Zeit etwa wurde in Amerika unter der Schirmherrschaft der US-Marine eine ähnliche Studie gemacht.

J. A. Anderson von dem Mount Wilson Observatorium und Prof. W. G. Cady von der Wesleyan Universität bildeten zusammen mit A. M. Nicolson von den Bell Telephone Laboratorien ein Team.

Sie waren bei ihren Versuchen sehr erfolgreich, um die US-Marine zu veranlassen, daß ein *Seignettesalz*-Wandler angenommen wurde. Die Abb. 1.10 zeigt eine typische Wandler-Anlage aus jener Zeit mit Seignettesalz-Kristallen. Bei der Erforschung der Eigenschaften von Seignettesalz fanden Cady und Anderson ebenso wie Nicolson Anzeichen von Nichtlinearität und dielektrischer Hysterese. Die piezoelektrischen und di-elektrischen Konstanten sind stark abhängig von der Temperatur, dem elektrischen Feld und vom Verlauf in der mechanischen und elektrischen Behandlung.



Abb. 1.10

Diese Ergebnisse wurden im Jahr 1918 dem *National Research Council* in einem vertraulichen Bericht mitgeteilt.

Sie wurden dort von Prof. Valsek mit Unterstützung von Prof. W. F. G. Swann diskutiert. Prof. Valsek identifizierte hierbei die ferroelektrischen Eigenschaften von Seignettesalz und verglich sie mit den Eigenschaften ferromagnetischer Materialien. So war es nur noch ein kurzer Weg zur Entdeckung der ferroelektrischen Eigenschaften von Seignettesalz.

Die erste Theorie über die Wirkung von Ferroelektrizität wurde von I. V. Kurchatov in Rußland aufgestellt. Er entwickelte ein Modell mit drehbaren Dipolen ähnlich der Theorie Langevins über den Ferromagnetismus. Diese ist aber nicht verwendbar für einen ferroelektrischen Kristall, da man die mechanische Kopplung zwischen den elektrischen und mechanischen Eigenschaften nicht wie bei ferromagnetischem Material vernachlässigen kann.

Prof. Cady, und unabhängig von ihm Prof. Müller vom *Massachusetts Institute of Technology*, führten einige nichtlineare Thermen in die Ausdrücke für die thermodynamische freie Energie ein, und konnten so die Wechselwirkung zwischen den elektrischen und mechanischen Eigenschaften eines ferroelektrischen Kristalls erklären. Diese Theorie, bekannt als die *Wechselwirkungstheorie*, gilt für alle Arten ferroelektrischen Materials. Obwohl sie keine atomaren Überlegungen einschließt, muß sie in Atomtheorien immer in Betracht gezogen werden.

Doch zurück nun zu den weiteren Experimenten von Cady.

Der Verlauf seiner Beobachtungen von Merkmalen an Seignettesalz-Kristallen führte Cady dazu, bestimmte Eigentümlichkeiten in ihrem elektrischen Verhalten in der Nähe der mechanischen Resonanzfrequenz zu untersuchen. An einem Augusttag im Jahre 1918 beobachtete er bei seinen Experimenten die minimale Kapazität des Kristalls zusammen mit der Reaktion des Seignettesalz-Kristalls auf den Antriebsstromkreis. Im Januar 1919 folgten dann erste Versuche mit seinem Quarzresonator. In den darauf folgenden Monaten untersuchte er sowohl die Eigenschaften und möglichen Anwendungen des Piezoresonators als auch die Befestigungsmethoden der Kristallplatten.

Der erste öffentliche Bericht über dieses Bauelement wurde der *Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft* am 26. Februar 1921 übergeben; bei dieser Gelegenheit wurde die Verwendung des Resonators als Verbindungsglied zwischen Kreisen, als Frequenzstandard und als Kristallfilter erwähnt.

Bei der Tagung der *American Physical Society* am 23. April 1921 wurde der piezoelektrische Stabilisator für Hochfrequenzschaltungen erstmals öffentlich vorgestellt, und am 28. Dezember 1921 erschien die erste Abhandlung über den *Piezo-Oszillator*, bei dem Längsschwingungen verwendet wurden.

Cadys erster kristallgesteuerter Oszillator, der auf das Jahr 1921 zurückgeht, wird in *Abb. 1.11* dargestellt. Es ist dies im wesentlichen ein Verstärker, dessen Eingang und Ausgang durch einen Kristall mit zwei Elektrodenpaaren verbunden ist.

Der ursprüngliche Kristall war ein **X**-Schnitt mit einer Länge von 3,9 cm und einer Grundschwingungsfrequenz von 70 kHz. Weder eine Spule noch ein Kondensator waren für die Funktion des Oszillators notwendig.

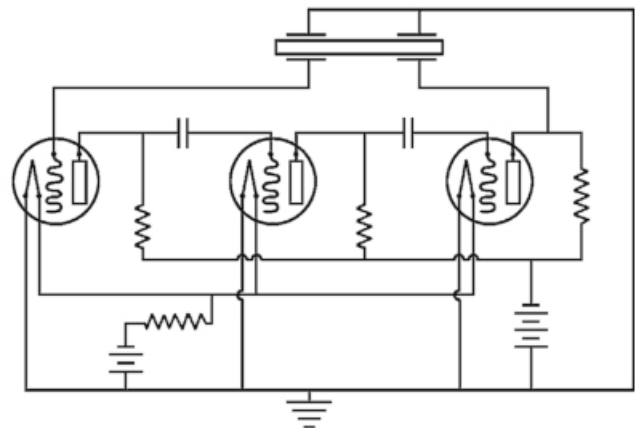


Abb. 1.11
Cadys erster Oszillator

Die ersten Veröffentlichungen Cadys erfolgten bei der *American Physical Society* im Jahre 1921 (*Faksimile Seite 29*) und in der Zeitschrift: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* im Jahre 1922 (*Faksimile nächste Seite*).

uniform as those used in some of the photographic experiments. They were usually just thick enough to cut down the intensity on the short wave-length side of the drop to about one half that on the long wave-length side.

THE PIEZO-ELECTRIC RESONATOR.

By W. G. CADY.

A PLATE or rod suitably prepared from a piezo-electric crystal, and provided with metallic coatings, can be brought into a state of vigorous resonant longitudinal vibration when the coatings are connected to a source of alternating E.M.F. of the right frequency. Under these conditions, the plate reacts upon the electric circuit in a remarkable manner.

The vibrations are a consequence of the so-called "converse" piezo-electric effect, *i.e.*, the deformation resulting from an electric stress; while the periodically strained condition of the plate, through the action of the "direct" effect, sets up a periodic component of polarization which causes the reaction referred to.

On the theoretical side, the phase and magnitude of the counter-polarization in the plate are derived, as well as expressions for the current flowing to the plate and for the total current in the oscillatory circuit. The plate is assumed to be in parallel with the circuit capacity. It is shown that, owing to the piezo-electric polarization, and to the absorption of energy in the plate, the apparent electrostatic capacity and resistance of the plate are not constant, but depend upon the frequency somewhat as does the motional impedance of a telephone receiver. Over a certain range in frequency the capacity may even become negative.

A graphical method is developed for presenting the results of the theory. By an application of this method, it is possible, after making a series of purely electrical observations, to deduce the coefficient of viscosity of the material, even though the absolute value of the piezo-electric constant is not known.

Methods are described for mounting a small plate of piezo-electric crystal upon a rod of any solid elastic substance in such a manner as to excite longitudinal vibrations in the entire rod. The high-frequency viscosity of the rod can then be found, subject, however, to more or less error due to losses in the cement which attaches the crystal plate to the rod.

Experiments on longitudinal vibrations in rods or plates of steel, quartz, and Rochelle salt are described.

The possibility is discussed of using the piezo-electric resonator for a standard of high frequency: for excluding from a circuit oscillations of a given frequency: and as a coupling device to transfer small amounts of power from one circuit to another at a particular frequency.

WESLEYAN UNIVERSITY, MIDDLETOWN, CONN.,
February 3, 1921.

von W. G. Cady

Eine entsprechend präparierte Platte oder ein Stab aus piezoelektrischem Quarz, der mit Metall beschichtet wurde, kann in einen Zustand heftiger Longitudinalschwingungen versetzt werden, wenn die Beschichtungen an eine Wechselstromquelle mit der richtigen Frequenz angeschlossen werden. Unter diesen Bedingungen reagiert die Quarzplatte in erheblichem Maße auf den Stromkreis.

Die Schwingungen sind eine Folge des „reziproken“ piezoelektrischen Effekts, d. h. der aus der elektrischen Spannung resultierenden Verformung. Dabei wird durch den periodischen Verformungszustand der Kristallplatte durch den „direkten“ Effekt eine periodische Polarisierungskomponente ausgelöst, die die Ursache für die bereits erwähnte Reaktion ist. Theoretisch betrachtet werden Phase und Intensität der Gegenpolarisierung in der Kristallplatte sowie die Termini für den zur Platte fließenden Strom und den gesamten Strom im Schwingungskreislauf abgeleitet. Man geht davon aus, daß die Platte und die Kapazität des Stromkreises parallel geschaltet sind. Es konnte erwiesen werden, daß aufgrund der piezoelektrischen Polarisierung und der Energieaufnahme in der Platte die scheinbare elektrostatische Kapazität sowie der elektrostatische Widerstand der Platte sich nicht konstant verhalten, sondern von der Frequenz in ähnlicher Weise abhängig sind wie die Bewegungsimpedanz eines Telephonhörers. In einem bestimmten Frequenzbereich kann die Kapazität sogar negativ werden.

Man entwickelte eine graphische Methode zur Verdeutlichung der Ergebnisse dieser Theorie. Durch Anwendung dieser Methode ist es nach einer Anzahl von Beobachtungen, die sich ausschließlich auf Phänomene der Elektrizität beschränken, möglich, den Viskositätskoeffizienten des Werkstoffes abzuziehen, obwohl der absolute Wert der piezoelektrischen Konstante nicht bekannt ist.

Man beschrieb Methoden, mittels derer man eine kleine Piezoquarzplatte an einem Stab aus einem beliebigen festelastischen Stoff so montieren kann, daß der gesamte Stab in Longitudinalschwingung versetzt wird. So ist es möglich, die hochfrequente Viskosität des Stabes festzustellen, wobei jedoch Irrtümer aufgrund von Verlusten des Klebemittels vorbehalten sind, mit dem die Quarzplatte am Stab befestigt ist.

Des weiteren werden Experimente mit Longitudinalschwingung in Stäben oder Platten aus Stahl, Quarz und Rochellesalz beschrieben.

Derzeit gibt es auch Diskussionen darüber, den piezoelektrischen Kristallresonator als Normmaßstab für hohe Frequenzen zu verwenden, z. B. um aus einem Schaltkreis mit einer bestimmten Frequenz Schwingungen auszuschließen oder als Schaltgerät, um bei einer bestimmten Frequenz kleinere Energiemengen von einem Stromkreis auf den anderen zu übertragen.

Wesleyan University, Middletown, Conn.
3. Februar 192

Prof. Walter Guyton Cady war also der Urheber des quarzgesteuerten Oszillators und des sehr trennscharfen *Breitband-Kristallfilters*.

Er war einer der bedeutendsten Theoretiker des ferroelektrischen Effekts in Kristallen und der Historiker *par excellence* auf dem Gebiet der piezoelektrischen Kristalle.

Sein Buch ***Piezoelectricity – An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals*** – erschien 1946 in der ersten Auflage; eine zweite Auflage kam im Jahre 1964 heraus.

Diese Publikation ist ein Standardwerk und Leitfaden für alle Fragen der Piezoelektrizität der Kristalle.

Prof. Dr. Walter G. Cady wurde 1874 in Providence, RI, geboren. Er erhielt seinen Schulunterricht auf einer Privatschule in Providence. Von 1891 bis 1895 besuchte er dann die Brown Universität und promovierte dort im Juni 1895 als *Baccalaureus philosophiae*. In den folgenden zwei Jahren setzte er seine Studien in Physik fort und war zu gleicher Zeit als *Instructor* der niederen Mathematik angestellt. Während dieser Zeit hat er seine Arbeit *On the Volume Measurement of an Air Thermometer Bulb* veröffentlicht.

Im Jahre 1896 erwarb er den Titel *Magister artium*.

Ab Herbst 1897 ließ sich Cady an der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin immatrikulieren. Im März 1900 promovierte er dort mit dem Thema *Über die Energie der Kathodenstrahlen*.

Nach seiner Rückkehr in die Staaten verbrachte er zwei Jahre mit der Geodätischen- und Küstenüberwachung und trat im Jahre 1902 in die Fakultät der Wesleyan-Universität als Extraordinarius ein. Ab 1907 erhielt er dort einen Lehrstuhl als Professor und lehrte dort bis 1946. In dieser Zeit leistete er Pionierarbeit auf dem Gebiet der Piezoelektrizität.



Abb. 1.13 Prof. Walter G. Cady

* 10. Dezember 1874

† 9. Dezember 1974

Prof. Cady erhielt im Jahre 1928 von der IRE (Institute of Radio Engineers) den *Morris-Liebmann-Gedächtnis-Preis* und war auch 1932 Präsident dieser Gesellschaft. Er war der zweite Amerikaner, der die *Duddell-Medaille* 1936 von der *Physikalischen Gesellschaft London* erhielt.

Die Zuerkennung erfolgte für seine Arbeiten über die Quarzuhr, Messung und Kontrolle von Frequenz und von Ultraschall-Geschwindigkeitsmessungen. Weitere Ehrenggrade erhielt er auch von der Brown-Universität 1938 und von der Wesleyan-Universität 1958.

Professor Cady starb am 9. Dezember 1974 in East Providence, RI, einen Tag vor seinem hundertsten Geburtstag.

Der Quarz hielt jetzt seinen Einzug in die Technik. In wenigen Jahren war eine große Anzahl von Anwendungsmöglichkeiten, dank der Arbeiten von Curie, Langevin und Cady, dafür entwickelt.

Was uns hier aber am meisten interessiert, ist die Tatsache, daß Quarzkristalle bei Hochfrequenz zum Schwingen gebracht werden können.

In seinem Artikel in der April Ausgabe von 1922 *Berichte der IRE* wies Cady besonders darauf hin. In den folgenden Jahren arbeitete Dr. G. W. Pierce von der Harvard-Universität an der Entwicklung von Quarz-Kristall-Oszillatoren. Er veröffentlichte eine Abhandlung über dieses Thema in den Berichten der Amerikanischen Akademie der Künste und Wissenschaften im Oktober 1923. Am 25. Januar 1924 sendete er von der Amateurfunkstation 1XJ an der Harvard-Universität Nachrichten zu seinem Haus in Cambridge und in eine nahegelegene Stadt. Die Notwendigkeit einer Frequenzsteuerung wurde von Dr. A. Hoyt Taylor in seinem Artikel „*Das Arbeiten der Marine mit Kurzwellen*“ in der Mai-Ausgabe von 1924 der Amateurfunkzeitschrift QST sehr gut dargestellt. In derselben Ausgabe erschien auch der Artikel über die „*Sendeeffizienz*“ von S. Kruse, in dem die Vorteile einer konstanten Frequenz erwähnt werden.

Er schrieb: „... Dies zu erreichen ist bei weitem nicht leicht, dennoch wird es möglich sein, wenn wir aufhören zu glauben, daß bei 2000 kHz (150 Meter) eine Frequenzabweichung von $\frac{1}{10}$ % eine Veränderung des Überlagerungstones von 2000 Hz beim Empfänger bedeutet.

Frequenzänderungen unterscheiden sich deutlich von einem „Fading“, was eine Änderung der empfangenen Energie von einem entfernten Sender bedeutet. Über dieses Fading weiß man noch sehr wenig, und es liegt gänzlich außerhalb unseres Einflüßbereiches.

Frequenzverschiebungen, (was wir Amateure als „swinging“ bezeichnen), sind bekannt und können vermieden werden. Dies bedeutet natürlich, daß die Frequenz des Senders – und auch die Frequenz des Oszillators im Empfänger – konstant gehalten werden muß. ...“

Die Absicht dieses Artikels lag darin, auf eine Realisierungsmöglichkeit hinzuweisen. Im Juni 1926 wurde bei der im amerikanischen Rundfunksender – WEAf – die erste Kristallsteuerung eingeführt. Dieser Sender dürfte also die erste Station der Welt gewesen sein, die ihr Programm auf einem kristallgesteuerten Träger ausgestrahlt hat. 1923 gründete die *American Telephone and Telegraph Company* in New York ihr Quarzlabor.

In Deutschland befaßte sich Dr. Alexander Meissner bei Telefunken mit der Quarz-Technologie. 1926 erschien von Dr. K. Heegner in der Telefunken-Zeitung der Artikel: *Über Messungen an piezo-elektrischen Kristallen*.

1924/1925 arbeitete Heinrich Eberhard von der Firma Radio Frequenz – Vorgängerin der Radio-Aktiengesellschaft D. S. Loewe – zusammen mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt auf diesem Gebiet. In Teamarbeit mit den Wissenschaftlern Dr. Erich Giebe und Adolf Scheibe von der PTR und der Firma Radio Frequenz sowie den Optischen Werkstätten Bernhard Halle, Berlin, entstand der Leuchtquarz.

1928 fertigte Dr. Steeg & Reuter in Bad Homburg die ersten Schwingquarze für Funkamateure.

Ab diesem Zeitraum wurden dann noch an vielen Orten auf der Welt Laboratorien und kleine Fertigungsstätten eingerichtet – doch mehr davon in einem späteren Kapitel.

„Der Quarzkristall – ein Edelstein der Elektronik –“, schrieb unlängst eine Fachzeitschrift, „nützlicher als der Diamant, jenes alte Symbol stofflicher Vollendung, ist Quarz einer der wertvollsten Stoffe, welchen die Natur uns schenkte“. Zur Entdeckung seiner piezoelektrischen Eigenschaften war vor allem rein wissenschaftliche und uneigennützige Forschung nötig. Dem großen Geist eines Curie entsprungen, erwies sich diese neue Erkenntnis reich an ungeahnten Möglichkeiten.

Piezelektrische Materialien

Die Kristallart Quarz

Was ist ein Kristall? Das Wort Kristall hat seine Wurzeln im Griechischen.

Ursprünglich bedeutet das Wort >κρυσταλλος< (Krystallos) = Eis. Es wurde zunächst die Bezeichnung für eine spezielle Mineralart, den Bergkristall (Quarz).

Auf Schritt und Tritt – im wörtlichen Sinne – begegnen wir Kristallen. Ein Basalt- oder Granitpflaster besteht aus einer Anzahl verschiedener Kriställchen – Granit scheint bei Betrachtung ohne Bewaffnung des Auges mit einer Lupe aus einzelnen Körnern zusammengesetzt. Gesteine sind Gemenge aus verschiedenen Kristallen (beim Granit lassen sich drei Kristallarten – die Minerale Feldspat, Quarz und Glimmer – unterscheiden). Das Gestein ist stofflich und physikalisch nicht einheitlich und gleichmäßig, es ist heterogen. Kristalle dagegen gehören zu den homogenen Festkörpern.

Quarz, der zu fast 100 % aus der chemischen Verbindung SiO_2 besteht, ist nach den Feldspäten das häufigste Mineral und mit 12 % am Aufbau unserer Erdkruste beteiligt. – „Feldspat, Quarz und Glimmer, die drei vergeß’ ich nimmer“ – war im Erdkundeunterricht einer der mnemotechnischen Lehrsätze bei der Besprechung der Tiefengesteine der Alpen. Gut in Erinnerung ist mir nur der Quarz geblieben.

Das Rätselhafte dieser Kristallgestalt hat mich sehr beeindruckt und mit seiner Schönheit die Phantasie an stärksten beflügelt. So ergab sich daraus meine spätere Liebe zu dem „Quarzkristall“, auf die ich später näher eingehen werde. –

Der Ursprung des Ausdruckes Quarz ist bis heute unbekannt. Das Wort tauchte im 14. Jahrhundert im böhmischen Bergbau auf und wird als Lehnwort aus dem Slawischen angesehen („*kwardy*“, westslawische Nebenform zu polnisch „*twardy*“, tschechisch „*tvardý*“ = Quarz). Die ursprüngliche Bedeutung des Stammwortes ist „*hart*“ (nach Kluge/Mitzka, Etymologisches Wörterbuch). Es kann auch stammen aus dem 16. Jahrhundert von „*querertz*“ = Querklufterz oder von „*quaderz*“ = böses Erz, aus dem 17. Jahrhundert mit der Bedeutung „*querch*“ = Zwerg und gar aus dem 18. Jahrhundert, als man von „*quarx*“ = Kobold sprach. Das Wort in englischer Schreibweise „*quartz*“ markiert das Oxford Dictionary als deutschsprachigen Ursprungs. Das Wort ist vom Deutschen in viele Sprachen gelangt: italienisch *quarzo*, dänisch *quarts*, russisch *kwartz*.

Quarz meinte ursprünglich nur die derben Massen des gemeinen Quarzes.

Bergkristall (aus dem griechischem Krystallos = Eis), bezeichnet aber auch alles Eisartige, eben auch den wasserhellen und durchsichtigen kristallisierten Quarz, den jetzt so genannten Bergkristall, das Berg Eis.

Der römische Gelehrte und Naturforscher Plinius (Gaius P. Secundus der Ältere) schrieb in seinem Handbuch der Naturwissenschaften – *Historiae naturalis libri* –: jedenfalls wird er nur gefunden, wo Winterschnee strengste Kälte bringt, und ohne Zweifel ist er eine Art Eis, wonach die Griechen ihn benannt haben.

Der genetische Aspekt der Bezeichnung Kristall gibt sich bereits in der etymologischen Herkunft des Wortes zu erkennen. Eine Wurzel der genetischen Deutung rührt vielleicht daher, daß den Griechen nur die hohen Gebirgsregionen als Fundorte bekannt gewesen sind.

Mit der Erweiterung der Weltkenntnis durch die Feldzüge Alexanders des Großen wurden auch Fundorte in Kleinasien und in Indien bekannt, wo der Bergkristall allein schon aus klimatischen Gründen nicht durch Kälte, sondern durch Wärme entstanden gedacht werden mußte.

Darauf hat der griechische Geschichtsschreiber Diodoros (1. Jh. v. Chr.) aufmerksam gemacht: Denn es sollen die Christalle ihre Zusammensetzung haben aus reinem Wasser, das fest geworden, aber nicht durch die Kälte, sondern durch die Kraft eines göttlichen Feuers. –

Die Mitteilung Diodoros auf die Deutung des Bergkristalls hat weder in der Antike noch in der Folgezeit einen Einfluß gehabt.

Die Annahme, daß Kristall-Steine aus reinem, gefrorenen Wasser entstehen, hielt sich bis zum Ende des 17. Jahrhunderts. Bereits ab der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts lösten sich einige Gelehrte von der Irrlehre; die neueren Ansichten identifizierten Kristalle nicht mehr mit Eis. Sicher sind die unklaren Vorstellungen auf das Fehlen physikalischer und chemischer Grundlagen zurückzuführen.

Der Zürcher Johann Heinrich Hottinger (1698) schrieb in seinem Buch „Die Kristallogia“, daß er als Augenzeuge beobachtete, wie Kristalle nicht aus Eis, sondern aus Höhlungen im Fels ausgebrochen wurden. Er erwähnte dabei die große Verschiedenheit von Eis und Kristall. Eis wird durch Feuer flüssig, Kristall kann aber durch keine Gewalt des Feuers aufgelöst werden, sondern er zerspringt, zudem schwimmt Eis auf Wasser, während Kristalle wie Steine untersinken.

Heute wissen wir, daß Quarz in der Natur auf sehr vielfältige Weise entstehen kann. Er kristallisiert im Temperaturbereich von Lava bis zur Normaltemperatur der heutigen Erdoberfläche, aus heißen und aus relativ kühlen Lösungen. Seine Kristalle füllen die Hohlräume in Ergußgesteinen aus, er bildet das Taubgut vieler Erzgänge und oft auch ganze Gesteinskörper. Besonders schöne Kristalle mit manchmal gigantischen Ausmaßen gibt es da zu bewundern, wie die 7,8 t schwere Bergkristallgruppe aus der Blocker Lead Mine No. 4, gefunden bei Hot Springs in Westarkansas, die im Kristallmuseum in Riedenburg (Altmühltal) eine neue Heimat fand. Die Kristalle sind zum Teil an die Pegmatite (aus magmatischen Einschüben entstandenes, grobkörniges Gestein) gebunden, in deren Hohlräumen für den Quarz günstige Kristallisationsbedingungen gegeben waren.

Quarz, das heißt Kieselsäure – genauer gesagt Kieselsäureanhydrit, SiO_2 , mit den verschiedensten Beimengungen –, ist das häufigste aller Mineralien.

Die Quarzfamilie umfaßt: Gemeiner Quarz, Bergkristall, Rauchquarz, Milchquarz, Amethyst, Citrin, Rosenquarz, Blauquarz, Aventurinquarz, Saphirquarz, Falkenauge, Tigerauge.

Gemeiner Quarz, Bergkristall und Rauchquarz sind die am verbreitetsten.

Für die weiteren Betrachtungen ist in diesem Fall nur der **Bergkristall** von Interesse.

Mineralbau

Kristallsysteme

Fast alle Substanzen, die wir als *fest* bezeichnen sind kristallin.

Es gibt sieben Kristallsysteme:

- | | | |
|-----------------|--|----------|
| 1. Triklines | | — System |
| 2. Monoklines | | |
| 3. Rhombisches | | |
| 4. Trigonales | | |
| 5. Tetragonales | | |
| 6. Hexagonales | | |
| 7. Kubisches | | |

Der Quarzkristall gehört zum „Trigonalen System“.

Die Annahme, daß der Quarzkristall zum Hexagonalen System gehört, erwies sich als nicht ganz richtig.

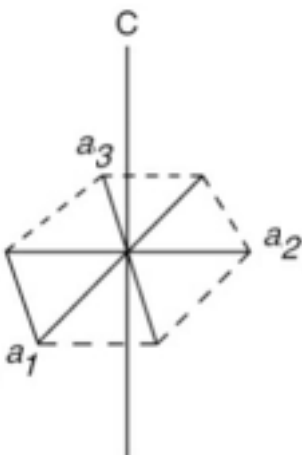


Abb. 2.1

Das trigonale System besitzt eine Hauptachse **C** (auch *Optische Achse* oder **Z-Achse** genannt) und drei gleichwertige Nebenachsen **a₁**; **a₂**; **a₃**.

Für eine Weiterverarbeitung von Quarzkristall für elektrische und optische Zwecke (Schwingquarze, Linsen und Prismen) gelten dann vorwiegend für die Hauptachse **C** die Bezeichnung *Optische Achse* oder auch **Z-Achse** und für die Nebenachsen **a₁; a₂; a₃** die Bezeichnung *Elektrische Achse* oder auch **X-Achse**.

Abb. 2.2

Eine Achse ist die Richtung, die durch die Verbindungslinie zweier Atome bestimmt wird. Da die Atome nicht in jedem Kristall in verschiedenen Richtungen die gleichen Abstände haben, müssen auch (z. B. im rhombischen Kristallsystem) die Achsenabschnitte verschieden lang sein.

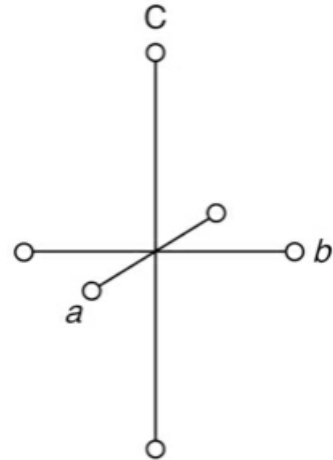


Abb. 2.3

Jeder Quarzkristall besitzt, da **a₁; a₂; a₃** gleichwertig sind, auch dreimal die elektrische Achse **X** (Abb. 2.3).

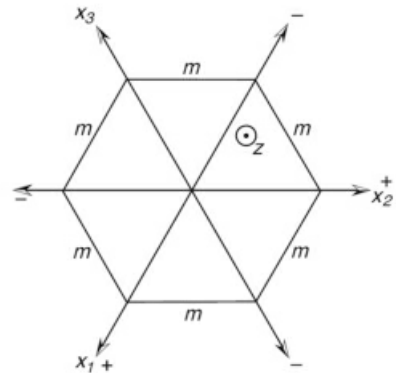


Abb. 2.4

Die aus geometrischen Gründen eingeführte und für die Fertigung notwendig **Y-Achse** steht senkrecht auf den Achsen **X** und **Z**.

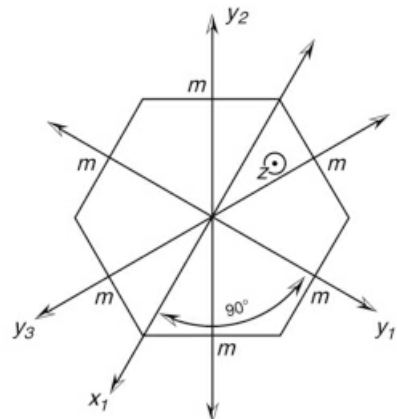
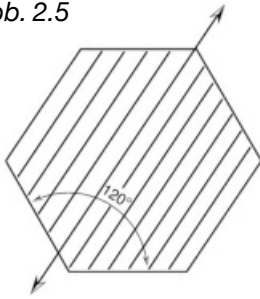


Abb. 2.5

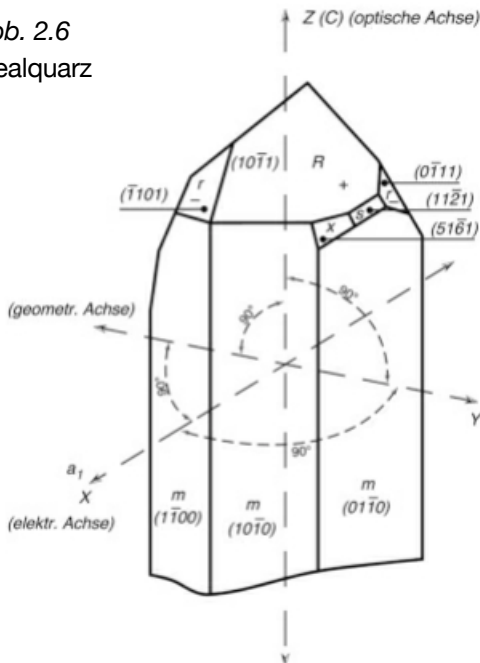


Durch die Kristallgitter ist die Achsenrichtung **X** gegeben. Alle Richtungen, die dazu parallel verlaufen, sind gleichwertig. Die **X**-Achse halbiert den Winkel 180°, der von zwei Prismenflächen (**m**) gebildet wird, vorausgesetzt, daß die Prismenflächen absolut parallel zur Kristallgitterebene liegen.

Bei der Definition der Achsenrichtungen in einem Quarzkristall wird ein Idealquarz angenommen, also ein Quarzkristall, bei welchem die Naturflächen absolut parallel bzw. unter einem bestimmten Winkel zu einer Kristallgitterebene stehen. Da es aber in der Praxis keinen Idealquarz gibt, kann die Bestimmung der Achsenrichtungen nur nach einer Kristallgitterebene erfolgen.

Die Bezeichnung der Ebenen (Flächen)

Abb. 2.6
Idealquarz



In der Kristallographie werden die Naturflächen eines *Idealquarzes* mit den Buchstaben **R, r, m, s, x** angegeben (Abb. 2.6).

Naturflächen sind die Flächen, die während des Wachstums eines Kristalls entstehen. Nur ganz selten sind alle diese Flächen an einem Kristall vorhanden.

Die Naturquarzkristalle, welche in der Schwingquarz-Fertigung zur Verarbeitung kamen, hatten meistens keine Naturflächen.

Ein Quarzkristall kann aber auch Naturflächen haben, die schlecht ausgebildet oder stark deformiert sind. Solche Flächen haben keine Beziehungen mehr zu den Kristallgitterebenen. Ganz selten sind an einem Quarz die Flächen **s** und **x** zu finden. Nur an sogenannten Zapfenquarzen sind sie mitunter vorhanden. Auch ist das Vorhandensein dieser Flächen **s** und **x** von der Fundstelle abhängig.

Für die Bezeichnungen **R**, **r**, **m**, **s**, **x** ist es üblich, in der Praxis die folgenden Ausdrücke anzuwenden:

1. für **R** Spitzenfläche, Pyramiden- oder Rhomboederfläche, auch Plusspitzenfläche oder Hauptrhomboider
2. für **r** Spitzenfläche, Pyramiden- oder Rhomboederfläche
3. für **m** Prismen- oder Säulenfläche
4. für **s** Parallelogrammfläche
5. für **x** Trapezoederfläche

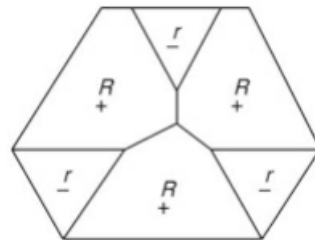
Wir haben nun festgestellt, daß die Achsen **a₁**, **a₂**, **a₃**, bzw. **x₁**, **x₂**, **x₃** gleichwertig sind. Daraus ergibt sich eine Gleichwertigkeit der drei Spitzenflächen **R**.

Auch die drei Spitzenflächen **r** sind gleichwertig.

Diese Tatsache macht man sich bei der Fertigung von Schwingquarzen zu Nutze, d. h., wir können also von irgendeiner der drei **R**-Flächen, bzw. der drei **r**-Flächen, Scheiben für Schwingquarze abschneiden.

Abb. 2.7

Die Spitze eines Quarzkristalls von oben gesehen



Für die aus Bild 2.6 ersichtlichen Naturflächen sind zu den Bezeichnungen

m, **R**, **r**, **x**, **s**

die dazugehörigen *Millerschen Indizes* angegeben.

Die *Millerschen Indizes* spielen bei der Orientierung von Rohquarz in den Fertigungsstätten von Schwingquarzen sowie in der optischen Fertigung eine große Rolle.

Wie man auch ein Kristallgitter als eine regelmäßige geometrische Anordnung von Gitterpunkten beschreiben kann, kann man es auch als ein System von Gitterebenen, welche die Gitterpunkte bilden, ansehen. Ein System von gleichwertigen Gitterebenen bezeichnet man als eine Netzebenenchar. Jede Netzebenenchar kann man durch ein geordnetes Tripel dreier teilerfremder ganzer Zahlen angeben – diese Zahlen werden in runde Klammern gesetzt und man nennt sie *Millersche Indizes*.

Im Jahre 1839 erschien die bedeutende Arbeit des englischen Mineralogen William H. Miller (1801–1880), in der er vor allem neue kristallographische Erkenntnisse veröffentlichte und eine Symbolik für die Bezeichnung von Flächen und deren Lage zu den kristallographischen Achsen vorschlug. Er setzte anstelle der Weißschen Zeichen die reziproken Werte.

Wachstumsfehler

1. Optische Zwillinge

Ein Einkristall kann nicht mehr als Einkristall angesehen werden, wenn er einen oder mehrere Zwillinge besitzt. Ein vorhandener Zwilling macht den Mutterkristall zum Zweikristall. Bei Vorhandensein von mehreren Zwillingen spricht man von einem Polykristall.

Die optischen und elektrischen Achsen jedes einzelnen Zwillings können in verschiedenen Richtungen zueinander liegen. Die Formen der optischen Zwillinge erscheinen in Richtung der optischen Achse meist als Dreiecke.

Die Basis der Dreiecke liegt parallel zu einer Prismenfläche (**m**) des Kristalls.

Die Zwillinge können als rechtwinklige, gleichseitige oder, wie es meistens der Fall ist, als spitzwinklige Dreiecke erscheinen. Die sichtbare Dreiecksform ist abhängig von der Lage des Zwillings im Mutterkristall.

Die optischen Zwillinge kommen hauptsächlich bei den Quarzkristallen, die aus Brasilien stammen, vor.

Deshalb werden die optischen Zwillinge auch Brasilianerzwillinge genannt.

Wenn der Mutterkristall Bereiche mit entgegengesetzter Händigkeit bei gemeinsamer **Z**-Achse aufweist, spricht man von optischer Verzwillingung.

Die gleichen Rhomboederflächen beider Systeme liegen einander parallel.

Die Polarität beider Bereiche ist aber entgegengesetzt.

Eine Quarzscheibe mit optisch verzwillingten Bereichen zeigt zwar gleiche Frequenzkoeffizienten und Temperaturkoeffizienten, aber eine kleinere Aktivität durch die entgegengesetzte Polarität beider Bereiche. Die optische Verzwillingung eines Rohquarzkristalls ist im Tauchbad durch polarisiertes Licht feststellbar.

Es kommt ganz selten vor, daß ein Naturquarz vollständig frei von Zwillingsbildung ist. Entweder ist er nach dem *Brasilianergesetz* (optische Zwillinge) oder nach dem *Dauphinéergesetz* (elektrische Zwillinge) verzwillingt.

Auch beide Zwillingsarten können zusammen in einem Kristall auftreten.

Es gibt auch Quarzkristalle, die so stark verzwillingt sind, daß diese Störungen den ganzen Kristall einnehmen, wobei jeder einzelne Zwilling im Verhältnis zum ganzen

Quarzblock einen kleinen Raum einnimmt. Ein solcher Quarzblock kann aus hunderten oder tausenden Zwillingen bestehen. Da in diesen Polykristallen keine gesetzmäßige Ordnung im Aufbau des Kristallgitters besteht, nennt man diese Erscheinung **Verwilderte Zwillingsbildung**. Da es bei Kristallen mit verwilderter Zwillingsbildung keine optische Achse gibt, oder anders ausgedrückt, die optischen Achsen jedes einzelnen Zwillings nach allen möglichen Richtungen zeigen können, ist eine Orientierung nach **Z** unmöglich.

2. Elektrische Zwillinge

Außer den optischen Zwillingen kann in einem Quarzkristall noch *Elektrische Zwillingsbildung* vorkommen. Diese Zwillingsbildung wird auch *Zwillingsbildung nach dem Dauphinéergesetz* bezeichnet, oder auch *Dauphinéerzwilling*.

Das Vorhandensein dieser Zwillingsart wurde zuerst, und in ganz besonders starkem Maße, bei den Quarzkristallen beobachtet, die man in den Dauphinéeralpen (Südostfrankreich) fand.



elektrischer Zwilling



optische Zwillinge

Abb. 2.8 Schema von Zwillingsgrenzen

Die elektrische Verzwilligung besteht darin, daß ein Teil des Kristalls eine Verdrehung um 60° oder 180° gegenüber dem Restkristall aufweist, wobei beide Teile die gleiche Händigkeit besitzen. Eine Quarzscheibe, die neben dem richtigen einen elektrisch verzwilligten Bereich zeigt, weist zwei verschiedene Frequenz-Temperatur-Koeffizienten auf. Die Quarzscheiben mit elektrischer Verzwilligung müssen

in jedem Fall bei Feststellung der Verzwillingung in der Schwingquarz-Fertigung ausgeschieden werden. Elektrische Zwillinge sind mit optischen Mitteln nicht sichtbar, nur durch Ätzen mit Flußsäure kommen sie zum Vorschein.

Eigenschaften des Quarzes

Physikalische und chemische Eigenschaften

Der Bergkristall ist ein durchsichtiger Quarz ohne die geringste Spur von Farbe und in seiner reinsten Form absolut glasklar.

Quarz hat eine sehr undeutliche Spaltbarkeit nur nach dem Hauptrhomboeder.

Er zeigt muscheligen bis splitterigen Bruch.

Die Dichte von Quarz beträgt $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Härte: nach der Mohsschen Skala Härte 7 (mineralogische Härteskala nach dem Mineralogen *Friedrich Mohs* 1773–1839).

Als Vergleich: Steinsalz Härte 2 und Diamant Härte 10.

Die Mohssche Skala ist relativ. Um absolute Werte zu erreichen, mißt man die Härte nach *Vickers*. Vickers Härte 1181 kg/mm^2 (Prüfverfahren nach DIN 50135).

Der Schmelzpunkt liegt bei 1710°C . Dieser hohe Schmelzpunkt beruht auf den sehr festen Bindungen in der Struktur.

Quarz ist ein guter Wärmeleiter. Er fühlt sich in der Hand *kälter* an als Bernstein.

Das hängt mit der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit beider Materialien zusammen.

Quarz entzieht der Hand an den Kontaktstellen Wärme, und es entsteht der Eindruck der Kühle.

Optische Eigenschaften

Optischer Charakter: Einachsig positiv.

Quarz zeigt keine Fluoreszenz.

Refraktion (Brechung)

Quarz ist doppelbrechend. Jedes doppelbrechende Medium besitzt eine große Zahl von Brechungsexponenten, die zwischen der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes parallel zur optischen Achse und der Fortpflanzungsrichtung rechtwinklig zur optischen Achse liegen.

Normalerweise sagt man aber, Quarz besitzt zwei Brechungsexponenten.

Der Brechungsexponent wird parallel zur optischen Achse angegeben mit

$$n_D = 1,5444.$$

Rechtwinklig zur optischen Achse beträgt der Brechungsexponent

$$n_D = 1,5533.$$

Im Kreisschnitt (Azimut) rechtwinklig zur optischen Achse ändert sich der Brechungsexponent nicht. Er ist in jeder Richtung

$$n_D = 1,5444.$$

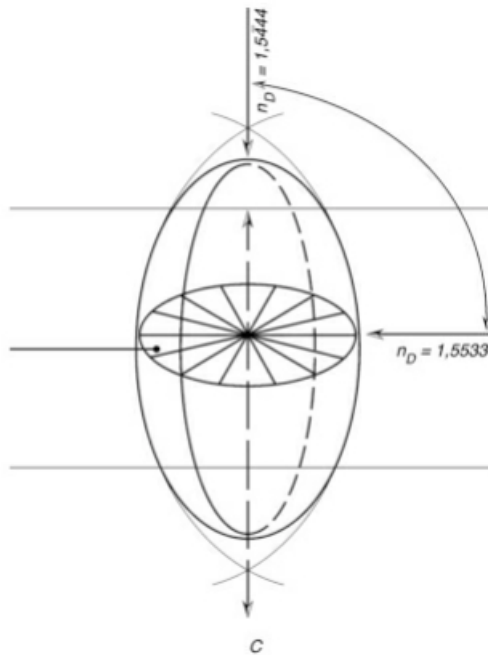


Abb. 2.9

Bedingt durch diese niedrige Brechzahl ist Glasglanz auf den Kristallflächen und Fettglanz auf den Bruchflächen charakteristisch.

Optische Aktivität

Rotationsdispersion (Drehung). Es existieren zwei Kristallformen, von denen die eine die Schwingungsebene polarisierten Lichts nach links dreht (Linksquarz), die andere nach rechts (Rechtsquarz).

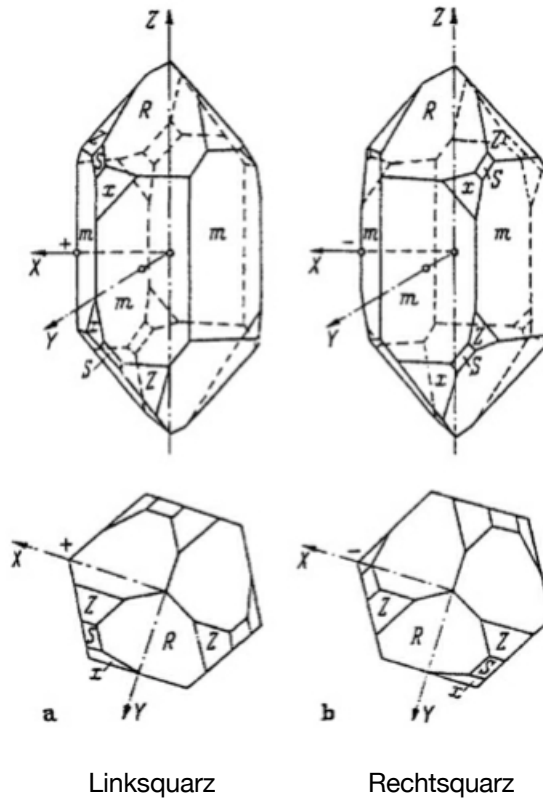


Abb. 2.10

Wenn der Beobachter durch den Polarisator in Richtung Lichtquelle blickt, dreht ein Linksquarz nach links im Gegenuhrzeigersinn, ein Rechtsquarz nach rechts im Uhrzeigersinn.

Dieses Verhalten wurde vorwiegend von dem französischen Mineralogen Jean Baptiste Biot (1774–1862) untersucht.

Die Rotationspolarisation wurde vorzugsweise am Quarz studiert.

Die Schwingungsebene von polarisiertem Licht wird beim Durchgang durch eine Quarzplatte, die senkrecht zur optischen **Z**-Achse geschnitten ist, entweder nach links oder nach rechts gedreht.

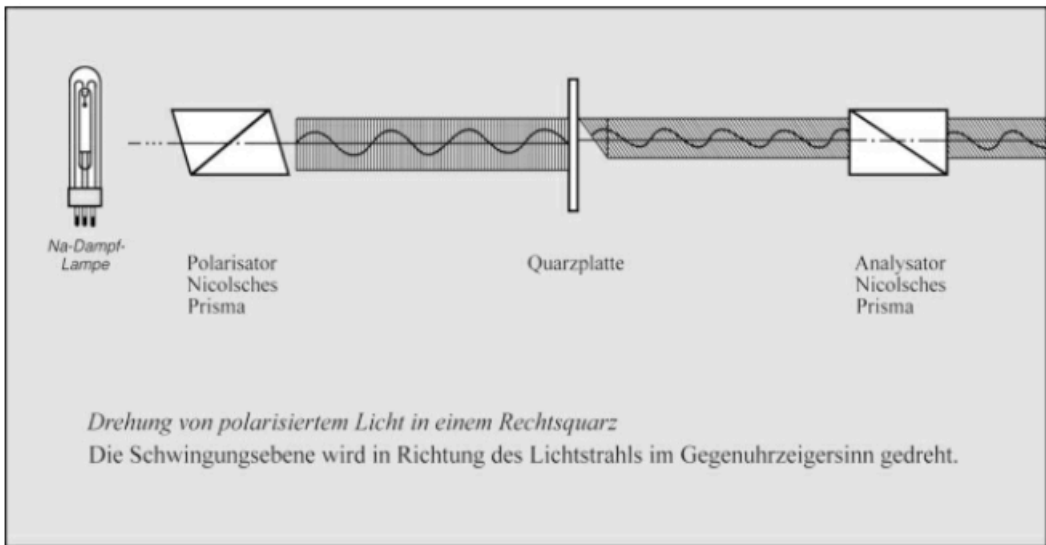


Abb. 2.11

Das Drehvermögen ist am größten in Richtung der **C**-Achse und abhängig von der Wellenlänge des Lichts. Kurzwelliges Licht wird also stärker gedreht als langwelliges. Kristalle sind homogene anisotrope Körper, d. h., sie zeigen in verschiedenen Richtungen unterschiedliche physikalische Eigenschaften (z. B.: Härte, Wärmeleitvermögen, optische und elektrische Eigenschaften). Die Art der Bindungen zwischen den einzelnen Bausteinen der Struktur bestimmt die physikalischen Eigenschaften des Kristalls.

In der mineralogischen Literatur ist nachzulesen, daß das Mineral Quarz (Idealform) aus einer Kombination des hexagonalen Prismas **m** mit dem positiven Hauptrhombus **r** und dem negativen Rhomboeder **z** besteht. Sind dann noch zusätzlich die entsprechenden Flächen der Tracht (als Kristall-Tracht bezeichnet man die Gesamtheit aller an einem Kristall auftretenden Flächen) eines Bergkristalls vorhanden, dann ist es leicht, Links- und Rechtsquarze zu unterscheiden. Untersuchungen haben ergeben, daß in der Natur linksdrehende und rechtsdrehende Quarze etwa in gleicher Häufigkeit vorkommen.

Quarkristalle unterscheiden sich also in ihrem inneren Aufbau. Diese Erscheinung bezeichnet man als Enantiomorphie – *enantiomorph* griechisch: *enantios* heißt entgegengesetzt, *morphe* Gestalt. Wie oben schon angedeutet, reichen bei einem flächenreichen Quarz die Kriterien zur Beurteilung der Enantiomorphie für gewöhnlich aus. Fehlen jedoch Trapezoeder-Flächen und Flächen der trigonalen Dipyramide, gibt es Hilfsmittel, die eine Zuordnung zur kristallmorphologischen Links- und Rechts-Konvention ermöglichen.

Die Beurteilung von *Naturquarzen* für ihre Verwendung in der Schwingquarz-Fertigung und auch in der optischen Fertigung, z. B. von Cornuprismen, ist von großer Wichtigkeit. (Ein komplettes Cornuprisma besteht stets aus einem linken und einem rechten Teil, d. h., bei dem Prisma ist linkshändiger und rechtshändiger Quarz zu verwenden.) Die Untersuchungsmethoden hierfür sind Ätzversuche mit Flußsäure oder eine kristalloptische Untersuchung. Über die Drehung der Polarisationssebene des Lichtes lassen sich dann Rechts- und Linksquarze unterscheiden.

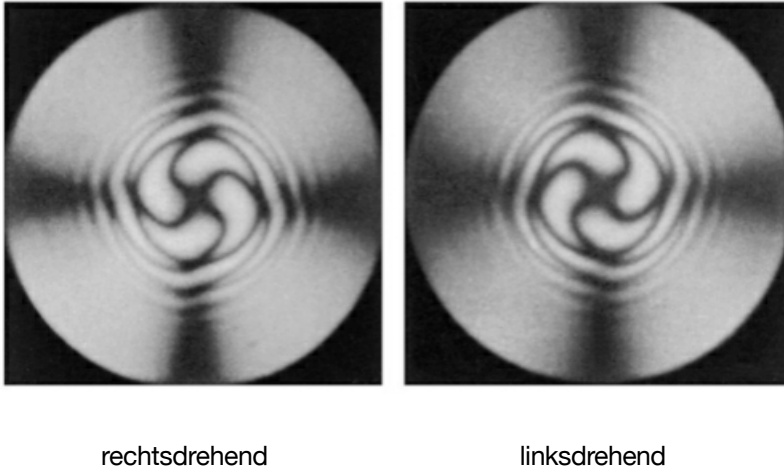


Abb. 2.12 Enantiomorphie bei kristalloptischen Untersuchungen

Chemische Eigenschaften

Chemisch gesehen sind die Mineralien Elemente oder Verbindungen von Elementen mit einer bestimmten, für sie kennzeichnenden Zusammensetzung.

Die größte Rolle unter den Mineralien spielen die Silikate, also Verbindungen, die auf Siliciumdioxid basieren.

Zur Klassifikation der Mineralien wird einerseits ihre chemische Zusammensetzung und andererseits ihr innerer Bau, die Kristallstruktur, herangezogen.

In der Natur treten fünf verschiedene kristalline und eine glasige Ausbildung (Modifikation) der chemischen Verbindung SiO_2 (Siliciumdioxid) auf: Quarz, Trydimit, Christobalit, Stishovit, Coesit und Kieselglas.

Neben den unter *normalen* Bedingungen auftretenden Modifikationen kennt man noch drei weitere: Hochquarz, Hoch-Trydimit und Hoch-Christobalit.

Quarz besteht fast hundertprozentig aus der Verbindung SiO_2 . Hierzu kommen Spuren von hauptsächlich Eisen, Mangan, Aluminium, Natrium, Lithium, Wasserstoff und Titan. Nach H. Strunz *Mineralogische Tabellen* gehört Quarz zu den oxidischen Mineralen der Klasse 4: Oxide und Hydroxide, und dort zur Abteilung D, da das Verhältnis von Metall zu Sauerstoff genau 1 : 2 beträgt. Quarz ist ein starker, reaktionsträger Körper, d. h., er wird von Säuren, außer Flußsäure (HF) und Ammonium-Bifluorid, kaum angegriffen. (Flußsäure benutzt man zum Ätzen der Kristalle, um Zwillingsbildung sichtbar zu machen, die Richtungen der Achsen festzulegen und die Drehung zu bestimmen.)

Vorkommen und Gewinnung

Vorkommen

Während Quarz – SiO_2 – in Form von Sand und Mineralien sehr reichlich auf unserer Erde vorhanden ist, kommt er, für elektrische und auch optische Zwecke verwendbar, nur sehr selten vor. Die größten und ergiebigsten Fundstätten von Quarzkristallen für die Fertigung von Schwingquarzen liegen in Brasilien. Weitere Vorkommen sind auf der Insel Madagaskar, in Nordamerika im Staate Arkansas, in den Dolomiten und in Asien.

Dolomiten

Brauchbare Quarzkristalle, die in den Dolomiten gefunden werden, sind sogenannte Zapfenquarze, also so klein, daß trotz des billigen Preises gegenüber den Brasilianerquarzen eine Verwendung für die Fertigung von Schwingquarzen unvorteilhaft ist.

Madagaskar

Früheren Berichten zufolge befinden sich die ertragreichsten Grundgesteinlager über 150 km südlich von Tananarive. Nutzbarer Quarz kommt in wohlgeformten Kristallen vor und kleidet die Hohlräume in den Adern von milchigem Quarz aus.

Es existieren auch Berichte über Alluvialager an mehreren Orten, eines davon befindet sich in der Nähe von Vohemar am nordöstlichen Ende der Insel. Madagaskarquarze besitzen fast alle möglichen Wachstumsfehler und erreichen nicht die Reinheit wie sie bei den Brasilianerquarzen zu finden ist.

Nordamerika – Arkansas

Arkansasquarze sind Bergkristalle, die meist klar und durchsichtig und frei von Fremdeinschlüssen sind.

Um das Jahr 1800 wurden die Quarzgänge und das Auftreten von Bergkristallen in den Quachita Mountains in West-Arkansas erstmals beschrieben.

Heute liegt das Zentrum der Gewinnung von Bergkristall nördlich von Hot Springs im Garland County. Abbau und Handel der Arkansasquarze wurden vornehmlich für Sammler und die Schmuckwarenindustrie getätigt.

Im Zweiten Weltkrieg etwa ab 1942 interessierte sich die US-Rüstungsindustrie für die glasklaren und nicht verzwilligten Bergkristalle zur Fertigung von Oszillator-Quarzen. Diese guten technischen Eigenschaften veranlaßten die US-Regierung, daß ein großes Untersuchungsprogramm gestartet wurde. Es begann eine umfassende geologische und mineralogische Untersuchung der Quarzgänge. Die Quarzgewinnung konzentrierte sich dann auf sechs Lagerstätten. Die Vorarbeiten im Gelände begannen im Herbst 1942, und Anfang 1943 konnte mit der Produktion begonnen werden. Der Preis für die Rohquarze wurde von einer Aufkaufgesellschaft bestimmt, er richtete sich nach dem Gewicht sowie nach physikalischen und kristallographischen Eigenschaften. (Das American National Bureau of Standards hatte hierfür eine Spezifikation erstellt.)

Für etwa 100 t brauchbaren Bergkristalls mußten 105 000 t Gestein abgebaut und bewegt werden. Nach Kriegsende 1945 wurde der Abbau von Bergkristall für die Schwingquarzfertigung eingestellt.

Südamerika – Brasilien

Bekannte brasilianische Lagerstätten sind in Diamantina - Minas Geraís (Bergbauareal westlich der Stadt Diamantina) (1), Papagaio, Teófilo, Otoni, Niquelandia, Miricinal, Goiás (2).

Der Bergkristallabbau in Goiás begann vor über 50 Jahren während des Zweiten Weltkrieges durch die Amerikaner in großem Stil – wiederum für die Verwendung des Bergkristalls in der Schwingquarzfertigung. Für den brauchbaren Bedarf mußte ein sehr großer Aufwand betrieben werden.

Der Rohquarz war entweder nicht rein genug oder zeigte Zwillingsbildung. Zeitweise waren mehr als 1000 Arbeiter beschäftigt. Für den Abtransport der Quarze sorgten bis zu 600 Maulesel und mehrere



kleine Flugzeuge. Die überwachsene Landebahn ist auch heute noch in der Nähe der Fazenda San Luis do Tocantis zu sehen. (Angaben von Herrn J. Egger der Firma Egger do Brasil LTDA.) Nach dem Krieg wurde der Abbau von den Amerikanern aufgegeben.

Heute gehört dieses Abbaugebiet der deutschen Firma Johann Egger. Die Firma Egger betreibt etwa 40 km Luftlinie westlich von Niquelandia im Staate Goias einen großen Tagebau zur Gewinnung von Quarz speziell für die Schmelzquarzherstellung. Reichliche Quarzvorkommen findet man noch in Sibirien, China, Korea und in der Mongolischen Volksrepublik.

Es ist wahrscheinlich, daß es auf der Erde noch viele Lagerstätten von Bergkristall gibt, welche aber noch nicht entdeckt, oder den Menschen unzugänglich sind.

Gewinnung

Ein Quarzhändler und Einkäufer für eine große Firma der quarzverarbeitenden Industrie schilderte mir in den frühen 50er Jahren seine Erfahrungen und Erlebnisse in den brasilianischen Abbaugebieten:

Ein großer Bedarf an Bergkristall – für die wissenschaftliche Forschung und die sich rasch entwickelnde Technik ist der Quarz zu einem sehr gesuchten Rohstoff geworden. Vor dem Ersten Weltkrieg hatte Deutschland sowohl den Handel als auch den größten Teil der brasilianischen Gruben in Händen. Diese Lage verschob sich nach dem Kriege. Die Vereinigten Staaten gewannen die Oberhand.

Die deutsche Vormachtstellung wurde später nach seinen Aussagen nicht mehr erreicht. Für die Belieferung der Technik (Schwingquarzfertigung) mit Bergkristall war in den ganzen Jahren hauptsächlich brasilianische Qualität gefordert.

Sind die Lagerstätten von Minas Gerais für brasilianische Verhältnisse einigermaßen leicht zugänglich, so liegen die übrigen Kristallgebiete in fast weltabgeschiedenen Gegenden. Die Gewinnung von Bergkristall war zu dieser Zeit nicht ganz ungefährlich. Ganz abgesehen davon, daß die Lagerstätten nur mit dem Maultier auf gefährlichen Gebirgspfaden zu erreichen sind, sollen die Steinsucher (Garimpeiros) untereinander nicht immer die beste Kameradschaft halten. Für einen Europäer ist es fast unmöglich an eine Lagerstätte heranzukommen.

Ein großer Teil des brasilianischen Innern besteht aus einem Hochplateau, das sich im Durchschnitt etwa auf 1000 m erhebt, an manchen Stellen aber bis zu 1500 m steigt, und Mulden aufweist, die etwa 500 m über dem Meeresspiegel liegen. Reist man von Rio aus ins Innere des Landes, so durchschneidet die Bahnlinie zuerst die Gebirge der Serra do Mar. Die Serra do Mar zieht sich an der ganzen Küste entlang. Sie erhebt sich bis zu Höhen von fast 3000 m.

Von Rio aus führt eine prachtvolle Autostraße durch wundervolle Urwälder in dieses Gebirge und steigt an schwindelerregenden Steilabhängen innerhalb einer halben Stunde fast 1000 m hoch. Die Serra do Mar besteht aus einem kristallinen Grundgebirge. Fällt die Serra do Mar nach dem Meere und dem Küstengürtel zu steil ab, sie geht nach dem Innern des Landes über einige Senkungen in das Hochland über, dessen Gesteine fast ausschließlich aus Quarziten und Sandsteinen bestehen. Die Grenze verläuft etwa von Conquista (Bahia) über Minas Novas, Itamarandiba Ouro Preto, Bello Horizonte nach Süden und weist im Osten die Waldgebiete und im Westen den sogenannten Campo auf, der wasserarm, sandig und spärlich bewachsen ist. Nur die großen Flußsysteme bringen Unterbrechungen in die eintönige Landschaft, die von der kahlen Serra do Espinhaco (Diamantina) mit ihren Verzweigungen durchschnitten wird.

Diese erstreckt sich nördlich bis nach Bahia hinein und trägt verschiedene Namen wie z. B. Serra do Cobral (die wichtigsten Bergkristall-Lagerstätten liegen in der Serra do Cobral), Serra Minera, Serra da Penha, Serra Negra.

In dem kristallinen Grundgebirge finden sich nun die quarzführenden Pegmatitgänge. Rund um die Stadt Diamantina liegen ausgedehnte Gruben, dazwischen Felder, auf denen nach Bergkristall geschürft wird.

Das Leben auf einer solchen Grube ist rau. Hier regieren oft Faust und Gewalt.

Trotz der hohen Preise, die oft schon an der Fundstelle für sehr reine Kristalle bezahlt werden, lebt der Kristallsucher in kümmerlichen Verhältnissen. In Hütten verbringt er sein ewig gleichartiges Dasein. In trostloser, sandiger, oft glühend heißer Umgebung, von Ungeziefer geplagt, arbeitet er Tag für Tag in dieser Einöde.

Ebenso eintönig wie das Dasein dieser Leute ist ihre Nahrung. Schwarze Bohnen, Reis und getrocknetes Fleisch sind die tägliche Kost dieser Leute, dazu gibt es einen außer-ordentlich starken, tiefschwarzen Kaffee. Die einzige Freude der Männer ist der Genuß des Zuckerrohrschnapses, der dem Neuling die Kehle verbrennt.

Möglichkeiten des Abbaus

Der Abbau der Kristalle kann auf mechanischem Wege mit Hammer und Meißel oder auch mit der Spitzhacke in den Drusen (Höhlen) erfolgen. Die Meißelspuren sind oft an den Quarzblöcken noch zu erkennen.

Bilden die Kristalle einen genügend langen Hebel, so ist ein Abbrechen durch Druck oder Schlag möglich.

Manche Kristalle lassen sich nur durch Erhitzen und plötzliches Abkühlen gewinnen. Man verfährt dann so, daß unter dem Kristall ein Holzfeuer angezündet wird.

Nachdem der Kristall genügend erhitzt ist, wird an der gewünschten Abbruchstelle mit Wasser abgeschreckt. An dieser Stelle soll sich der Kristall vom Muttergestein lösen, so daß er dann leicht abgebrochen werden kann. Bei dieser rauen Art der

Gewinnung verliert natürlich der Kristall an Wert – in Folge von Rissen und Sprüngen durch Erhitzung und Abkühlung.

Es können sich ebenso durch die Erhitzung elektrische Zwillinge bilden!

(Zu dieser Zwillingsbildung siehe Kapitel 4: *Wie Schwingquarze entstehen.*)

Die Zeit, wo an einem Bergkristallvorkommen der Einkäufer oder sogar der Chef der Schwingquarz-Firma zu finden war ist passé. –

Wer die besten Bergkristalle besitzt hat konkurrenzmäßig einen Vorsprung, hieß es damals. Heute ist dieses Problem nicht mehr so.

Durch den technologischen Fortschritt der Quarz-Synthese wachsen heute die Kunstquarze in einem Stahlautoklaven.

Aufnahmen aus den brasilianischen Abbaugebieten



Abb. 2.13

Die Abbildung zeigt ein Abbaugebiet in der Nähe von Corinto (westlich der Stadt Diamantina) im Staate Minas Gerais.



In der Aufnahme sieht man die kahle Serra do Espinhaco mit ihren Verzweigungen.

Nur der Rio das Velhas bringt Unterbrechungen in diese eintönige Landschaft.



Abb. 2.14 Hütten der Kristallsucher (Garimpeiros)

Abb. 2.15 Kristallsucher mit einem Einkäufer (Bildmitte) bei der Arbeit.





Abb. 2.16 Ein Quarzkristall erblickt das Licht der Welt.

Abb. 2.17 Quarzgang, der fast schon erschöpft ist.



Die Kristallart Turmalin

Die ersten Turmaline, welche in Europa bekannt wurden, sind aus Ceylon gewesen. Auch der Name stammt von dort, von dem singalesischen Wort *tura mali*, einer Bezeichnung für rote Edelsteine.

Heute weiß man, daß der Turmalin in allen Farben auftreten kann. Er ist der farbenreichste Edelstein, „Turmalin, der Edelstein des Regenbogens“, wie er auch genannt wird. Die farbliche Vielgestaltigkeit verdankt der Turmalin seiner sehr komplizierten und variablen chemischen Zusammensetzung.

Als Besonderheit des Turmalins fiel schon in Ceylon die Eigenschaft auf, daß er durch Reiben und Erwärmung, wie wir heute sagen elektrisch wird.

„Ein Ceylanesischer Edelgestein, der aus selbigen Landen von ungefehr etliche dreißig Jahren erstlich roh heraus gekommen, und von den Ostindien-Fahrern an Hoch-Deutsche Juden verkaufft worden, welche dieselbigen Steine sodenn zu schleiffen und an Mann zu bringen gesucht. Weil aber die Jubeliers an deren Härte, ohnerachtet sie die Farbe eines Crysolits haben, gezweifelt; ist selbiger von ihnen aufs Feuer zur Probe gelegt worden, da sie denn nicht allein befunden, daß er solche ausgehalten, sondern auch wider ihr Vermuthen die Torfasche an sich gezogen, welches ihnen, als etwas sonderliches, lieber gewesen, denn die Güte des Steins selbst; und durch diese Begebenheit ist man von ohngefehr auf dessen Benennung gefallen.“

(1745. Zedler Bd. 45 Sp. 850.)

Es waren also jene von den Edelsteinhändlern nach Holland gebrachten Kristalle, an denen vor über 200 Jahren die Pyroelektrizität entdeckt wurde, und so fing dann alles an. ...

Sehr wenig bekannt ist, daß Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) sich auch mit dem „Phänomen Pyroelektrizität“ beschäftigt hat. Goethes Genialität als Dichter ist unbestritten.

Aber stolzer als „auf alles, was ich als Poet geleistet habe“ war Johann Wolfgang von Goethe auf sein Wirken in den Naturwissenschaften.

Goethe sammelte auch Mineralien und besaß einige Turmaline. Im Jahre 1805 experimentierte er mit seinen Turmalinen und hat seine Gedanken und Beobachtungen hierzu aufgezeichnet.

In seinen „*Schriften zur Naturwissenschaft*“ in Band 11, Physikalische Vorträge (ein kleiner Auszug davon) schrieb er:

Oktbr. 23. 1805

Turmalin

Natur

... öfters in Gangarten als Kristall von verschiedener Größe.

Braunrot, Grün, Bläulich

Castilianischer, Ceylonesischer, Brasilianischer

Geschichte

Die Alten kannten einen solchen Stein.

Die Eigenschaft bei Erhitzung Asche anzuziehen ward von den Goldschmieden in den neuern Zeiten zuerst entdeckt.

1747 nennt ihn Linné Lapis electricus.

1757 beschäftigt sich Aepinunus zu Berlin damit.

Phänomene

Voraus der Versuch mit dem Ringstein auf der Asche.

Erwärmung, Hitze, Erkältung.

Anziehen, Abstoßen. Regelmäßiges, Konstantes, Polarität.

Entgegengesetzte Polarität an beiden Enden. Es ist mir ungewiß in welcher Richtung die Wirkung geschehe ... Schwer zu leistender Versuch, weil sie nur leichte Körper anziehn.

Ihr Anziehen und Abstoßen bezieht sich auf die elektrischen Phänomene.

Der Turmalin wird auch durch Reiben elektrisch, zeigt aber alsdann andere Erscheinungen, als bei Veränderung der Temperatur, und zwar nur die gewöhnlichen elektrischen.

(Über Plus und Minus)

In gleicher Temperatur keine Erscheinung.

Veränderung der Temperatur.

Man bringe ihn aus dem Kalten ins Warme und dann habe z. B. die hohe Seite plus, die flache minus; so wird sich die Erscheinung umkehren, wenn er aus dem Warmen ins Kalte gebracht wird.

Wie leicht die magnetische und turmalinische Wirkung zu erregen sei, haben wir gesehen.

Die weit ausgebreitete Elektrizität wird auch durch ein Minimum erregt.

Oktbr. 30. 1805

Elektrizität

Die turmalinischen zeigen sich bei Veränderung der Temperatur.

Magnetische und turmalinische Wirkungen haben sich durch Anziehen und Abstoßen manifestiert.

Der Turmalin bezieht sich schon auf Elektrizität ...

Im Jahre 1806 hat dann der französische Mineraloge R. J. Haüy bei vielen Turmalinen pyroelektrische Untersuchungen angestellt. 1836 publizierte der Mineraloge Gustav Rose seine große Arbeit „Über den Zusammenhang zwischen der Form und der elektrischen Polarität der Kristalle“. Sie ist bis heute eine der besten Arbeiten über Turmalin, wenn man bedenkt, daß die Arbeit vor über 150 Jahren geschrieben wurde, also zu einer Zeit, als die mineralogischen Kenntnisse noch sehr beschränkt waren.

Rose hat viele Turmaline von verschiedenen Vorkommen untersucht. Er hat dabei viele Beobachtungen über die Ausbildung der Flächen gemacht und auf Grund dieser Beobachtungen die Regel angegeben, nach welcher wie er meinte, es möglich sei, die Pole des Kristalls auch ohne pyroelektrische Untersuchung zu bestimmen.

Wie dann aus einer weiteren Arbeit zu ersehen ist, ist die Regel unrichtig.

Im Jahre 1843 erschien von Rose seine zweite Arbeit darüber, zusammen mit Prof. P. T. Riess.

In derselben Arbeit sagte er schon selbst, daß er Ausnahmen von seiner Regel der Bestimmung der Pole beobachtet habe, und suchte diese Erscheinung zu erklären.

Es folgten weitere Veröffentlichungen.

Eine bemerkenswerte Arbeit erschien im Jahre 1883 von dem Physiker A. Kundt über pyroelektrische Untersuchungen mit der neuen von ihm entdeckten Methode, durch welche er z. B. Zwillinge mit entgegengesetzten Polen nachweist, indem an einem Schliff nebeneinander verschieden gefärbte Stellen erscheinen.

Abb. 2.18

Bestäubungsapparat nach Kundt



Abb. 2.19

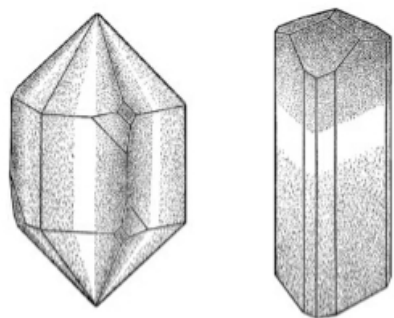
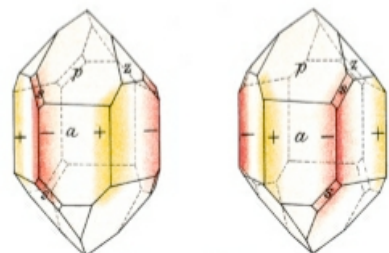


Abb. 2.20

■ Mennige ■ Schwefel



■ Mennige ■ Schwefel

Die Verteilung von positiver und negativer Elektrizität auf den Kristallen anschaulich zu machen, war zu jener Zeit unmöglich. Kundt gelang dies, wie schon erwähnt, mit seiner Bestäubungsmethode.

Die vorstehenden pyroelektrischen Eigenschaften des Turmalins werden am besten so gezeigt, indem man durch ein feines Baumwollsieb ein Gemisch aus Schwefelpulver und Bleimenninge auf den erwärmten Kristall streut. Es zeigt sich, daß bei der Abkühlung das analoge Ende rot, also negativ elektrisch, das antiloge Ende gelb, somit positiv elektrisch wird. Die Druckelektrizität kann gleichfalls durch Bestäuben ersichtlich gemacht werden.

Die Abb. 2.19 zeigt das Aussehen eines sich abkühlenden Turmalinkristalls nach dem Bestäuben. Der elektrisch neutrale Gürtel ist frei von Pulver.

In diesem Zeitraum erschien auch von H. Schedtler eine größere Arbeit im Neuen Jahrbuch für Mineralogie und Geologie mit dem Titel „Experimentelle Untersuchungen über das elektrische Verhalten des Turmalins“.

Zusammenfassend kann man sagen Haüy war der erste, welcher die Hemimorphie des Turmalins und deren Beziehung zu der bereits bekannten elektrischen Polarität feststellte; er erkannte, daß der flächenreichere Pol der Kristalle derjenige ist, welcher beim Erkalten positive Elektrizität annimmt.

Der pyroelektrische Effekt oder kurz Pyroeffekt ist somit am Turmalin erscheinungsmäßig entdeckt worden.

Jeder pyroelektrische Kristall ist auch piezoelektrisch. Umgekehrt besitzen aber die piezoelektrischen Kristalle der polarneutralen Kristallklassen keine pyroelektrischen Eigenschaften.

Die Eigenschaft eines Kristalls, bei mechanischem Druck oder Zug auf bestimmten Kristallflächen elektrische Aufladungen zu zeigen, wurde von den Curies zuerst am Turmalin entdeckt.

Zu der Kristallart Turmalin noch einige Angaben:

Chemisch ist Turmalin ein Aluminiumborosilikat.

Für das sehr komplex zusammengesetzte Silikat wird die Formel



beschrieben.

Die Mischungen bestehen meistens aus Aluminiumboraten mit Silikaten. Es kommen Alkalitormaline, aber auch Magnesiaturmaline vor, letztere nach der Formel



Turmalin ist ein ausgesprochenes Pegmatit-Mineral.

Die Turmalin-Vorkommen auf der Welt:

Afrika	besonders Madagaskar
Asien	seit einiger Zeit Afghanistan und Pakistan. Seit Jahrhunderten lieferten schon Sri Lanka (Ceylon), Indien und Burma Weltklasse an Turmalinen.
Europa	Elba
Nordamerika	Vorkommen im Staate Maine und der Südwesten Kaliforniens.
Südamerika	Hier liefert vor allem der brasilianische Staat, Minas Gerais, . Edelturmaline in den Farben grün, blau, braun in durchsichtiger Form.

Die grünen brasilianischen Turmaline werden durch Reiben und Erwärmen am besten „elektrisch“.

Turmalin kristallisiert trigonal und gehört wie auch Quarz zum rhomboedrischen (trigonalen) Kristallsystem.

Härte: 7–7,5.

Turmalin besitzt eine hohe mechanische Festigkeit und ist gegen Reagenzien widerstandsfähig.

Für die Schwingerfertigung ist von besonderer Bedeutung, daß Turmalinkristalle nicht verzwilligen können.

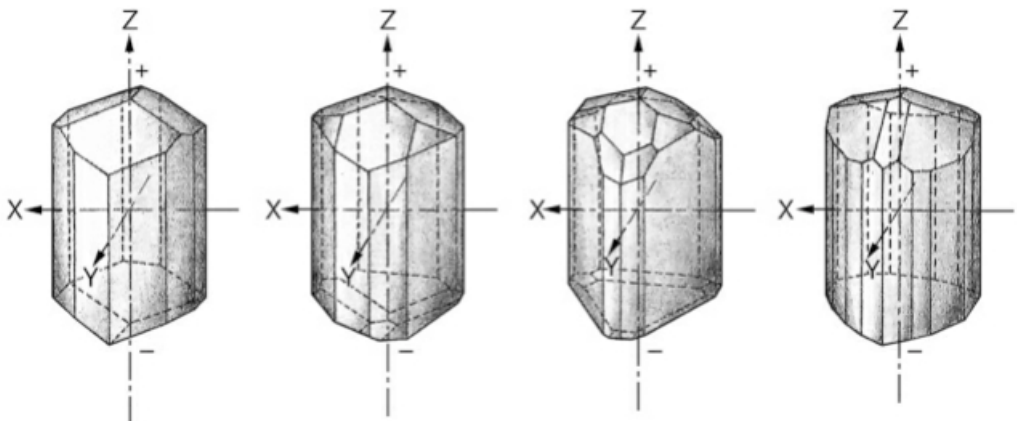


Abb. 2.21

Elektrische Eigenschaften:

Die Abb. 2.21 zeigt den Turmalin in seinen am häufigsten vorkommenden Formen, seine Achsen X, Y, Z. Die Endflächen des meist mehrseitigen säulenförmigen Kristalls sitzen einerseits über den Kanten, andererseits über den Hauptflächen der Säule. Die Schnittrichtung für Turmalinschwinger ist im Gegensatz zu Quarz senkrecht zur optischen (Z-)Achse.

Schwingeigenschaften:

Turmalin hat viel weniger Neigung, Nebenschwingungen zu geben, als Quarz. Er schwingt leichter als Quarz trotz seiner um etwa 10 v. H. kleineren piezoelektrischen Konstante.

Die Dicke eines Turmalin-Schwingkristalls kann bei gleicher Frequenz größer sein als beim Quarz, da der Elektrizitätsmodul sehr hoch ist, obwohl die Dichte größer ist. Diese Eigenschaften machen ihn für das Ultrakurzwellengebiet besonders geeignet. –

Synthetische Quarze

*Was man an der Natur Geheimnisvolles pries,
Das wagen wir verständig zu probieren,
Und was sie sonst organisieren ließ,
Das lassen wir kristallisieren.*

J. W. von Goethe

Von den drei Aggregatzuständen – fest, flüssig und gasförmig – ist der feste Zustand der natürlichste. Er ist der Zustand der Stabilität und der Ordnung. Ein Festkörper kann aus dem Dampf, aus einer Lösung und aus einer Schmelze gebildet werden. Solch ein Übergang kann sich entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich vollziehen. Die meisten Festkörper neigen zur Kristallbildung – das besagt aber noch nicht, daß man aus ihnen Einkristalle machen kann.

Die Geologen spekulierten seit langem schon über die Art und Weise, wie in der Natur so große, klare Quarzkristalle gebildet werden. Die ersten Bemühungen, dieses Problem der Produktion von Quarz im Labor zu lösen, gehen fast 150 Jahre in die Vergangenheit zurück. Bereits Johann Wolfgang von Goethe, der in den Jahren 1770 und 1832 recht intensiv mit der mineralogischen Wissenschaft befaßte, kannte aus eigenen Anschauungen und Studien die Eigenschaften von Kristallen. Besondere Aufmerksamkeit schenkte Goethe dem Bergkristall und dem Turmalin.

Er sagte zur Synthese (griechisch: Aufbau), er sei überzeugt, daß ein und dasselbe Mineral sich in

der Natur unter verschiedenen Bedingungen bilden könnte.

Erkenntnisse von G. W. Leibnitz (1646–1716), der bereits bei der Verhüttung von Blei- und Kupfererzen in Schmelzöfen bei Goslar beobachtete, daß sich an den Rändern der Öfen künstliche Minerale bildeten.

Die allerersten Versuche, Rohquarzkristalle zu gewinnen, gehen auf den Professor für Bergbau und Hüttenkunde, K. E. Schafhäütl, im Jahre 1845 zurück.

Er stellte angeblich mikroskopisch kleine Quarzkristalle durch eine achttägige Verdampfung einer wäßrigen Lösung von Kieselsäuregel in einem Papinschen Topf her. Der Druck in einem solchen Behälter betrug höchstens 2 atü, und die Temperatur war vermutlich nicht höher als 120 °C.

Weitere Versuche folgten dann 1849 von H. de Sénarmont, Professor der Mineralogie an der École Polytechnique in Paris. Sénarmont führte seine Versuche in einem luftleeren Glasrohr aus, das in einem verschlossenen, fast vollständig mit Wasser gefüllten Gewehrlauf gesteckt wurde. In das Glasrohr füllte er eine Lösung aus Natriumhydrogenkarbonat, ein paar Tropfen Alkalisilikat und einen Überschuß an Realgar (Mineral-Rotglas). Er arbeitete mit einer Temperatur um etwa 350 °C.

Beim Erhitzen ersetzten die Sulfide die Kohlensäure ohne selbst auf das gelatinöse Siliziumdioxid zu wirken.

Bei jedem Versuch erhielt er nur etwa 2 Milligramm Feinquarz, wovon der Großteil granular war, ein Teil jedoch doppelendige sechsseitige Prismen formte.

Versuche wurden auch von G. A. Daubrée (1814–1896) an der École de Mines in Paris im selben Jahr (1849) gemacht. Daubrée erhitzte „ein paar Tage lang“ in einem verschlossenen Glasrohr Siliziumchlorid bis zur Weißglut und stellte so wohlgeformte Quarzkristalle her.

In einer zweiten Versuchsreihe erhitzte Daubrée 2 Tage lang bei einer Temperatur von mindestens 400 °C in einem verschlossenen Glasrohr Wasser aus den heißen Quellen von Plombiers, das Glasrohr befand sich in einem verschlossenen Stahlrohr. – 20 bis 30 ccm dieses Wassers, welches im Versuch verwendet wurde, das verhältnismäßig reichhaltig an Kalium- und Natriumsilikat ist, waren schnell bis auf etwa 1 ccm verdunstet. – Nach 2 Tagen waren die Rohrwände mit Quarzkristallen bedeckt.

Da das Glas nur an der Oberfläche verändert war, glaubte Daubrée, daß die siliziumhaltigen Ablagerungen fast vollständig durch die Zersetzung des im Wasser aufgelösten Alkalisilikats entstanden sein müßten.

K. D. Chrustschoff, Professor der Mineralogie an der Militäarakademie zu St. Petersburg, führte Versuche in den Jahren zwischen 1873 und 1881 aus. Er gab dialysiertes Siliziumdioxid und Wasser bei 150 °C für 10 bis 14 Tage sowie wasserhaltiges Siliziumdioxid bei 250 °C über dieselbe Zeitspanne hinweg in eine luftdichte Röhre. Beide Substanzen trockneten bei 120 °C und es bildeten sich in beiden Fällen mikroskopische Quarzkristalle in Form von sechseckigen Prismen und Pyramiden, die man bei 300-facher Vergrößerung unterscheiden konnte, sowie granulöses, nicht-kristallines Material.

Im Jahre 1887 erhitzte Chrustschoff „fast jeden Tag für 1 bis 3 Stunden über einen Zeitraum von 6 Monaten hinweg“ vier Glaskugeln, die halb gefüllt waren mit wäßrigem, dialysiertem Siliziumdioxid, auf 250 – 320 °C. Während des Experiments brachen alle Behälter, aber in dem einen, der am längsten standhielt, fand man schön geformte Quarzkristalle, von denen der größte acht Millimeter lang und drei Millimeter dick war. Leider bedauerten die späteren Gelehrten, daß Chrustschoff keine weiteren Angaben über die Glasbehälter machte, mit denen die Durchführung eines solchen Experimentes möglich war! In allen Fällen verwendete Chrustschoff dialysiertes Siliziumdioxid, aber die Methoden beim Präparieren des Siliziums waren unterschiedlich. Bei dem Experiment, bei dem sich der acht Millimeter lange Kristall bildete (1887), wurde das Siliziumdioxid durch Dialyse einer Lösung aus 112 g Potassiumsilikat (absolut reines Potassiumhydroxid, das mit amorphem Siliziumdioxid, welches aus Siliziumfluorid präpariert wurde, gesättigt worden ist) mit einem Liter destilliertem Wasser, das mit 68 g konzentrierter Salzsäure versetzt wurde, hergestellt. In einem weniger erfolgreichen Experiment (1873) wurde aber das Siliziumdioxid durch Dialyse einer verdünnten Lösung eines Wasserglases voll Natrium mit einer winzigen Menge Salzsäure hergestellt.

Wahrscheinlich waren die Spuren von Fluor oder Fluorid für die enorme Größe des Kristalls verantwortlich.

Die vorhergegangenen Versuche bildeten eine bis etwa 1905 sich erstreckende Entwicklungsphase empirischer Versuche, ausgehend von wäßrigen, kieseligen Lösungen mit und ohne Zusätzen, die sich mit der Herstellung des Quarzes von oft nur mikroskopischer Größe begnügte. Gemessen an den zur Verfügung stehenden Druckapparaten und Geräten (Papinscher Topf und Glasrohr im zugeschweißten Gewehrlauf) sind die damaligen Ergebnisse erstaunlich zu nennen.

Der erste wichtige Schritt in der Quarzsynthese wurde also in den Jahren 1898–1908 von dem italienischen Mineralogen Giorgio Spezia an der Universität Turin getan. Alle Forscher stellten damals die Kristalle nur durch spontane Keimbildung in einer übersättigten Silikatlösung dar. Spezia arbeitete mit wäßrigen Lösungen im hydrothermalen Gebiet. Dem Stande der damaligen Technik entsprechend waren seine Versuche etwas schwerfällig und in den Einzelheiten nicht recht übersehbar.

In einer Versuchsreihe im Jahr 1900 und in der Abhandlung mit dem Titel:

Contribuzioni di geologia chimica solubilita del quarzo
nelle Soluzioni di silicato sodico.

(Beitrag zum Studium der chemischen Vorgänge in der Geologie:
Lösungsfähigkeit des Quarzes in Natriumsilikat-Lösungen)

beschrieb er als erster den Einsatz eines Autoklaven (Bombe).

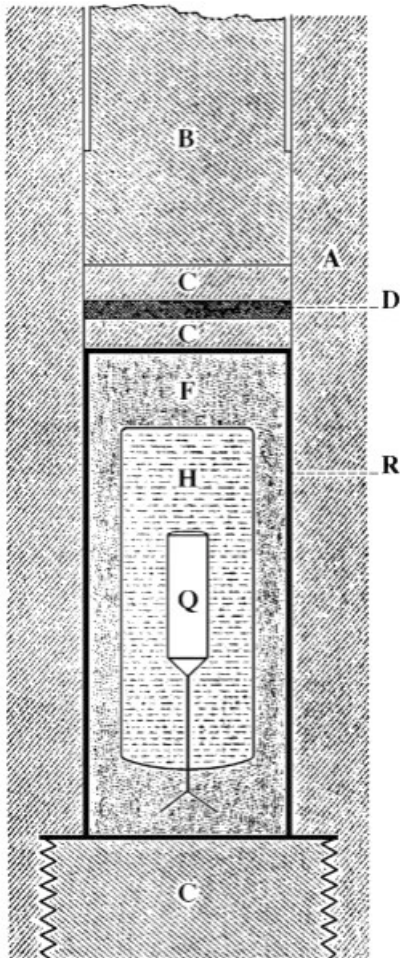
Spezia ging in seiner Abhandlung kurz auf die „trockenen Experimente“, d. h. ohne Einsatz von Flüssigkeit, wie sie von Dr. W. V. Spring an der Universität Lüttich ausgeführt wurden, ein. Wahrscheinlich basierten sie auf Überlegungen, wie sie Heim – Albert von St. Gallen –, Professor der Geologie am Polytechnikum in Zürich, in der Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft im Jahre 1880 mit dem Titel „Zum Mechanismus der Gebirgsbildung“ veröffentlichte.

Spezia bemerkte dazu in seiner Arbeit, wie gewagt die Aussage von Heim ist, daß ein Fels, der in allen Richtungen gleichmäßigem Druck ausgesetzt ist, verformbar wird.

Nun zu den Experimenten von Spezia – er schrieb:

... Bei den Experimenten zur Löslichkeit, vor allem, wenn diese über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden sollen, trifft man üblicherweise bei einem Druck über 2000 Atm auf Schwierigkeiten, und zwar was die Verschlüsse betrifft, welche nicht mit der Zeit Flüssigkeit verlieren. ...

Daher hat er ein System angewandt, mit dem man die Löslichkeit auch bei einem Druck von 6000 Atm. (!) über mehrere Tage hinweg prüfen kann.



- A – Stahlbehälter
- B – Stempel
- C – Stahlscheiben
- D – Zinnscheibe
- F – Geschmolzenes Paraffin
- G – Verschlusstopfen
- H – Lösung
- Q – Impfling
- R – Behälter aus Zinnlamina

Abb. 3.1
Erster Autoklav von Spezia

... Basierend auf der Tatsache, daß eine plastische Substanz den Druck gleichförmig in alle Richtungen überträgt, wodurch ein Behälter aus dieser Substanz mit einer Flüssigkeit, darin sich nicht aufgrund des Druckes verändert, sondern einwandfrei ihre Form behält und nur geringfügig ihr Volumen durch die Elastizität der Substanz und der Flüssigkeit verringert. So habe ich gedacht, Behältnisse aus Paraffin zu verwenden, die in einem Stahlzylinder durch eine Form zusammengedrückt werden. ...

Abb. 3.1 stellt einen Querschnitt durch den Druckbehälter dar.

Die Position **R** ist ein Behälter aus feinem Zinnlaminat, welcher sich genau an die Wand der Öffnung anpaßt.

Dieser Behälter wurde mit geschmolzenem Paraffin **F** gefüllt, und, wenn dieses abgekühlt war, wurde daraus eine zylindrische Höhlung ausgeschabt. In diese Höhlung wurde die Lösung **H** (kieselsaures Natrium) gefüllt und darin das Quarzprisma getaucht. Das Prisma wurde von einem Platindraht mit einem Paraffinkorken gehalten, der am Rand der Höhlung angeschweißt wurde. Daraufhin wird noch einmal flüssiges Paraffin eingegossen, bis der Behälter aus Zinnlaminat völlig gefüllt war. Nach dieser Vorbereitung wurde der Behälter in den Stahlzylinder eingeführt, und das ganze dem Druck einer Presse ausgesetzt.

Bei dem Experiment Nr. 1 wurde das Verhalten zwischen Wirkung des Druckes, der Temperatur und der Lösungsfähigkeit von kieselsaurem Natrium an dem Quarzprisma, dessen rechtwinklige Basis gleich groß war, studiert. Die feingeschliffenen Flächen zeigten einen Lösungseffekt. Das Prisma mit 0,8742 g blieb 24 Stunden lang in einer kieselsauren Natriumlösung bei einer Temperatur zwischen 290 °C und 310 °C. Der Gewichtsverlust war 0,0588 g.

Bei dem Experiment Nr. 2 wurde ein Quarzprisma von 0,8768 g Gewicht in das „Paraffin-Gerät“ gelegt und mit der Presse bei einem Druck von 2600 Atm zusammengedrückt. Das Experiment wurde mit der gleichen Lösung aus kieselsaurem Natrium durchgeführt und ging über einen Zeitraum von 5 Tagen. Die Temperatur im Stahlbehälter schwankte zwischen 18 °C und 20 °C. Nach dem Experiment wurde das Prisma gewogen: Das Gewicht war vollkommen unverändert geblieben. Die Löslichkeit war also folglich Null.

Spezia führte weiter aus:

... Aus diesen Forschungen resultiert die Tatsache, daß Natriumsilikat, Na_2SiO_3 auch in verdünnten Lösungen bei hohen Temperaturen ein wirksames Lösungsmittel für Quarz bleibt; es ergeben sich daraus saure Silikate, die auf Grund der hohen Temperaturen in Lösung bleiben. Daher dienen Natriumsilikat und ähnlich auch in jeglicher Weise hergestelltes Kaliumsilikat als effektvoller Träger für Kiesel in seiner Tiefe, in der die notwendige Temperatur für die Quarzlöslichkeit herrscht.

Eine Natriumsilikatlösung, die zum Beispiel in einem Riß in der Erdkruste durch einen sehr quarzhaltigen Felsen und in einer Tiefe mit einer Temperatur von 300 °C aufsteigen würde, sie würde Quarze lösen, den Riß in der Erdkruste erweitern und diese Quarze dann weiter oben, auf Grund der Verringerung der Temperatur durch die Annäherung an die Erdoberfläche anlagern. ...

In weiteren Versuchen im Jahr 1905 beschrieb Spezia detailliert zusätzliches Wachstum auf natürlichen Kristallen in einer Natriumsilikat-Lösung mit dem Titel: *Sull'accrescimento del quarzo* (Über die Vermehrung des Quarzes).

Der Versuchsaufbau von Spezia bestand aus einem vertikalen Stahlzylinder – innen versilbert –, der mit einer ringförmigen Heizmanschette (ringförmiges Gasrohr) umgeben war. Im oberen Teil des Stahlzylinder war ein Silberdrahtkorb mit Rohquarzbruchstücken gefüllt angebracht (*Abb. 3.2*). Unter dem Heizring waren 3 Quarzkristalle als Keime auf einem Silberdraht einen Zentimeter unter dem Boden dieses Behälters befestigt. Der übrige Raum war fast ganz mit einer Natriumsilikat-Lösung (2%-ige wäßrige Natriummetasilikat-Lösung – $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) gefüllt.

Die abgeschlossene Bombe wurde sechs Monate lang beheizt – der obere Teil des Behälters wurde auf einer Temperatur von 320–350 °C gehalten, der untere Teil, in dem die Keime aufgehängt waren, auf 165–180 °C. Durch Erhitzen des oberen Teils der Bombe und Kühlen des unteren Teils war eine langsame Diffusion der heißen, Siliziumdioxid enthaltenden Lösungen zum kühleren Bereich möglich, in dem der Ablagerungsprozeß stattfinden würde.

Nach 6 Monaten wiesen die Quarzfragmente im oberen Teil der Bombe sowie der Kristall Anzeichen großflächiger Korrosion auf. Die Fragmente an und unter dem Heizring waren verklebt und nur schwer zu trennen. Zerfurchte kristalline Formen hatten sich auf den freien Fragmentoberflächen gebildet, mehrere Drähte des Korbes waren im Quarz eingebettet und teilweise bedeckt. Einer der Impfkristalle war leicht gewachsen, in diesem Versuch jedoch waren sie scheinbar unter dem Bereich der größtmöglichen Ablagerung. Eine lose, pulverige Ablagerung mikroskopisch kleiner Kristalle wurde am Boden der Bombe gefunden. Spezia vermutete, daß diese frei in der Lösung im Bereich des größtmöglichen Kristallwachstums entstanden sind, indem sie durch den kühleren Teil der Lösung zum Boden der Bombe gesunken sind. Der Druck war überall etwa einheitlich, wobei er von Spezia als nicht höher als 150 Atm errechnet worden war.

Spezia betonte folgendes:

... Wäre er einwichtiger, die Lösung des Quarzes über dem Heizring unterstützender Faktor gewesen, so hätte er die Ablagerung unter dem Heizring behindern müssen. Wäre er andererseits ein wichtiger Faktor bei der Anlagerung gewesen, dann hätte er die Lösung behindert. ...

Folglich schloß Spezia, daß die einzige Wirkung des Drucks war, den Solvent im Flüssigzustand zu halten, wobei Lösung und Ablagerung infolge der Temperaturdifferenz entstanden waren.

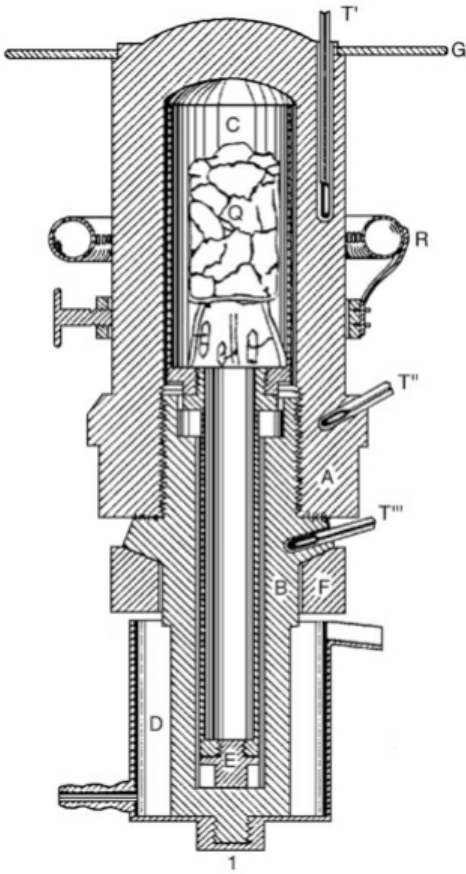


Abb. 3.2
Originalapparat von Spezia 1905
zur Hydrothermalzüchtung von
Quarz

Nach Spezia resultierte die Korrosion des Quarzes im oberen Teil des Silberdrahtbehälters in der Bildung von Natriumpolysilikat, dessen Lösung in schwerem Zustand zum kühleren Teil der Bombe herabsank, in dem sich das überschüssige Siliziumdioxid als Quarz abgelagerte. Es ist beachtenswert, daß der Ablagerungsbereich nur wenige Zentimeter vom Lösungsbereich entfernt war, und weit über dem Bereich der Bombe, in dem die Temperatur zwischen 225 °C und 237 °C variierte.

In einem zweiten, ähnlichen Versuch, der 199 Tage dauerte, wurden die Impfkristalle günstiger platziert. Zwei von ihnen waren 0,5 cm dicke Platten, die senkrecht zur optischen Achse geschnitten waren. Am Ende des Versuchs war einer von ihnen länger geworden: Die Länge betrug nun 2,5 cm. Die Silberdrähte, welche die ursprünglichen Platten hielten, waren durch ein neues Wachstum tief eingegraben, jedoch nicht auf den Prismenflächen. Spezia gab in diesem Versuch die Temperatur im Lösungsbereich mit über 326 °C an und die des Abagerungsbereichs unter 326 °C.

Obwohl der Silberdraht nicht das Wachstum des Quarzes verhinderte, gab es Anzeichen dafür, daß durch ihn eine Trübung des frisch kristallisierten Materials entstand. In den nachfolgenden Versuchen im Jahr 1908 wurden deshalb die vorbereiteten Prismen mit einem Gürtel aus Silberdraht gesichert, der in Kerben gelegt wurde, die in und um das Prisma senkrecht zur optischen Achse geschnitten wurden. Zwei solcher etwa 5 mm langen Prismen wurden mit einer wäßrigen Lösung die 1,9 % Na_2SiO_3 und 12,7 % NaCl enthielt, in die Bombe gelegt. Die Quelle des Siliziumdioxids sowie die Temperatur der Bombe waren dieselben wie in den voran gegangenen Versuchen. Eines der Prismen hatte einen Durchmesser von etwa 11 mm, das andere etwa 6 mm, so daß die Schnittfläche des einen etwa dreimal größer war als die des anderen

Nach 5 Monaten war der größere Kristall etwa 19 mm lang, leicht trüb und mit kaum ausgebildeten rhomboedrischen Flächen. Der kleinere Kristall jedoch war etwa 13 mm lang mit gut ausgebildeten Flächen, und der neu gewachsene Teil war vollkommen transparent.

Gemäß Spezias Interpretation der Ergebnisse war die Wachstumsmenge etwa proportional zu der Schnittfläche, aus der das Wachstum entstand. Spezia vermutete, daß der Unterschied in der Trübung der beiden Kristalle aus den unterschiedlichen Wachstumsraten resultierte. Im selben Versuch erzeugte Spezia zusätzliches Wachstum auf einem japanischen Zwilling mit zwei gebrochenen Enden. Der hinzugefügte Quarz war glasklar, wenn auch das ursprüngliche Exemplar leicht trüb war. Spezia stellte fest, daß durch das Natriumchlorid in der Lösung Kristalle erzeugt wurden, die transparenter waren, zerfurchte Prismenflächen hatten und auffälliger Größenunterschiede aufwiesen zwischen den beiden Schnitten der rhomboedrischen Flächen.

Die Präsenz von NaCl führte zu einer Klarheit, die identisch war mit den besten in den Geoden im Carraramarmor gefundenen Kristallen.

Um die Wirkung der Bewegung der Lösungen zu untersuchen, wurde ein Versuch mit zwei vorbereiteten Prismen durchgeführt. Die optische Achse des einen war vertikal ausgerichtet, die des anderen horizontal. Nach 5 Monaten war das horizontale Prisma, dessen Schnittfläche parallel zur Länge der Bombe war, um 78,65 % schwerer geworden, während das vertikale Prisma, dessen Schnittfläche senkrecht zur Längsrichtung der Bombe lag, um 96,98 % schwerer geworden war. Die in diesem Versuch verwendete Lösung enthielt 11,3 % NaCl und 1,2 % Na_2SiO_3 .

Das Resümee des 199 Tagen dauernden Versuches:

Nach seiner Erklärung löst sich das Silikat im oberen Teil des Autoklaven, wodurch die Dichte der Lösung größer wird und Strömung nach unten erfolgt. Durch die Abscheidung des SiO_2 an den Keimen wird die Lösung leichter und steigt nach oben. Auf diese Weise sollte eine dauernde Zirkulation der Lösung und Aufrechterhaltung der Übersättigung im unteren Ende des Autoklaven stattfinden. Diese Deutung ist nur zum Teil korrekt. – Spezia hatte den Einfluß der Temperatur auf die Dichte der Lösung nicht beachtet, welcher viel größer als der Einfluß der Löslichkeit ist. An Stelle einer Durchmischung fand eine Stagnierung statt (!) –

Immerhin konnte der in den 199 Tagen aus einem Keim von 0,5 cm Dicke einen Kristall erhalten, **der 2,5 cm dick** war.

Hätte Spezia nur seinen Autoklaven auf den Kopf gestellt, dann wäre das Problem gelöst worden, aber darauf mußte man vierzig Jahre warten!

Spezias Ergebnisse verdienen besondere Beachtung, nicht nur wegen der Qualität und der Menge des erzeugten Quarzes, sondern auch über die Konstruktion seines Apparates und weil das verwendete System einfach genug ist für eine systematische *physikalisch-chemische Untersuchung*.

Unter den synthetischen Mineralien, die ein technisch-industriell begehrtes Objekt darstellen, steht der Quarz an erster Stelle.

Die vorteilhaften optischen und piezoelektrischen Eigenschaften des trigonalen Quarzes blieben lange unausgenutzt.

Erst zu Beginn des Zweiten Weltkrieges wurde dieses Mineral plötzlich zu einem wichtigen strategischen Rohstoff. (Schwingquarz-Fertigung.) Der schnelle Anstieg des Verbrauchs machte sich besonders in den industriell hoch entwickelten Ländern bemerkbar.

So führten beispielsweise die USA im Jahre 1910 24 t Bergkristall, im Jahre 1940 1103 t und im Jahre 1944 mehr als 2000 t im Wert von 12 Millionen Dollar ein.

Bei einem derartigen Wachsen des Verbrauchs war es kein Wunder, daß in allen Ländern, die Quarze verarbeiten, der Erforschung ihrer Synthese große Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Einen wichtigen Beitrag zur Hydrothermalen Synthese in Deutschland verdanken wir Prof. Richard Nacken (1884–1971). Am 4. Mai 1884 in Rheydt im Rheinland geboren, ist schon im Elternhaus die Liebe zur Natur geweckt worden. So war es fast selbstverständlich, daß für ihn nur das Studium der Physik und Chemie in Frage kam. Nach Studium in Göttingen, 1906 als Mineraloge promoviert, betrachtete sich Nacken selber doch als Physikochemiker.

Seine ersten Veröffentlichungen am Mineralogisch-Petrographischen Institut in Berlin beschäftigten sich mit physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten der Salzmineralbildung.

Als jüngster Professor der damaligen Zeit folgte er 1910 einem Ruf nach Leipzig.

Von Leipzig ging er 1914 an die Universität Tübingen. 1918 wurde er als Ordinarius für Mineralogie und Kristallographie an die Universität Greifswald berufen.

Im Jahre 1921 folgte er einem Ruf an die Universität Frankfurt/Main, als Direktor des Mineralogischen und Petrographischen Instituts der Universität.

Seine arbeitsreichsten Jahre waren die in Frankfurt. Die überaus zahlreichen Veröffentlichungen sind sehr vielseitig orientiert, doch galt seine Liebe der Züchtung von Kristallen. Nacken war gleichermaßen Physikochemiker, Mineraloge und Kristallograph wie auch ein excellenter Techniker. Dieser Veranlagung verdankt es Nacken,



Abb. 3.3

Von Spezia künstlich gezüchteter Quarz

daß sein Name zu internationalem Rang und Ansehen gelangt ist. So plante er auch die Errichtung eines Hydro-Thermalen-Instituts zum Zwecke des Studiums von Quarz, Glimmer und Asbest und anderen hydrothermalen Mineralien.

Die Krönung seiner wissenschaftlichen Arbeit fand Nacken in der Hydrothermalen Züchtung von Quarz-Einkristallen. Schon seit seiner Greifswalder Zeit verfolgte er das Kristallisationsverhalten des Bergkristalls, und schon frühzeitig hatte er auf die wirtschaftliche und strategische Bedeutung des Piezoeffekts – insbesondere des Quarzes – hingewiesen.

Im Jahre 1936 unterrichtete er den Leiter von Forschung und Entwicklung bei Telefunken, Prof. Rukop, daß Quarz künstlich hergestellt werden könnte und deutete an, daß der natürliche Vorrat an Quarz einer großen Nachfrage nicht nachkommen würde.

Nach Ausbruch des Krieges 1939 informierte er auch den Leiter der Handelsgesellschaft vom Import-Export-Zentrum für Edelsteinmineralien und Quarz in Idar-Oberstein, daß der Vorrat an natürlichem Quarz nicht ausreichen würde.

Seinen Hinweisen wurde jedoch keinerlei Beachtung geschenkt!

Ende 1943 und Anfang 1944 geriet jedoch dann das Rüstungs-Ministerium in Panik und veranlaßte, daß er über Nacht Quarz in größeren Mengen herstellen sollte.

Mit Unterstützung des Reichsforschungsrates wurde sein Labor von Frankfurt/Main in eine bombensichere Gegend nach Schramberg/Schwarzwald verlegt.

In der Hamburg-Amerikanischen Uhrenfabrik (nachmals Junghans) stellte man ihm reichlich Platz zur Verfügung.

Gegen Mitte 1944 hatten Nacken und seine Mitarbeiter die Voraussetzungen für eine Synthese erarbeitet. In den durchgeführten Versuchsreihen wurde gezeigt, wie rasch unter geeigneten Bedingungen Bergkristall in ausgezeichnet klarer Art und, wenn man von unverzwilligten Keimen ausgeht, auch einheitliche, unverzwilligte Individuen entstehen.

Nackens Erfolge resultieren aus seinen Forschungen an der Universität Frankfurt/Main im Jahre 1921. Sie wurden damals im Zentralblatt für Mineralogie unter dem Titel „Welche Folgerungen ergeben sich aus dem Auftreten von Flüssigkeits-einschlüssen in Mineralien“ veröffentlicht.

Einen kurzen Abriß daraus möchte ich aufzeigen:

In vielen Naturvorgängen im hydrothermalen Gebiet und bei der Kristallzüchtung dieser Art handelt es sich um Vorgänge, die sich in einem abgeschlossenen Raum abspielen. Ein einmal vorgegebenes Volumen, sei es ein Hohlraum, z. B. eine Mandel in einem Gestein, oder sei es der Raum eines Autoklaven, bleibt während der Reaktions- oder Kristallisationvorgänge konstant und ebenso eine darin vorhandene Substanzmenge. Da die Löslichkeit im großen und ganzen mit der Dichtigkeit des Lösungsmittels

zunimmt, dagegen die Reaktionsstärke, auch die Eigenschaft als Kristallisator, vielfach dazu in umgekehrtem Verhältnis steht, die Reaktion also in weniger dichten Medien mit größerer Intensität erfolgt, ist es von größtem Interesse, sich darüber eine Vorstellung zu verschaffen, wie sich beim Erhitzen einer abgemessenen Flüssigkeitsmenge diese im abgeschlossenen Raum verhält. Schon 1921 habe ich solche Versuche ausgeführt und auf die wesentlichen der oben geschilderten Punkte hingewiesen.

Einschlüsse flüssiger und gasiger Art sind weit verbreitet in Quarzen und in anderen Mineralien. Es sind dies meist winzige, unregelmäßige Hohlräume, mitunter auch von Flächen bedeckte „negative“ Kristallformen.

Ihr Inhalt kann sehr verschieden sein: Reines Wasser oder aus flüssigem Wasser mit Kohlensäure, auch reine Kohlensäure. Erhitzt man solche Präparate, so verschwinden bei einer bestimmten Temperatur die Trennungsgrenzen oder der Hohlraum füllt sich völlig an. So konnte ich für bestimmte Quarze bei 210 °C die homogene flüssige Ausfüllung der Wassereinschlüsse beobachten. Bei niedrigerer Temperatur war also der Hohlraum 85 % mit flüssigem Wasser erfüllt.

Man darf wohl annehmen, daß bei der Entstehung ein Tropfen der Lösung eingeschlossen wurde, der, da bei hohen Drucken Gasphasen nicht auftreten, den Raum als Flüssigkeit völlig erfüllte. Bei 210 °C herrscht im gesättigten Dampf ein Druck von 19,4 Atm. Wie in der angezogenen Arbeit aufgezeigt wurde, sind diese Werte nur Minimalwerte, und man kann ohne Zusatzhypothesen nichts weiter aussagen, als daß der vorgelegene Bergkristall bei über 210 °C und einem Druck über 19,4 Atm entstanden ist: immerhin Größen, welche über die mutmaßliche Entstehung des Bergkristalls einiges aussagen konnten...

In seiner Arbeit betonte Nacken, daß für die Deutung der hydrothermalen Vorgänge die Kenntnis des Verlaufs der Isochoren im Temperatur-Druck-Gebiet von größter Wichtigkeit ist. Damals standen Nacken nur unvollständige Unterlagen zur Verfügung. Auf diese Erkenntnisse aufbauend galt es nun, in Schramberg weitere Unterlagen zu erarbeiten. Sein Mitarbeiter Dr. W. Kofing, befaßte sich intensiv damit und konstruierte ein Tabellenwerk.

Ein weiteres Problem war der Verlauf der Löslichkeitskurven in einem solchen System in Abhängigkeit von Druck und Temperatur.

Auf diesem Gebiet arbeitete Dipl.-Chem. Rudolf Florian (dabei entstand auch eine Dissertation darüber – leider ist es bedauerlich, daß eine Veröffentlichung dieser Arbeit infolge der Kriegs- und Nachkriegswirren unterblieb).

Wie für viele andere schwer lösliche Mineralien dürften Löslichkeitsdiagramme in der Art von Abb. 3.4 charakteristisch sein.

Stärker lösliche Salze haben einen sehr erheblichen Einfluß auf die Erscheinungen im kritischen Gebiet. Auf diese Thematik einzugehen, würde zu weit führen, auch auf die Einbeziehung von Stoffen, deren Löslichkeit mit steigender Temperatur abnimmt.

Das Studium des Verhaltens der Mineralien in diesem Gebiet ist eine sehr wichtige Aufgabe, so auch die Prüfung der Löslichkeitswerte des Quarzes in großen Autoklaven. Solche Versuche können nur mit erheblichen Mitteln durchgeführt werden.

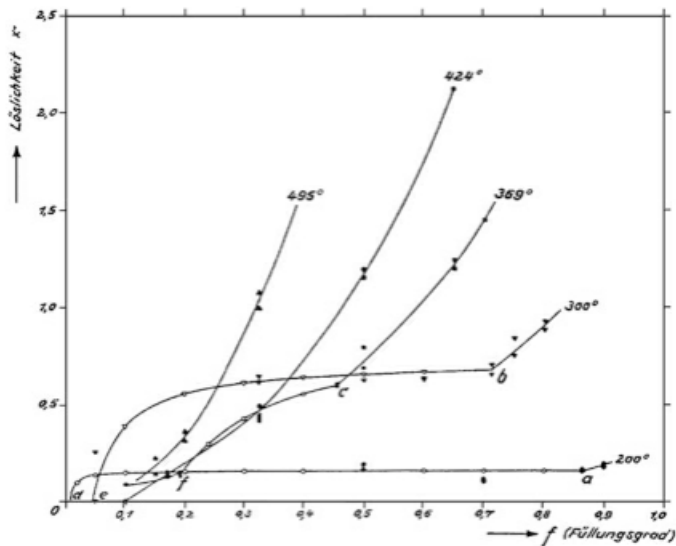


Abb. 3.4
Löslichkeitsdiagramme

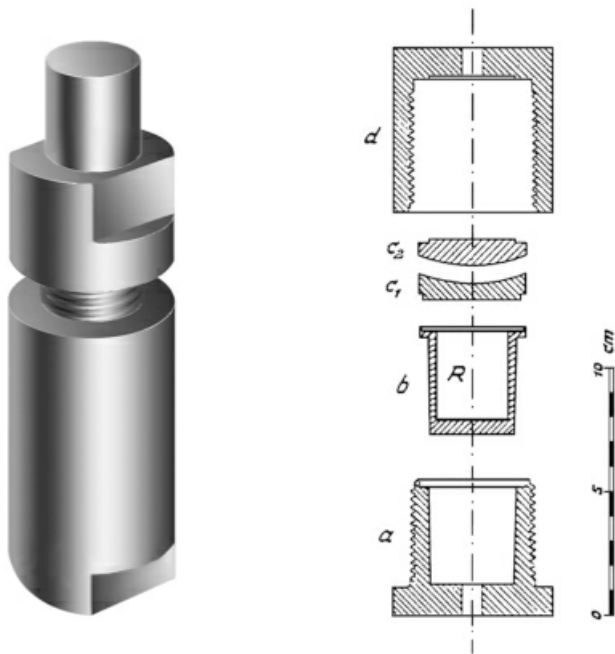


Abb. 3.5 (links außen)
Erster
Versuchsautoklav
für Löslichkeits-
bestimmung

Abb. 3.6
Arbeitsautoklav
im Schnitt

Durch das Studium der Einschlüsse ist andererseits der Hinweis erbracht, daß in der Natur die Entstehung des Bergkristalls tatsächlich in die hydrothermale Phase fallen kann, so daß bei praktischen Arbeiten Temperaturen zwischen 400 °C und 500 °C gebraucht werden.

Für die Versuche in dieser Richtung galt es, nun auch einen praktischen Autoklaven zu entwickeln. Nach vielen Vorversuchen wurde schließlich ein Autoklaventyp entwickelt, der in *Abb. 3.5* dargestellt ist. Er erfüllte alle Anforderungen, die bei der vorgesehenen Arbeit an ihn gestellt wurden.

Die *Abb. 3.5* zeigt den allerersten Autoklaven. Aus dieser Konstruktion entstand dann der nachstehende Arbeits-Autoklav – *siehe Abb. 3.6*.

Aus der *Abb. 3.6* ist seine Konstruktion ersichtlich. Das Unterteil **a** besteht aus Gußeisen, die anderen Teile aus Siemens-Martin-Stahl. Im Tiegel **b**, der etwas konisch zulaufend genau in das Unterteil **a** paßt, sitzt ein Silbertiegel **R** mit 0,3 mm Wandstärke, welcher oben durch eine Silberlamelle gleicher Dicke verschlossen wurde (um Korrosionserscheinungen des Materials, aus dem die Autoklaven bestehen, zu verhindern, wurde ein Silbertiegel gewählt).

Zwei sphärisch geschliffene, aufeinander passende Ausgleichsscheiben **C₁** und **C₂** sorgen dafür, daß der Druck der Verschlußschraube diese Lamelle gleichmäßig auf den umgebördelten Rand drückt, wenn die Haube **d** aufgeschraubt wird.

Ein Sechskant am Unterteil **a** unten und an der Haube **d** oben ermöglicht ein festes Zuziehen des Autoklaven. Das Unterteil **a** ist aus Gußeisen, um ein „Fressen“ der Gewinde in diesem und in der Haube **d** bei hohen Temperaturen zu vermeiden.

Prinzipiell gibt es zwei Wege zur Züchtung von Quarz:

Die *Temperatur-Gradienten-Methode* (auf ihr bauen alle später angewandten Verfahren auf), und die *isothermale Methode*.

Nacken wandte bei seinen Versuchsserien in den Jahren 1943/44 die isothermale Methode an. Die **isothermale Methode** spielt möglicherweise auch in der Natur eine wesentliche Rolle.

Will man isotherm arbeiten, so muß man zur Herstellung der kristallisierten Kieselsäure von einer energiereicheren Modifikation ausgehen. Als solche bietet sich die geschmolzene Kieselsäure dar. Kieselglas hat gegenüber dem kristallisierten Quarz eine mehr als 10-fach erhöhte Löslichkeit. Bringt man sie daher in den Autoklaven gleichzeitig mit einem Impfkristall, so erfolgt auf diesem Keim, dessen Löslichkeit wesentlich geringer ist als die des Glases, die Kristallisation.

Man kann also bei konstanter Temperatur ein geeignetes Temperaturgefälle herstellen und Bergkristall züchten.

Nacken benutzte bei seinen durchgeführten Versuchen zwischen 300 °C und 400 °C Keime in Form einer Kugel, die wegen der anisotropen Wachstumsgeschwindigkeit zu der bekannten Bergkristallform anwuchsen.

Auf diese Weise wurde also **zum ersten Mal gezeigt**, wie eine Kugel aus Bergkristall zu einem Quarzkristall auswächst.

Die isothermische Züchtung von Quarzkristallen in der eben genannten Art zeigte leider, wie sich dann herausstellte, mancherlei Mängel: Man kann die Löslichkeit des Glases nur durch Lösungen oder durch die Wahl der Temperatur beeinflussen und ebenso die Kristallisationsgeschwindigkeit des Impfkristalls regulieren, andererseits nur schwer das spontane Umstehen des Glases in den kristallisierten Zustand verhindern.

Mitunter entstehen aus den unregelmäßigen Bruchstücken des eingebrachten Kieselglases neue Produkte, die aus feinstkörnigem Quarz in strahligen Aggregaten bestehen. Eine weitere Schwierigkeit trat auf, weil es sich nicht immer verhindern ließ, daß auf den Autoklavenwänden spontan Kristallisation erfolgte. So wurden mitunter in wenigen Stunden die Wände der Autoklaven mit einer dicken Quarzschicht überzogen.

Trotz all dieser Mängel bleibt es das große Verdienst von Nacken und seinen Mitarbeitern, den ersten synthetischen Quarz der Welt in einer für piezoelektrische Verwendung geeigneten Größe hergestellt zu haben! In *Abb. 3.7* ist der synthetische Quarzkristall gezeigt.

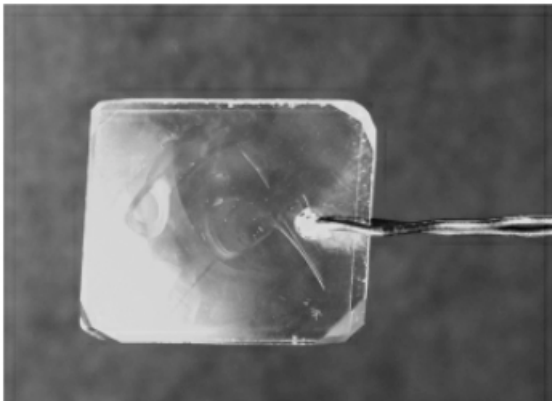


Abb. 3.7
Erster synthetischer
Quarzkristall 1944

In Prof. Nackens Labor wurde dann ein Versuchsschwingquarz für Dickenschwingungen aus einer rechteckigen Platte mit den Abmessungen 20 x 20 x 5 mm mit folgenden Daten angefertigt:

Frequenz:	4281,7	kHz
Widerstand bei Resonanz:	10	Ohm
Induktivität:	0,095	Hy
Temperaturkoeffizient zwischen 10 °C und 80 °C:	$2,2 \cdot 10^{-5}$	
Schnittwinkel:	52°	

Der Temperaturkoeffizient war etwas größer als der von Kristallen aus Naturquarz, die im üblichen Winkel geschnitten wurden.

Dies wurde durch die Tatsache erklärt, daß der künstliche Quarz, anstatt des normalerweise erforderlichen Wertes von 41°, einen Winkel von 52° hatte.

Dieser Fehler wurde bei späteren Versuchsmustern durch korrekte Abmessungen des Impfkristalls behoben.

1944 standen also die ersten synthetischen Quarzkristalle zur Verfügung, die groß genug waren, um Resonatoren zu erzeugen. Das Rüstungsministerium und der Ringleiter für Quarz Dr. Bechmann wurden über die Ergebnisse informiert. Danach hat Prof. Nacken nichts mehr von der Sache gehört.

Zur Kenntnis gelangten ihm nur, daß die Firma Telefunken seine Methode als Patent angemeldet und Fertigungseinrichtungen bestellt hatte.

Als 1945 Prof. Nacken bei dem Verhör durch Major A. C. Swinnerton vom US Signal Corps auf eine Fertigungsstätte in Steinbach/Thüringen angesprochen wurde, mußte er eine Kenntnis darüber verneinen – so gut war manchmal doch noch die Geheimhaltung! –

(Auf die Fertigung in Steinbach komme ich später noch zurück.)

Beim Einmarsch der französischen Truppen in Schramberg entdeckten sie dann auch das Forschungslabor und entführten das Institut mit Prof. Nacken nach Paris.

1945/ 1946 kehrte Prof. Nacken wieder an die Universität Tübingen als Ordinarius an das Mineralogisch-Petrographische Institut zurück.

Über die französische Besatzungsmacht gelangten dann seine Forschungsergebnisse an die Amerikaner.

Die Unsicherheit der Lieferungen aus Brasilien veranlaßten auch das US Signal Corps, die künstliche Erzeugung von Quarz noch vor 1942 in Erwägung zu ziehen.

Während der Jahre 1943 und 1944 konnte man den militärischen Bedarf noch durch Quarz aus Brasilien und durch organisches piezoelektrisches Material (Ammonium-dihydrogenphosphat) für bestimmte Anwendungen decken. Bereits 1945 jedoch kamen einige militärische Berater zu dem Schluß, daß gleichbleibend hohe Liefermengen an natürlichem Quarz gefährdet waren, da die bekannten Abbauorte in Brasilien erschöpft waren und man noch keine neuen entdeckt hatte. Dies führte sofort zu verstärkten Forschungsaktivitäten im Bereich der hydrothermalen Bedingungen in wässrigen Lösungen.

Nachdem die Informationen über die Quarzsynthese von Prof. Nacken bekannt wurden, startete das US Signal Corps Anfang 1946 über Verträge mit verschiedenen industriellen und akademischen Forschungsgruppen Projekte zur Synthese von Quarzkristallen zu verhandeln.

Vielerorts in USA sowohl wie in Europa versuchten Forscher wie **N. Wooster** und **W. A. Wooster**, **Cr. E. Owen**, **D. R. Hale**, **G. van Praagh**, **A. C. Swinnerton**, **J. I. Franke** sowie **J. F. Corwin** die **isotherme** Methode der Quarzzüchtung zur

technischen Reife zu entwickeln. Als Transportmedium wurden alkalische Lösungen folgender Natriumverbindungen verwendet: Carbonat, Bicarbonat, Borat, außerdem Ammoniumfluorid.

Nachdem die wiederholte Prüfung der isothermen Methode ergeben hatte, daß die bekannten Mängel dieses Verfahrens – schneller Abfall der Übersättigung an Kieselsäure durch Übergang der als Nährsubstanz dienenden Kieselsäure in kristallinen Quarz, nicht beherrschbare spontane Keimbildung während der Übersättigungsperiode und nicht zuletzt die Schwierigkeit, die großen Autoklaven auf einer konstanten Temperatur zu halten – die Züchtung von Quarz in einem technologischen Maßstab nicht erlauben würden, begannen die Versuche zum Ausbau der Gradientenmethode. Dank der Begeisterung von Dr. C. B. Sawyer betraute das Signal Corps die Firma Brush Development Company mit der Durchführung eines dieser Projekte.

Im Jahre 1953 hatte man Kristalle akzeptabler Größe für elektronische Anwendungen im Labor erzeugt, und man errichtete im Rahmen des Vertrags mit dem Signal Corps eine Pilotanlage bei der Brush Laboratories Company, Division of Clevite Corporation. Auch die Bell Telephone Laboratories in Murray Hill, N. J. unter E. Buehler und A. C. Walker und später unter Robert A. Laudise führten erfolgreiche Untersuchungen in diesem Bereich durch.

Man machte sich dort frühzeitig Gedanken, wie man die Laborversuche zu einem Produktionsprozeß ausweiten könnte. Die Arbeiten begannen in der Vorversuchsfertigung mit Autoklaven, die aus ehemaligen Geschützrohren und Granaten-Rohlingen angefertigt worden waren. Bald darauf lieferte die Industrie in den USA handelsübliche Autoklaven, das war schon ein großer Erfolg! Auch die erfolgreichen Versuche bei Bell in der Hydrothermalsynthese führten zu solchen Kristallen, die hinsichtlich Güte und Größe zur technischen Verwendung geeignet waren.

Eine Pilotanlage zur Quarzzüchtung wurde dann von der Western Electric Co., einer Tochtergesellschaft der Bell Telephone Laboratories aufgebaut, um die Verhältnisse im Großversuch kennenzulernen.

1962 begann die Produktion großer Quarzkristalle unter wirtschaftlichen Aspekten in einer Fabrik der Western Electric Co. in Merrimack Valley. Die wesentliche Änderung der Fertigungsmethode gegenüber Nacken war die Benutzung von kristallinem Quarz als Ausgangsmaterial und Einführung von Temperaturgradienten, also die Rückkehr zur ursprünglichen Methode von Spezia. Der Unterschied gegenüber Spezia ist, daß jetzt höhere Drucke benutzt wurden, und dadurch konzentriertere Lösungen.

Der Autoklav ist in *Abb. 3.8* wiedergegeben.

Für das Temperatur-Differenz-Verfahren benutzte man einen länglichen Autoklaven. Er bestand aus einem dünnwandigen, mit Kappen verschlossenen Rohr, innen versilbert, das in einem dickwandigen, nahtlosen Außenbehälter aus kohlenstoffarmem Stahl eingeschlossen war. Durch Verschweißen des überstehenden Kappenrandes mit dem Innenrohr wurde ein guter Verschluß erreicht. Der Druck der sich ausdehnenden

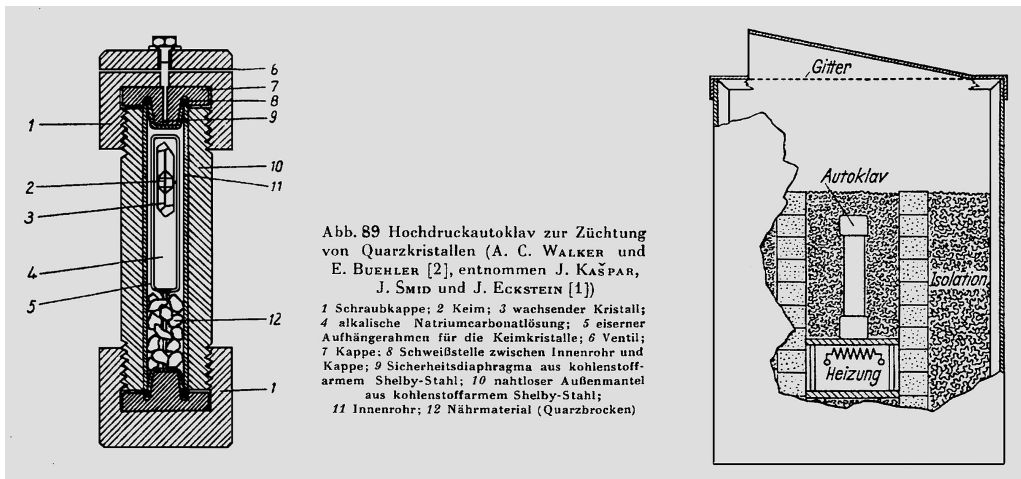


Abb. 3.8 Hochdruckautoklav zur Züchtung von Quarzkristallen
(A. C. Walker und E. Bühler)

Flüssigkeit dehnte das innere Rohr, so daß es sich fest an die Innenfläche des Außenbehälters anschmiegte. Ein Diaphragma, dessen Dicke dem zulässigen Höchstdruck angepaßt war, riß bei Überdruck. Der Dampf konnte dann durch eine Bohrung und vier Kanäle in der oberen Kappe entweichen. Der Autoklav stand aus sicherheitstechnischen Gründen in einem dickwandigen Metallkasten, welcher die Heizeinrichtung enthielt und nach außen thermisch isoliert war.

Die Abmessungen des Autoklaven:	Innendurchmesser	7,5 cm
	Außendurchmesser	25,0 cm
	Länge	75,0 cm

Am Boden des Autoklaven befand sich die Nährsubstanz aus gröberen Stücken von brasilianischem Quarz, darüber an einer Aufhängevorrichtung die Quarzimpflinge. Als Impflinge benutzte Walker Platten von 3 mm Dicke und einem Querschnitt von etwa 4 x 5 cm.

Als Nährlösung wurde Wasser mit NaOH oder Na_2CO_3 benutzt (optimale Konzentration 0,5 mol/L eingesetzt).

Die dann gezüchteten Kristalle wurden viel klarer und durchsichtiger als aus Karbonat-Lösungen. Die Füllungsgrade des Autoklaven lagen etwa bei 78 Vol.-%. Es entstand bei einer Bodentemperatur von 400 °C ein Druck von etwa 865 Atm.



Abb. 3.9
Quarzkristall
nach der Gradientenmethode
innerhalb von 20 Tagen
gewachsen
(A. C. Walker und E. Bühler)

Weitere Versuche zur Quarzsynthese führte Walker in einer verbesserten Autoklavenkonstruktion durch. Eine Lochscheibe oberhalb der Nährkristalle erhöhte den Temperaturgradienten zwischen Nähr- und Wachstumszone und sorgte für eine hohe Übersättigung. Die Quarzkristalle, die unter diesen Bedingungen in natriumhydroxydhaltigen Lösungen im Temperaturbereich zwischen 380 °C und 425 °C gewachsen waren, erwiesen sich als bemerkenswert klar und hatten glatte Oberflächen.

Noch größere Autoklaven, um die Technologie der Quarzzüchtung leistungsfähiger zu gestalten, wurden von R. A. Laudise und R. A. Sullivan verwendet.

Die Abmessungen lagen bei 270 cm Höhe und 15 cm lichter Weite. Die Quarze erreichten einen Durchmesser von 5,0–7,5 cm und eine Länge von 15 cm. Die Wachstumsgeschwindigkeit betrug etwa 1,5 mm/Tag.

Abb. 3.9 zeigt den Quarzkristall, der unter diesen Bedingungen gewachsen ist.

Heute werden synthetische Quarze in großtechnischen Anlagen vorwiegend in Japan gezüchtet. Es sind dies dort die Firmen:

Toyo Communication Equipment Co., LTD
Nihon Dempa Kogyo Co., LTD (NDK)
Kinseki Limited.

Die Firma Toyo errichtete auch ein deutsches Zweigwerk – die TOYOCOM Quartz GmbH – in Mettmann bei Düsseldorf, inzwischen wurde aber die Produktion dort wieder eingestellt.

Zwei Firmen gab es außerdem auch in Deutschland, die künstliche Quarze gezüchtet haben:

Dr. Baumann in Heidelberg/Flehingen
Carl Zeiss Jena.

Bei ersterer und – wie noch bei anderen Firmen – beginnen die Schwierigkeiten, die Technikgeschichte darzustellen: es ist nichts mehr an Firmenmaterial bzw. Auskünften zu erhalten!

Bei der Firma Zeiss sind noch einige Unterlagen zu diesem Thema vorhanden.

Ernst Abbe, der Begründer der wissenschaftlichen Optik, führte als erster auf systematischer Grundlage Kristalle in den Gerätebau ein. Er hat die Bedeutung der Kristalle sehr früh erkannt und veranlaßte ab 1904 auch die Züchtung von Kristallen im Mineralogischen Institut der Jenaer Universität zusätzlich förderte er auch die Einrichtung eines firmeneigenen Labors zur Kristallzüchtung.

Die Kristallzüchtung bei Carl Zeiss hat Tradition.

Hervorragende Wissenschaftler, wie Alexander Smakula u. a., waren hieran beteiligt und wichtige Minerale wurden künstlich dargestellt. Nach dem 2. Weltkrieg bestand die Notwendigkeit für Carl Zeiss, wegen der Embargopolitik, synthetischen Quarz selbst herzustellen.

Hier dazu ein paar Kurzdaten:

1949 Carl Zeiss baut in Zusammenarbeit mit Leuna den ersten kleinen Autoklaven

1951 Bestellung des ersten 7-Ltr.-Autoklaven bei Leuna

1952 Beginn der ersten Versuche im 100-ml-Autoklaven

1953 Erste „Quarkriställchen“.

Erster Zuchtversuch im 7-Ltr.-Autoklav. Forschungsauftrag „Kristallzucht“ zum Volkswirtschaftsplan 1954 erstellt.

Dieser sieht auch den Bau eines Autoklavengebäudes zur Aufstellung von 6 Hochdruckautoklaven vor.

1955 Erste Züchterfolge in 10-Ltr.-Autoklaven

1961 Der erste synthetische Quarz, gezogen aus Naturquarz-Nährgut, wurde zu Schwingquarzen aufgearbeitet.

Diese chronologische Übersicht gibt nur einen kleinen Einblick in die Aktivitäten zur Hydrothermalsynthese bei der Firma Zeiss, eine Nachbetrachtung folgt dann in *Kapitel 7 – Firmenprofile*.

Produktion und Produktionsanlagen von synthetischem Quarz

1964 begann in den USA, England und Japan die Großproduktion von synthetischem Quarz, und gegen Ende des Jahres wurde von einigen Firmen schon die ersten serienmäßig hergestellten Quarze, die für Resonatorzwecke vorgesehen waren, ausgeliefert.

Die Produktionsanlage

Die Produktionsanlage besteht je nach Größe aus 1^n Quarzzuchteinheiten. Jede besteht aus einem großen zylindrischen Hochdruck-Autoklaven (Abb. 3.10), der mit Widerstandsheizbändern und entsprechender Wärmeisolation versehen ist. Regeleinrichtungen überwachen Temperatur und Druck. Die gesamte Anlage ist in einem Gebäude mit besonderer Bauart (leichte Dachkonstruktion – Schutz bei Berstdruck) untergebracht. Die Autoklaven stehen in einzelnen Kammern und sind je nach Ausführung in Gruben eingelassen, aus denen nur die Verschlüsse herausragen, teils bei freistehender Konstruktion über Arbeitsbühnen zu bedienen.

In den Autoklaven befinden sich zwei Zonen, die auf verschiedener Temperatur gehalten werden.

In der unteren Zone mit der höheren Temperatur findet der Lösungsprozeß und in der oberen Zone mit der niedrigeren Temperatur die Kristallisation statt.

Das erforderliche Temperaturgefälle wird durch eine Prallfläche, welche die Querschnittsfläche unterhalb der Mitte des Autoklaven einengt, und durch ein Regelsystem für die Heizung aufrecht erhalten.

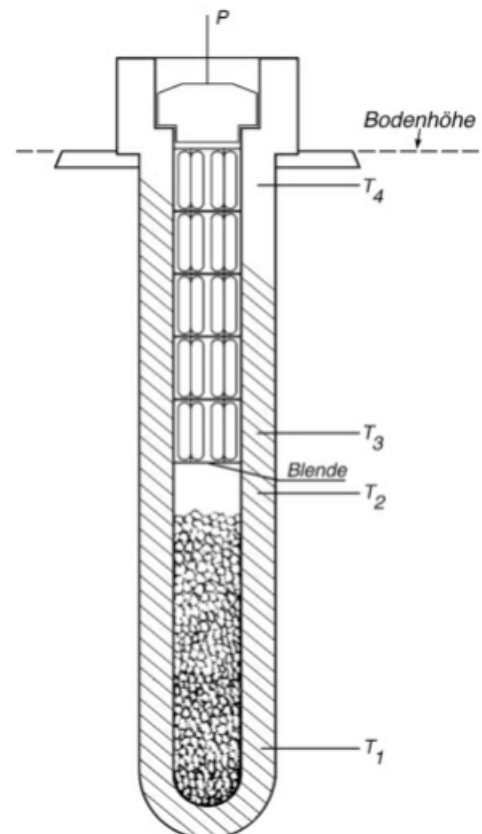
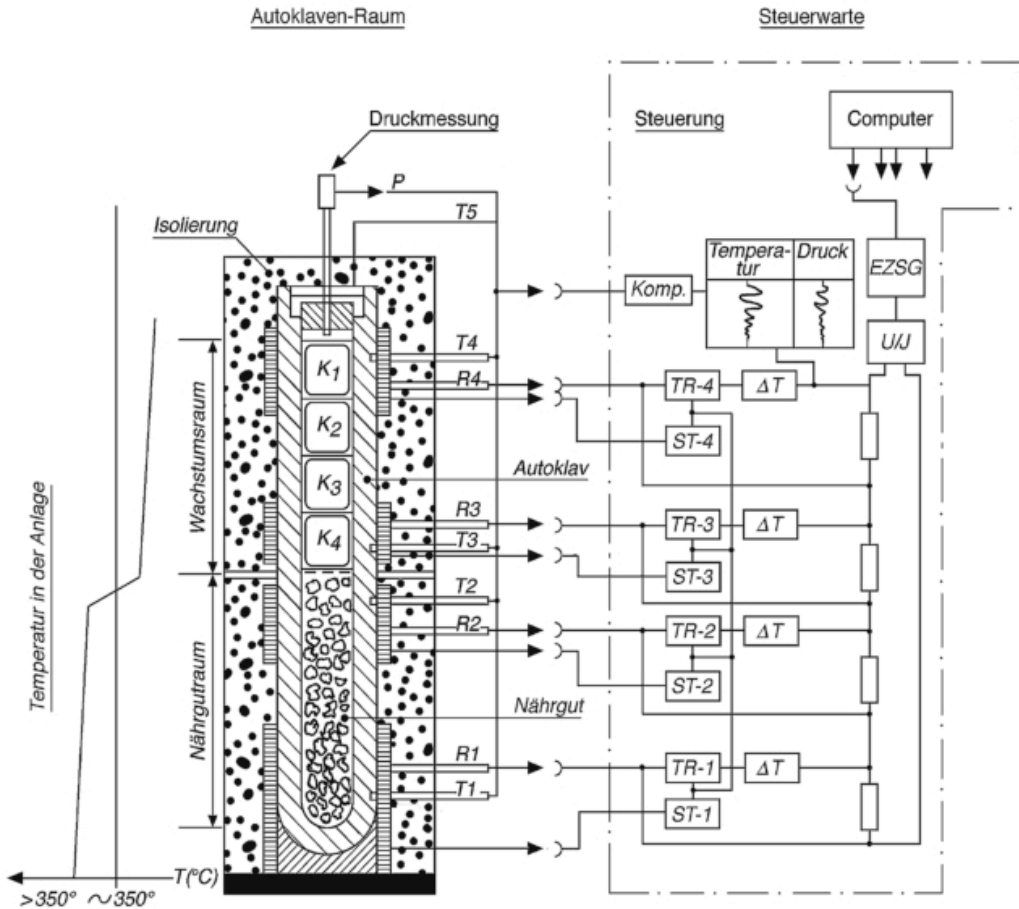


Abb. 3.10

Schnitt durch einen Autoklaven mit Einbauten. Das Leergewicht beträgt ca. 5 Tonnen.



Aufbau:

Links angegeben der Temperaturverlauf im Autoklaven, am Boden die höchste und am Deckel die geringste Temperatur. Im Nährgutraum und im Wachstumsraum geringes Temperaturgefälle und der Anlagenmitte mit größerem Gefälle.



- getrennt regelbare ohmsche Heizungen
- TR-1...4 Temperaturregler
- ST-1...4 Stellglieder
- ΔT Einrichtung zur Temperaturgradientenbildung
- T1...5 Temperaturmeßstellen
- R1...4 Temperaturreglerstellen
- EZSG Elektronische Zeitplanvorgabe (Steuergerät)
- K1...n Quarzkeimplatten am Zuchtende

Die Zeichnung zeigt einen Produktionsautoklaven mit Isolierung und Steuertechnik, das Foto zeigt einen Einblick in den Meß- und Kontrollraum

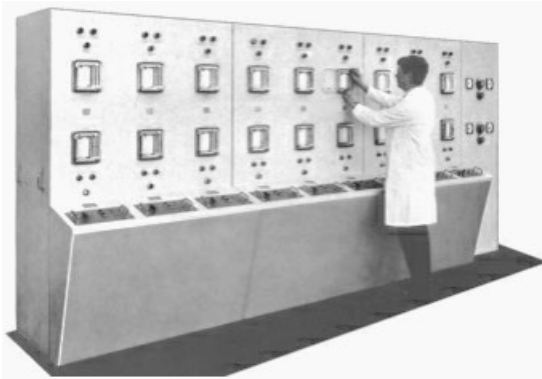


Abb. 3.11

Darstellung eines Autoklaven für die Quarzsynthese

Die Temperaturen werden in dem abgesetzten Kontrollraum mit Meßwertschreibern erfaßt. Gleichzeitig werden damit elektronische Regler beaufschlagt, welche über Verstärker die Heizleistung automatisch steuern. Mit dieser Temperatursteuerung, über eine Zeitplanvorgabe, sind alle vier Heizkreise individuell regelbar.

Ein übergeordneter Prozeßrechner steuert mehrere Anlagen gleichzeitig.

Bei ununterbrochenen Anlagenlaufzeiten bis ca. 30 Tagen können sich die Anlagen in unterschiedlichen Temperaturphasen befinden. Aus diesem Grund ist der Rechner übergeordnet. Bei dessen Ausfall kann mit der Steuertechnik jede Anlage individuell weitergefahren werden. Die Autoklaven sind auch mit einem Druckmeßgerät ausgestattet, dessen Werte ebenfalls kontinuierlich erfaßt werden. Ebenfalls ist mit den Registriergeräten eine Alarmschleife verbunden, die zunächst nur akustische und optische Signale auslöst, wenn die Temperatur oder der Druck von den vorgegebenen Werten abweicht. Sollte aber die Temperatur oder der Druck unzulässige Werte überschreiten, dann erfolgt eine Sofort-Abschaltung der Heizung. Eine zusätzliche mechanische Sicherung gibt Schutz gegen Überdruck.

Herstellungsprozeß eines synthetischen Quarzes

Synthesebedingungen

Im unteren Teil des Autoklaven befindet sich ein zylindrischer Behälter aus gelochtem Stahlblech, gefüllt mit einer bestimmten Menge von grobkörnigem Nährgut aus Naturquarz.

Die Nährgutart bestimmt die Löslichkeit und den Grad der Verunreinigungen in der Lösung und damit auch den Fremdioneneinbau. Kristallbaufehler sind belanglos, da die Kristallstruktur beim Lösungsprozeß zerstört wird. Die Lagerung des Nährgutes erfolgt in Stückgröße, die von der Größe des Autoklaven abhängig ist.

Auch die Höhe der Lagerung ist wichtig, sie bestimmt das Verhältnis der Gesamtkeimoberfläche zur Nährgutmenge.

Keime

Als Quarzkeime werden dünne rechtwinklige Flächenkeime (*Abb. 3.12*) verwendet, die unter einem bestimmten Winkel zu den kristallographischen Achsen aus einem großen fehlerfreien Kristall herausgeschnitten wurden und zur Erzeugung von Y-Stabkristallen verwendet werden (R. Bechmann und D. Hale untersuchten schon 1955 eingehend die Abhängigkeit der Wachstumsrate von der Keimorientierung). Die Keimplatten werden in einem Stahlrahmen befestigt und im oberen Teil des Druckgefäßes aufgehängt, am Unterteil des Stahlrahmens ist auch die Prallfläche befestigt.

Lösung

Der verbleibende Raum im Druckgefäß wird nicht ganz mit destilliertem Wasser und Natriumhydroxidplättchen (Kautisch-Soda) in bestimmten Mengen gefüllt.

Wasser ist bei der hydrothermalen Synthese das Reaktions- und Transportmittel.

Durch den Zusatz von Alkalien wird die Reaktionsfähigkeit und damit das Wachstum erhöht.

Der restliche freie Raum bestimmt dann im wesentlichen die Dichte der Lösung.

Danach wird der Autoklav verschlossen und der Produktionsvorgang wird gestartet.

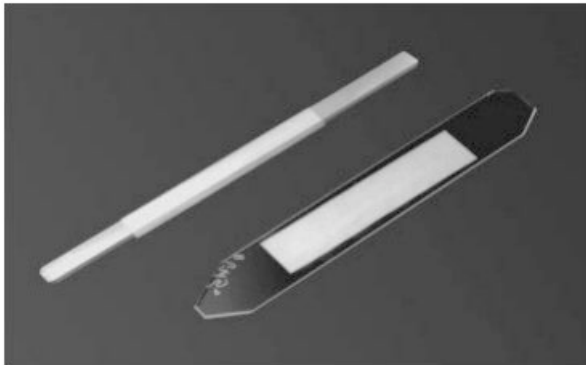


Abb. 3.12 Quarzkeime

Abb. 3.13 unten links

Eine Charge wird dem Autoklaven entnommen

Abb. 3.14 unten

Inspektion einer Charge



Durch die Erhitzung löst sich das Natriumhydroxid schnell auf, bei steigender Temperatur dehnt sich die Lösung aus. Langsam beginnt sich nun auch etwas Bruchquarz zu lösen. Mit Erreichung der Arbeitstemperatur hat sich die Lösung so weit ausgedehnt, daß sich der Autoklav vollständig gefüllt und der Anlagendruck eingestellt hat.

Die Temperaturdifferenz zwischen unterer und oberer Zone verursacht in der Lösung einen Dichteunterschied und somit eine starke Strömung entlang der Innenwand des Behälters und durch die in der Mitte des Autoklaven befindliche Prallfläche.

In der unteren Zone nimmt die Lösung den Quarz bis zur Sättigung auf, dann steigt die heiße Lösung mit der kleineren Dichte in die obere Zone. So wird sie beim Abkühlen übersättigt und scheidet den Quarz an den Keimplatten ab. Durch die starke Konvektion findet ein ununterbrochener Austausch der Lösung zwischen den beiden Zonen statt. Hierbei löst sich das Nährgut langsam und die Keimplatten wachsen zu großen Quarzkristallen.

Über die elektronische Zeitplanvorgabe mit langsamer Heizungsabschaltung wird nach der Abkühlung der Druckbehälter geöffnet und die Charge kann herausgezogen werden. Danach kann ein neuer Prozeß gestartet werden.

Die Hydrothermalsynthese hat gegenüber den meisten anderen Kristallzüchtungsmethoden den Nachteil, daß sich das Geschehen im Autoklaven, insbesondere die Konzentrationsänderungen der Lösungen und das **Wachstum der Kristalle** einer direkten Messung und Beobachtung entzieht. Versuche, um das Wachstum zu kontrollieren, wurden mit Hilfe von der Gamma-Strahlung des Kobalt-60-Isotops gemacht. Über Erfolge kann nichts berichtet werden!

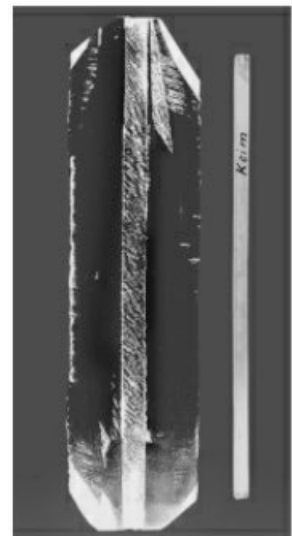


Abb. 3.15 Quarzkristalle in Form eines Y-Stabes und der dafür verwendete Keim

Wachstumsgeschwindigkeit

Die normale Wachstumsrate liegt bei etwa 0,47– 1 mm pro Tag.

Die Güte des synthetischen Quarzmaterials ist abhängig von der Wachstumsgeschwindigkeit. Bei einer höheren Wachstumsgeschwindigkeit (früher 2,5 mm/d) werden im Kristallgitter Fremdionen eingelagert, welche eine Güteverschlechterung bewirken.

Etwa 80 % der heute weltweit hergestellten synthetischen Quarzkristalle werden als Rohmaterial für die Fertigung von Quarzresonatoren verwendet.

In der Industrie (Wareneingangskontrolle der Schwingquarz-Firma) wurde deshalb eine Methode zur Ermittlung der Industriegüte (Q-Wert – indirekte Angabe des OH-Gehaltes) mittels Infrarotspektroskopie eingeführt.

Hierzu wird parallel zur C-Achse ein Stück aus dem zu untersuchenden Kristall herausgeschnitten und die beiden parallel zu der C-Achse und senkrecht zu den X-Flächen liegenden Oberflächen der Probe werden poliert.

Anschließend wird die Probe mit einem Infrarotspektrometer durchstrahlt.

Die akustische Güte des Quarzmaterials wird aus der Absorption der Infrarotbande bei der Wellenzahl von 3500 cm im Verhältnis zur Absorption bei der Wellenzahl 3800 cm bestimmt.

Zwischen der Infrarotabsorption und der Schwingungsgüte des Materials besteht ein direkter Zusammenhang.

Über einige andere synthetische piezoelektrische Kristalle

Neben Quarz und Turmalin gibt es noch ein paar Einkristalle, welche für piezoelektrische Bauelemente Verwendung finden.

Die oben genannten Kristalle sind jedoch keineswegs allen von der Technik an sie gestellten Anforderungen gewachsen. Die günstigsten Verhältnisse liegen beim Quarz vor, der vorzügliche elastische Eigenschaften mit einem wirksamen piezoelektrischen Verhalten verbindet. Ähnliches gilt für den Turmalin, der jedoch sehr selten in geeigneten Stücken gefunden wird, so daß eine große technische Verwendung nicht in Frage kommt.

Die Technik forderte nun von der Forschung weitere piezoelektrische Kristalle mit geeigneten elektrischen und elastischen Eigenschaften.

Bevor ich jetzt auf die anderen synthetischen Kristalle noch näher eingehe, ein Abschnitt über den „Oldtimer“ unter den piezoelektrischen Kristallen, den „Seignettesalz-Kristall“. Das Seignettesalz zählt zu den synthetischen Kristallen, es ist das Kaliumnatriumsalz der Weinsäure ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) und ist benannt nach dem in La Rochelle (Frankreich) lebenden Apotheker Seignette, der es 1672 entdeckte und als Abführmittel in den Handel brachte.

In der angloamerikanischen Literatur wird der Ausdruck „Rochellesalz“ bevorzugt. So untersuchten im Jahre 1918/19 die Amerikaner W. G. Cady und A. M. Nicolson Seignettesalz auf seine Eignung als elektrischen Empfänger für mechanische Schwingungen, insbesondere für Unterwasserschall sowie auch auf die Möglichkeit, solche Kristalle als Schwingkreiselemente in Röhrenschaltungen zu verwenden.

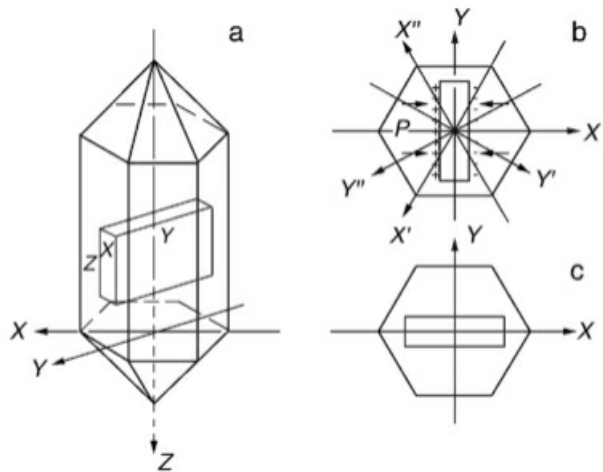
In diesen Pionierarbeiten der Amerikaner Cady und Nicolson wurden ja die Grundlagen der heutigen Verwendung des piezoelektrischen Kristalls in der Nachrichtentechnik geschaffen (*siehe auch Kapitel 1*).

Für eine Verwendung des Seignettesalz-Kristalls ist überhaupt nur der außerordentlich große piezoelektrische Effekt und die leichte Herstellbarkeit (Züchtung) maßgebend. Dies sind Eigenschaften, die sehr außergewöhnlich sind. An folgendem Beispiel sollte dies gezeigt werden. Die von den Curies gefundenen Gesetze besagen, daß die elektrische Ladung Q gegeben ist durch $Q = \delta P = \delta pF$.

Hierbei sind:

- δ die piezoelektrische Konstante
- P die ausgeübte Kraft in kg
- p die ausgeübte Kraft in kg/cm^2
- F yz die Kristallfläche

Abb. 3.16 a Quarzkristall
b X-Schnitt
c Y-Schnitt



Die piezoelektrische Konstante gibt an, wieviel Elektrizität bei einem piezoelektrischen Kristall freigemacht wird, wenn er mit $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ belastet wird. δ hat in den einzelnen Achsen verschiedene Werte. In der wirksamsten Achse wird

bei Quarz	$\delta \approx$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	} elektrische Ladungseinheiten kg/cm^2
bei Turmalin	$\delta \approx$	$11 \cdot 10^{-2}$	
bei Seignettesalz	$\delta \approx$	$1\,000 \cdot 10^{-2}$	

Die piezoelektrischen Wirkungen bei Seignettesalz sind also um über zwei Zehnerpotenzen größer als bei Quarz.

Das Seignettesalz-Kristall und seine Verwendung als Schwingkristall

Wie aus der Literatur zu ersehen ist, gibt es verschiedene Veröffentlichungen über die Verwendung des Seignettesalzes als Schwingkristall.

Die Autoren wie Cady, Davies, **Hiltcher**, **Mason**, **Mattitat** und Mikhailov führten dazu auch viele ausgezeichnete Schwingungsexperimente mit Seignettesalz-Resonatoren durch. Ich möchte auf diese spezielle Thematik nicht näher eingehen, sondern nur ein paar bemerkenswerte Beobachtungen herausgreifen. –

Fast alle Schwingungsexperimente wurden in der besonders wirksamen Schnittrichtung mit 45°-Stäben ausgeführt. Die Untersuchungen hatten den Zweck, die elastischen Konstanten und Temperaturkoeffizienten zu bestimmen.

Die Untersuchungen von dem Amerikaner W. P. Mason waren wohl die komplettesten und genauesten!

Rudolf Hiltcher führte 1936 ebenso im Elektrophysikalischen Institut der Technischen Hochschule München Schwingversuche mit Seignettesalz-Kristallen durch. Bei diesen Versuchen stellte er auch die Leuchterscheinungen an Seignettesalz-Stäben dar, er schrieb darüber:

... es wurde mit Erfolg versucht, die an schwingenden Quarzstäben bekannten, von Giebe und Scheibe entdeckten Leuchterscheinungen im Vakuum auch an Stäben aus Seignettesalz zu erhalten. Mit Hilfe dieser Leuchterscheinungen läßt sich die Schwingungsform der Stäbe deuten. Läßt man die Leuchterscheinungen einige Minuten stehen, so wird die Staboberfläche weiß. Durch die Wärmeentwicklung verliert der Stab Kristallwasser. Allmählich führt dies zur Zerstörung des Kristalls, vor allem, wenn noch die Wirkung des Elektrodenglimmlichts hinzu kommt.

Es ist schwer, eine längere Versuchsreihe mit einem Stab durchzuführen.

Die Lebensdauer eines Schwingstabes ist meist recht kurz. Entweder wird er bald durch die Wirkung des Glimmlichts zerstört, oder er zerspringt in Folge zu starker Erregung ...

Eine weitere Arbeit über „Schwingkristalle aus Seignettesalz“ ist im Jahre 1937 von Oskar Mattitat im Forschungsinstitut der AEG entstanden und ist als Dissertation von der Technischen Hochschule Berlin angenommen und veröffentlicht worden.

Zusammenfassend schrieb Mattitat, daß die Anwendung des Seignettesalzes ausschließlich auf die Elektroakustik, die des Quarzes aber ebenso ausschließlich auf die Hochfrequenztechnik beschränkt ist:

1. Für eine Reihe von Seignettesalz-Kristallstäben wird aus der Eigenschwingung und der Länge das dynamische Elastizitätsmodul bestimmt.
2. Die Abhängigkeit der Eigenschwingung von dem Verhältnis Länge zur Breite wird experimentell ermittelt.
3. Der Temperaturkoeffizient der Eigenschwingung liegt etwa zwei Größenordnungen **höher als bei Quarz**.
4. Die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Orientierung zum Kristall wird für die beiden Hauptebenen senkrecht zur a- und b-Achse untersucht und mit rechnerisch ermittelten Werten verglichen. Bei günstiger Orientierung ist der Oszillator aus Seignettesalz für eine gegebene Frequenz halb so lang wie der Oszillator aus Quarz. Es wird für den Seignettesalz-Oszillator ein elektrisches Ersatzschaltbild gegeben, sowie der Reaktionsverlauf und der Abstand zwischen Reihen- und Parallelresonanz bestimmt.
5. Die Dämpfung der Schwingkristalle ist bei Seignettesalz etwa **10 mal so groß** wie bei Quarz, die „Güte“ als Schwingelement liegt zwischen 2000 bis 4000, ist also etwa eine Größenordnung besser als die Güte von Spulen.

Als abschließender Vergleich gilt: die Anwendung des Seignettesalzes ist ausschließlich auf die Elektroakustik, die des Quarzes ebenso ausschließlich auf die Hochfrequenztechnik beschränkt.

Die Elektroakustik benötigt einen piezoelektrischen Kristall als guten elektromechanischen Wandler. Dabei soll eine vorgegebene Spannung eine große Deformation bewirken und ein vorgegebener Druck eine hohe piezoelektrische Spannung erzeugen. Die Hochfrequenztechnik benötigt einen Schwingkristall mit guten Resonanzeigenschaften und hoher Konstanz gegenüber Temperaturschwankungen. Der erste Grund für die nur bedingte Verwendbarkeit des Seignettesalzes ist die Anfälligkeit gegenüber mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen, Temperaturabhängigkeit (bei einer Temperatur oberhalb 55 °C löst sich der Kristall im eigenen Kristallwasser auf) und Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit.

Durch seine gute physikalische und chemische Beständigkeit ist der Quarz unübertroffen und verdankt darin auch seine überragende Bedeutung in der Hochfrequenztechnik.

Der zweite Grund für die nur bedingte Verwendung des Seignettesalzes als Schwingkristall ist der große elektromechanische Kopplungsfaktor. Dieser ist als Folge seines ferroelektrischen Zustandes durch einen hohen Wert des piezoelektrischen Moduls bedingt. Mit diesem ferroelektrischen Zustand ist jedoch eine starke Temperaturabhängigkeit aller physikalischen Eigenschaften und darüber hinaus noch ein großer Verlustwinkel verbunden.

Die gleichfalls ferroelektrisch bedingte minimale Güte der Schwingkristalle aus Seignettesalz läßt seine Verwendung als Schwingkristall aussichtslos erscheinen.

Forschungen und Ergebnisse über andere piezoelektrische Kristalle, künstlichen Quarz und die geheimnisvolle Fabrik in Steinbach/Thüringen

Wie eingangs erwähnt, forderte die Technik von der Forschung weitere Kristalle. Die Forscher im autarkiebedachten 3. Reich griffen die inzwischen bekannt gewordenen Ergebnisse auf. Über den Reichsforschungsrat wurde die Aufgabenstellung verteilt und Schwerpunkte gesetzt. Die Forschungsschwerpunkte lagen sowohl bei den Universitäten, Technischen Hochschulen als auch bei industriellen Labors. Nach Ausbruch des Zweiten Weltkrieges wurde die Forschung über weitere synthetische piezoelektrische Kristalle sehr stark intensiviert. Zweifellos war das vollständige Fehlen nutzbarer natürlicher Quarzvorkommen in Deutschland oder in den von ihm besetzten Ländern der Hauptfaktor für eine gezielte Forschung nach einem Ersatzwerkstoff.

Forschung an den Universitäten und Technischen Hochschulen

Dr. Kurt Spangenberg von der Universität Breslau hatte schon seit vielen Jahren Kristalle gezüchtet und mit Schmelzen gearbeitet. Anfang Januar 1945 wurde sein Labor von Breslau nach Jena verlegt. Dies bedeutete eine ernsthafte Unterbrechung seiner Arbeit. Er arbeitete vorwiegend an der Darstellung von Kaliumphosphat (KH_2PO_4) und Ammoniumphosphat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) und den analogen Arsenaten.

Die Technik, welche Spangenberg nach der Keimphase zur Züchtung anwandte, war eine Verdunstung durch eine geregelte Strömung trockener Luft mit sehr genauer Temperaturregelung (Genauigkeit 0,001 °C !).

Die Labormuster von KH_2PO_4 und $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ bzw. analogen Arsenaten erreichten eine Länge von ca. 2,5 cm, sie wurden an Dr. Bechmann geschickt zur piezoelektrischen Prüfung.

Alle Muster hatten aber irgendwelche Fehler. Die spezifischen Testergebnisse wurden aber Spangenberg nicht mitgeteilt.

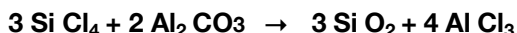
Die Untersuchungen der gemischten Kristalle, d. h. mit NH_4 statt K sowohl in den Phosphaten als auch in den Arsenaten, befanden sich bei Kriegsende am Anfang des Versuchsstadiums.

Das Programm der gemischten Kristalle wurde durchgeführt, als es sich erwies, daß die einfachen Kristalle schlechte Temperatur-Koeffizienten hatten.

Da der Kurvenpunkt von $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ - 118 °C ist, hoffte man, einen gemischten Kristall mit einem höheren Umwandlungspunkt zu finden, der einen niedrigeren Temperaturkoeffizienten besaß.

Dr. P. L. Günther begann Juni 1944 nach Anforderung durch die Luftwaffe Experimente mit der Produktion von synthetischem Quarz durch eine Reaktion von SiCl_4 (Siliziumchlorid) mit verschiedenartigen Oxiden. Die Oxide, welche bei den Versuchen, Quarz durch eine Reaktion mit SiCl_4 zu produzieren, getestet wurden, waren Al_2O_3 , H_2O , MnO , Fe_2CO_3 , CaO , Li_2O .

Die erwartete Reaktion war folgende:



Die allgemeinen Verfahren können als eine Reaktion in der Dampfphase bei hoher Temperatur bezeichnet werden. Es wurden zwei spezifische Methoden mit Materialien in verschlossenen Röhren aus Quarzglas versucht:

- a) Beide Verbindungen wurden im Quarzrohr in einem Ofen bis auf eine Temperatur von 5°C um den Quarzumwandlungspunkt erhitzt.
- b) Beide Verbindungen wurden in einem Rohr verschlossen, aber SiCl_4 wurde auf Zimmertemperatur (25°C) gehalten; das Oxid wurde in den einzelnen Versuchen auf unterschiedliche Temperaturen bis zu 500°C erhitzt.

Es bildeten sich Kristalle von mikroskopischer Größe. Günther hatte Bedenken, ob es Quarzkristalle waren. Sie konnten auch durch Prof. Bergmann an der Technischen Hochschule Breslau als nicht piezoelektrisch mit Hilfe des sehr empfindlichen „Clicktesters“ (nach Giebe-Scheibe) nachgewiesen werden.

Für eine Untersuchung mit Hilfe anderer Methoden waren die Kristalle zu klein. Spektrographische Aufzeichnungen wurden nicht gemacht.

Die Ausgangsbasis für das Experimentieren mit dieser Methode war die konventionelle Aussage in der Literatur, daß SiCl_4 und Al_2O_3 stark miteinander reagieren. Günther stellte fest, daß die Reaktion deutlich war, daß aber das Ergebnis nicht SiO_2 , sondern wahrscheinlich ein Natriumsilikat aus der Reaktion mit dem Glas des Rohres war. Diese Arbeit wurde in Breslau begonnen, da sie aber nicht sehr erfolgreich war, wurden die Versuche eingestellt und Günther zu Arbeiten an Detektorkristallen nach Steinbach/Thüringen versetzt. Sein Assistent Chytrek wurde hier mit der eigentlichen Produktion von Quarz mit Hilfe der Nacken-Methode beauftragt. Es war ausschließlich dem Zeitmangel zuzuschreiben, daß sich in Deutschland eine Industrieproduktion nicht organisieren ließ.

Die eigentliche Tätigkeit in Steinbach setzte sich nur bis etwa vier Wochen vor der Ankunft der US-Truppen fort.

Dr. C. F. Correns befaßte sich hier mit dem Problem der Herstellung von Quarzkristallen aus der Schmelze. Zur Sicherstellung, daß die Temperatur genügend unter 575 °C blieb, um die Bildung von β -Quarz zu verhindern, wählte er ein Eutektikum aus KCl und LiCl, worin er dann SiO_2 schmelzen konnte. Obwohl diese Mischung einen niedrigeren Schmelzpunkt von ca. 400 °C hat, konnte er trotzdem nicht Hochquarz vermeiden und bekam deswegen Kristallzwillinge. Er betrachtete das Programm aus praktischer Sicht als nicht erfolgreich!

Dr. Helmut G. F. Winkler kehrte auf Anforderung von Dr. Correns aus der Wehrmacht an das Göttinger Institut zurück. Seine Aufgabe in Göttingen war, die Möglichkeiten einer Erzeugung von Nephelinkristallen, die für piezoelektrische Zwecke groß und klar sein sollten, zu untersuchen.

Eine Methode, die von ihm benutzt wurde, bestand darin, die Bestandteile von $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ in der Form von Na_2CO_3 , Al_2O_3 und SiO_2 im Verhältnis von 1 : 1 : 2 zu schmelzen. Mineralisatoren wurden in der Form von LiF und Natriumfluorsilikat beigemischt. Der Schmelzpunkt wurde weit unter 1248 °C herabgesetzt, und mäßig klare Kristalle in der Form von sechseckigen Plättchen wurden gebildet. Die Proben wurden nach Berlin an Dr. Bechmann, Ringleiter Quarz, zur Untersuchung geschickt, aber es kam nie ein Bericht aus Berlin zurück.

Forschungen im Kristall-Labor der Firma C. Zeiss, Jena

Dr. Max Haase, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kristall-Labor, beschäftigte sich zusammen mit Prof. Joos und Dr. Gerber vom Quarzlabor mit NaBrO_4 , Phosphaten und Arsenaten. Die Arbeiten wurden erst im Juli 1944 intensiv aufgenommen.

Ein beachtlicher Erfolg wurde mit NaBrO_4 (Natriumbromat) und $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (Ammoniumphosphat) und KH_2PO_4 (Kaliumphosphat) erzielt. Die Züchtung ergab schöne klare Kristalle aus Bromat und aus Ammoniumphosphat. Die Proben wurden für Versuchszwecke an den Physiker Dr. Gerber weitergeleitet. Die Schnittwinkel waren für den Temperaturkoeffizienten unbedeutend, weil es sich um isometrische Substanzen handelte. Der verwendete Schnitt war lotrecht zur Basis und der gegenüberliegenden Kante. Daraus ergaben sich dreieckige Schnitte, aus denen runde Platten gefertigt wurden.

Proben der Phosphate und Arsenate wurden auf die gleiche Art und Weise von Gerber getestet. Dieser erklärte das Ammoniumphosphat als beste Verbindung der Gruppe. Er zog das Phosphat dem Bromat vor, da es mechanisch stabiler und

leichter zu bearbeiten ist. Deshalb konnte, nach Meinung von Gerber, Ammoniumdihydrogenphosphat für Frequenzen bis zu 10 MHz verwendet werden, wobei Bromat nicht dünn genug geschliffen werden kann (mechanisch schwach), um über 4 MHz zu kommen.

Die Firma Leuchtstoffe GmbH in Steinbach/Thüringen

Die o. g. Firma ist eine Gründung von Telefunken in Berlin

Telefunken benötigte für seine Fernsehbild- und Oszillographenröhren Leuchtstoffe, so wurde innerhalb der Röhrenfertigung eine eigenständige Entwicklungs- und Fertigungsstelle aufgebaut. Dr. Kamm ging nach seiner Promotion an der Universität Heidelberg 1937 zu Telefunken und übernahm diesen Sektor. Während seiner Doktorandentätigkeit in Heidelberg befaßte er sich ausschließlich mit der Forschung über Leuchtstoffe. Für einen Teil der Leuchtstoff-Fertigung wurden auch Hochdruck-Autoklaven benötigt.

Dadurch kam eine Zusammenarbeit mit den damaligen IG-Farbwerken zustande, die für andere chemische Verfahren ebenfalls solche Autoklaven bauten. (Wahrscheinlich war dies auch der Schlüsselpunkt, weshalb die weitere Forschung und eine geplante Fertigung von synthetischem Quarz bei der Firma „Leuchtstoffe“ vorgesehen war.) Prof. Nacken erklärte mir damals bei einem Besuch in seinem Institut in Tübingen auf meine Frage, warum in Schramberg keine Produktion vorgesehen war:

„Daß er sich als Forscher und nicht als Ingenieur verstehe, seine Methode funktioniere im Labor, und es sei die Aufgabe anderer, die Methode unter Fertigungsbedingungen zu realisieren.“

Da auch die Reichspost und die AEG an der Entwicklung von Leuchtstoffen interessiert waren, wurde die Leuchtstoff-Abteilung von Telefunken ausgegliedert und im Jahr 1944 eine neue Firma, die „Leuchtstoff GmbH“ mit den Teilhabern Telefunken, AEG, Reichspost und IG-Farben gegründet. Inzwischen war auch Dr. Karl Funk im Jahr 1940 zu Telefunken gekommen. Er übernahm damals die Assistentenstelle bei Dr. Kamm.

Dr. Kamm wurde jetzt Geschäftsführer, und Dr. Funk wurde zum Entwicklungsleiter bestellt.

Mitte 1944 wurde die Firma wegen der Bombenangriffe in Berlin nach Steinbach verlagert. Wie schon weiter vorne aufgezeigt, wußte Prof. Nacken nichts von einer Fertigungsstätte von synthetischem Quarz in Steinbach. Der dort offensichtlich erreichte Erfolg in der Vor-Fertigung von synthetischem Quarz war ermutigend,

wie ich viel später von einem Mitarbeiter aus dem Werk in Steinbach erfuhr (leider war er aber nicht in der Arbeitsgruppe „Quarz“ und konnte mir nicht mehr darüber berichten).

Der Rest ist dann Schweigen . –

Zur Abrundung des Themas „Leuchtstoffe“

Nach Kriegsende wurde die Firma in eine sowjetische Aktiengesellschaft eingegliedert. Anfang 1948 sollten die Werksangehörigen zum Bau einer Leuchtstoff-Fabrik nach Leningrad beordert werden. Dr. Kamm sowie die meisten Wissenschaftler und Techniker zogen es jedoch vor, bei Nacht und Nebel in den Westen überzusiedeln. Dr. Kamm und Dr. Funk gründeten in Heidelberg die heutige Leuchtstoffwerk GmbH. Dr. Baumann war der „Quarzerei“ treu geblieben und gründete in Heidelberg und Flehingen die Firma Dr. Baumann Quarzsynthese.



Abb. 3.17
Synthetische
Quarzkristalle

Synthese:
Dr. Baumann
Heidelberg

Schlußfolgerungen zu diesem Thema:

Die Versuche durch andere Wissenschaftler in Deutschland, Quarz zu züchten, waren nicht erfolgreich.

Das Züchten von anderen Substanzen als Quarz machte gewisse Fortschritte. Aus jener Zeit ist noch ein Bericht, datiert vom Oktober 1944, erhalten geblieben.

In diesem vertraulichen Bericht gab der Bevollmächtigte für Hochfrequenzforschung den Stand der Ergebnisse über künstliche Kristalle bekannt, er faßte zusammen:

„Da die sehr schwierige Erzeugung synthetischer Quarzkristalle noch zu keinem technisch auswertbaren Ergebnis geführt hat, ist die bisher einzig brauchbare Kristallzüchtung (Natriumbromat) hinsichtlich ihrer praktischen Anwendungsmöglichkeit besonders eingehend erprobt worden. Es hat sich herausgestellt, daß der Natriumbromatkristall außer seinem nachteiligen großen Temperaturkoeffizienten (200 mal größer als bei Quarz) als weiteren Nachteil eine viel geringere Härte als der Quarz aufweist, wodurch die piezoelektrische Belastbarkeit wesentlich kleiner ist als die des Quarzes. Praktische Versuche haben ergeben, daß Probeschwingkristalle bereits nach kurzer Zeit zerstört wurden, obwohl die Belastung wesentlich geringer war als die normalerweise bei Quarzkristallen übliche. Der Natriumbromat-Kristall in seiner jetzigen Form stellt also keinen vollwertigen Ersatz für Quarz dar. Aus diesem Grund werden die Bestrebungen, synthetische Quarzkristalle zu erzeugen, fortgesetzt. Wenn sie auch bisher zu einem bereits technisch auswertbaren Ergebnis noch nicht geführt haben, so ist doch immerhin bemerkenswert, daß in letzter Zeit bei einem Forschungsinstitut die ersten größeren, aus wässriger Lösung gezogenen künstlichen Quarzkristalle angefallen sind. Die technische Erprobung dieser Kristalle steht noch aus. Die Untersuchungen mit den in der ausländischen Literatur beschriebenen Kristallen aus saurem Kaliumphosphat werden fortgeführt. Ferner werden noch andere Stoffe mit quarzähnlichem Gitteraufbau (Aluminiumphosphat, Ammoniumphosphat) untersucht.“

Neuere synthetische piezoelektrische Kristalle

Bei der Behandlung der Frage nach weiteren geeigneten piezoelektrischen Kristallen für die Zwecke der Hochfrequenztechnik ist zu sagen, daß in der Vergangenheit sehr intensiv geforscht wurde.

Wie aus der vorstehenden Darstellung schon ersichtlich, ist bis Ende 1945 in Deutschland an der Synthese von Natriumbromat, Kaliumphosphat, Ammoniumphosphat, Aluminiumphosphat, Nephelin u. a. gearbeitet worden.

In den Laboratorien der USA wurden vor und in verstärktem Maß nach 1945 umfassende und erfolgreiche Untersuchungen zur Gewinnung geeigneter synthetischer Kristalle durchgeführt. Als Ergebnis dieser Entwicklung stehen die folgenden synthetisch herstellbaren Kristalle zur Verfügung:

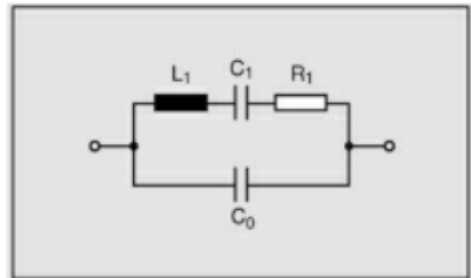
Äthylendiamintartat	(EDT)
Kaliumtartat	(DKT)
Lithiumsulfat	(LD)
Ammoniumphosphat	(ADP)
Kaliumphosphat	(KDP)

Von den genannten sind die beiden ersten **EDT und DKT** sehr vielversprechend (EDT wurde zuerst in den Bell Telefon Laboratorien dargestellt). Diesen Kristallen kann man verhältnismäßig leicht die gewünschten Formen geben und sie weisen eine geringe innere Dämpfung auf. Da sie wenig oder kein Kristallwasser besitzen, zersetzen sie sich nicht zu leicht. Die beiden Kristalle besitzen piezoelektrische Konstanten, welche 6 bis 8 mal so groß sind wie die von Quarzen. Das Verhältnis der Kapazitäten C_1/C_0 (siehe Abb. 3.18) ist 4 bis 10 mal kleiner als bei Quarz, dadurch haben sie breitere Resonanzbereiche.

Abb. 3.18

Elektrisches Ersatzschaltbild
eines Schwingquarzes

- C_1 – Dynamische Kapazität
- C_0 – Statische Parallel-Kapazität
- L_1 – Dynamische Induktivität
- R_1 – Dynamoischer Verlustwiderstand



Die Forschungsarbeit geht jedoch weiter, denn als gleichwertiger Ersatz für Quarz können die bisher hergestellten synthetischen Kristallarten nicht angesehen werden.

Noch kurz vor Drucklegung erreichte mich diese Information:

In der Zwischenzeit ist ein beachtenswerter Erfolg auf dem Gebiet synthetischer piezoelektrischer Kristalle, die ähnlich stabil wie wie Quarz sind, erzielt worden. Die Resonatoren aus diesen gezüchteten Kristallen besitzen bei gleicher oder ähnlicher Kristallstruktur eine größere Ziehfähigkeit als Quarz, und somit können spannungsgesteuerte Oszillatoren mit etwa dem zehnfachen Ziehbereich eines Quarz-VCXOs jetzt hergestellt werden.

Dieses neue Material ist Galliumorthophosphat (GaPO_4).

Zur Geschichte der GaPO_4 -Kristalle:

Prof. Dr. H. List von der Firma AVL-List GmbH in Graz/Österreich stellte im Jahr 1978 den Physikern der Firma die Aufgabe, Forschungen über Alternativen zu Quarz mit einer höheren Empfindlichkeit aufzunehmen.

Die vielversprechendsten Materialien gehörten zu den „quarzhomotypischen“ Kristallen, in denen die Siliziumatome der Quarzstruktur durch verschiedene Atome ersetzt sind. Ein mathematisches Modell wurde hierfür erarbeitet, um das piezoelektrische Verhalten dieser Kristalle vorherzusagen.

Im Ergebnis dieser Berechnungen schien die Galliumorthophosphat-Verbindung die beste Wahl zu sein.

Die ersten Zuchtexperimente wurden noch in Reagenzgläsern durchgeführt.

Die ersten Kristalle, die gezüchtet wurden, hatten allerdings nur eine geringe Größe.

Nachdem dieses Problem gelöst war und die Einkristalle bis auf einige Millimeter gewachsen waren, konnte man kleine Elektroden auf ihre Oberfläche aufsetzen.

Jetzt konnten Messungen der piezoelektrischen Koeffizienten durchgeführt werden.

Die Messungen bestätigten die Theorie – Galliumorthophosphat wies genau das vorhergesagte Verhalten auf.

Der nächste Schritt war nun, die Züchtung der Kristalle in Autoklaven durchzuführen.

Für diese ersten Autoklaven mußte aber eine spezielle Technik entwickelt werden und man mußte verschiedene Züchtungsmethoden erarbeiten.

1990 wurde eine Autoklavenhalle gebaut und 1997 ermöglichte ein neues Herstellungsverfahren eine bedeutende Verbesserung von Quantität und Qualität.

Gelesen: In Äthiopien fand man vor einiger Zeit das bisher älteste Werkzeug der Welt.
Es besteht aus Quarz, ist beidseitig scharf geschliffen und dürfte schätzungsweise 2,2 Millionen Jahre alt sein.

Gedacht: Quarz ist gut!

(Aus der Schweizer Zeitschrift „Der Beobachter“)

Wie Schwingquarze entstehen

Nach dem Exkurs in die Mineralogie und Kristallographie (*Kapitel 2*) ist sicher das neue Kapitel – Die Fertigung von Schwingquarzen – besser zu verstehen.

Die ersten Schwingquarze wurden noch in den Labors der verschiedenen Firmen in Handarbeit hergestellt. Auch heute erfolgt die Fertigung bei kleinen Stückzahlen und Sonderfertigungen trotz teilweiser Automatisierung größtenteils auch noch in Handarbeit. Für das Bauelement „Schwingquarz“ gab es drei Fertigungsrichtungen: Einmal waren es Firmen aus dem Fertigungsbereich für Nachrichtengeräte, zum andern aus dem Bereich der optischen Industrie. Die dritte Richtung sind spezielle Produktionsstätten, die nur Schwingquarze, Quarzfilter und komplette Oszillatoren herstellen.

Ab und zu werde ich von Museumsbesuchern bei der allgemeinen Einführung gefragt, wieso eigentlich Schwingquarze bei einer optischen Firma gefertigt wurden?

Die Zweifel sind schnell ausgeräumt, wenn ich den Besuchern einen scheibenförmigen Quarz zeige, und als Vergleich eine Rundlinse gegenüberstelle.

In der Schwingquarz-Fertigung und in einer optischen Fertigung finden sich viele Gemeinsamkeiten. Die Herstellung von Schwingquarzen setzt ein breites Wissen über die verschiedensten Gebiete der Physik, Chemie und Technik sowie einen hohen Stand der Qualitätssicherung voraus.

Ein wichtiges Kapital in so einer Produktionsstätte sind natürlich auch die Mitarbeiter – ein großes Fingerspitzengefühl gehört zu all diesen vielen diffizilen Arbeiten.

Dazu äußerte sich einmal der Altmeister auf diesem Gebiet, Heinz Evertz vom Piezowerk Evertz: „Ich schaue mir vor allem die Hände der Leute, die sich bei mir bewerben, genau an. Und dann muß ich überzeugt sein, daß der Bewerber sich konzentrieren kann. Es gibt nicht viele Leute, die dazu fähig sind. Um ihnen die Arbeit zu erleichtern, erlaube ich ihnen, Erholungspausen einzuhalten.“

Dieselbe Aussage bestätigte mir auch 50 Jahre später der Betriebsleiter einer anderen Quarz-Firma.

In Deutschland und Österreich waren und sind teilweise **noch heute** in der Entwicklung und Fertigung von piezoelektrischen Bauelementen die nachstehenden Firmen beteiligt (*siehe folgende Seite*).

Weiter gab es in dieser Richtung noch ein paar kleinere Betriebe, über die ich den *Firmenprofilen* kurz berichten werde.

FOQ Piezotechnik

Bernhard Halle Nachfolger
KVG-Kristallverarbeitung Neckarbischofsheim
Loewe-Opta
C. Lorenz
C. A. Niendorf
Ostmark Werke
Piezowerk Heinz Evertz
Quarzkeramik

Quarz-Technik

RFT – VEB Werk für Fernsehelektronik
Siemens-Halske
Dr. Steeg & Reuter
Telefunken

Telequarz

VEB-Narva
Carl Zeiss

Bad Rappenau

Berlin-Steglitz
Neckarbischofsheim
Berlin-Steglitz
Berlin-Tempelhof
Bernau bei Berlin
Wien und Prag
Stockdorf bei München
Stockdorf bei München

Daun/Eifel

Berlin-Oberschöneweide
Berlin-Siemensstadt und München
Bad Homburg v. d. H.
Berlin-Zehlendorf

Neckarbischofsheim 2

Berlin-Ehrenbergstraße
Jena

Die Herstellung möchte ich in zwei Abschnitten vorstellen, zuerst etwa in dem Zeitraum 1925 bis 1950 und im Anschluß daran die Fertigung bis zum heutigen Stand skizzieren.

Dazu eine Bemerkung:

Um die Abläufe dieser Fabrikation exakt beschreiben zu können, wollte ich in der Praxis „learning by doing“ machen, wie dies weiland der schwäbische Landsmann, der Ingenieur Max Eyth, bei der Abfassung seines Buches „*Der Schneider von Ulm*“ getan hat. Er ging bei dem Ulmer Schneidermeister Glöcklen in die Lehre und erfuhr teils durch praktische Arbeit, teils durch Zusehen, Einzelheiten der Arbeit. – Leider ist aus meiner „Lehrzeit“ nichts geworden. Mir geht es darum, eine Sicht der Dinge aus meinem Blickwinkel zu vermitteln, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Die Quarzfachleute unter den Lesern mögen mir deshalb kleine Ungenauigkeiten in der Beschreibung der Fertigung nachsehen.

Doch zuerst noch etwas Theorie – im Anschluß soll die Herstellung, wie am Anfang angedeutet, aufgezeigt werden. Es kann in diesem Rahmen natürlich nicht auf alle spezifikationsabhängigen Details eingegangen werden, sondern es sollen nur die wesentlichen Fertigungsschritte beschrieben werden.

Der Schwingquarz

... an Platten oder Stäben, die geeignet aus bestimmten Kristallen herausgeschnitten sind, entstehen durch mechanischen Druck oder Zug elektrische Ladungen („direkter Piezoeffekt“).

Entsprechend erzielt man durch Anbringen elektrischer Ladungen auf solchen Kristallstücken deren Ausdehnung bzw. Zusammenziehen („reziproker Piezoeffekt“).

Ein piezoelektrischer Körper stellt somit einen „elektromechanischen Wandler“ dar.

Er wandelt mechanische Energie in elektrische bzw. elektrische Energie in mechanische. In der Elektronik nutzt man aus, daß passend gehalterte und elektrisch dazu angeregte piezoelektrische Körper mechanische Schwingungen ausführen.

Wirksamer Teil eines jeden als Schaltelement benutzten „Quarzes“ ist ein Quarzkristallstück (Scheibe oder Stab) bestimmter Abmessungen sowie bestimmter Orientierung zu den Kristallachsen, mit Elektroden versehen und mit Rücksicht auf die gewünschte Schwingungsform gehaltert.

Der Quarz wird durch die Halterung (= mechanische Vorrichtung zur Aufhängung des Schwingquarzes im Gehäuse) geschützt. Der Anschluß an die Schaltung geschieht über die „Quarzsteckfassung“, sofern es sich nicht um einen in die Schaltung einzulötenden „Lötquarz“ handelt.

Schwingquarze (auch Steuer- oder Oszillatorquarze genannt), dienen als frequenzbestimmende Elemente hoher Güte und Konstanz zum Stabilisieren der Frequenzen der in Oszillatorschaltungen erzeugten elektrischen Schwingungen. ...

So steht es in Kurzform über den Schwingquarz in einem Lehrbuch der Funkempfangstechnik.

Es war ein weiter Weg bis zu dem heutigen Stand in der Fertigungstechnologie der Schwingquarze.

Als im Jahre 1928 ein Doktorand der Physik von der Universität Jena zur Firma Zeiss kam mit dem Wunsch, Schwingquarze mit verschiedenen Frequenzen (65–110 kHz) für seine Arbeit anzufertigen, nahm die Firma den Auftrag an.

Es ist vielleicht in diesem Fall noch ganz interessant, wie über die Herstellung der Platten damals berichtet wurde. Die Abb. 4.1 zeigt, in welcher Weise die Platten aus dem Rohquarzkristall herausgeschnitten wurden.

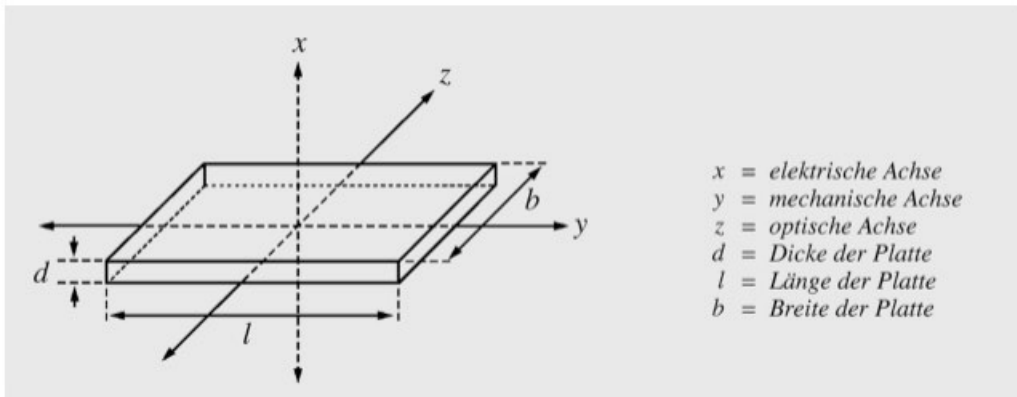


Abb. 4.1 Orientierung der Quarzplatten

Die Breite **b** der Platte verläuft parallel zu der optischen Achse **z**, ihre Dicke **d** verläuft parallel zu einer der drei kristallographisch zweizähligen „elektrischen“ Achsen **x** des Quarzkristalls. Die Länge **l** der Platte liegt dann in Richtung einer der drei so genannten „mechanischen“ Achsen **y** des Kristalls.

Die Herstellung

Im Laufe des Herstellungsganges wurde zunächst eine kreisrunde Platte senkrecht zur optischen Achse mit einer Genauigkeit von $0,2^\circ$ aus dem Quarzkristall herausgeschnitten und dann rundiert. Die Prüfung der Lage der optischen Achse erfolgte dabei auf optischem Wege. Die Orientierung der übrigen Achsen erfolgte nun piezoelektrisch mit der von Riecke und Voigt angegebenen Apparatur (1892 in Wiedemanns Annalen Bd. 45 beschrieben), die im wesentlichen aus einem Hebelapparat und einem Elektrometer besteht. Mit der Apparatur wurden zwei gegenüber liegende Stellen des Umfangs der Kreisplatte aufgesucht, bei deren wechselnder Belastung stärkste Aufladungen an zwei anderen senkrecht zu den ersten liegenden Stellen erfolgte. In dieser Weise konnten je eine „mechanische“ und „elektrische“ Achse mit einer Genauigkeit von $\pm 1^\circ$ größter Abweichung von den Normalen der zugehörigen Flächen der Quarzplatte orientiert werden (vgl. Abb. 4.1).

Es folgte dann ein Anätzen, um Verwachsungen zu erkennen. Die Flächen der Platte wurden geschliffen und poliert. Aus Gründen der Festigkeit wurde nur einwandfreies (glasklares) Material verwandt.

Dies waren, wie wir heute auf Neudeutsch sagen würden, die ersten „steps“.

Quarzschnitte und Schwingungsformen von Schwingquarzen

Theoretische und experimentelle Untersuchungen über Quarzoszillatoren (Schnitte) wurden in den folgenden Jahren gleichzeitig und unabhängig an verschiedenen Stellen auf der Welt durchgeführt.

Der Quarzschnitt gibt die Lage eines aus dem Rohquarz herausgeschnittenen Quarzstückchens an, d. h. die Lage (Winkelangabe) des Kristallstückchens in Bezug auf die drei kristallographischen Achsen.

Vorab noch ein paar Worte zur Bedeutung der Orientierung:

Der Frequenz- und Temperaturgang einer Kristallscheibe oder eines -stabes von gegebener Dicke und Oberfläche hängt in erster Linie davon ab, wie sie aus dem Mutterkristall herausgeschnitten wurden, d. h. von ihrer Orientierung.

Die Resonanzfrequenz eines Schwingquarzes ist aber auch von der Temperatur abhängig. Diese Änderung der Frequenz mit der Temperatur wird als Temperaturkoeffizient des Quarzes bezeichnet und wird ausgedrückt in Einheiten von 10^{-6} , bezogen auf den Absolutwert der Frequenz und eine Temperaturänderung von 1°C .

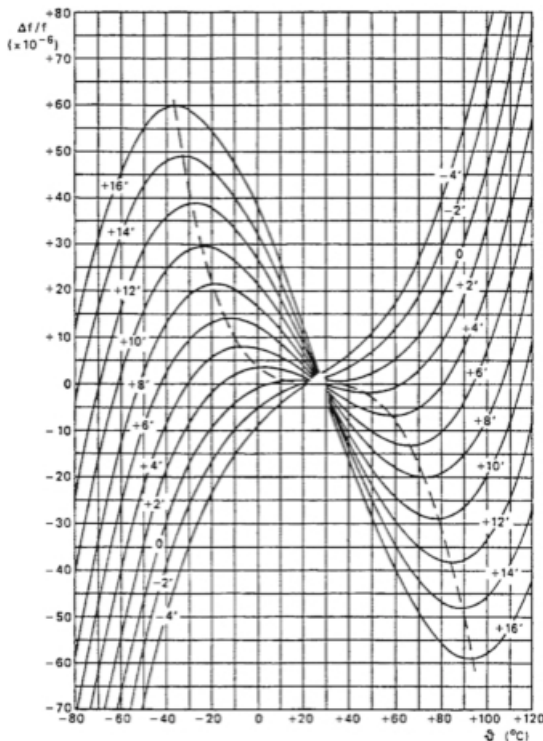


Abb. 4.2

Der Quarz hat also je nach Temperatur verschieden große Frequenzablagen.

Durch die Wahl spezieller Quarzschnitte kann der TK bei bestimmten Frequenzen klein gehalten werden.

Die Frequenz-Temperatur-Kurve ist in diesem Beispiel eine kubische Parabel (AT-Schnitt). Den Scheitel der Parabel bezeichnet man als Umkehrpunkt.

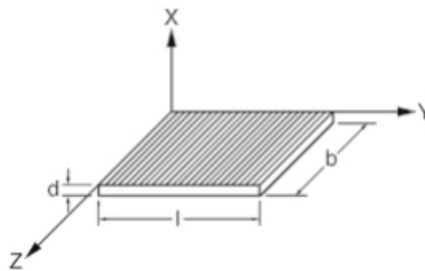
Für andere Schnitte hat diese Kurve einen parabelförmigen Verlauf.

Die Angabe eines Temperaturkoeffizienten ist in den meisten Fällen nicht richtig, es ist besser, eine maximale Frequenzänderung in einem festzulegenden Temperaturbereich anzugeben.

Wie oben schon angedeutet, hat man im Laufe der Jahre eine Reihe von Schnitt-richtungen (Orientierungen) gefunden, wobei die Eigenschaften solcher Kristallplatten durch die entsprechende Lage zu den Achsen in gewünschter Weise beeinflusst werden können. Nach den zu fordernden Eigenschaften eines Schwingquarzes wird man ihm eine bestimmte Schnittlage zuordnen, wobei die Wahl der einen oder anderen Schnitt-richtung von ganz verschiedenen Voraussetzungen ausgehen kann. Man wird zu-nächst bei vorgegebener Eigenfrequenz eines Schwingquarzes eine Schnittlage wählen, bei der sich die günstigsten Abmessungen bzw. Schwingungs- formen ergeben. Diese Forderung führt zu einer Unterscheidung nach der Form der Kristallelemente zwischen Quarzplatten und Quarzstäben – wobei entsprechend der gewählten Schnittlage Platte oder Stab verschiedene Schwingungsarten ausführen. In der ersten Zeit nach der grundlegenden Entdeckung von Cady im Jahr 1922, wo-nach piezoelektrische Kristallplatten zur Schwingungserzeugung verwendet werden können, wurde lange der sogenannte X-Schnitt verwendet. diese X-Platten wurden senkrecht zur elektrischen Achse und parallel zur optischen Achse aus natürlich vorkommenden Rohquarzkristallen herausgeschnitten. Bei einem pizelektrischen Kristall treten auf Grund des umgekehrten piezo- elektrischen Effekts zwei Eigenschwingungen auf.

Betrachten wir dazu die **X**-Platte eines Quarzkristalls in *Abb. 4.3* mit der Dicke **d** in Richtung der **X**-Achse, der Länge **l** in Richtung der **Y**-Achse und der Breite **b** in Richtung der **Z**-Achse

Abb. 4.3 Schwingquarz (X-Platte)



Eine derartige Platte führt einmal longitudinale Schwingungen in der X-Richtung aus, die man allgemein als Dickenschwingung der X-Achse bezeichnet.

Die mechanischen Eigenschwingungen (**fd** für die Dickenschwingung bzw. **fl** für die Längsschwingung einer X-Platte) lassen sich auf Grund einer allgemeinen Beziehung für elastische Schwingungen berechnen.

Im Jahre 1927 entdeckte E. D. Tillyer von der Firma American Optical Co. den Y-Schnitt. Derartige senkrecht zur Y-Achse und parallel zur optischen Achse geschnittene Quarzplatten besitzen ebenfalls nur eine Eigenschwingung in Abhängigkeit von ihrer Dicke, und zwar handelt es sich nach Cady um eine Scherungsschwingung (siehe auch W. G. Cady: *A Shear Mode of Crystal Vibration* in Physical Review Bd. 29/1927, S. 617).

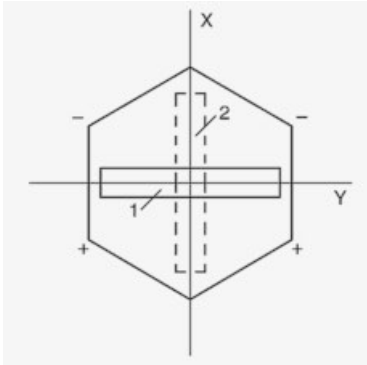


Abb. 4.4 X- und Y-Quarzschnitte

Diese beiden Schnitte wurden lange Zeit allein verwendet – zwar finden sich in der Literatur einzelne Angaben über Schnitte, deren Normale gegen die Achsen in bestimmter Weise geneigt waren, ohne jedoch irgendeine theoretische oder praktische Bedeutung zu erlangen.

Zwei ganz spezielle Formen von Y-Platten wurden von den Amerikanern W.A. Marrison und F. R. Lack in den *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* im Jahr 1929 beschrieben.

Nach einer Beobachtung von Marrison besitzen ringförmige Quarzplatten bei geeigneter Wahl der Innen- und Außen-Durchmesser des Ringes einen kleinen Temperaturkoeffizienten. F. R. Lack gelang es durch bestimmte Wahl des Verhältnisses der Dicke zu den Querdimensionen von rechteckigen Platten eine Harmonische der Querschwingung mit negativem Temperaturkoeffizienten derart abzustimmen, daß innerhalb bestimmter Temperaturbereiche Koppelschwingungen mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten entstehen.

Im Jahr 1932 beschrieb der Japaner Issac Koga einen sogenannten R-Schnitt, dies ist ein Schnitt parallel zu einer schrägen natürlichen Begrenzungsfläche des Quarzes, der sogenannten kristallographischen R-Fläche, und beobachtete, daß derartige Platten noch gut schwingen und einen kleinen Temperaturkoeffizienten besitzen, welcher jedoch vom Plattenformat abhängt.

Dieselben Schnitte, welche die X-Achse als gemeinsame Achse enthalten und gegen die optische Achse geneigt sind, wurden unabhängig von Koga durch R. Bechmann (Telefunken), A. Reuter (Dr. Steeg & Reuter), H. Straubel (Zeiss), F. R. Lack, G. W. Willard und I. E. Fair (Bell Telephon Lab.) in Bezug ihrer Temperaturkoeffizienten in Abhängigkeit vom Neigungswinkel gegen die optische Achse untersucht, mit dem Ergebnis, daß die Temperaturkoeffizienten der Schwingungen eine Funktion des Winkels sind, welche an zwei bestimmten Stellen **Nullpunkte** besitzen (vgl. auch die Firmenprofile Dr. Steeg & Reuter und Carl Zeiss).

Das Ergebnis ist besonders interessant, da sich in einer Anzahl von Untersuchungen über die X- und Y-Schnitte ergeben hat, daß der Temperaturkoeffizient ein und derselben Platte nicht eine Konstante, sondern eine Funktion der Form ist. Es stellte sich heraus, daß die Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten von der Plattenform auf Störungen, und zwar auf Kopplungserscheinungen zwischen den

Querschwingungen und den Dickenschwingungen beruht. Beseitigt man derartige durch das Format bedingte Kopplungserscheinungen durch ganz besondere Maßnahmen, so ergeben sich eindeutige und reproduzierbare Temperaturgänge als Funktion der Plattenorientierung.

Umfangreiche experimentelle Untersuchungen darüber wurden im Jahr 1934 von Dr. R. Bechmann im Telefunken Labor gemacht. In einer Abhandlung in der *Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik* schrieb er:

„Unter den Parametern des Betriebszustandes, von denen die Frequenz eines piezoelektrischen Generators abhängt, besitzt der Temperaturkoeffizient des Quarzoszillators den überwiegenden und empfindlichsten Einfluß auf die erzeugte Frequenz. Die Literatur der letzten Jahre ist daher einerseits reich an Vorschlägen für Thermostate und Temperaturregulierungseinrichtungen zum Ausgleich der Temperaturschwankungen, die auf den Quarz und seine Schaltelemente wirken, andererseits gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen, die sich mit den Temperaturkoeffizienten von Quarzplatten und -stäben befassen.“

Weiter führte Bechmann aus:

„Zunächst ist eine Abhängigkeit der TK (= Temperaturkoeffizient) der Quarzplatten und Stäbe von der Orientierung, unter der diese aus dem aus dem erzeugendem Kristall herausgeschnitten sind, vorhanden. Weiter hängt der TK der Quarzoszillatoren von der Gestalt ab, so ist auch der TK von Quarzstäben wesentlich von ihrem Querschnitt abhängig. –

Besonders auffällig ist jedoch eine große Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten der Quarzplatten von ihrer speziellen Form und der Temperatur. Quarzplatten und -stäbe besitzen im allgemeinen zwei Gruppen von Eigenschwingungen, die durch dieselbe Elektrodenanordnung, etwa durch Elektroden, die parallel zu einer Oberfläche angebracht sind, angeregt werden.“

Bekannt war ja schon vor diesen Untersuchungen, daß Quarzstäbe vorzugsweise Längsdehnungsschwingungen (Longitudinalschwinger) bzw. Längsbiegeschwingungen (Biegeschwinger) ausführen und frequenzbestimmend in erster Annäherung die Abmessung in der Längsrichtung sind. So können Platten je nach ihrer Schnittlage zu Dickenschwinger (Dickenschwinger) oder auch zu Flächenschwinger (Flächenschwinger) angeregt werden. Im erstgenannten Fall ist die frequenzbestimmende Abmessung die Plattendicke, dagegen ist bei einem Flächenschwinger die Frequenz von den Flächendimensionen abhängig.

Quarzplatten und -stäbe besitzen zwei Gruppen von Eigenschwingungen, welche durch dieselbe Elektrodenanordnung, und zwar durch Elektroden, die parallel zu einer Oberfläche angebracht sind, angeregt werden.

Die Frequenzen der ersten Gruppe sind durch die Dimension senkrecht zu den Elektroden durch ihre Dicke, die Frequenzen der anderen Gruppe durch die Querdimensionen bestimmt.

Durch ein Zusammenwirken dieser beiden Gruppen von Schwingungen entsteht für die höheren Frequenzen eine Erscheinung der Mehrwelligkeit dadurch, daß das Harmonische der Schwingungen der Gruppe der niederen Frequenzen mit einer Schwingung der Gruppe der höheren Frequenzen zu Koppelschwingungen Anlaß geben.

Über die Untersuchungen im Labor von Dr. Bechmann wird berichtet, daß besondere Sorgfalt für die Messungen der Mehrwelligkeit erforderlich ist. Die Mehrwelligkeit zeigt sich in einer sprunghaften Änderung der Frequenz in Abhängigkeit von der Temperatur. Die oben erwähnten Koppelungserscheinungen mehrerer Frequenzen mit verschiedener Temperaturabhängigkeit sind es, welche in vielen Fällen so widersprüchliche Resultate liefern. Es können z. B. ganz unbedeutende Veränderungen am Durchmesser runder Platten oder Änderungen einer Kante bei rechteckigen Platten die Temperaturkoeffizienten um ganz beträchtliche Werte ändern. Bei der Meßreihe, welche Bechmann durchführte, war eine sorgfältige Beseitigung der Mehrwelligkeit von Platten eine wichtige Aufgabe.

Nach Beseitigung der Mehrwelligkeit trat stets das erwartete Resultat auf, daß die TK der Eigenfrequenzen von Plattendickenschwingungen nur durch die Kristallorientierung bestimmt sind und nicht durch die Form der Platte, solange allerdings die Bedingung erfüllt ist, daß ihre Dicke klein gegen die Querdimension ist.

Der Temperaturkoeffizient „Null“

Dieses Problem aus der Anfangszeit der Schwingquarzfertigung ist, wie man oben gesehen hat, sehr vielschichtig.

Um dieses Problem zu lösen, war die richtige Wahl des Schnittwinkels von ganz besonderer Bedeutung. Der Verlauf und die Größe des Temperaturkoeffizienten sind in erster Linie eine Funktion des Schnittwinkels. Solche temperaturunabhängigen Schnitte, die sich für das ganze Frequenzgebiet, innerhalb dessen heute Schwingquarze verwendet werden, herstellen lassen, haben überhaupt erst die weit verzweigten Anwendungsgebiete des Schwingquarzes in der Nachrichtentechnik erschlossen.

Um eine Vorstellung zu geben über die Genauigkeit und Präzision, mit der solche Kristallschnitte ausgeführt werden müssen, sei erwähnt, daß im allgemeinen die Abweichungen der Schnittwinkel gegenüber den Kristallachsen in der Größe von 1 Winkelminute liegen müssen (heute bei einem AT-Schnitt müssen die Schnittwinkel auf etwa **10 Winkelsekunden** genau eingehalten werden, um die gewünschten Frequenz-

und Temperaturabhängigkeiten exakt zu erhalten!). Eine Forderung, die sich nur unter Zuhilfenahme modernster technischer Einrichtungen erfüllen läßt.
Nach diesen theoretischen Abhandlungen aus der Frühzeit der Herstellung sollen jetzt die verschiedenen Quarzschnitte einmal näher betrachtet werden.

Quarzschnitte, Schwingungsformen, Schwingquarzformen

Die folgende Abb. 4.7 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Quarzschnitte. Hinsichtlich der Bezeichnung der Achsen herrschte lange Zeit eine gewisse Unstimmigkeit in der Literatur (siehe darüber auch in:

Summary of Piezoelectrical Crystal Conference held by US Navy Deptmt. 1930;

ferner bei: K. S. van Dyke 1940;

W. G. Cady 1930, 1942 und 1960; R. A. Heising 1946).

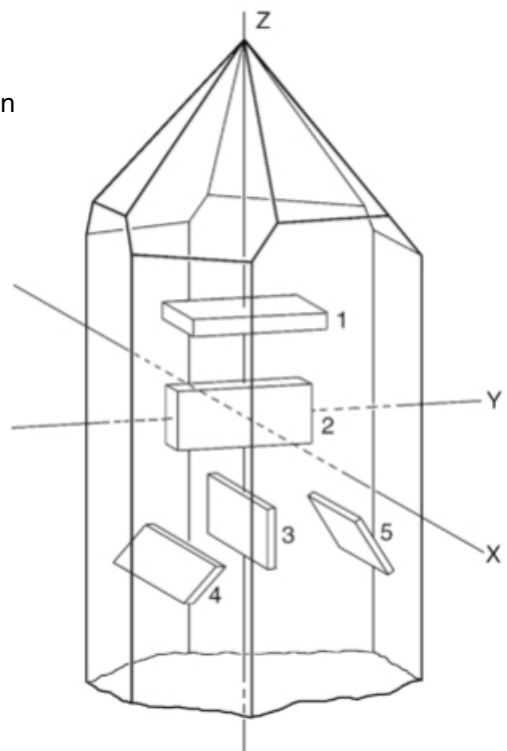
Auf dieser Konferenz hatte man sich auf folgende Bezeichnungen geeinigt:

Die Trigyre (C-Achse, optische Achse, Hauptachse) wird mit **Z** bezeichnet; die drei Digyren (a-Achsen) werden mit **X** bezeichnet; in derselben Ebene wie **X** und senkrecht zu **X** verlaufende Richtungen werden mit **Y** (keine Symmetrieachse) bezeichnet.

Abb. 4.5

Orientierung der hauptsächlichen Schnittlagen

- 1 – Z-Schnitt
- 2 – X-Schnitt
- 3 – Y-Schnitt
- 4 – z. B. AT Schnitt
- 5 – z. B. BT Schnitt



Je nach der Orientierung, in der ein Stab, eine Platte, eine Linse aus dem Kristall herausgeschnitten wird, erhält man verschiedene Anregungsbedingungen. – Schwingungsformen: Biegungs-, Dehnungs-, Dicken-, Flächenscher-, Dickscherschwingungen. (Stimmgabelquarze sind den Biegungsschwingungen zuzuordnen.)

Abb. 4.7
Quarzschnitte
und Schnittbereiche
im Naturquarz

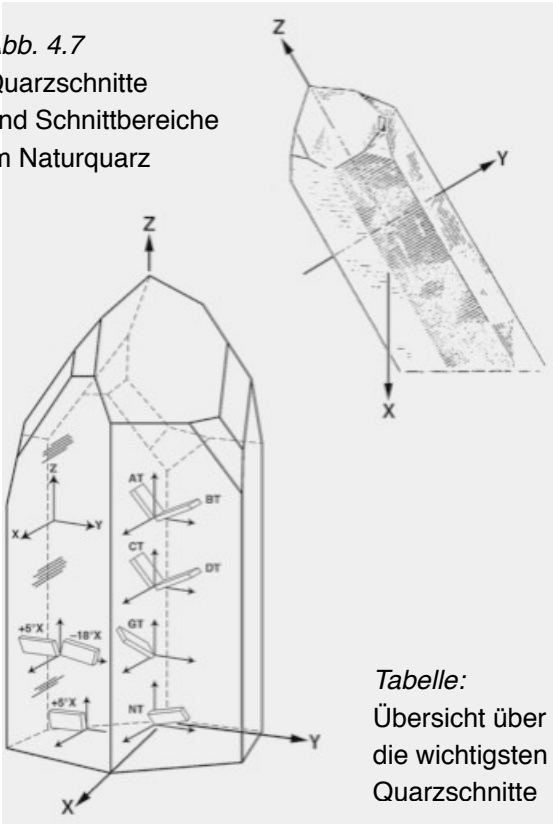


Tabelle:
Übersicht über
die wichtigsten
Quarzschnitte

Quarz-schnitt	Schwingungs-form	Frequenz-bereich
X, NT	Biegungs-schwingung	1 – 10 kHz 5 – 100 kHz
X, MT	Längs-schwingung	40 – 100 kHz 100 – 200 kHz
DT	Flächen-scherungs-schwingung	100 – 150 kHz 150 – 250 kHz
CT	Flächen-scherungs-schwingung	100 – 200 kHz 200 – 600 kHz
AT	Dicken-scherungs-schwingung	600 – 5000 kHz 5000 – 20000 kHz
BT	Dicken-scherungs-schwingung	5000 – 8000 kHz 8000 – 30000 kHz
AT	Dicken-scherungs-schwingung	15 – 50 kHz 50 – 100 kHz 100 – 250 kHz

Abb. 4.7 zeigt die verschiedenen Orientierungen von Schnitten, und die vorstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die wichtigsten Schnitte.

Die Doppelpfeile geben die angeregte Schwingungsrichtung an. Ein Quarz kann auch in Oberschwingungen – Oberwellenquarz – im Megahertzbereich schwingen.

Der Oberton ist ein Vielfaches des Grundtones der Schwingungsmode. Bei Oberton-quarzen können nur ungeradzahlige Harmonische erregt werden, bei einer geradzahli-gen Oberwelle würden die Elektroden gleiche Polarität aufweisen und somit könnte kein elektrisches Feld zur mechanischen Schwingungserregung entstehen.

Die gebräuchlichen Obertonschwingungen sind der 3., 5., 7. und 9. Oberton, wobei die Obertonfrequenzen hier nicht genau ganzzahlige Vielfache der Grundwellen-frequenz sind (zur Grundwelle „anharmonische“ Oberwellen).

Frequenzbestimmend ist bei einem Obertonquarz, abgesehen von der Ordnungszahl der Oberwelle, **die Scheibendicke** (nur für AT-Schnitte).

Quarzschnitte und ihre Bezeichnung

A) AT-Schnitt: **(yxl)** $+35^\circ$ (Abb. 4.8)

Kristalldicke d in Y-Richtung, Länge l in X-Richtung, Y-Schnitt,
Drehung um X-Achse um Winkel φ $35^\circ 18'$, Neigung gegen XZ-Ebene

Der Frequenzbereich dieses Schnittes liegt zwischen 50 kHz und 250 MHz, wobei ab 15 MHz Oberwellenanregung stattfindet.

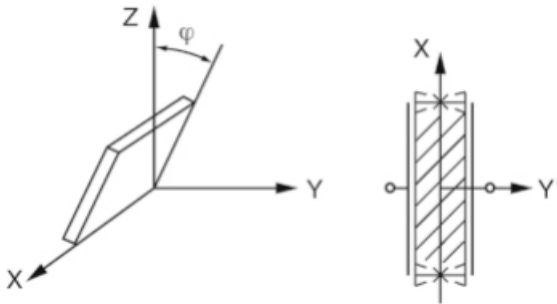


Abb. 4.8 AT-Schnitt

Wegen seiner Überlegenheit hinsichtlich Temperaturverhalten, Stoßfestigkeit, Langzeitstabilität und Herstellungskosten ist der AT-Schnitt der meist verwendete Schwingertyp.

B) BT-Schnitt **(yxl)** -49° (Abb. 4.49)

Y-Schnitt, Fläche parallel X-Achse und 49° um X-Achse gedreht Neigung gegen XZ-Ebene.

Der Einsatz des BT-Schnittes wird heute weitestgehend vom AT-Schnitt übernommen.

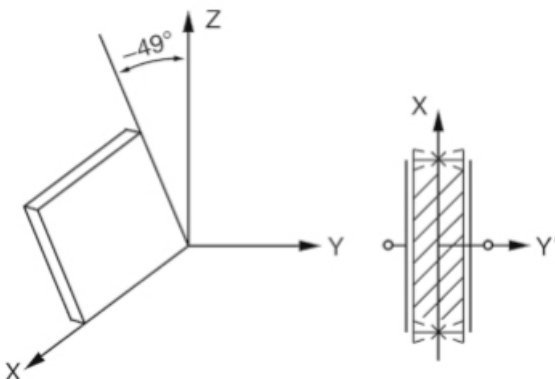


Abb. 4.09 BT-Schnitt

Der BT-Schnitt wurde früher zur Erzeugung höherer Frequenzen benutzt, da der BT-Schnitt bei gleicher Frequenz um 50 % dicker als der AT-Schnitt ist. Dadurch gab es Vorteile in der Bearbeitung.

C) CT-Schnitt: **(yxl) +38°** (Abb. 4.10)

Y-Schnitt, Fläche parallel X-Achse und um +38° um die X-Achse gedreht.
Flächenschwingung zwischen 300 kHz und 1000 kHz.

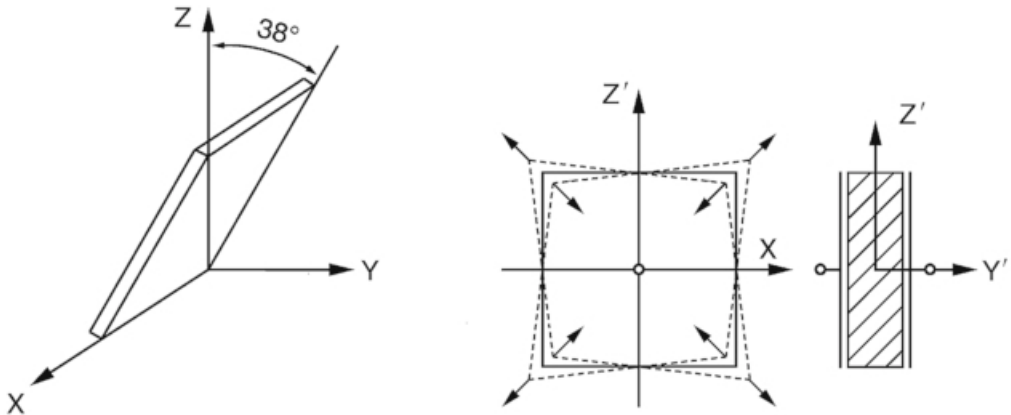


Abb. 4.10 CT-Schnitt

D) DT-Schnitt: **(yzi) -52° 30'** (Abb. 4.11)

Y-Schnitt, Fläche parallel X-Achse und um -52° 30' um Achse gedreht.
Flächenschwingung zwischen 180 kHz und 350 kHz.

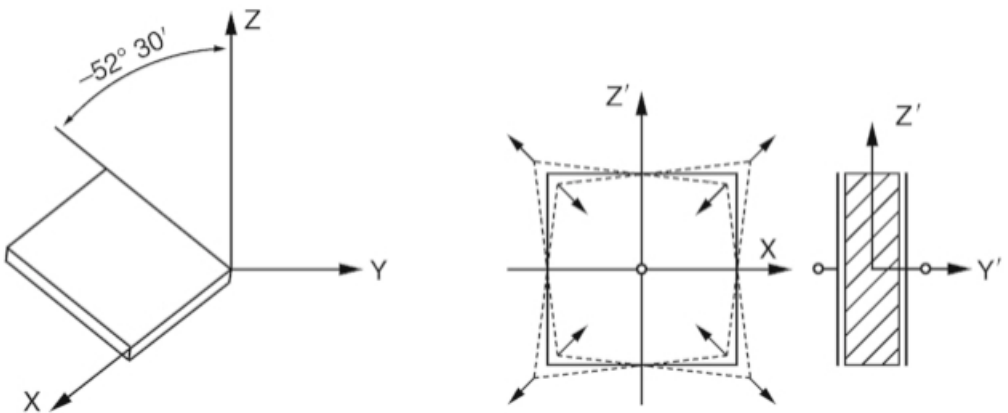


Abb. 4.11 DT-Schnitt

E) GT-Schnitt: **(yxd)** -51° 14' / 45° (Abb. 4.12)

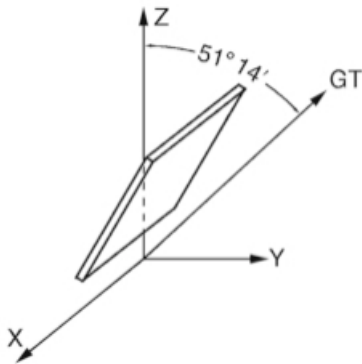
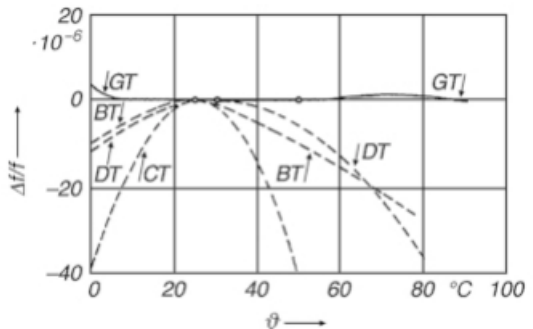


Abb. 4.12
GT-Schnitt

Der GT-Schwinger ist ein Flächendehnungsschwinger. Eine Drehung um die Y-Achse von 45° bewirkt, daß der Flächenscherswingung eine Dehnungsschwingung wird, dabei bestimmt die kleinere Seite die Frequenz. Der Frequenzbereich liegt zwischen 60 kHz und 150 kHz.

Der GT-Schwinger zeichnet sich durch eine besonders kleine Temperaturabhängigkeit aus (vgl. Abb. 4.13). In Folge hoher mechanischer Beanspruchung zeigt er jedoch eine sehr starke Alterung. Er wurde früher besonders für 100-kHz-Eichquarze verwendet.

Abb. 4.13
Frequenz-Temperatur-Beziehung
einiger Quarzschnitte
(nach Mason)

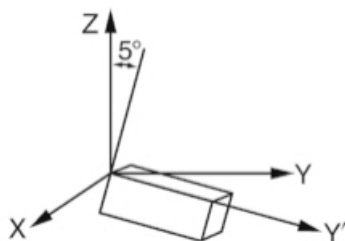


Die von dem Amerikaner W. P. Mason im Jahr 1940 entwickelte GT-Platte ist das interessanteste Beispiel aller Niederfrequenzplatten mit dem bemerkenswerten

großen Bereich, in dem der Temperaturkoeffizient fast Null ist.

Es gibt zwei Arten von GT-Platten, je nachdem der Drehungswinkel Q zwischen 20° und 50° liegt oder zwischen 140° und 160°.

F) X+5°-Schnitt: **(yxd)** (Abb. 4.14)



Winkel 5° zwischen Stabachse und X-Achse.

Dicke d in X-Richtung, Fläche in xz-Ebene.

Längs- und Biegeschwingung zwischen 1 kHz und 50 kHz.

Abb. 4.14
X+5°-Biegeschwinger

Für den $X+5^\circ$ -Biegeschwinger wird der gleiche Schnittwinkel wie für den $X+5^\circ$ -Dehnungslängsschwinger benutzt. Lage und Form der Elektroden des Biegeschwingers müssen so sein, daß parallel zur X-Achse ein homogenes Feld erzeugt wird.

Da bei Niederfrequenzquarzen im Frequenzbereich 1 kHz bis 50 kHz bzw. 100 kHz als Vibratoren Biegeschwinger verwendet werden, die als Vierpole oder als Dreipole gefertigt und dann in Oszillatorschaltungen dreipolig oder zweipolig mit Serien oder Parallellastkapazität betrieben werden, ist es oft von Vorteil für Filter- und Oszillatorzwecke, eine dreipolige Ausführung zu verwenden. Wird der Schwingquarz dreipolig z. B. an einer Oszillorröhre bzw. an einem Transistor betrieben, so werden die Elektroden 2 und 3 verbunden und an Masse gelegt, die Elektrode 4 an Gitter und 1 an Anode, bzw. 4 an Basis und 1 an Kollektor (Abb. 4.15).

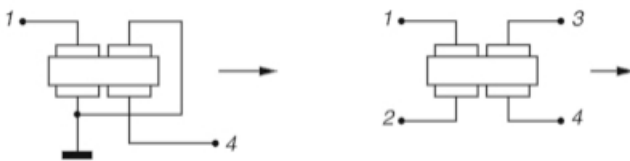


Abb. 4.15
Quarz vibrator 3- und 4-polig

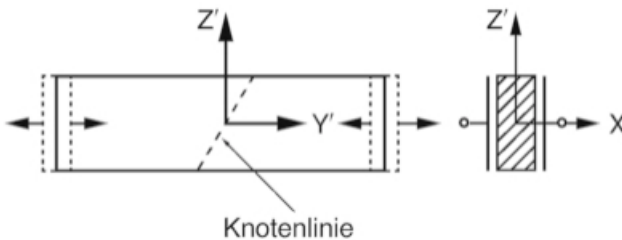


Abb. 4.16
Erzeugung einer
Biegeschwingung beim
 $X+5^\circ$ -Schnitt

G) $X+5^\circ$ -Schnitt: **(xyd) $+5^\circ$** (Abb. 4.17)

Die Flächenausdehnung der Stäbe fällt mit der YZ-Ebene, die Dickenausdehnung mit der +X-Achse zusammen.

Längs- und Dehnungsschwingung zwischen 50 kHz und 200 kHz. Dieser Schnitt wurde vorwiegend in der Filtertechnik verwendet.

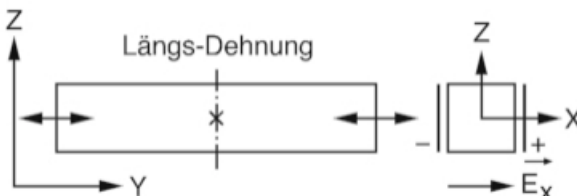


Abb. 4.17
 $X+5^\circ$ -Dehnungsschwinger

H) NT-Schnitt: (Abb. 4.18)

Dieser Schnitt ist mit dem $X+5^\circ$ -Biegeschwinger äquivalent, oder anders gesagt, Biegeschwingungen können erzeugt werden, indem man X-Schnitt-Dehnungsschwinger mit zwei gegenphasig angeschlossenen Elementen versieht. Dabei entstehen zwei entgegengesetzte Felder in der X-Richtung. Die hier durch erzwungene Biegung in der Z-Richtung ergibt dann allerdings einen ungünstigen Temperaturgang, kann dann aber durch eine zusätzliche zweite Drehung um die Y-Achse zwischen 60 und 70 Winkelgraden kompensiert werden. Der NT-Schwinger wurde ursprünglich für die Filtertechnik entwickelt. Wichtig: Aufhängung im Schwingungsknoten!

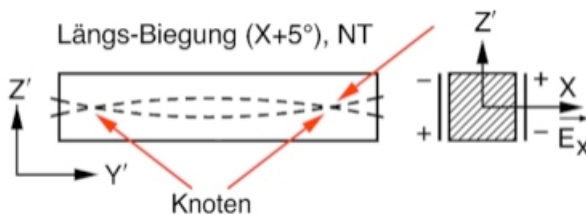


Abb. 4.18
NT-Längs-Biegeschwinger

K) Stimmgabel-Schwinger (Abb. 4.20)

Der Zweck der 1711 von dem englischen Gardetrompeter John Shore erfundenen Stimmgabel mit Stiel war ursprünglich, ein Frequenznormal für den ausübenden Musiker zu schaffen. In der Musik dient sie also als Normalinstrument für Tonhöhen, z. B. ist eine Stimmgabel für den Kammerton a' auf 440 Hz geeicht.

Eine Stimmgabel ist physikalisch ein Stab mit zwei freien Enden, der zu einem U gebogen und mit einem Stiel in der Mitte versehen ist. Man kann sie durch Anschlagen zu gedämpften Schwingungen, oder auf elektromagnetischem Wege zu Dauerschwingungen anregen. So fand die Stimmgabel schon früh ihren Einzug in die elektronische Schwingungstechnik.

Der Engländer W. H. Eccles veröffentlichte 1919 in der Zeitschrift *Proc. Phys. Society*, Band 31, eine Arbeit über „Elektronisch erregte Stimmgabeln zur Frequenzmessung“ mit dem Titel:

Substaining the vibration of a tuning fork by a triode valve

(Aufrechterhaltung der Schwingung einer Stimmgabel durch eine Trioden-Röhre).

In Deutschland wurden 1927 von der Firma C. Lorenz die ersten Stimmgabeln zur Steuerung der Sendefrequenzen beim Gleichwellen-Rundfunk eingesetzt.

Frühere Arbeiten von August Karolus (1928) am Physikalischen Institut der Universität Leipzig haben sich eingehend mit dieser Materie beschäftigt. Eine Stimmgabel aus gegossenem Quarz wurde in den Jahren 1938/39 in seinem Institut untersucht (Abb. 4.19).

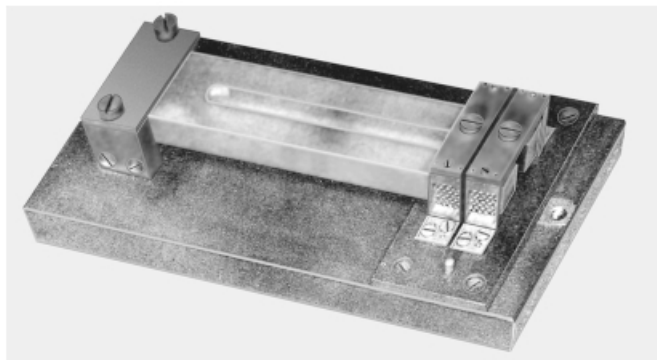


Abb. 4.19
Stimmgabel aus
gegessenem Quarz mit
Anregungselektroden

Spätere Arbeiten von Karolus datieren aus den 50er Jahren.

Die ersten Untersuchungen wurden an Gabeln im X-Schnitt, spätere im Y- und NT-Schnitt angestellt.

Die Arbeiten wurden in dieser Zeit zusammen mit Dr. A. Reuter von der Firma Steeg & Reuter ausgeführt.

Nach den ersten Arbeiten von Karolus über die Stimmgabel aus Quarzkristall gab es noch weitere Arbeiten von P. George und F. Jouffroy, veröffentlicht in den *Annales Françaises de Chronometrie*. Diese Arbeiten behandelten speziell die Miniaturgabeln für die Kleinquarzuhren.

Nach dieser historischen Übersicht nun wieder zur Technik:

Am einfachsten wird die Gabel wie ein X-Schnitt-Biegeschwinger aus dem Kristall geschnitten. Die Frequenz ist von der Zinkenlänge l und Breite b abhängig. Die Zinkendicke d hat keinen Einfluß auf die Frequenz, aber einen Einfluß auf den Temperaturgang der Frequenz (Abb. 4.20).

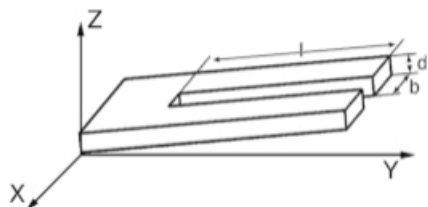


Abb. 4.20
Stimmgabel-Schwinger

Außer den X-Gabelschwingern werden auch noch Gabelschwinger im XY-Schnitt hergestellt.

Die Firma STATEK Corp. in den USA fertigte als erste Firma auf der Welt Stimmgabelquarze mit Hilfe der IC-Verfahrenstechnik (Photo-Maskentechnik), welche im Volumen 100 mal kleiner sind als herkömmliche Quarze.

Die Stimmgabeln werden heute aus einer Platte herausgeätzt.

Abb. 4.21 zeigt den mechanischen Aufbau der Stimmgabel.

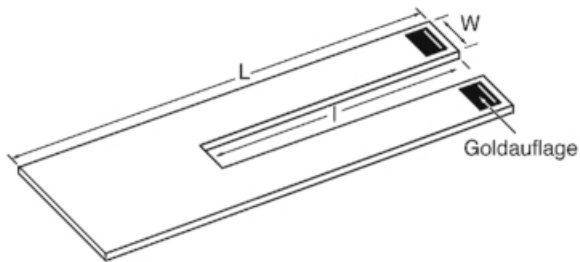
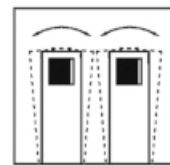


Abb. 4.21

Mechanischer Aufbau einer
Stimmgabel der Firma Statek



Stimmgabelbewegung
Draufsicht

Die Resonanzfrequenz des Quarzes wird hauptsächlich bestimmt durch seine Abmessungen und die Materialeigenschaften.

Die Zungen haben am Ende eine Goldauflage, welche sich mit Hilfe des Laserstrahls so exakt abtragen läßt, daß damit die gewünschte Stimmgabelfrequenz eingestellt werden kann.

Die Oszillatoren können für einen Frequenzbereich von 10 kHz bis 600 kHz gefertigt werden. Der Frequenzbereich für den Grundton ist dabei 10 kHz bis 100 kHz, für den Oberton 100 kHz bis 600 kHz.

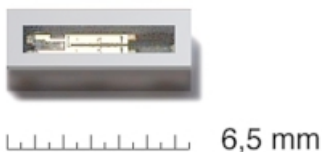
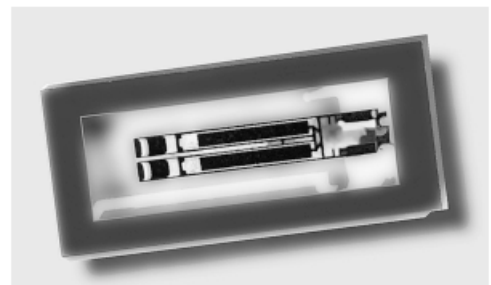


Abb. 4.22

NF-Quarz der Firma ETA
im Keramikgehäuse



L) Sonstige Quarzschnitte

Für Sonderanwendungen wie z. B. für Oszillatoren in der Filtertechnik und für Temperaturmessungen sind im Laufe der Zeit noch weitere Quarzschnitte entwickelt worden:

Duplex $X + 5^\circ$, $X - 18^\circ$, MT, AC, BC, LC, RT, SC, SL, VT.

Ich möchte auf diese angedeuteten Schnitte nicht näher eingehen, mit einer Ausnahme: des **neuen SC-** (strain compensated) Schnittes.

Untersuchungen in den Philips Research Laboratories in Redhill (England) und der Firma Cathodeon Crystals, zu dem Unternehmen der Philips Industrie gehörend, haben gezeigt, daß die Stabilität von Schwingquarzen wesentlich verbessert werden kann, wenn die Plättchen unter einer anderen Orientierung aus einem Quarzkristall geschnitten werden. Die wichtigste dadurch erreichte Verbesserung ist die höhere Temperaturstabilität des SC-Schnittes. Interessant ist auch eine niedrige Empfindlichkeit gegenüber schockartigen thermischen und mechanischen Belastungen. Des weiteren ergaben sich noch zwei unerwartete Vorteile – die neuen Quarze altern viel langsamer und zeigen viel höhere Gütewerte.

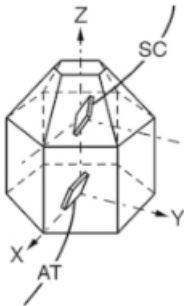


Abb. 4.23

Zur Fertigung muß noch gesagt werden:

Die Ebene dieser Schnitte wird nach optischer Vermessung zur Ermittlung der optischen Achse des Kristalls durch Drehung um zwei Achsen erlangt. Die Fertigung verlangt dabei eine größere Sorgfalt bei der Ausrichtung und beim Schnitt der Plättchen. Abb. 4.23 zeigt in einem Schnittmodell den SC-Schnitt. Ein Vergleich von SC- und AT-Schnitten ist in Tabelle Abb. 4.24 dargestellt.

Abb. 4.24 Eigenschaften der SC-AT-Schnitte – Vergleichstabelle

Schnitt	AT	SC
Frequenzänderung in Abhängigkeit von der Temperatur im Bereich von 70–100 °C	$\pm 2 \text{ ppm}^*)$	$\pm 0,2 \text{ ppm}$
Alterung	0,005 ppm/Tag	0,002 ppm/Tag
Güte Q	$0,2 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^6$
^{*)} Die Angabe ppm als Toleranzangabe für Schwingquarze lautet ausgeschrieben <i>parts per million</i> und bedeutet frei übersetzt: Toleranz der Schwingfrequenz in Millionstel der Nennfrequenz. Der ppm-Wert gibt also die maximale Abweichung der Schwingfrequenz gegenüber dem Sollwert an.		

Fertigungsschritte bei der Herstellung eines 130-kHz-Schwingquarzes (X+5°-Schnitt) als Längsdehnungsschwinger

1. Vorprüfung des Rohquarzes im Tetralinbad.
2. Vororientierung der Rohquarzblöcke.
3. Ätzung der Blöcke in Flußsäure.
4. Kennzeichnung der brauchbaren Stellen (nicht verzwilligt).
5. Bestimmung der Schnittrichtung einer X-Fäche (elektrische Achse), z. B. durch das Kundtsche Bestäubungsverfahren oder durch Lage der Ätzfiguren auf der Z-Fläche.
6. Probeplatte abschneiden, parallel und in Form schneiden, schleifen, Dicke messen. Die Frequenz anhand der in Dickenschwingung versetzten Musterplatte messen.
7. Die Dicken-/Frequenzkonstante wird aus Pos. 6 bestimmt.
8. Korrektur des Winkelfehlers der Fläche zur Z-Achse.
9. Zur korrekt ausgerichteten X-Fläche wird parallel eine Fläche geschliffen.
10. Ätzen der Quarzstücke und Kennzeichnung der verzwilligten Teile.
11. Feststellung des Richtungssinnes der in der X-Fläche liegenden Achsen +Y und +Z.
12. Anzeichnen der Schrägrichtung für den Schnitt.
13. Anschneiden der genannten Schnittrichtung von +5° durch einen Schnitt senkrecht in die X-Fläche.
14. Die 5°-Schnittfläche mit dem Anlegegoniometer vorjustieren und unter Zuhilfenahme des Polarisationsmikroskops auf ± 2 bis 3' berichtigen.
15. Parallelfäche zur 5°-Fläche abschneiden.
16. Diese Parallelfäche überschleifen (2').
17. Zersägen des nach Pos. 13 bis 16 orientierten Quarzstücks in Stabplatten mit genügender Zugabe für die endgültigen Abmessungen von Breite und Dicke und noch mehr Spielraum hinsichtlich der Länge.
18. Die zugeschnittenen Stabplatten ätzen und prüfen. Die Enden der Längenabmessung anzeichnen.
19. Eine Reihe von Stabplatten passend zusammenkitten und auf Länge sägen.
20. Auf Breite und Dicke sägen.
21. Stäbe auf den Breitflächen auf Glasplatte kitten und beiderseits feinschleifen auf fertige Dicke.
22. Stäbe nach Pos. 21 zusammenkitten, gemeinsam auf Länge und Breite fertigschleifen.
23. Reinigen.
24. Versilbern.
25. Vorabgleich durch Längenkorrektur.
26. Reinigen.
27. Prüfen und Einbau in Halter.
28. Endprüfung

Nach der Einführung in die Theorie der Schwingungsformen und Quarzschnitte möchte ich jetzt zu einer weiteren Beschreibung einer Schwingquarz-Fertigung überleiten. Am Anfang dieses Kapitels wurde ja schon ein erster Fertigungsablauf aus der Frühzeit der Schwingquarzherstellung skizziert. Als Leitlinie für die folgende Fertigung, etwa aus dem Jahr 1939, zuerst eine Grobübersicht und im Anschluß daran zu einem Teil der Arbeitsgänge noch eine Erläuterung (Seite 117 ff.).

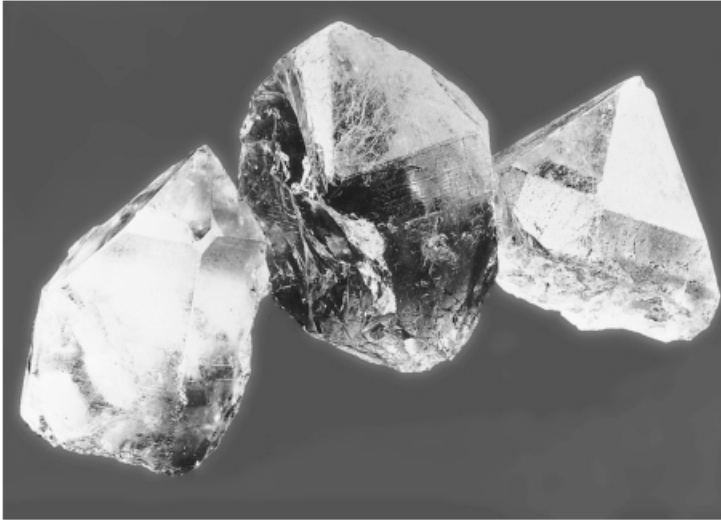


Abb. 4.25
Rohquarzkristalle aus
Brasilien

Die Herstellung von Schwingquarzen damals umfaßte etwa 20 bis 30 Arbeitsfolgen (siehe vorhergehende Seite). Bei Präzisionsquarzen waren es einige mehr. Die Fertigungsschritte waren auch von Firma zu Firma verschieden. Die Hauptprobleme lagen meines Erachtens in einer schnellen und präzisen Orientierungsmöglichkeit der Achsen. Die einzelnen Firmen hatten, was verständlich ist, in ihren Fertigungsabläufen auch noch Geschäftsgeheimnisse. Dieses zeigte sich aber als ganz besonders negativ in der Fertigung während des Krieges.

Zu 1. Für die Schwingquarzfertigung wurden besonders ausgesuchte Rohquarzblöcke aus Brasilien verwendet. Die Qualitäts- und Lieferbedingungen waren durch internationale Qualitätsmerkmale festgelegt. Spitzenqualität war zum Beispiel A 16, d. h., daß eine zusammenhängende Partie eines Kristalls 60 bis 100 % nutzbar sein mußte. Dabei mußte die Partie frei sein von Wachstumsfehlern (Zwillinge, Risse, Blasen). Mit der Eingangsprüfung (Inspektion) erfolgte gleichzeitig auch

das Erstorientieren. Dazu wurde der Prüfquarz in einer Prüfküvette nach einer früher geheimgehaltenen und in Deutschland erst seit dem Jahre 1936 bekannt gewordenen Eintauchmethode in einem „Ölbad“ auf die oben genannten Wachstumsfehler geprüft.

Die Einbettungsflüssigkeit war Tetrahydronaphtalin kurz „Tetralin“. Das ist eine farblose eigenartig und abstoßend riechende Flüssigkeit. Da die Prüfflüssigkeit und der Quarz den gleichen Brechungsexponenten besitzen, ist es möglich, in das Innere des Kristalls zu sehen.

Mit einer beweglichen Mikrolampe, welche ein starkes, paralleles Lichtbündel erzeugt, wird der Kristall durch die Seitenfenster der Küvette und von oben durch die Küvettenöffnung, unter Bewegung des Kristalls und der Lampe, durchleuchtet. Das Lichtbündel der Lampe ist durch die Schwebeteilchen in der Prüfflüssigkeit sichtbar. Ist der Rohquarz absolut rein, also frei von Wachstumsfehlern und frei von Rissen und Sprüngen, so wird das Lichtbündel im Quarz nicht zu sehen sein, da es keine Flächen trifft, an welchen eine Reflexion auftreten kann (Streulicht). Sind Wachstumsfehler in einem Kristall vorhanden, so wird das Lichtbündel oder ein Teil davon bei Auftreffen auf diese Fehler reflektiert. Dadurch werden diese Fehler bei einer bestimmten Blickrichtung sichtbar.

Zu erwähnen ist noch, daß der Raum verdunkelt sein muß !

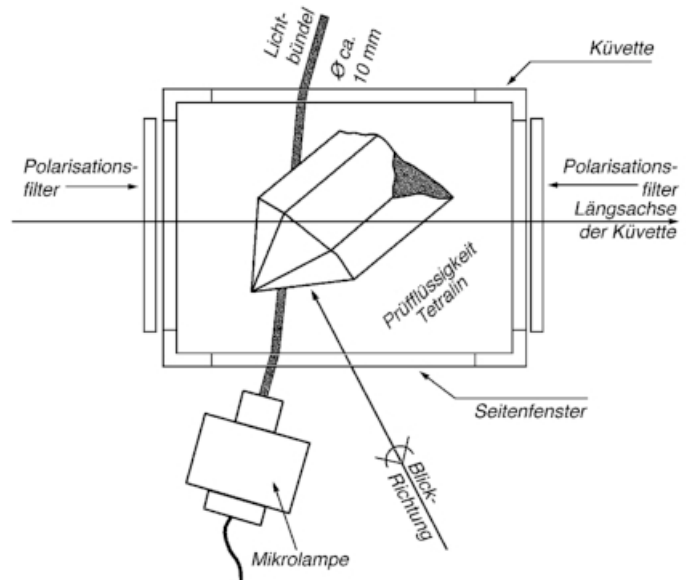


Abb. 4.26
Inspektion eines Rohquarzes

Da ein Quarzkristall meist auch Wachstumsfehler besitzt, die nur im polarisierten Licht zu erkennen sind, war der Kristall außer mit der eben geschilderten Durchleuchtung auch noch im polarisierten Licht zu prüfen. Nach der Inspektion folgte das „Erstorientieren“. Unter diesem Arbeitsgang verstand man das Suchen der Richtung, in welcher die optische Achse Z in einem Rohquarz verläuft.

Dazu muß aber zum besseren Verständnis der Aufbau der Prüfküvette näher erläutert werden:

Die Küvette bestand aus einem Aluminiumgehäuse ohne Deckel.

Die vier Seitenteile waren für die Aufnahme von Glasfenstern ausgeschnitten.

Die zwei gegenüber liegenden Fenster parallel zur Längsachse der Küvette sollten die Durchleuchtung des in der Prüfflüssigkeit eingebetteten Quarzes mit einem intensiven Lichtbündel ermöglichen. Während die zwei rechtwinklig zur Prüfrichtung stehenden Fenster zur Beleuchtung und Beobachtung des Rohquarzes dienten.

Außerhalb der Küvette waren vor diesen Fenstern zwei Polarisationsfilter angebracht, wobei der Analysator drehbar war. Um diffuses Licht zu erzeugen, war eine Seite des Polarisators mattiert.

Das von der Natriumdampflampe ausgehende monochromatische Licht wurde mittels einer Kondensorlinse gesammelt, um das gesamte Bild zu erhalten.

Auf der Beobachtungsseite befand sich unter 45° zur Prüfachse ein Spiegel, um bequem prüfen zu können.

Die Kristallographie lehrt, daß die optische Achse eines Kristalls parallel zu dessen Prismenflächen und in einem bestimmten Winkel zu den Rhomboederflächen verläuft, *siehe Abb. 4.27*.

Abb. 4.27

Feststellung der optischen Achse

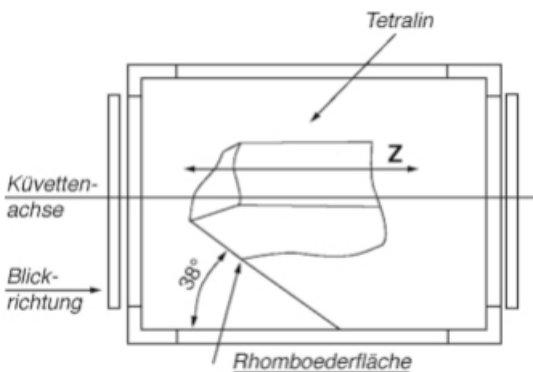
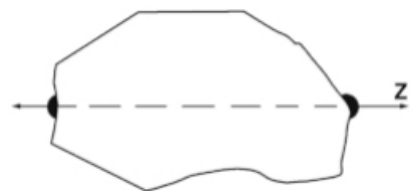


Abb. 4.28

Markierung der optischen Achse



Zu der Erstorientierung gehörte auch das Markieren der Richtung der optischen Achse. Dies geschah mit zwei Farbkennzeichen wie in *Abb. 4.28*.

Optische Prüfung auf Zwillingsbildung:

Optische Zwillinge waren beim Prüfen im Ölbad nur zu sehen, wenn die optische Achse des Kristalls parallel zur Längsachse der Küvette verlief. Besaß der Quarz wenigstens eine Naturprismenfläche, dann war es möglich, den Quarz so in die Prüfflüssigkeit zu tauchen, daß die Naturfläche mit der Längsachse parallel lag. Ebenso konnte man die richtige Prüfstellung erreichen, wenn der Kristall eine oder mehrere Rhomboederflächen hatte. Ein langes Suchen der Prüfrichtung war also bei Vorhandensein von Naturflächen nicht nötig (siehe Abb. 4.27).

Bei der Prüfung des Quarzes auf optische Zwillinge mußten die Interferenzstreifen, hervorgerufen durch die Doppelbrechung, sehr breit auftreten (siehe Abb. 4.29 b). Bei einem Quarz mit Naturflächen sieht man in Prüfrichtung – vorausgesetzt, daß die Bedingung wie in Abb. 4.27 ersichtlich, eingehalten wurde – auf alle Fälle schmale Interferenzstreifen (siehe Abb. 4.29 a).

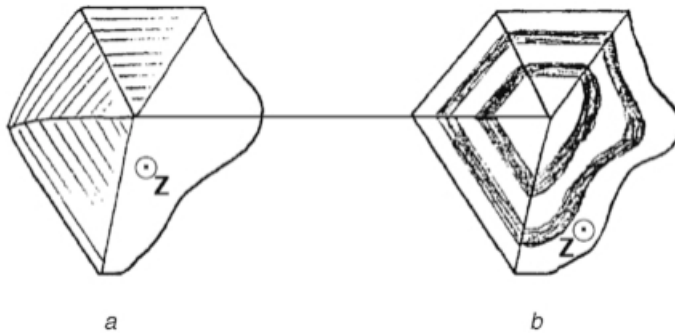


Abb. 4.29
Inspektion auf
Zwillingsbildung

Nur eine kleine Lagekorrektur war dann noch nötig, um diese Interferenzstreifen breit erscheinen zu lassen. Bei einer von der Parallelität der optischen Achse zur Küvettenachse abweichenden Lage des Kristalls können optische Zwillinge nicht erkannt werden.

Wie schon im Vorangegangenen erwähnt, müssen die Interferenzstreifen breit erscheinen, wenn der Rohquarz auf optische Zwillinge untersucht werden sollte. Solange die optische Achse mit der Küvettenachse nicht parallel verlief, wurden keine oder nur mehr oder weniger schmale Streifen sichtbar. Die Lage des Rohquarzes in der Küvette mußte solange verändert werden, bis die Streifen die größte Breite hatten (siehe Abb. 4.29 b).

Schwieriger war das Finden der optischen Achse bei einem Splitterquarz. Hier fehlten die Naturflächen und man konnte den Quarz nicht gleich in die richtige Prüflage bringen. Nach dem Eintauchen eines Splitterquarzes in das Ölbad mußte er noch nach allen Richtungen bewegt werden, bis die Streifen (auch Bänder genannt)

erschieden. Die Anzahl und die Form der Interferenzstreifen war abhängig von der Stellung der Bruchflächen des Quarzes zur optischen Achse und von der Form dieser Bruchflächen.

War also ein Kristall frei von optischen Zwillingen, so wurden die Interferenzstreifen nicht durch die zu diesen Streifen quer verlaufenden Zwillingslamellen gestört (siehe Abb. 4.30 a).

Waren aber in einem Quarz optische Zwillinge vorhanden, so traten weitere Interferenzstreifen als Zwillingslamellen auf, bei denen aber wegen ihrer Lage zur optischen Achse des Mutterkristalls diese Zwillingslamellen in großer Anzahl auf gleichem Raum und dadurch schmal erschienen (siehe Abb. 4.30 b). Durch leichtes Kippen des Kristalls im Ölbad konnte die Größe und Lage des Zwillings annähernd bestimmt und der verwendbare Teil geschätzt werden.

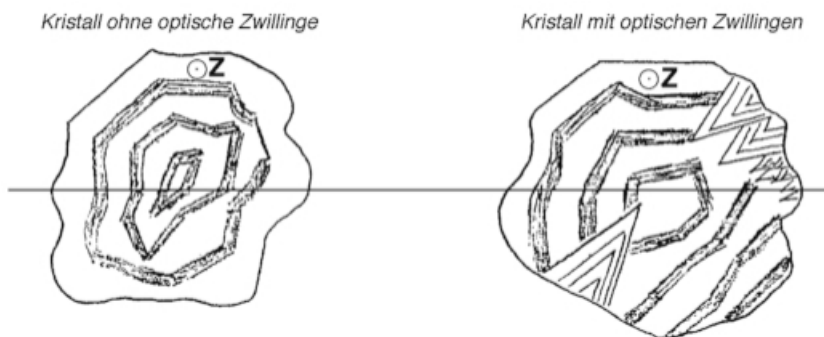


Abb. 4.30 a und b

Zu 2. – Vororientierung –

Unter Vororientierung versteht man das Anarbeiten von zwei parallel gegenüber liegenden Planflächen rechtwinklig zur optischen Achse. Der Arbeitsgang diente zum Zweck der Untersuchung des Rohquarzes auf Wachstumsfehler, zur Feststellung ob Links- oder Rechtsquarz und um die Eignung und besten Anwendungsmöglichkeiten zu bestimmen.

Die optische Achse (Z) des Rohquarzes war mit Hilfe der Markierung, wie sie bei der Inspektion und Erstororientierung in der Küvette angebracht wurde, aber nur annähernd bestimmt. Es war nicht möglich, wegen der unregelmäßigen Form, wie sie besonders ein Splitterquarz*) besaß, den Rohquarz so in die Spannvorrichtung der Trennsäge einzuspannen, daß schon nach dem ersten Schnitt die Schnittfläche am Rohquarz genau $90^\circ (\pm 10')$ zur optischen Achse lag.

Um diese Genauigkeit zu erreichen, waren mehrere Arbeitsgänge notwendig, ehe die richtige Lage der Planflächen zur optischen Achse gefunden wurden.

Ziel der folgenden Arbeitsgänge war, zwei parallel gegenüberliegende Planflächen 90° zu Z anzubringen (siehe Abb. 4.31).

Abb. 4.32 Prüfschnitte 1 und 2 (unten)

entstanden. – Nachdem der Quarzblock nun fixiert und fest eingespannt war, wurde mit einer diamantbesetzten Trennscheibe ein Stück des Blockes abgetrennt (Schnitt 1). Dann wurde nach einem Weitertransport nach links ein zweiter Schnitt parallel zur Schnittfläche am Block ausgeführt, so daß eine Scheibe von ca. 10 mm Dicke entstand (Schnitt 2), *siehe Abb. 4.32*.

Die kleine Seite wurde mit einer mittleren Schmirgelsorte kurze Zeit überschleift. Um die Scheibe mit matten Flächen durchsichtig zu machen, wurden die zwei matten Flächen mit Tetralin benetzt und auf diese Tetralinschichten parallele, polierte Glasplatten aufgerieben (Abb. 4.33).

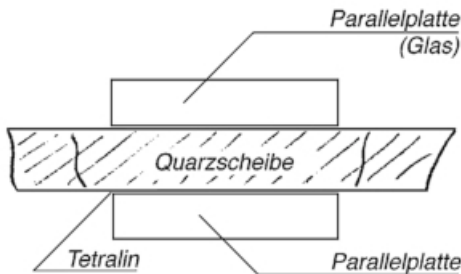


Abb. 4.33 Prüfscheibe

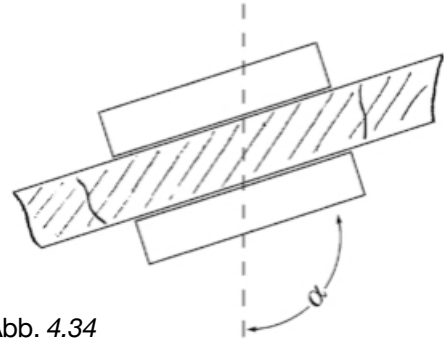


Abb. 4.34
Bestimmung der 90°-Abweichung (α)
von der Z-Achse

Jetzt besaß man eine durchsichtige Quarzscheibe. Mit dieser durchsichtigen Quarzscheibe wurde nun mit Hilfe eines Konoskops die 90°-Abweichung (α) der kleinen Fläche von der Z-Achse bestimmt. Alle drei zusammengesetzten Teile wurden so auf den Rastertisch des Konoskops aufgerieben, daß die kurze Fläche der Quarzscheibe nach unten, also auf das Raster zu liegen kam. Die drei Teile wurden nun in azimuthaler Richtung bei feststehendem Rastertisch gedreht, bis die Airyschen Spiralen, welche wegen der 90°-Abweichung (α) der optischen Achse zu der kurzen Fläche der Quarzplatte (bei waagerechter Stellung der Rasterplatte) noch eine ovale Form hatten, also senkrecht im Blickfeld des Okulars standen (Abb. 4.35).

Im weiteren Verlauf erfolgte jetzt das Linkskippen des Rastertisches. Die optische Achse der Quarzplatte lief dann mit der Instrumentenachse parallel, wenn die Airyschen Spiralen, die während der Kippbewegung des Rastertisches mit der Quarzplatte ihre Form veränderten, eine regelmäßige Kreuzform, wie in Abb. 4.35, angenommen hatten und konzentrisch erschienen.

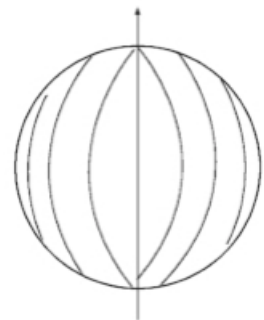


Abb. 4.35
Airysche Spiralen bei 90°-Abweichung

An einem Teilkreis, er war mit dem Rastertisch gekoppelt, konnte die Neigung des Rastertisches und somit die noch vorhandene 90°-Abweichung der optischen zur kleinen Fläche der Quarzplatte abgelesen werden.

Mit dem Konoskop war auch der Drehsinn eines Quarzes zu ermitteln. Zeigten die Strahlen der Airyschen Spiralen nach rechts (Richtung des Uhrzeigers), siehe Abb. 4.36, dann handelte es sich um einen rechtsdrehenden Kristall. Folglich verliefen die Strahlen entgegengesetzt des Uhrzeigersinns, wenn der Kristall ein linksdrehender war. Die weitere (ausführliche) Beschreibung der Vororientierung möchte ich etwas abkürzen: es sind noch zwei Schnitte auszuführen – Schnitt 3 und Schnitt 4.

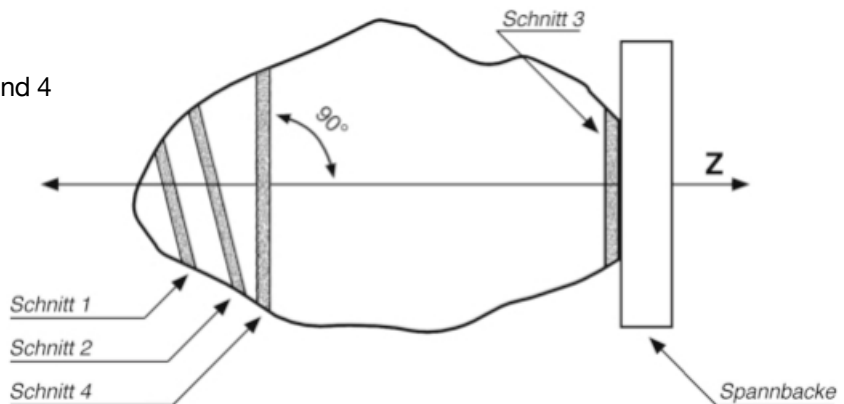


Das Anschneiden der Fläche 3 gegenüber dem Schnitt 2 hatte die Bewandnis, daß diese Fläche in eine genauere 90°-Lage zur optischen Achse kam.

Abb. 4.36
Rechtsdrehender
Kristall

Der Rohquarz wurde nach Beendigung des dritten Schnittes um 180° gedreht und die dritte Schnittfläche des Quarzblocks wurde auf die Spannvorrichtungsfäche aufgerieben. Ein vierter Schnitt wurde unmittelbar hinter der zweiten Schnittfläche ausgeführt.

Abb. 4.37
Prüfschnitte 3 und 4



Die durch Schnitt 3 und 4 am Quarzblock entstandenen Flächen nahmen jetzt eine genauere 90°-Lage zur optischen Achse des Kristalls ein. Die Winkelabweichung betrug nur noch Bogenminuten.

Nach Beendigung des Schnittes 4 wurde die kleine Fläche (das konnte die Fläche von Schnitt 3 oder 4 sein) überschliffen.

Durch Benetzen beider Schnittflächen des Blockes mit Tetralin und Aufreiben von Parallelplatten auf die Flächen wurde der Quarzblock durchsichtig. Der Block wurde nun mit einer Parallelplatte, welche auf die überschlifene Seite des Blockes aufgerieben war, auf die Rasterplatte des Konoskops gesetzt. Um eine jetzt noch vorhandene 90°-Abweichung der überschlifenen Blockflächen zur optischen Achse zu bestimmen, waren wieder dieselben Prüfvorgänge anzuwenden wie sie beim Messen der Prüfscheiben durch die Schnitte 1 und 2 erforderlich waren (Abb. 4.34, 4.35, 4.36).

Das Übertragen und Beschriften des gemessenen Winkelwertes auf die Schnittflächen des Quarzblockes erfolgte ebenso wie das Übertragen und Beschriften des Winkelwertes auf die Flächen der Prüfscheibe. Unter der Annahme, daß die Prüfung am Konoskop noch eine kleine Winkelabweichung der Meßfläche zur optischen Achse von etwa 15' ergeben hatte, wurde dieser Winkelwert auf die Meßfläche des Blockes übertragen.

Der abgelesene Winkelwert am Konoskop war aber nicht der wirkliche Winkelwert am Block, sondern er errechnete sich aus dem gemessenen Wert geteilt durch 1,55.

$$\text{Beispiel: } \frac{\text{Gemessener Wert}}{1,55} = \frac{15}{1,55} = 9 \text{ Bogenminuten}$$

Die Vororientierung war nun beendet, wenn nach dem Polieren beider Planflächen die Abweichung 90° zur optischen Achse 10' nicht überstieg, und die Parallelität der Flächen innerhab von 4' lag. Wurde eine größere Abweichung ermittelt, so mußte nachorientiert werden.

Die Optiker, welche diese Arbeiten ausführten, waren „Künstler“ mit Gefühl für Quarz – dies war meines Erachtens in dieser Form nur in optischen Firmen wie Dr. Steeg & Reuter möglich.

Wie man bis jetzt gesehen hat, war der **Orientierungsvorgang** eine ziemlich aufwendige Sache. Eine wirtschaftliche Massenfertigung von Oszillatorplättchen mit den strengen Spezifikationen war mit diesen Mitteln nicht zu erreichen. Dies war erst nach Einführung der Methode der Röntgenbeugung möglich, worauf ich später eingehen werde.

Zu 3. Ätzung mit Flußsäure

Als nächster Arbeitsgang folgte ein Ätzen in Flußsäure zum Feststellen der Bereiche mit elektrischer Verzwilligung und Bestimmung der Schnittrichtung einer X'-Fläche. Die Ätzung erfolgte in 40%-iger Flußsäure über einen Zeitraum von 16 Stunden. Durch die Ätzung erhielten die Flächen einen speckigen Glanz und eventuell

vorhandene Zwillingsbildung wurde sichtbar. Auch andere Wachstumsfehler im Innern, wie feine Blasenbildung, die sich in der Inspektion nicht gezeigt hatten, waren nach dem Ätzen besser zu erkennen.

Zu 4. Kennzeichnung der brauchbaren Stellen

Nach dem Ätzen wurde eine Kennzeichnung der brauchbaren Stellen und das Zulackieren der Fehler mit rotem Lack vorgenommen.

Zu 5. Bestimmung der Schnittrichtung einer X'-Fläche

(sofern keine Naturflächen vorhanden waren)

Bei dieser Arbeitsfolge konnten zwei verschiedene Bestimmungsmethoden angewandt werden, wenn keine natürlichen Oberflächen vorhanden waren. Eine angenäherte Bestimmung der X'-Fläche, konnte z. B., wie oben schon angedeutet, anhand der Lage der Ätzfiguren auf der Z-Fläche, oder durch die Anwendung des Bestäubungsverfahrens nach Kundt vorgenommen werden.

Zu dem ersteren Verfahren: das Bestäubungsverfahren hat der Physiker August Kundt 1883 als überaus einfaches und bequemes Verfahren angewandt. Ein feinpulveriges Gemenge aus Schwefel und Menninge wurde aus einem Blasebalg aus Leder durch ein engmaschiges Baumwollsieb geblasen.

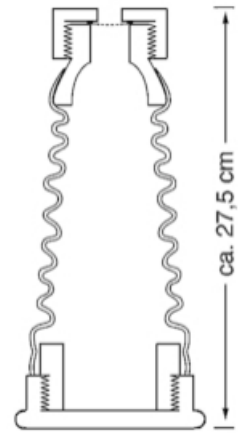


Abb. 4.38
Blasebalg

Beim Bestäuben mußte der Apparat in einiger Entfernung von dem Kristall gehalten werden, so daß der Luftstrom letzteren nicht direkt traf, vielmehr nur die langsam niederfallenden Pulverteilchen in die Nähe des Kristalls kamen.

Um in einer planparallelen Kristallplatte eine intensive radiale Wärmebewegung zu erzeugen, legte man die Platte auf einen erhitzten, vertikal stehenden Messing- oder Kupferzylinder und bestäubte sie möglichst schnell nach dem Auflegen.

Die Temperatur des Zylinders betrug etwa 100 °C.

Schwefel und Bleimenninge wurden durch Reibung negativ bzw. positiv geladen. Aufgrund des pyroelektrischen Effekts im Quarz trennten sich die beiden Pulverbestandteile und der Schwefel setzte sich auf wechselweise ihre Polung umkehrende Winkel in der Z-Ebene ab, die Bleimenninge auf der entgegengesetzten.

Dabei wurden die Winkel gelb und rot und ihre Grenzen dunkel (siehe auch Abb. 2.20, Seite 57), außerdem befanden sie sich in Richtung der Y-Achsen, die innerhalb von 2° bestimmt werden konnten. Um ein gut erkennbares Muster gewährleisten zu können, mußte man den Quarz gründlich von Fettstoffen befreien, wozu man ihn leicht ätzte. (Siehe auch Bestäubungsapparat nach Kundt in Kapitel 2.) Zu dieser „Kundtschen Methode“ noch eine kleine Anmerkung: Nach Ende des Zweiten Weltkrieges erstellten

die amerikanischen Wissenschaftler einen Bericht über die Fertigungsverfahren von Schwingquarzen in Deutschland. In diesem Bericht heißt es:

„Bei der Untersuchung der Methoden zur Achsenbestimmung stellte man fest, daß im optischen Bereich ein Fortschritt in der Forschungsarbeit bei den einzelnen Firmen gemacht wurde und daß, obwohl die verwendeten Instrumente von hoher Qualität waren, eine Annäherung an das Problem einer Massenfertigung sich eigentlich nachteilig auf die Produktion auswirkte und sich vielmehr für die Arbeit im Forschungslabor eignete als in einer Fertigungsanlage für Schwingquarze.

Die Fachleute waren sich im klaren, daß sich die neuesten Methoden zur Achsenbestimmung, die sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in England angewendet wurden, in einem viel fortgeschritteneren Stadium befanden als die Methoden, die in den Fertigungen in Deutschland praktiziert wurden. Methoden unter Anwendung der Röntgentechnologie wurden nicht eingesetzt, wahrscheinlich aufgrund der Schwierigkeiten bei der Beschaffung der technischen Ausrüstung. Dies hatte zum Ergebnis, daß die Bestimmungsgenauigkeit der X- und Y-Achsen nicht sehr akkurat war.

Die zur Bestimmung der X-Achse angewendete Methode in Deutschland ist zwar vom wissenschaftlichen Standpunkt interessant, aber für eine Massenproduktion ungeeignet.“

In diesem Bericht wurde aber mit keinem Wort erwähnt, daß schon 1942 in Deutschland bei der Firma C. Lorenz (Hermann Niggemeyer) die Messung der Schnittwinkel mit Röntgenstrahlen eingeführt wurde!

Doch nun zu dem zweiten Verfahren mit der Bestimmung der X-Achsenrichtung anhand der Lage von Ätzfiguren auf der Z-Fläche.

Bei den Quarzblöcken mit Naturflächen war die Richtung der X-Achse leichter festzustellen, da die Naturflächen als Ausgangsflächen für eine Orientierung verwendet werden konnten. Bei flächenlosen Quarzen (Splitterquarzen) mußte aber erst die X-Achse, deren Lage für die Schwingquarzfertigung wichtig ist, gesucht werden. Die Z-Richtung war durch die Vororientierung (Basisfläche) schon gegeben. Es gab hier wiederum verschiedene Möglichkeiten, um die Richtung der X-Achse zu finden. In dieser Darstellung möchte ich die folgende Methode, welche während des Zweiten Weltkrieges angewandt wurde, kurz beschreiben.

Zum Feststellen der X-Achse wurde mit einem Spezialwerkzeug in eine der Basisflächen eine Ringnut von ca. 1 mm Tiefe eingeschliffen. Diese Ringnut wurde mit einer 40%-igen Flußsäure angefüllt und sollte ca. 20 Std. einwirken. Nach dieser Verweildauer wurde sie ausgegossen und der Quarzblock mit Wasser gereinigt (Abb. 4.39).

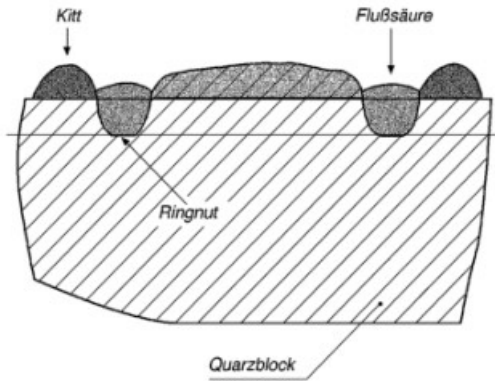
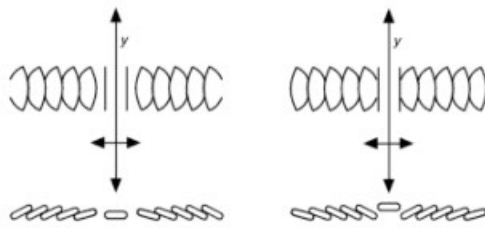


Abb. 4.39
Basisfläche mit Ringnut

Mit einem Mikroskop wurde nun die Ätzung an den Ringnutflächen betrachtet. Die entstandenen Ätzfiguren zeigen einen schuppen-förmigen Aufbau und gestatten so die Richtungsbestimmung der X- und Y-Achse (Abb. 4.40).



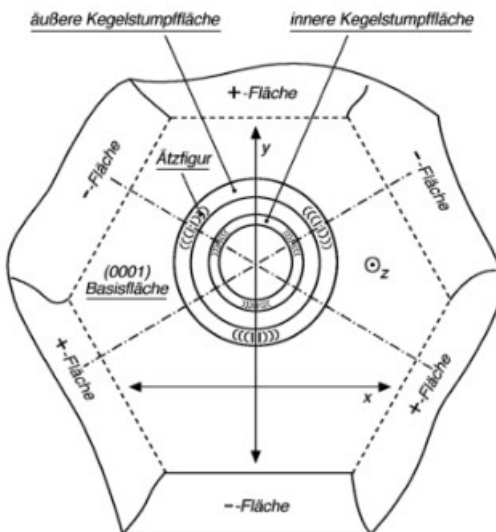
Form der Ätzfiguren an der
äußeren Kegelstumpffläche

Form der Ätzfiguren an der
inneren Kegelstumpffläche

Abb. 4.40

Die Verbindungslinie durch die Mitte zweier gegenüber-liegender Ätzungen verläuft parallel mit der Y-Achse.

Die Mitte der Ätzstelle wird bestimmt durch eine freiliegende Schuppe, welche den Wechsel in der Schichtung der Ätzfigur anzeigt.



Jetzt ist mit Hilfe der Ätzmethode die Y-Achse gefunden, und so ist es nun einfach, die X-Achse zu bestimmen. Sie läuft rechtwinklig zur Y-Achse (Abb. 4.41).

(Siehe auch Kapitel 2, Abb. 2.4).

Abb. 4.41
Bestimmung der X- und Y-Achsen
mittels Ätzfiguren

Bei der amerikanischen Quarzindustrie kam vor Einführung der Röntgentechnologie die als „Rivlin-Methode“ bekannt gewordene Methode zur Achsenbestimmung in Anwendung. Der Verfasser der amerikanischen Studie bemerkt hierzu:

„Auch wenn kein Röntgengerät vorhanden war, so ist es doch erstaunlich, daß die Techniker in Deutschland in ihren Fertigungsanlagen keine Methoden entwickelten, die sich an der Rivlin-Methode orientierten. Wenn die zur Achsenbestimmung untersuchten Methoden stellvertretend waren für jene, die in deutschen Fertigungsstätten eingesetzt wurden, dann war diese Technologie weit hinter denjenigen Methoden zurück, die in Großbritannien und den Vereinigten Staaten angewendet wurden.“

(Zur „Rivlin-Methode“ noch ein paar Angaben in dem Firmenprofil „Die amerikanische Schwingquarzindustrie“.) *Leider nicht mehr erstellt.*

Zu 6. Nach der Bestimmung der Schnittrichtung einer X-Fläche wurden dann kleine Probeplatten abgeschnitten und in Form geschliffen.

Die Dicke der Musterplatten wurde mit einem Optimeter (optischer Komparator) gemessen. Anschließend wurde mit einer Frequenz-Meßeinrichtung die Frequenz anhand der in Dickenschwingung versetzten Musterplatte gemessen. Die Dicken-Frequenz-Konstante ergab sich aus der Dicke der Musterplatte und der Frequenzmessung.

Zu 7. Aus der Differenz zwischen dieser Konstanten und dem korrekten Wert wurde der Winkelwert bestimmt und die endgültige X-Plattenrichtung, welche sich aus dem Winkelwert ergab, an den Quarzblock angeschliffen.

Die parallel verlaufenden Y-Flächen wurden im rechten Winkel zu der in Pos. 5 bestimmten Richtung geschnitten. Eine der X-Flächen wurde so zugeschliffen, daß kleine Fehler an den Y- und X-Achsen korrigiert werden konnten. Die Fehlabbmessungen sollten $0^{\circ} 10'$ nicht überschreiten. Die Prüfung wurde mit einem Kontaktgoniometer vorgenommen.

Zu 8. Der Winkelfehler der Fläche zur Z-Achse wurde durch Messung des Winkels auf $\pm 2'$ reduziert, damit dieser unter polarisiertem Licht nicht mehr vorhanden war. Die Beobachtung erfolgte in Richtung der Y-Achse.

Zu den Fertigungsschritten 9 – 22.

Es sind dies hauptsächlich allgemeine Schritte wie	<table border="0"><tr><td>Orientieren</td><td>3 x</td></tr><tr><td>Ätzen</td><td>2 x</td></tr><tr><td>Schleifen</td><td>4 x</td></tr><tr><td>Schneiden</td><td>5 x</td></tr></table>	Orientieren	3 x	Ätzen	2 x	Schleifen	4 x	Schneiden	5 x	<table border="0"><tr><td>—</td><td>Siehe Grobübersicht S. 116</td></tr></table>	—	Siehe Grobübersicht S. 116
Orientieren	3 x											
Ätzen	2 x											
Schleifen	4 x											
Schneiden	5 x											
—	Siehe Grobübersicht S. 116											

Zu 23. Dazwischen Reinigung in destilliertem Wasser und Aceton.

Zu 24. Versilbern der Stäbe.

Der Silberbelag wurde mit flüssigem Leitsilber aufgespritzt und bei 500 °C eingebrannt.

(Diese Feuerversilberung war so fest, daß man darauf löten konnte.)

Zu 25. Nach der Versilberung erfolgte ein Vorabgleich durch Längenkorrektur.

Zu 26. Vor der Montage erfolgte noch ein Reinigungsvorgang, dann der Einbau des 130-kHz-Stabquarzes in einen Preßstoffhalter, nach dem Verschließen die Endprüfung.

Die hier vorgestellten Fertigungsschritte beziehen sich, wie oben erwähnt, auf die Herstellung eines **130/131-kHz-Quarzes**. Dieser Schwingquarz wurde im Zweiten Weltkrieg in großen Stückzahlen gefertigt.

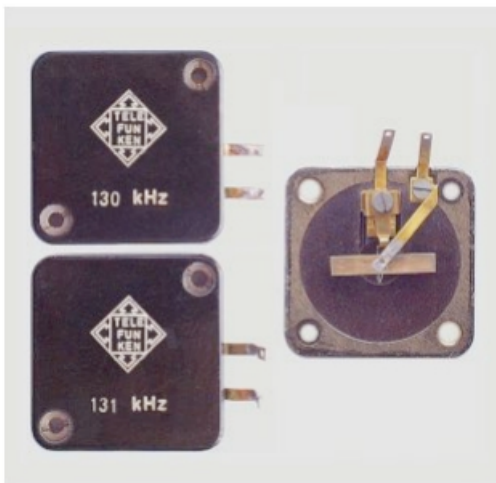


Abb. 4.42 130/131-kHz-Quarze



Abb. 4.43 Kriegsfertigung

Diese zwei Quarze fanden Verwendung in dem Zielflugempfänger EZ 6. Der 130-kHz-Quarz wurde in der ersten Zwischenfrequenz-Verstärkerstufe eingesetzt und der 131-kHz-Quarz in der Überlagererstufe (BFO). Die Fertigung erfolgte vorwiegend bei Telefunken und in den Kriegsjahren ab 1942 bis 1945 bei der Firma Dr. Steeg & Reuter. Die vorstehenden Abbildungen zeigen die Quarze Type QL 30 aus der Vorkriegsfertigung, rechts in geöffnetem Zustand (Abb. 4.42), daneben die Kriegsfertigung.

Bei der Kriegsfertigung wurde die Frequenzangabe nur noch auf das Gehäuse gestempelt. In Abb.4.43 unten ein verpacktes Exemplar – aus Sparsamkeitsgründen in etwas dickerem Papier (!) anstatt in einem sicheren Karton. Eine bessere Verpackung wäre bei diesem empfindlichen Quarz besonders wichtig gewesen. Die folgenden Abbildungen zeigen den Quarz in der Schaltung.

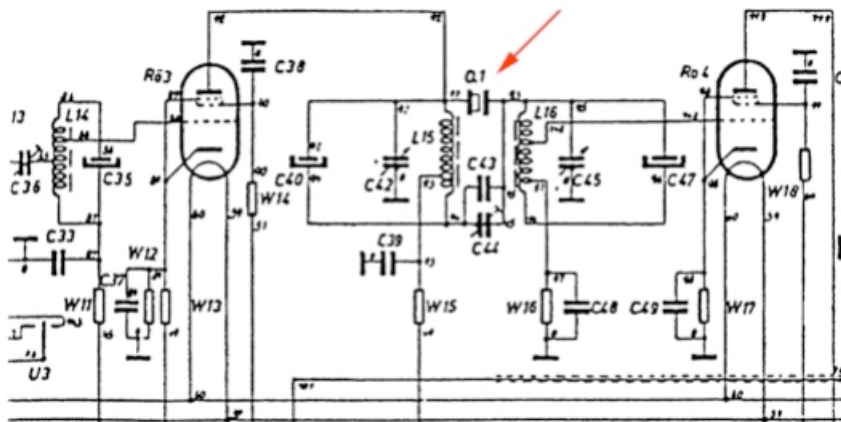


Abb. 4.44 Ausschnitt aus der 1. ZF-Stufe mit Quarz Q1

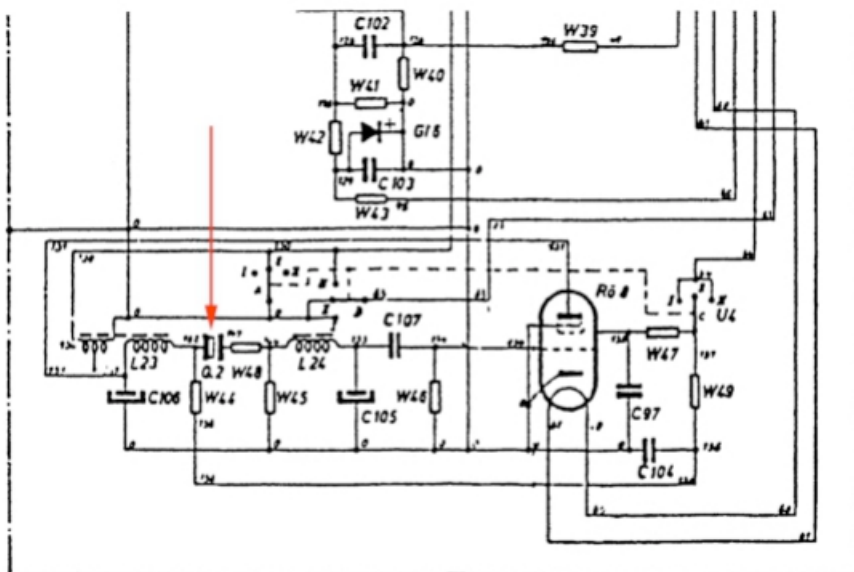


Abb. 4.45 Überlagerungsstufe (BFO) mit Quarz Q2

Die Schwingquarzfertigung nach 1945

Nach dem Zweiten Weltkrieg begann in Deutschland ein neuer Abschnitt in der Schwingquarzfertigung.

Zuerst ein paar Worte zu den übrig gebliebenen Fertigungsstätten, welche nach Kriegsende nicht demontiert oder in den letzten Kriegswirren zerstört wurden.

Die Fertigung lief ja bei den gesamten Quarzfirmen ausschließlich für das Militär, und so kam auch dort die Fertigung zum Erliegen.

Die ersten neuen Aktivitäten waren in der amerikanischen Besatzungszone bei der Firma Quarzkeramik, einer Tochterfirma von Rohde & Schwarz, zu verzeichnen.

Ab Juli 1945 durfte die Firma mit Erlaubnis der Militärregierung den Betrieb in beschränktem Umfang wieder aufnehmen. Bei dieser Gelegenheit sahen sich die Offiziere des US Signal Corps bei der Firma eingehend um. So kam aus diesem Anlaß die Firma zu ihrem ersten Nachkriegsauftrag.

Die US-Luftwaffe ließ ihre gesamten Quarzbestände bei der Firma Quarzkeramik auf neue Frequenzen umschleifen.

Ebensolche Aktivitäten waren bei der Firma W. de Boer in Wittingen (nachmals Niedersächsische Kristallverarbeitung) zu verzeichnen. Dort wurden auch wie in München amerikanische Quarze für das britische und amerikanische Militär auf andere Frequenzen umgeschliffen.

Beim größten Schwingquarzhersteller in Deutschland, der Firma Steeg & Reuter, wurden gleich nach dem Einmarsch sämtliche Betriebsräume von der amerikanischen Militärregierung für das Rundfunktechnische Institut beschlagnahmt.

Bei den restlichen Firmen sah es auch nicht besser aus. Die Menschen hatten in dieser Zeit andere Sorgen, und es war jetzt in der Notzeit nach dem Zusammenbruch wichtiger, andere Dinge zu fertigen, wie z. B. bei Telefunken elektrische Feueranzünder und zusammenklappbare Transportkarren, oder Ofenröhren bei der Firma Loewe.

Wie ich eingangs schon erwähnte, begann dann ein neuer Abschnitt in der Schwingquarzfertigung.

Erstens war es jetzt nötig, sich aus einer etwas konservativen und überholten Technik, wie sie bis zum Zusammenbruch gebräuchlich war, zu lösen und neue technische Wege zu beschreiten, um allmählich den Anschluß an den Stand der inzwischen auf dem Gebiet der Schwingquarztechnologie bedeutend fortgeschrittenen Technik zu gewinnen.

Beispiele für die neue Fertigungstechnologie sind im Folgenden aufgeführt.

1948 veröffentlichte R. A. Sykes in den USA eine neue, während des Krieges entwickelte Methode der Quarzhalterung.

Zwei Federn sind als Halterung der Quarzscheibe ausgebildet. Sie sind sowohl mit den Steckerstiften als auch mit den Elektroden verbunden. Die Elektroden sind beiderseits der Quarzscheibe **aufgedampft**. Dieser Aufbau steckt in einem Metallgehäuse und ist luftdicht verlötet. (Die Verlötung der Gehäusekappe wurde später durch ein neues Verkappungsverfahren, wie das elektrische Widerstandsschweißverfahren, ersetzt.)

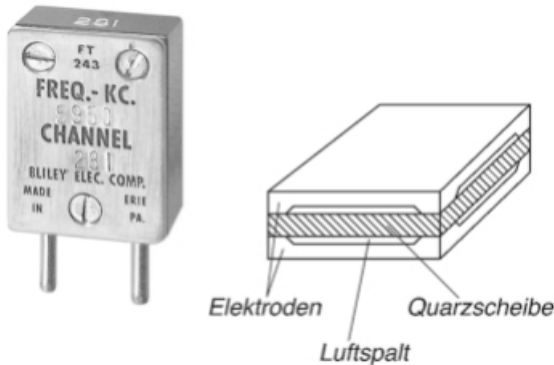


Abb. 4.46
Älterer Quarzaufbau
Oszillatorplättchen.

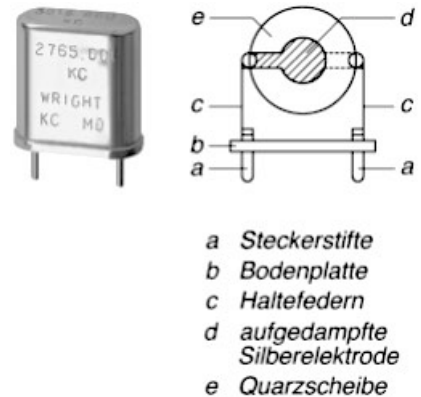


Abb. 4.47
Neuere Zweipunkthalterung

Als große Neuheit wurde wie erwähnt eine Aufdampftechnik für die Elektroden bekannt. Diese Neuheit, auch von R. A. Sykes entwickelt, war also das Aufbringen der Elektroden auf die Quarzscheibe mittels Aufdampfens von Silber oder Gold im Hochvakuum. Bei diesem Verfahren beschweren die Elektroden die Quarzscheibe, so daß die Eigenfrequenz der Scheibe niedriger wird. Das neue Verfahren mit dem Vorteil einer verschwindend kleinen mechanischen Dämpfung bot eine gute Möglichkeit, die Sollfrequenz genau zu treffen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens, welche das nachträgliche zeitraubende Abschleifen von Hand überflüssig macht, hängt lediglich von der genauen Bemessung des Metallniederschlags auf den Quarzscheiben ab. Weitere Neuerungen in der Schwingquartzfertigung waren die Kontrolle der Schnittwinkel mit Hilfe von Röntgenbeugung, die Verwendung von synthetischem Quarz statt Naturquarz und, last not least, das Schleifen und die Endbearbeitung. Bei der Entwicklung von Fertigungsverfahren für eine Massenfertigung in den USA im Kriegsjahr 1942 wurden innerhalb einer sehr kurzen Zeit die Sachbearbeiter vor große Aufgaben gestellt.

So war das damals übliche Schleifen von Hand natürlich sehr ungeeignet, und man suchte nach maschinellen Methoden. Hinsichtlich der Geschwindigkeit und auch, was die erzielte Genauigkeit betraf, wurde die Lösung in der Planetenrad-

schleifmaschine gefunden. Der Aufbau dieser Maschine wird auf den nachfolgenden Seiten beschrieben.

Die ersten Anwendungen dieser neuen Fertigungstechnologie in Deutschland wurden wahrscheinlich bei der Firma C. Lorenz vorgenommen.

Die Firma hatte wohl auch schon früh mit der amerikanischen Mutterfirma ITT Kontakt aufgenommen. Lorenz fertigte nach der Währungsreform die verbreitete Haltertype HC-6/U, wie sie in *Abb. 4.48* dargestellt ist.



Abb. 4.48 Schwingquarze aus dem Jahr 1948 (ca. 1:1)

Bald darauf ging diese Halterform bei den Firmen Steeg & Reuter (hier war es die Type KB11) und Telefunken (mit dem QH-1-A-Halter) in Serie (entsprechend dem Quarzhalter nach DIN 4511, Ausführungsform 01, und dem IEC-Halter 01).

Zunächst möchte ich nun zur Beschreibung der jetzt neuen Fertigungstechnologie überleiten. Die neue Technik kam aber nur sehr langsam zur Anwendung, da ja auch das hierfür benötigte Equipment noch beschafft werden mußte.

Zur Rohquarzfrage muß noch erwähnt werden, daß der synthetische Quarz in Deutschland erst ab etwa 1959 zum Einsatz kam. Wie mir das Import-Export-Zentrum in Idar-Oberstein auf eine diesbezügliche Anfrage mitteilte, wurde Rohquarz aus Brasilien ab dem Jahr 1958 kaum noch bestellt.

Die folgenden Bilder sollen einen kleinen Einblick in die Fertigung in den Jahren nach der Währungsreform vermitteln. Die Darstellung bezieht sich nicht auf die spezifische Fertigungsweise einer bestimmten Firma.

Die erste und mit wichtigste Neuerung war das Verfahren zur genaueren Bestimmung der Winkel, unter denen die Quarzplättchen aus dem Kristall herauszuschneiden sind. Wie ich schon auf *Seite 128* erwähnte, wurde in Deutschland bei der Firma C. Lorenz schon während des Krieges in der Serienfertigung mit einem Röntgenspektrometer gearbeitet. In Eigenbauweise wurde das Spektrometer aus damaligen Röntgen-einrichtungsteilen hergestellt. Die *Abb. 4.49* zeigt dieses Gerät.

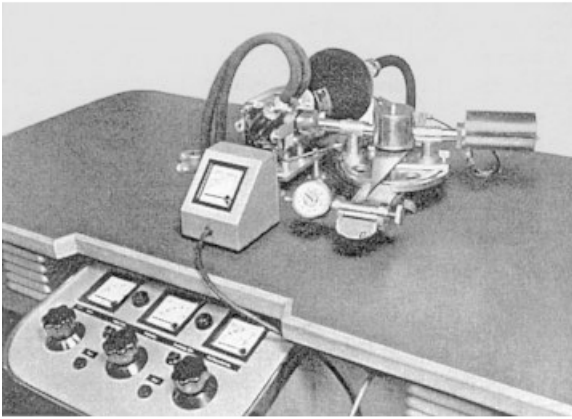


Abb. 4.49
Röntgenspektrometer
der Firma C. Lorenz



Abb. 4.50
Röntgeneinrichtung
mit zwei Arbeitsplätzen
für die röntgenographische
Orientierung
von Quarzplättchen

Abb. 4.51
Röntgengoniometer
der Firma Siemens

Für die übrige Schwingquarzindustrie wurden diese Geräte bei der Firma R. Seifert, Röntgenwerk; Hamburg hergestellt. Ein Gerät aus der Baureihe der 50er Jahre zeigt *Abb. 4.50*.

Ein ebensolches Gerät wurde auch von den Siemens-Reiniger Werken hergestellt (*Abb. 4.51*). Sehr gut ist auf dem Bild die geöffnete Meßkammer mit dem Quarzplättchen zu erkennen.

Wie ich schon in diesem Kapitel auf *Seite 121* zur Orientierung des Rohquarzes aufgezeigt habe, ist bei der Vororientierung (und wenn bei dem Rohquarz keine Naturflächen vorhanden sind) das Wichtigste die Bestimmung der X- Achse (elektrische Achse).



Die Ermittlung der X-Achse im Quarzblock soll nun beschrieben werden.

In einem Einkristall gibt es ausgezeichnete Ebenen, in welchen die Atome eine gleiche geometrische Anordnung haben. Man spricht da von „Netzebenen“ der Atome.

Die zusammengehörigen Netzebenen weisen einen bestimmten, ihrer Anordnung entsprechenden konstanten parallelen Abstand voneinander auf.

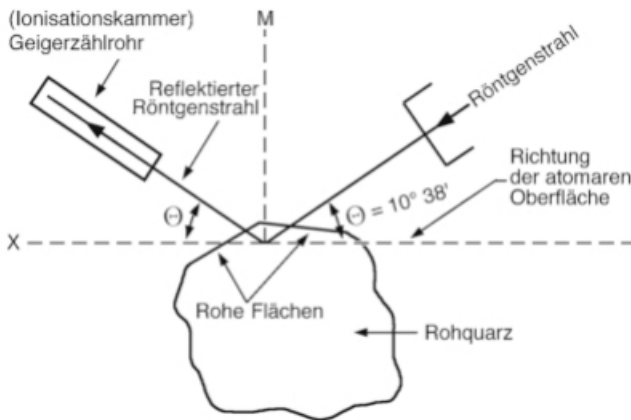


Abb. 4.52

Ermittlung der X-Achse im Quarzblock mit Hilfe von Röntgenstrahlen

M ist die Senkrechte, welche den Winkel halbiert, den der gespiegelte Strahl nimmt, um in die Ionisationskammer einzudringen.

Θ ist der Bragg-Winkel der $K\alpha$ -Röntgenstrahl-Reflexion mit kupferner Anode, der je nach der zu identifizierenden atomaren Ebene vorher festgelegt wird.

Für die Ebene, die parallel zu der M-Oberfläche und folglich der X-Achse ist, wird $\Theta = 10^\circ 38'$ festgelegt.

Bei voreingestellter Position der Röntgenstrahlenquelle und der Ionisationskammer wird bei Drehung des Quarzblocks über der Z-Achse ein maximaler elektrischer Strom durch die Ionisationskammer fließen, wenn die X-Achse rechtwinklig zu M steht.

Wie in der Abb. 4.52 dargestellt ist, wird ein Röntgenstrahl auf eine senkrechte Oberfläche eines Kristallblocks gerichtet, welcher Teile des Strahles in das Fenster einer Ionisationskammer ablenkt und damit einen elektrischen Strom veranlaßt. Dieser ist in der Größe proportional zur Intensität der Strahlung, die in die Kammer eindringt. Röntgenstrahlen einer festen Wellenlänge werden in einem sorgsam gefilterten Strahl erzeugt, z. B. mit Hilfe einer speziellen Kathodenstrahlröhre, die eine kupferne Anode hat. Die Röntgenstrahlen werden durch Hochenergie-Elektronen ausgelöst, die auf eine kupferne Platte auftreffen und dann einen dünnen Nickelfilter durchdringen, um unerwünschte Wellenlängen zu beseitigen. Die atomare Oberfläche des Kristallgitters dient effektiv als reflektierende Oberfläche, wobei man verhindern muß, daß die Ergebnisse von anderen gespiegelten Strahlen der angrenzenden parallelen Flächen beeinflusst werden.

Alle Winkel der Reflexion, die den Weg der gewünschten Strahlen erlauben, unterscheiden sich durch eine integrale Zahl der Wellenlänge von den nicht erwünschten. Die oben genannten Bedingungen sind erfüllt, wenn die Entfernungen zwischen der atomaren Oberfläche zur Wellenlänge und dem Winkel des Auftreffens der Röntgenstrahlen in einem Verhältnis stehen, das durch das Braggsche Gesetz ausgedrückt werden kann:

$$n \lambda = 2 d \sin \Theta$$

wobei: n = Ordnungszahl der Reflexionen, also in ganzen Zahlen 1, 2, 3, ...
 λ = Wellenlänge der Röntgenstrahlen in Angström (1,54 Å für Kupfer)
 d = Abstand zwischen den Atomen in Angström
 Θ = der Diffraktionswinkel in Grad

Die Ionisationskammer (Geigerzählrohr) ist ein mit Gas gefüllter metallischer Zylinder, der eine Elektrode hat, die an einer Spannung gegenüber dem Zylinder liegt. Röntgenstrahlen, die in die Kammer eintreten, werden das Gas ionisieren und einen Strom durch den äußeren Schaltkreis fließen lassen.

Mit dem für eine bestimmte atomare Oberfläche vorher eingestellten Diffraktionswinkel Θ kann die genaue Richtung der Fläche, und folglich die Ausrichtung des Kristalls, so durch Drehen des Rohquarzblocks nach einem Maximalwert auf dem Amperemeter bestimmt werden.

Zu den folgenden Arbeitsgängen möchte ich noch kurz vorausschicken, daß ich nur die Neuerungen aus den USA, welche uns in Deutschland bekannt wurden, näher beschreibe. Zwischenstufen in den Verfahrensschritten sind nur angedeutet.

Nach der Vor-Röntgenorientierung erfolgte jetzt das Aufsägen der Steine.

Wie schon im ersten Teil dieses Kapitels zu ersehen war, kommt doch der gewünschte temperaturunabhängige Schnitt in einem Quarzblock nicht in einer einzigen Arbeitsfolge zustande, sondern in mehreren Schritten. Damals kam eine als „X-Block-Methode“ bekannte Methode zur Anwendung.

Die X-Block-Methode der Oszillatorplattenherstellung ist am weitesten verbreitet.

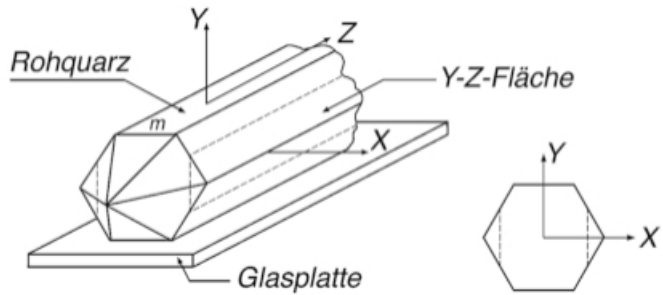
Nach dieser Methode wird der Rohquarz, nachdem schon vorher eine der elektrischen Achsen unter Röntgenkontrolle lokalisiert wurde, auf eine Glasplatte unter Verwendung von Harz und Bienenwachs aufgeklebt. Danach schneidet man an den Quarzblock zuerst eine Fläche, die senkrecht zur X-Achse stehen muß (Y-Z-Ebene). Dazu legt man den Block mit einer der Prismenflächen auf den horizontalen Tisch einer Diamantsäge (in der Art, daß eine X-Achse horizontal liegt) und man sägt möglichst parallel zur Z-Achse ein Stück ab, siehe *Abb. 4.53*.

Ein Abweichung der Parallelität zu Z hat zur Folge, daß die Normale der Schnittebenen eine horizontale Abweichung von der X-Achse aufweist.

Diese Abweichung findet man später als Winkel $X-X'$ bei allen aus diesem X-Block gesägten Oszillatorplättchen. Daher muß man hier bereits die Schnittrichtung genau ausmessen und auf Grund des Meßergebnisses berichtigen.

Abb. 4.53

Zum Abschneiden von zwei Y-Z-Ebenen vorbereiteter Rohquarzblock (X-Block-Methode)



Der Quarzblock wird dann mit der herausgeschnittenen Y-Z-Fläche auf den Sägetisch gelegt und man dreht denselben, bis das Sägeblatt den gewünschten Winkel mit der horizontal liegenden Z-Achse des Quarzblockes bildet. Für diesen Zweck ist eine Gradeinteilung am Tisch angebracht.

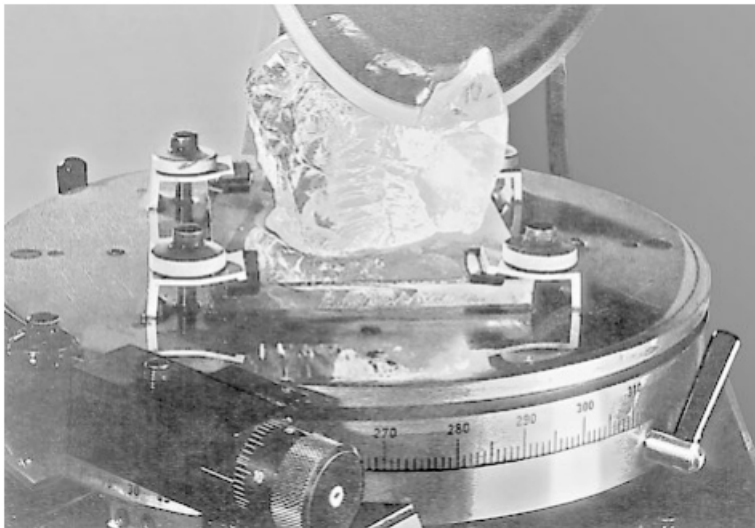


Abb. 4.54

Quarzsäge, deren Sägeblatt am Rand mit Diamantsplittern versehen ist

Eine Ungenauigkeit dieser Winkeleinstellung würde, wenn man den Block nun in parallele Platten schneidet, in allen Oszillatorplättchen als Fehler im Winkel $Z-Z'$ auftreten. So muß also auch hier eine Probepalette geschnitten und der bewußte Winkel mit der erforderlichen Genauigkeit gemessen und notfalls die Einstellung der Säge berichtigt werden.

Zum besseren Verständnis des Teilkapitels „Röntgengoniometrie“ möchte ich noch am Beispiel eines AT- und BT-Schnittes die Orientierung aufzeigen (Seiten 143–145).

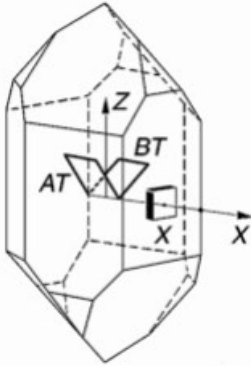


Abb. 4.55
Die Lage des AT-Schnittes und des BT-Schnittes in einem Quarzkristall

Das AT-Schnittplättchen soll einen $Z-Z'$ -Winkel von $35^\circ 35'$ haben (Abb. 4.61).

Um diese Genauigkeit dieses Schnittes zu überprüfen, verwendet man das Miller-Bravais-Verzeichnis unter $10\bar{1}1$.

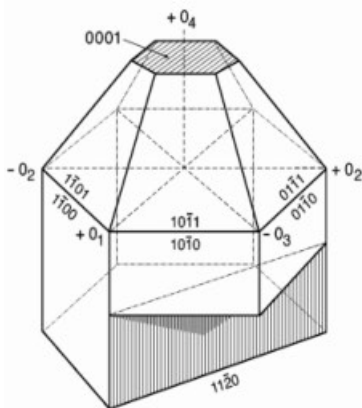
Diese Ebene ist parallel zur Z-Fläche bzw. geringfügig rhomboedrisch zum Mutterkristall und befindet sich in einem Winkel von $38^\circ 14'$ zur optischen Achse (Z-Richtung).

Wenn das AT-Plättchen richtig orientiert ist, dann wird sich die Atomebene in einem Winkel von $2^\circ 59'$ zur Fläche des geschnittenen Plättchens befinden.

Für ein BT geschnittenes Plättchen wird eine Atomebene unter $10\bar{1}1$ verwendet.

Diese Ebene ist parallel bzw. größer rhomboedrisch zur g-Fläche des Mutterkristalls und befindet sich in einem Winkel von $38^\circ 14'$ zur optischen Achse. Wenn das BT-Plättchen richtig orientiert ist, d. h. mit einem Winkel von 49° zur Z-Achse ($Z-Z'$ -Winkel), dann wird sich die Fläche des geschnittenen Plättchens in einem Winkel von $10^\circ 49'$ zur Atomebene befinden.

Abb. 4.56
Miller Bravais-Indexe von bestimmten kristallographischen Flächen



Miller-Bravais indices (hkl)	θ	Γ	E
0003	25°20'	0°	90°
0006	58°49'	0°	90°
1010	10°26'	90°	90°
1011	13°20'	51°47'	90°
1012	19°45'	32°25'	90°
1013	27°41'	22°57'	90°
1014	36°45'	17°37'	90°
1015	47°21'	14°15'	90°
1016	60°59'	11°57'	90°
2020	21°14'	90°	90°
2021	22°55'	68°31'	90°
2022	27°27'	51°47'	90°
2023	34°5'	40°16'	90°
2024	42°30'	32°25'	90°

Miller-Bravais indices (hkl)	θ	Γ	E
2025	53°6'	26°56'	90°
2026	68°17'	22°57'	90°
3030	32°54'	90°	90°
3031	34°10'	75°18'	90°
3032	37°51'	52°18'	90°
3033	43°45'	51°47'	90°
3034	51°58'	43°37'	90°
3035	63°41'	37°19'	90°
4040	46°25'	90°	90°
4041	47°35'	78°52'	90°
4042	51°8'	68°31'	90°
4043	57°17'	59°26'	90°
4044	67°13'	51°47'	90°
5050	64°54'	90°	90°

Miller-Bravais indices (hkl)	θ	Γ	E
5051	66°27'	81°3'	90°
5052	71°42'	72°31'	90°
1120	18°17'	90°	60°
1121	20°9'	65°33'	60°
1122	25°5'	47°44'	60°
1123	32°3'	36°15'	60°
1124	40°37'	28°49'	60°
1125	51°10'	23°45'	60°
1126	65°41'	20°8'	60°
1230	28°38'	90°	70°54'
1231	29°59'	73°26'	70°54'
1232	33°53'	59°14'	70°54'
1233	39°58'	48°15'	70°54'
1234	46°44'	40°2'	70°54'
1235	58°59'	33°54'	70°54'
1236	78°41'	29°15'	70°54'
1340	40°46'	90°	76°6'
1341	41°56'	77°41'	76°6'
1342	45°35'	66°25'	76°6'
1343	51°20'	56°46'	76°6'
1344	60°7'	48°52'	76°6'
1345	75°11'	42°29'	76°6'

Miller-Bravais indices (hkl)	θ	Γ	E
1450	56°6'	90°	79°6'
1451	57°22'	80°15'	79°6'
1452	61°21'	71°2'	79°6'
1453	69°1'	62°44'	79°6'
2240	38°51'	90°	60°
2241	40°3'	77°12'	60°
2242	43°34'	65°34'	60°
2243	47°54'	55°43'	60°
2244	57°59'	47°44'	60°
2245	71°45'	41°21'	60°
2350	52°8'	90°	66°35'
2351	53°20'	76°40'	66°35'
2352	57°4'	70°8'	66°35'
2353	63°53'	61°33'	66°35'
2354	76°52'	54°9'	66°35'
2460	73°24'	90°	70°54'
2461	75°40'	81°32'	70°54'
2462	88°54'	73°26'	70°54'
3360	70°15'	90°	60°
3361	72°8'	81°23'	60°
3362	79°32'	73°9'	60°

Abb. 4.57 Quarz-Röntgen-Reflexionswinkel

Bemerkung zu Abb. 4.57:

Die Werte Θ , Γ und E werden aus Abmessungen des durch die Röntgenuntersuchungen bestimmten Quarzkristallgitters berechnet.

- Θ = Bragg'scher Winkel der Röntgenreflexion für Kupfer K_{α} -Strahlung
- Γ = Winkel, den die senkrechte Ebene X mit der Z-Achse bildet
- E = Der Winkel zwischen X und der Ebene bestehend aus der in der X-Y-Ebene gemessenen Normalen Z.

Abb. 4.58

Prinzipdarstellung der röntgenographischen Bestimmung und der Orientierung von Quarz-Ozillatorplättchen

A – Goniometerschwenkarm

B – Kristallträger

C – Gehärtete Anschlagflächen

D – Röntgenröhre

F – Feder

G – Goniometerteilung

K – Kristallplättchen

R – Röntgenstrahlen-
bündel

S₁/– Kollimatorspalte

S₂ (Nickelfilter)

Z – Geigerzählrohr

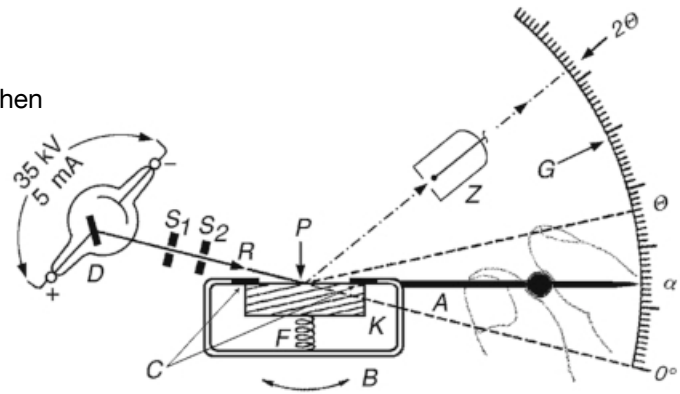
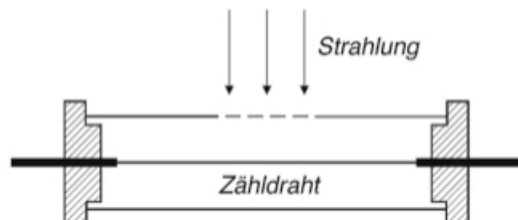


Abb. 4.59

Geigerzählrohr der Firma
Prof. Dr. Berthold

Abb. 4.60

Geigerzählrohr (schematisch)



Das Zählrohr besteht aus einem mit Luft, Argon oder Xenon gefüllten Metallzylinder, durch welchen in der Achse isoliert ein dünner Metalldraht, auch Zähl draht genannt, ausgespannt ist. Zwischen der Zylinderwandung und Draht liegt eine Spannung von etwa 1000 Volt an.

In dem starken elektrischen Feld nahe dem Zähl draht entstehen durch Röntgenstrahlen ionisierende Teilchen. Die dabei freigesetzten Elektronen setzen durch Stoßionisation lawinenartig Sekundärelektronen frei. Der dadurch verursachte Stromfluß wird nach Verstärkung durch ein Milliampere meter angezeigt (*siehe auch Seite 137*).

Zur obigen schematischen Darstellung (*Abb. 4.58*) noch einige Erklärungen:

Nach Einlegen eines Quarzplättchens wird dieses mittels der Feder F an die geschliffene Anschlagsfläche im Kristallträger B angedrückt (der Träger wird wegen der zu großen Abnutzung aus härtestem Werkzeugstahl oder aus Borcarbid hergestellt).

Bei den heutigen Geräten ist der Kristallträger als Vakuumhalterung ausgebildet.



Der Kristallträger ist am Goniometerschwenkarm A befestigt und ist um eine im Punkt P senkrecht zur Zeichnungsebene gerichtete Achse drehbar.

Dieser Träger enthält eine Öffnung in der Art, daß ein Teil der Schnittfläche des Plättchens frei liegt.

Auf diese wird im Punkt P die Röntgenstrahlung, eine monochromatische Strahlung, geworfen, die man aus der Röntgenröhre D mittels der zwei Blenden S₁ und S₂ ausgeblendet erhält.

Das Geigerzählrohr Z ist auf den doppelten Braggschen Winkel der Vergleichsebene eingestellt.

Dreht man den Kristall um seine Achse, so findet man dann eine Reflexion, wenn die Netzebenen der Vergleichsebene mit dem einfallenden und dem reflektierten Strahl den gleichen Winkel bildet.

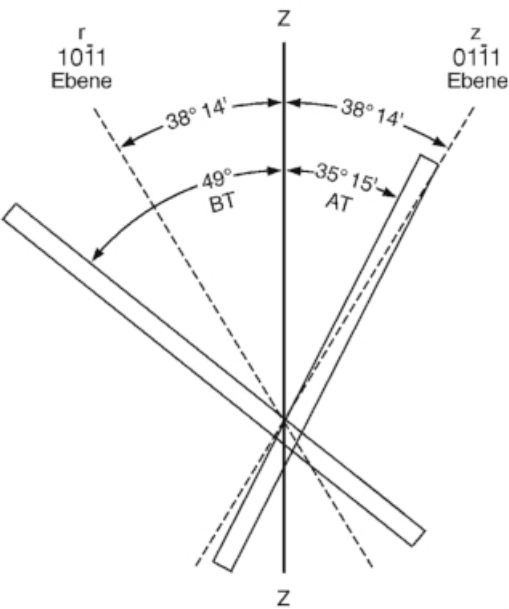
Die *Abb. 4.58* zeigt die Prinzipdarstellung zu einem Röntgenbeugungsgerät der Firma North American Philips Co. aus den Kriegsjahren. Die Geräte der späteren Generation hatten einen anderen Aufbau im Handlingsbereich (*siehe auch Abb. 4.50 und 4.51*).

Der Ablauf eines Meßvorganges in der Röntgengoniometrie stellt sich so wie folgt dar:

Das erste gesägte Plättchen aus dem Quarzblock wird um die Orientierung der Fläche des Plättchens in Beziehung zur Atomebene für den einen vor-zunehmenden Schnitt, wie z. B. AT-BT, im Goniometer untersucht. Dazu wird das Plättchen mit der Schnittfläche gegen die völlig plan geschliffene Anschlagsfläche des Kristallträgers im Goniometer gedrückt (*siehe Abb. 4.58*). Das Plättchen wird so befestigt, daß sich die

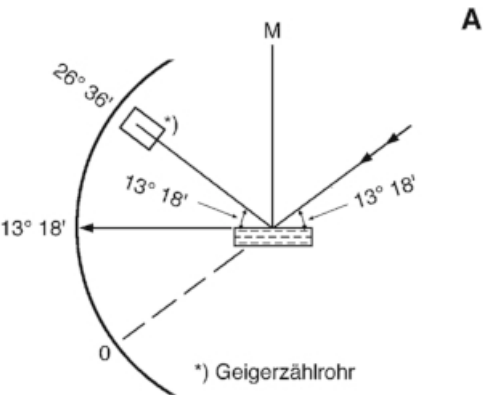
X-Achse des Kristallplättchens in einer vertikalen Position befindet. Der Glanzwinkel Θ für die Ebenen $01\bar{1}1$ und $10\bar{1}1$ beträgt $13^\circ 18'$. (Der Glanzwinkel ist im weiteren Sinne bei der Reflexion derjenige Winkel, welchen der einfallende Strahl mit der reflektierenden Fläche bildet, der stets mit dem Einfallswinkel zusammen einen rechten Winkel bildet).

Abb.4.61
Relation der AT- und BT-Schnitte zu den Atomebenen



Wenn sich jetzt die Atomebene parallel zur Fläche des abgesägten Plättchens befände, würde man einen Höchstmeßwert ablesen, wenn der Winkelmesserarm bei $13^\circ 18'$ eingestellt ist. Die Ebene wäre dann im rechten Winkel zur Linie M, welche die Schnittstelle der ein- und ausfallenden Röntgenstrahlen darstellt.

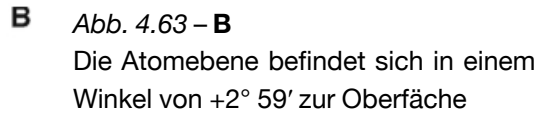
Abb. 4.62 – A
Die Atomebenen befinden sich parallel zur Oberfläche



B Abb. 4.63 – B

Die Atomebene befindet sich in einem Winkel von $+2^\circ 59'$ zur Oberfläche

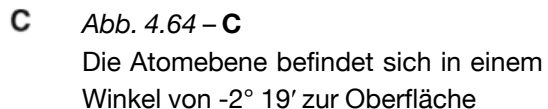
*) Geigerzählrohr



C Abb. 4.64 – C

Die Atomebene befindet sich in einem Winkel von $-2^{\circ} 19'$ zur Oberfläche

*) Geigerzählrohr



144

Für ein BT-Schnittplättchen wird die gleiche Abweichungsmethode verwendet, um den Z-Z'-Winkel zu messen.

Die Atomebene **1011** erzeugt einen Winkel von $49^\circ - 38^\circ 14' = 10^\circ 46'$ mit der Oberfläche des geschnittenen Plättchens. Die beiden Positionen, bei denen auf dem anzeigenden Meßgerät ein Höchstwert erscheint, werden sich bei $24^\circ 04'$ und $2^\circ 32'$ befinden. Die Gesamtabweichung beträgt $24^\circ 04' - 2^\circ 32' = 21^\circ 32'$. Die Winkelrelation der Atomebene zur Oberfläche entspricht der Hälfte von $21^\circ 32'$ bzw. $10^\circ 46'$.

Zu dem AT-Schnitt-Plättchen:

Wenn die Gesamtabweichung weniger als $5^\circ 48'$ beträgt, dann wird der Quarz zu nahe am Winkel der Atomebene gesägt und der Z-Z'-Winkel muß verringert werden. Der Sägetisch wird jetzt so gedreht, daß dieser Winkel reduziert wird (gegen die Z-Achse).

Wenn die Gesamtabweichung zu groß ist, dann wurde der Quarz zu nahe an der optischen Achse gesägt. Der Z-Z'-Winkel muß jetzt vergrößert werden, indem man den Sägetisch von der Z-Achse weg dreht (gegen die Vertikale zur optischen Achse).

Zu dem BT-Schnitt-Plättchen:

Die oben erwähnten Umstände werden umgekehrt, da die Oberfläche des Plättchens sich außerhalb der Ebene **1011** befindet.

Wenn die Gesamtabweichung zu gering ist, dann befindet sich der Schnitt zu nahe an der Ebene. Der Z-Z'-Winkel muß nun vergrößert werden, indem der Sägetisch in eine Winkelrichtung weg von der optischen Achse bewegt wird (gegen die Vertikale zur Z-Achse). Ist die Gesamtabweichung zu groß, dann wurde der Quarz zu weit von der optischen Achse entfernt gesägt. Der Z-Z'-Winkel muß verringert werden, indem man den Sägetisch so dreht, daß sich das Sägeblatt schließlich parallel zur optischen Achse befindet.

Da die Höhe der Abweichung in jedem Fall bekannt ist, können die Winkelgrade oder Bogenminuten zur Korrektur leicht errechnet werden. Der Sägetisch ist mit einer Skala (Abb. 4.54) ausgestattet, um den Kreisbogen zu messen, durch den er gedreht wird. Wie es dann erforderlich ist, wird der Sägetisch gedreht, um die Abweichungen zu korrigieren.

Nachdem jetzt die korrekte Orientierung bestimmt ist, wird der X-Block in Platten (Wafer) gesägt.

Um sicher zu gehen, daß sich die Orientierung während des Kristallsägens nicht verändert hat, wird jede vierte oder fünfte Platte stichprobenartig überprüft.

Es wurde hier in diesem Rahmen versucht, ohne viel Physik die Anwendung der Röntgenbeugung in der Schwingquarzfertigung bildhaft darzustellen. Ich hoffe, daß dieses komplexe Thema auch für Nicht-Techniker verständlich sein wird.

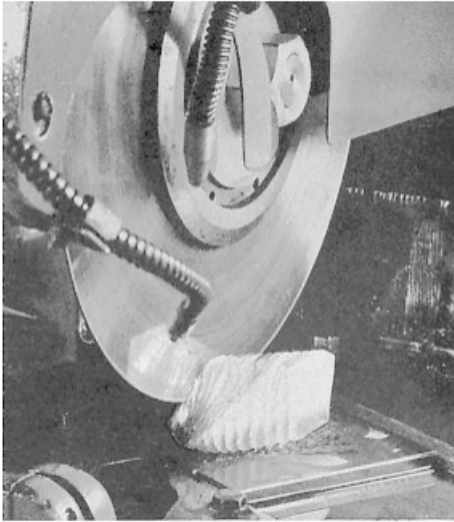
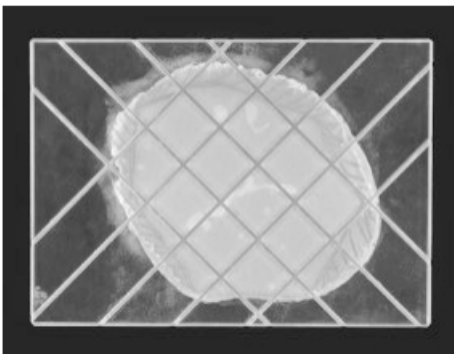
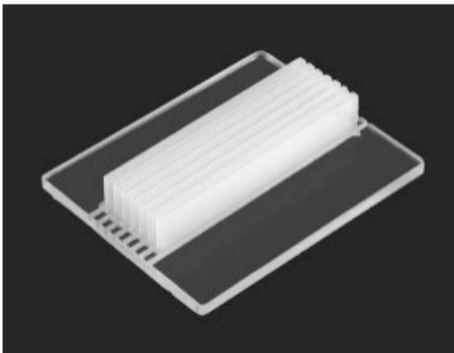


Abb. 4.65
Aufsägen des Rohquarzes in Platten
(Wafer) unter Röntgenkontrolle

Abb. 4.66 Wafer fertig geschnitten



Anschließend erfolgt eine Ablösung des Blocks von der Glasunterlage und die durch das Sägen erhaltenen Platten kommen jetzt in ein Flußsäure-Ätzbad, um in den Plattenbereichen eine elektrische Verzwilligung festzustellen und die fehlerhaften Platten auszuscheiden; später werden sie in quadratische Form gebracht (siehe auch Abb. 4.67).

Die so erhaltenen Platten müssen nun auf genaue Dicke geschliffen werden. Die folgenden Bilder zeigen verschiedene Fertigungsschritte in der Weiterverarbeitung der **Wafer zu Blanks**. Wafer – Blank – sind begriffe aus dem englischen Sprachgebrauch.

Wafer (Waffel) –

Eine unbearbeitete Scheibe, die entsteht, wenn man sie direkt vom Mutterkristall oder Abschnitt absägt, wobei sie schon oder noch nicht in korrekter Richtung oder Stärke vorliegen kann.

Blank –

Eine rohe Quarzscheibe in annähernder Abmessung und Richtung, aber noch nicht fertig bearbeitet, z. B. nach ihrer Richtung eine AT-Quarzscheibe.

Abb. 4.67

Es handelt sich um eine Naturquarzscheibe. Die Ränder sind markiert, damit diese Zone nicht verwendet wird. In der Regel sind es Zwillinge (elektrische und optische). Hier wurde unter einem bestimmten Winkel und senkrecht dazu mit der Säge bis zur Glasplatte durchgesägt.

Die zweite große Neuerung in der Schwingquarzfertigung ist das **Schleifen** und die **Endbearbeitung** der Oszillatorplättchen.

Auf Seite 133 dieses Kapitels habe ich schon darauf hingewiesen, daß das seitherige Schleifen von Hand in einer Massenfertigung sehr ungeeignet war.

Die folgenden Abbildungen zeigen einen kleinen Einblick in die Fertigung, als noch von Hand geschliffen wurde (Abb. 4.68–4.71).

Abb. 4.68

Ausschnitt aus einer
kleinen Fertigungsstätte



Die Aufnahmen

Abb. 4.69 – 4.71 sind aus
einer Großfertigung.

Man beachte den großen
Schleifsaal mit ca. 30
Schleifern.

Abb. 4.69



Abb. 4.70
Schleifen der Kristalle
Ende der 40er Jahre



Abb. 4.71
Detailaufnahme des
Handschleifvorganges
(siehe auch Abb. 4.69)



Als Gegenüberstellung zum neuen Schleifvorgang wollte ich hier noch die alte Technik dokumentieren.

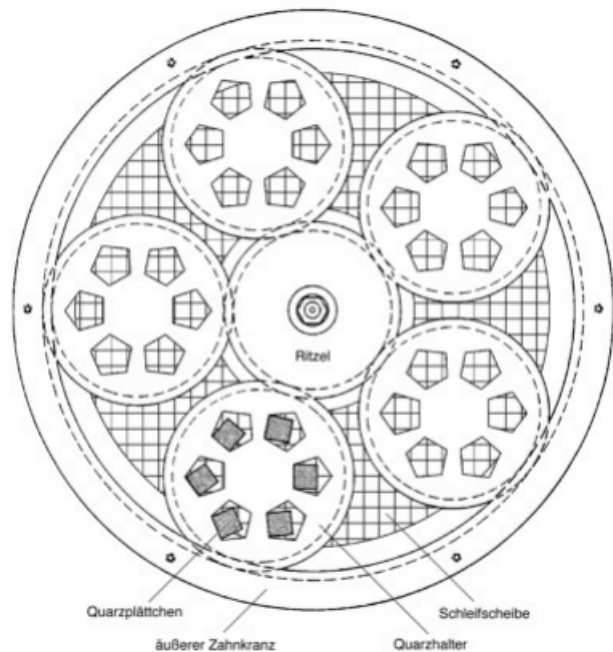
Die pendelnde Schleifbewegung der Hand wurde nun durch die zyklidenartige Bewegung einer Maschine ersetzt.

Hierfür wurde die Planetenrad-Schleifmaschine von G. C. Hunt zusammen mit der Firma P. R. Hoffmann 1943 in den USA entwickelt und auch dort gebaut.

Das Prinzip einer Planetenrad-Schleifmaschine:

Auf einer festen, gußeisernen, mit Rillen versehenen Platte liegen zahnradförmige Kristallhalter mit fünfeckigen Aussparungen (Käfige), welche je nach Größe zwischen 30 und 50 Quarzplättchen aufnehmen. Diese Kristallhalter rollen zwischen einem Ritzel in der Mitte des Schleiftellers und einem äußeren Zahnkranz ab. Obendrauf befindet sich eine zweite Platte, welche mit ihrem Eigengewicht auf die Plättchen drückt. Das Schleifmittel Siliziumkarbid ist in Öl aufgelöst und dient als Transportmittel. Es wird durch Löcher in der oberen Platte zugeführt.

Abb. 4.72
Schleifteller einer Planetenrad-Schleifmaschine



Bei der Entwicklung der Planetenrad-Schleifmaschine gab es viele Hindernisse zu überwinden. Ich möchte im Einzelnen nicht alle Schwierigkeiten aufzählen und vielleicht nur den einen Versuch mit den Schleifplatten herausstellen.

Glatte Stahlplatten schleifen nicht schneller als gußeiserne Platten!

Man hat Versuche mit Schleifplatten aus Stahl vorgenommen, weil der Vorteil der größeren Härte des Stahls eine größere Schleifgeschwindigkeit erwarten ließ. Die Erwartung wurde aber dadurch zunichte gemacht, daß sich die Partikel des Schleifmittels in diesen Werkstoff fast nicht eingraben.

Dieser Prozeß, der beim Gußeisen sehr ausgeprägt ist („Formieren“ der Schleifplatten), erhöht die Schleifwirkung enorm. Schleifplatten aus Glas ergaben wohl eine befriedigende Schleifgeschwindigkeit, hatten aber den Nachteil, daß sie durch die Schleifwirkung sehr bald ihre Ebenheit verloren.

Ein wichtiges Problem war hierbei auch, das *Ende* eines Schleifganges zu bestimmen. Da ja das Abschleifen mit einer Planetenrad-Schleifmaschine ziemlich schnell vor sich geht (ein Schleifgang dauert nur wenige Minuten) und die Dicken-toleranzen der Quarzplättchen auch so klein sind, kommt es darauf an, daß der Vorgang im richtigen Augenblick unterbrochen wird. Die Dauer des Schleifens ist vom Einsatz des Schleifmittels, den Kristallmaßen und der Endqualität abhängig. Die Schleifgeschwindigkeit bestimmen viele Faktoren, aber erfahrungsgemäß hat sich gezeigt, daß für die festgesetzten Toleranzen die erforderliche Schleifzeit im Voraus zu bestimmen, mit hinreichender Genauigkeit nicht möglich ist.

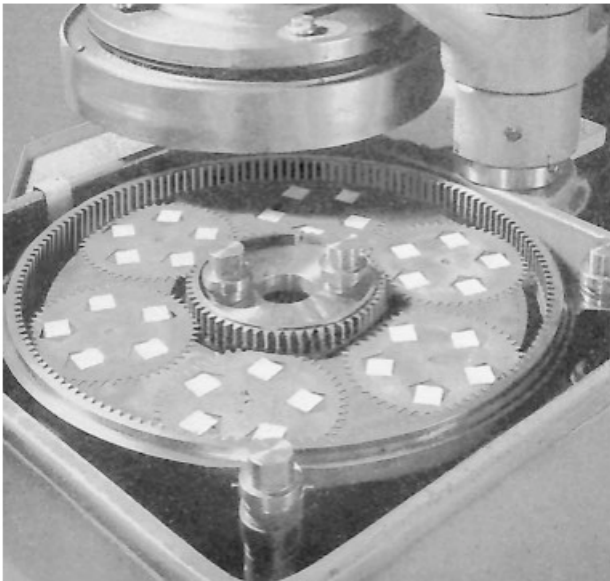


Abb. 4.73
Planetenrad-
Schleifmaschine in
geöffnetem Zustand

Nach Schließen der
Maschine werden die
30 Plättchen zwischen
den beiden Scheiben an
der Unter- und Oberseite
gleichzeitig geschliffen.

Und so lag es nahe, wie früher in derselben Weise vorzugehen wie beim Schleifen einzelner Quarze von Hand – aufzuhören mit dem Schleifen, wenn man annehmen konnte, ungefähr bei der richtigen Frequenz angekommen zu sein, dann die Resonanzfrequenz eines oder mehrerer Plättchen zu messen und vorsichtig weiter zu schleifen entsprechend dem Betrag, um welchen die erreichte Frequenz noch unter der gewünschten lag, diesen Vorgang zu wiederholen, bis man genügend nahe an die gewünschte Frequenz herangekommen war. – Versuche zur Überwachung mit einer Uhr oder einem Umdrehungszähler haben nicht zum Erfolg oder Präzision geführt, da man während des Schleifvorganges die Vorrichtung mehrmals öffnen mußte, um die Dicke der Plättchen nachzumessen. Es ergab sich dann eine elegante Lösung dieses Problems.

Während des Schleifens werden die Kristalle durch das Schleifmittel (Karbtorundum) feinen Stößen ausgesetzt und zum Aussenden einer Frequenz angeregt, die direkt zur Dicke des Plättchens und der Type des Schnittes (AT, BT usw.) ist.

Das Verfahren benutzt das typische piezoelektrische Phänomen der Spannungserzeugung durch mechanischen Druck. Die erzeugten geringen Spannungen weisen einen scharfen Höhepunkt in der Frequenz auf, die der Dicke und der Resonanzfrequenz der Quarzplättchen entspricht. (Der zu schleifende Kristall benimmt sich in diesem Aufbau – Schleifmaschine, Verbindungen, Kurzwellenempfänger – wie in einem höherwertigen Schaltkreis.)

Eine präzisere und einfachere Methode zur Überwachung des Schleifvorganges erfolgte also unter Verwendung eines empfindlichen Kurzwellenempfängers, welcher vorher sorgfältig kalibriert wurde, um während des Schleifvorganges den richtigen Haltepunkt des Schleifens zu bestimmen. Mit dieser Methode ist es möglich, den Anstieg der Frequenz der zu schleifenden Plättchen während des Schleifprozesses direkt zu verfolgen. Diese Methode hat eine hohe Präzision und verhindert ungenaue Schätzungen oder hohe Manipulation des Schleifens.

Die obere und untere Schleifscheibe sind über ein abgeschirmtes Kabel mit Antenneneingang und Erde des empfindlichen Empfängers verbunden. Die Aufnehmer des Arbeitsgutes – Quarzplättchen – bestehen zur Verhinderung eines Kurzschlusses aus Bakelit. Wegen des relativ geringen Signals gegenüber dem Hintergrundrauschen muß die Antennenverstärkung oder der Antennentrimmer nachgestellt werden.

Während die Kristallplättchen immer dünner geschliffen werden, müssen Bandspreizung und Hauptabstimmung ständig auf Maximum nachgeregelt werden, da es sich um ein schmalbandiges HF-Signal handelt. Ist die vorher auf der Hauptskala markierte Position erreicht, wird die Schleifmaschine gestoppt. Dieser Haltepunkt für den Schleifvorgang wurde vorher mit einem Normalquarz und einem Frequenzgenerator eingestellt und markiert.

Für die AT- und BT-Kristalle, wie im Beispiel, wird der Bereich zwischen 4 und 9 MHz benützt.

Zur Überwachung des fortschreitenden Schleifvorganges und der Bestimmung des richtigen Haltepunktes wurden von dem Bediener Kopfhörer verwendet, welche ihn in die Lage versetzten, bei entsprechender Nachführung des Abstimmknopfes bis zur vorher markierten Frequenz fortzufahren.

Um nicht für jede Frequenz einen Normalquarz vorhalten zu müssen, verwendete man einen Pierce-Oszillator zur Markengewinnung. Die Einstellung vom Normalquarz erfolgt der Genauigkeit halber bei Nullschwebung auf einem variablen Oszillator, welcher danach den Kurzwellenempfänger speist, um dem Quarzmaterial entsprechende Frequenzpunkte zu markieren.

Die variablen Bereiche wurden zwischen 1 – 5 MHz und 5 – 9 MHz gewählt.

Der Kurzwellenempfänger wurde mit einem abgeschirmtem Kabel an die Schleifmaschine angeschlossen (*siehe unten*). Die Maschine wurde mit der Hand bedient, um einen Startpunkt der Frequenz entsprechend der Dicke des Quarzes zu bestimmen. Dann erfolgte der maschinelle Schleifvorgang mit dem oben angeführten Abstimmvorgang. Zur Kontrolle wurden nach der Herausnahme und Reinigung die geschliffenen Quarze zwischen zwei Metallelektroden mit einem geeigneten Oszillator gemessen.

Die folgende Aufnahme zeigt einen Blick in die Quarzschleiferei der Firma C. Lorenz anfangs der 50er Jahre. Die junge Dame ist hier mit einem Ohrhörer ausgestattet. Sie bedient die Anlage alleine.

Abb. 4.74

Auf der linken Seite der Kurzwellenempfänger

(die Nachrichtengeräte-Sammler werden ihn schon erkannt haben, es ist der gute, alte *Schwabenland*).



Während des Krieges waren bei den amerikanischen Schwingquarzherstellern noch zwei Arbeitskräfte nötig, ein Bediener der Schleifmaschine und ein Operator für die Frequenzmessung.

Ich möchte nun zum eigentlichen Schleifprozeß noch ein paar Angaben machen.

Die Oberfläche eines Quarzplättchens wird desto glatter, je feiner das verwendete Schleifmittel ist.

Es hat sich herausgestellt, daß man für eine gute Aktivität der Quarzplättchen die erforderliche Glätte erzielt, wenn man mit einem Al_2O_3 -Pulver schleift.

Nur ist die Schleifgeschwindigkeit bei diesem feinen Pulver sehr klein.

Die allgemein angewandte Arbeitsweise ist am besten, wenn man in drei Gängen schleift. Man beginnt mit einem groben Karborundumpulver, z. B. SiC 320, mit dem man die tiefen Sägerisse, welche jedes Plättchen an beiden Seiten aufweist,

wegnimmt. Hierbei wird der größte Teil der Dicke abgeschliffen. Der nächste Schleifgang folgt mit etwas feinerem Pulver, z. B. SiC 600, um die übriggebliebenen feineren Risse und Unebenheiten abzarbeiten. Man endet mit dem oben erwähnten feinsten Pulver Al_2O_3 - 303, welches der Oberfläche die gewünschte Glätte gibt. Bei den Schleifvorgängen ist es notwendig, diese auf drei verschiedenen Maschinen auszuführen, um eine Verunreinigung des feineren Schleifmittels durch Reste des vorangegangenen auszuschließen.

In einer weiteren Behandlung des Quarzwafers unterscheiden sich die Herstellungsmethoden.

Bei den heutigen modernsten Verfahren zur Herstellung von Großserien-Quarzen bohrt man mittels diamantbesetztem Hohlbohrer die einzelnen runden Quarzscheiben aus dem Wafer heraus. Der Wafer ist auch hier auf einer Glasscheibe aufgeklebt (meistens mit Bienenwachs), und so kann bis zur Glasscheibe durchgebohrt werden (Abb. 4.76).

Anschließend werden auf einer Heizplatte die Teile voneinander getrennt. Nach einem Reinigungsarbeitsgang werden die runden Scheiben ebenso auf einer Planetenrad-Schleifmaschine geschliffen – hierbei sind aber die Aufnahmekäfige anders gestaltet (Abb. 4.77).

Neben dem Arbeitsgang **Ausbohren** der Quarzscheiben aus dem Wafer gab es noch eine andere Fertigungsart: das **Rondieren** oder Rundscheifen der Quarzplättchen.

Diese Fertigungsart soll aber nicht so gängig gewesen sein.

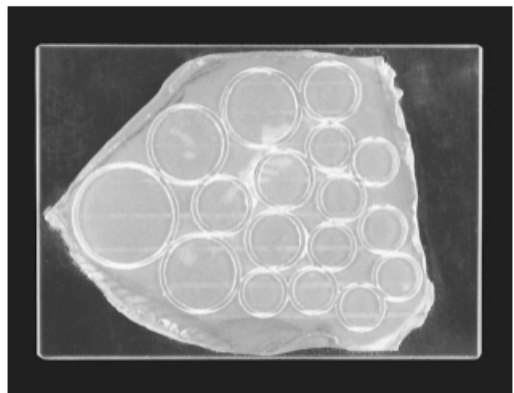
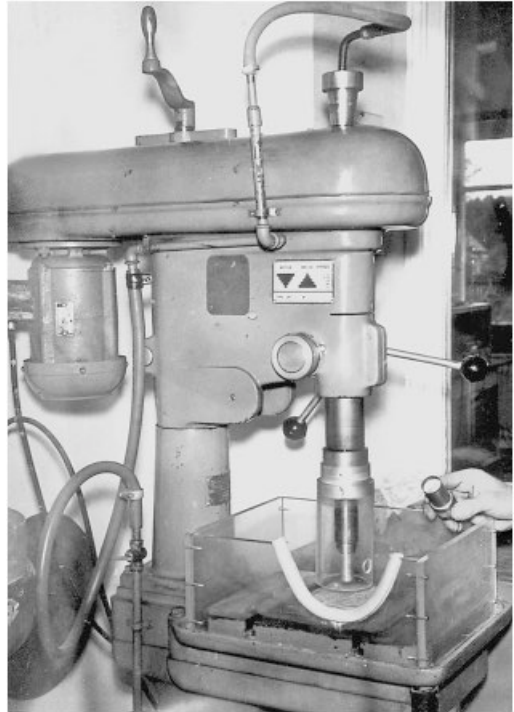


Abb. 4.75 / 4.76

Ausbohren der Quarzplättchen



Abb. 4.77
Schleifen von runden
Quarzplättchen

Abb. 4.78
Rundemaschine

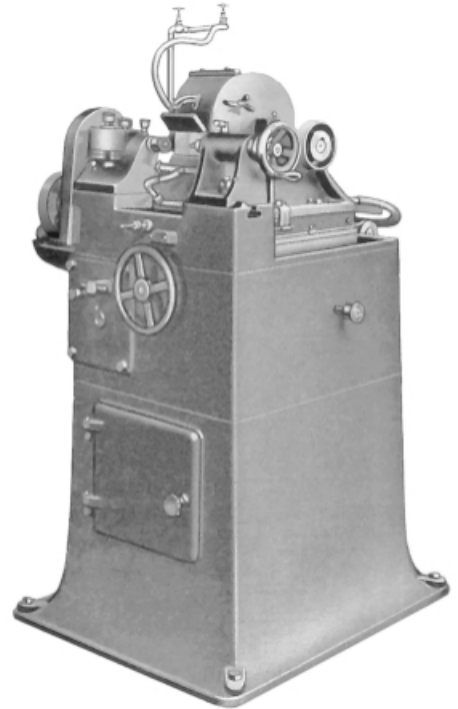


Abb. 4.79
Rundemaschine
neuer Bauart mit vorbereiteten
Quarzplättchen



Die Abb. 4.78 zeigt eine Maschine, mit welcher dieser Arbeitsgang ausgeführt wurde. Die vorbereiteten Quarzplättchen werden stapelartig zusammengekittet. Zu diesem Zweck wird auch an jedes Ende des Stapels eine Metallscheibe gekittet, die eine zentrisch gebohrte Vertiefung hat. Das so gefaßte Arbeitsstück wird zwischen die in der Abbildung sichtbaren Metallspitzen mit Hilfe eines Handrades gespannt. Die rotierende Karborundumscheibe wird dann automatisch an das Arbeitsstück geführt (Abb. 4.79). Die Maschine arbeitet voll-automatisch und schaltet sich nach Erreichen des gewünschten Durchmessers ab.

Die weitere Bearbeitung erfolgt auf einer Feinstschleifmaschine ebenfalls in mehreren Stufen (Abb. 4.80/4.81).



Abb. 4.80



Abb. 4.81 Feinstschleifen

Ein weiterer wichtiger Fortschritt war, wie schon auf Seite 134 kurz angedeutet, die Methode des Aufbringens der Elektroden und den Schwingquarz auf die gewünschte Sollfrequenz zu bringen. Diese neue Technik war mithin der größte Erfolg in der Schwingquarz-Fertigungstechnologie.

Die mechanischen und elektrischen Vorteile bei dieser Fertigung sind folgende:

1. Bei Quarzen mit Luftspaltelektroden trat immer bei starker Quarzbelastung eine Glimmentladung auf, wodurch sie beschädigt wurden und im Betrieb ausfielen – dies wird nun vermieden.
2. Die Quarze sind nicht mehr klopfempfindlich, während bei Quarzen mit Luftspaltelektroden sich diese leicht zur Quarzscheibe verschieben und zu Frequenzänderungen führen.

Bei der neuen Technik gab es nur eine Schwachstelle, nämlich daß die Elektroden leicht korrodierten. Dieses wurde aber verhütet durch eine Füllung des Quarzhalters mit einem inerten Gas (Stickstoff oder Edelgas).

Das Aufbringen fest haftender Metallelektroden

Dazu gab es früher folgende Verfahren wie z. B. *Versilberung* durch Reduktion einer alkalischen, insbesondere ammoniakalischen Silbernitratlösung mittels einer Reduktionslösung und das *Einbrennverfahren*, bei dem man eine geeignete Lösung (Silber) durch Erhitzen zerstört und das frei gewordene Metall in die Quarzoberfläche einbrennt.

Bei dieser Einbrennmethode gab es einmal in einer bekannten großen Firma Probleme. Nach zahlreichen Versuchen wurde dann festgestellt, daß die Quarze vor dem Einbrennen von Silber (also vor dem Erhitzen) schwingen, danach aber nicht mehr in Ordnung sind. Bei polierten Quarzen, die keinen Silberbelag erhielten und deswegen keiner Erhitzung ausgesetzt waren, gab es keine Beanstandungen. Es stellte sich bei Versuchen heraus, daß durch Erhitzen und Abkühlen eine kleine feine Zwillingsbildung auftrat. Ein Hinweis in der Literatur gab sodann auch einer früheren Vermutung recht.

Zitat: Ein Dauphinéer-Zwilling (elektrischer Zwilling) kann aus einem Paar mit unregelmäßiger Grenze dazwischen bestehen. Andere Kristalle enthalten viele unregelmäßige Flecke, die *durch plötzlichen Wechsel von Temperatur und Zusammenpressung hervorgerufen werden*, welche darauf hindeuten, daß die Zwillingsbildung sekundärer Art sein mag, d. h. auf Druck zurück zu führen ist. Wenn man eine dünne Platte im Ofen erhitzt (nicht notwendiger Weise bis zum Inversions-punkt), so wird sie bei plötzlichem Abkühlen verzwillingen!

Zu einem weiteren Verfahren zählt auch die Kathodenzerstäubung.

Hierbei wird in einer Gasentladung von der Kathode, welche aus dem gewünschten Elektrodenmaterial besteht, ein Belag auf die Quarzscheibe niedergeschlagen. In der heutigen modernen Fertigung sind die verschiedenen Verfahren (*siehe oben*) für das Aufbringen der Metallelektroden zu umständlich.



Abb. 4.82
Aufbringen der
Goldschichtelektroden im
Vakuum-Pumpstand mittels
Kathodenzerstäubung.
*Aus der Siemens-Schwingquarz-
Fertigung.*

Das Aufdampfen hat sich am besten bewährt, zumal die Schichtdicke sich auf elektronischem Wege genau bestimmen läßt. Für eine Beschreibung des Aufdampfverfahrens habe ich die nachstehende Telefunken-Aufdampfanlage herausgegriffen. Sie war zu dem damaligen Zeitpunkt sicher eine der modernsten Anlagen. Die Anlage in der *Abb. 4.83* besteht aus einem tischförmigen Gestell. Aus der folgenden *Abb. 4.84* ist das Blockschaltbild der Aufdampfanlage zu ersehen.

Abb. 4.83

Links oben befindet sich der Präzisionsfrequenzmesser (der sogenannte „Kettel-Generator“). Mit ihm wird die Quarzfrequenz während des Aufdampfens gemessen. In der Mitte des Drehtisches sind unten die Rezipienten integriert und unterhalb der Arbeitsplatte ist ein Raum vorgesehen für drei auswechselbare Quarzoszillatoren. Das Gestell rechts oben enthält die Kontroll- und Meßeinrichtungen.

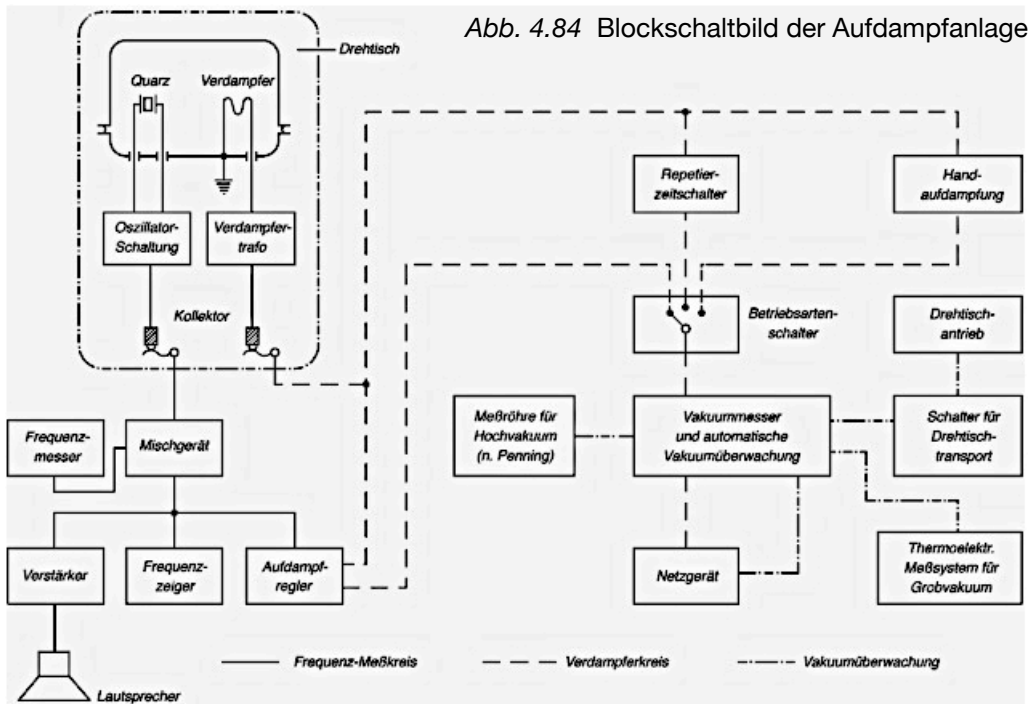


Dazu ein paar Details zu der elektrischen Ausführung:

Der Verdampferkreis:

Der Verdampfer besteht aus einem U-förmig gebogenen Molybdändraht. Das verwendete Aufdampfmaterial hängt als Häkchen auf dem Verdampfer und wird auf ca. 1000–1500 °C erhitzt. Den hierzu benötigten Heizstrom (~ 30 A) liefert der jedem einzelnen Rezipienten zugeordnete Transformator (*Abb.4.84*). Der Heizstrom wird durch die *Vakuumüberwachung* bei der Erreichung eines Druckes von $1 \dots 5 \cdot 10^{-5}$ Torr eingeschaltet und hierbei je nach der vorgegebenen Betriebsart – z. B. der *Grundaufdampfung* durch einen Repetierschalter und bei der Aufdampfung *Frequenzabgleich* durch den Aufdampfregler – unterbrochen.

Vakuumüberwachung: Ein thermoelektrisches Vakuummeter überwacht in Stellung 2 des Rezipienten das Grobvakuum und, mit Hilfe der von Thermoelementen gelieferten Spannung, den Drehtisch. Zur Überwachung des Hochvakuums (Rezipientenstellung 3) ist ein Penning-Vakuummesser vorgesehen.



Aufdampfung zum Frequenzabgleich:

Der Frequenzmesser (siehe auch Abb. 4.84) wird auf eine um 100 Hz unter der Sollfrequenz liegende Frequenz eingestellt. Um eine ausreichende Abschaltgenauigkeit mit Resonanzkreisen zu erhalten, muß die Frequenz möglichst tief gewählt werden.

Die vom Frequenzmesser gelieferte und die vom Quarz erzeugte Frequenz werden einem Mischgerät zugeführt und die Differenzfrequenz auf Δf gebildet.

Die Differenzfrequenz ist am Frequenzzeiger ablesbar und nähert sich während des Aufdampfvorganges dem Wert Null. Durchläuft Δf den Wert 1000 Hz, so wird durch den Aufdampfregler die Verdampfungstemperatur verringert und damit die Aufdampfgeschwindigkeit kleiner.

Bei $\Delta f = 111$ Hz hat der Quarz seine Sollfrequenz erreicht und die magnetische Blende (Shutter) unterbricht die Aufdampfung. Ein Handschalter gestattet auch, die Aufdampfung manuell zu steuern.

Die auswechselbaren Oszillatoren (unter der Tischplatte) sind in Serienresonanz-, Parallelresonanz- oder Oberwellenschaltung ausgeführt.

Der Frequenzbereich der damaligen Anlage erstreckte sich von 50 kHz bis 70 MHz.

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedene Einblicke in den Rezipientenaufbau

Abb. 4.85

Prinzipdarstellung.
Beiderseitiges Aufdampfen
der Grundelektroden.

Abb. 4.86 (unten)

Der Drehtisch trägt drei Rezipienten
für je einen Quarz.
Vorne rechts unter der Arbeitsplatte
ist sehr gut der auswechselbare
Oszillator zu erkennen

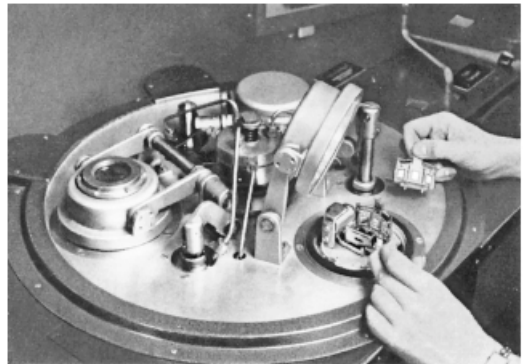
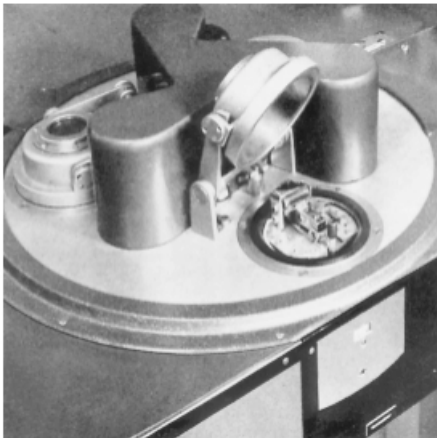
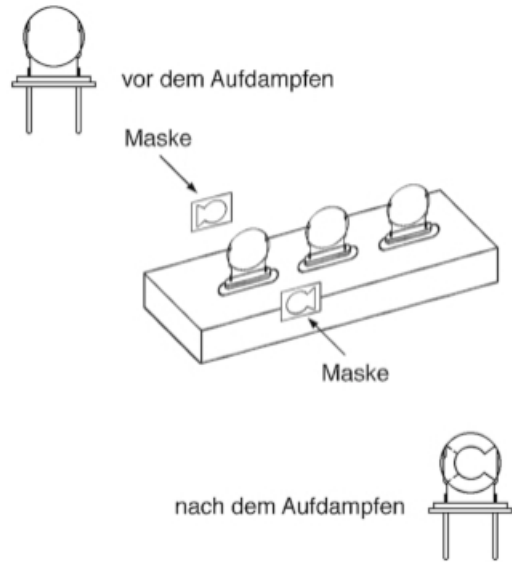


Abb. 4.88 (oben)

Drehtisch der Aufdampfanlage mit einem
geöffneten Rezipienten. Einsetzen der
Quarzscheiben zum Aufdampfen der
Grundelektrode.

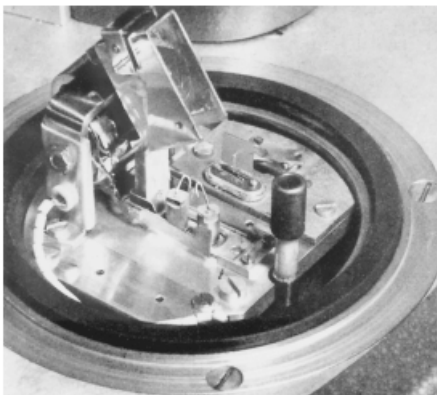


Abb. 4.87 (links)

In der Mitte gut sichtbar der Verdampfer
mit Häkchen zur Aufnahme des Aufdampf-
metalls. Rechts daneben der zur
Bedampfung eingesetzte Schwingquarz,
Ganz vorne rechts ist die Hochspannungs-
durchführung zu erkennen.

Vor dem Verdampfen wird noch ein Reinigungsvorgang durchgeführt, das so genannte „Sputter Clean“.

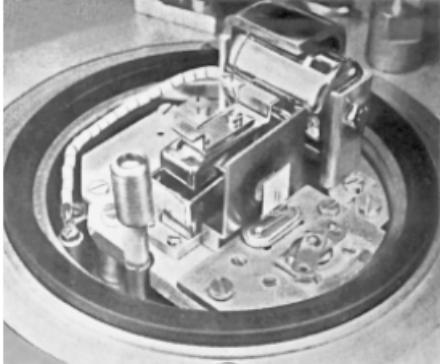


Abb. 4.89

Rezipienten-Innenaufbau, eingerichtet für die Frequenzaufdampfung (Blende geschlossen). Rechts vor der Aufdampfschablone der Schwingquarz.

Für die Fertigung von Großserienquarzen wurde damals von der Firma **Balzers AG** in Balzers/Liechtenstein eine größere Bedampfungsanlage konzipiert und gebaut. Die nachstehende Abb. 4.90 zeigt die Bedampfungsanlage Type BA 710, Automatik. Die Anlage ist eine kompakte Hochvakuum-Bedampfungsanlage großer Leistungsfähigkeit.

Die folgende Abb. 4.91 gibt einen Einblick in die Fertigung mit dieser Anlage. Die Mitarbeiterin bestückt hier den Dom in der Vakuumglocke mit Bedampfungsmasken.



Abb. 4.90

Hochvakuum-Bedampfungsanlage BA 710

Dazu gehörte noch folgendes Instrumentarium (in einem Rack-Schrank eingebaut):

- Hochstrom-Hochspannungssteuerung und Glimmeinrichtung für Sputter Clean
- QRG-Ratometer
- QSG-Schwingquarz-Schichtdicken-Meßeinrichtung
- QVG-Schichtdicken-Vorwahlgerät

Abb. 4.91

Bedampfungsanlage BA 710
beim Bestücken mit Masken für die
Grundelektroden-Bedampfung

Die Bedampfungsmasken im
obigen Bild haben allerdings eine
rechteckige Form.

Im folgenden Beispiel ist eine
runde Form dokumentiert.



Abb. 4.92

Bedampfungsmaske

Diese Bedampfungsmaske kann
acht Schwingquarze aufnehmen.
Zum Einlegen der Quarze wird die
Maske geöffnet.



Abb. 4.93

Quarz nach
der Grund-
bedampfung



Abb. 4.94 (links)

Quarzhalter mit 5-MHz-Meßoszillator

In der Aufnahme 4.91 ist im Hintergrund rechts der Quarzhalter, er dient zur Aufnahme eines Meßquarzes, zu erkennen. Aus der Detailaufnahme Abb. 4.94 ist der Aufbau besser zu erkennen.

Der Quarzhalter besteht aus einer Haltescheibe für die Aufnahme eines Meßquarzes, dem Meßoszillator, einem Gehäuse, welches den Quarzhalter bis auf die Meßöffnung völlig abschließt, einem fix angeschlossenen Kabel und der Triaxial-Meßstromdurchführung, sowie einem Anschluß für eine Kühlmöglichkeit.

Zum Abschluß des Unterkapitels „Aufdampftechnik“ noch eine kurze Zusammenfassung:

Wie auf den *Seiten 134 und 156* in diesem Kapitel schon angeführt, wurden die bei früher verwendeten Luftspaltquarzen entstehenden Nachteile angegeben. Sie lassen sich durch Anwendung metallisierter Quarze vermeiden, wobei große mechanische und elektrische Vorteile gewonnen werden und ein einfacher Frequenzabgleich durch Metallaufdampfung im Hochvakuum möglich wird.

Als letzter Punkt in den Neuerungen der Fertigungstechnologie der Schwingquarze nach dem Zweiten Weltkrieg wäre noch kurz der synthetische Quarz zu erwähnen (*siehe auch Kapitel 3*). Wie in diesem Kapitel auch erwähnt wird, wurden von den *Bell-Laboratorien* und in den *Merrimack Valley Works in North Andover* der *Western Electric*, einer Tochtergesellschaft von Bell, die ersten großen synthetischen Quarze gezüchtet.



Abb. 4.95

R. A. Sullivan (*links*) und R. A. Laudise hinter dem Hochdruckautoklaven, welcher zur Züchtung von synthetischem Quarz verwendet wird. Sullivan hält einen großen Quarz, der in dem großen Autoklaven gezüchtet wurde, während Laudise einen kleineren Kristall in der Hand hält, der für frühe Forschungsarbeiten verwendet wurde.

In den 1970er Jahren wurde für Präzisionsoszillatoren der 5-MHz-Quarz entwickelt. Ich möchte nun zum Abschluß dieses Kapitels die Fertigungstechnologie kurz beschreiben.

Quarzblanks-Herstellung aus Synthetikbarren

1. Synthetikbarren für AT-Schnitt verwenden – Güte > 2 Mio.
(Infrarotspektroskopie) (spezielle Zucht).

2. Z-Flächen planparallel (von Hand) schleifen,
zwischendurch Winkelkontrolle.

Nach jedem Arbeitsgang findet eine gründliche Reinigung im Ultraschallbad mit öl- oder wachslösenden Mitteln mit anschließender Spülung in Leitungswasser, Härte- grad 0 – 1, und weiter in deionisiertem Wasser, Leitwert 100 μS , statt. Dies ist notwendig, um reproduzierbare genaue Messungen sowohl der Frequenz als auch der Winkel zu garantieren.

3. X-Flächen lumben und planschleifen.

Das Lumben bedeutet, daß die Seitenflächen, die schuppig ausgebildet sind, mit der Säge senkrecht zur Z-Achse parallel zueinander abgeschnitten und anschließend noch überschleifen werden (siehe Abb. 4.96).

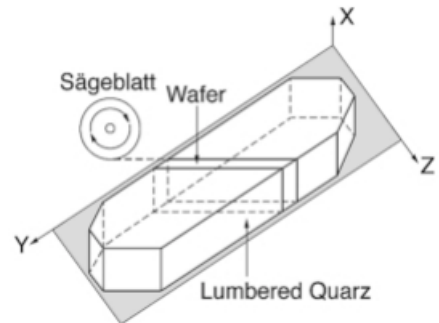


Abb. 4.96 Lumben

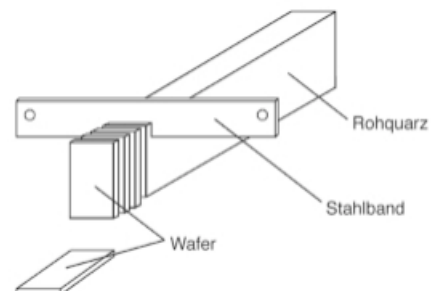
4 Winkel nachmessen.

5. Barren auf eine Glasplatte mit Bienenwachs oder UV-Kleber aufkleben.

6. Blanks im AT-Winkel sägen (gattern).

Der Quarzbarren wird anschließend mit einer speziellen Gattersäge (siehe prinzipielle Darstellung) in dünne Scheiben getrennt.

Abb. 4.97
Gattersägen



Diese Säge besitzt Blätter aus gehärtetem Stahl, die aber keine Zähne aufweisen, und die unter großem Zug stehen. Dafür wird eine Ölemulsion mit Zusatz von Karborundumpulver zugeführt, welches eine Sägewirkung ergibt.

7. Keim ausschneiden.

8. Glasplatte erhitzen
– dabei werden die quadratischen Blanks vereinzelt.

9. Blanks auf Läppmaschine mit Schmirgel 600
für die Winkelmessung überlappen.

10. Winkel messen und einsortieren.

11. Eventuelle Korrektur
(nur bei doppelt gedrehten Schnitten wie z. B. SC üblich).

12. Vorlappen der Blanks auf Vorschleifdicke.

13. Feinlappen auf Frequenz
(Messung mit Oszilloskop – dabei dient die untere Läppscheibe als Elektrode und in die obere Läppscheibe wird isoliert eine zweite Läppscheibe eingesetzt).

14. Frequenz einsortieren und bei bestimmten Anwendungen (Filter) enger tolerierte Frequenzgruppen noch genauer mit Schmirgel 1000 μ oder 800 μ Naturkorund auf Frequenz zusammenlappen.

Blank nach dem Schleifen oder Polieren

15. Blanks im Carrier reinigen, spülen, trocknen.

16. Blanks in Frequenzgruppen sortieren.

17. Blanks im Carrier nach Zeit ätzen, spülen und trocknen.

18. Blanks unter staubfreien Bedingungen reinigen, spülen und trocknen.

19. Blanks in Sandwich-Schablonen einlegen und im Hochvakuum beschichten.

20. Quarze im Vakuumofen voraltern.

21. Blanks in Glashalter einsetzen und einkleben.

Die Quarzscheibe wird in die Halterungen hineingesteckt und dann mit einem Zwei-Komponenten-Leitkitt mechanisch an den Halterungen fixiert. Dieser Leitkitt übernimmt auch später die elektrische Verbindung zur noch aufzudampfenden Elektrode (Abb. 4.98).

22. Gekittete Quarze im Ofen bei ca. 400 °C aushärten.

Der Leitkitt wird im Ofen bei dieser hohen Temperatur ausgehärtet, damit auch bei späteren Temperaturprozessen garantiert keine Rückstände mehr aus dem Kitt ausscheiden.

23. Quarze im Vakuum feinabgleichen.

24. Quarze im Vakuumofen voraltern.

25. Quarze mit Glaskappen im ölfreien Hochvakuum verschließen.

26. Glasverschlösse Quarze temperieren (Glasspannung lösen).

27. Endabgleich mit Laser oder Hochspannung.

28. Endmessung/Alterungsmessung.



Abb. 4.98
Kleben der Quarzscheibe

Zur Endmessung/Alterungsmessung ein kleiner Überblick über die Meßverfahren. Bevor also ein Schwingquarz in einem Empfänger, Sender oder in einer Quarzuhr seine Aufgabe erfüllen kann, durchläuft er beim Quarzhersteller eine Reihe von Tests, denn von seiner Qualität hängt in hohem Maß die Genauigkeit der Geräte des Anwenders ab (z. B. Nachrichtengerät, Uhr).

Die elektrischen Eigenschaften des Schwingquarzes als Funktion von der Frequenz können in der Umgebung durch ein Ersatzschaltbild dargestellt werden (Abb. 4.99).

Die Größen L_1 , C_1 und R_1 dieses Zweipols beschreiben den eigentlichen Resonator, die Quarzscheibe. Aus den Größen ermittelt man die Güte des Quarzes.

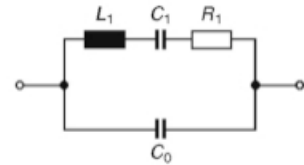


Abb. 4.99
Ersatzschaltbild

$$Q = \frac{1}{2\pi f C_1 R_1} = \frac{2\pi f L_1}{R_1}$$

Die Kapazität C_0 wird in der Hauptsache durch die auf der Quarzscheibe aufgedampften Elektroden verursacht.

Der primäre Parameter jedes Quarzes ist seine Resonanzfrequenz.

Bei den Meßmethoden der Schwingquarz-Parameter gibt es zwei prinzipielle Meßmethoden: die **aktive Messung** und die **passive Messung**.

Die aktive Messung liefert eine ziemlich ungenaue Messung. Der Quarz wird hierbei in einem Oszillator als frequenzbestimmendes Glied eingesetzt.

Diese Meßgeräte sind unter dem Namen „Testset“ bekannt geworden und für verschiedene Frequenzbereiche hergestellt worden. Sie genügen aber meistens nicht mehr den heutigen hohen Anforderungen.

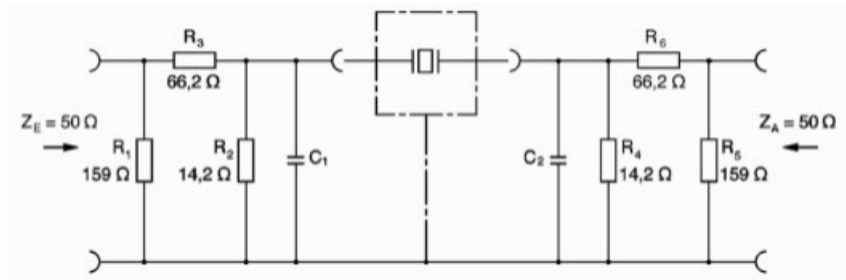
Diese hohen Anforderungen der Frequenzbestimmung können nur mit der Passiv-Meßmethode nach DIN 45105 bzw. IEC-Publikation erfüllt werden.

Die Passivmessung: Vom Juni 1971 stammt der IEC-Entwurf für eine neue, einfache Meßmethode der Resonanzfrequenz und des äquivalenten Serienwiderstandes.

Hier wird der Quarz in einer π -Schaltung betrieben und die Messung ist auf eine Impedanz-Messung vereinfacht.

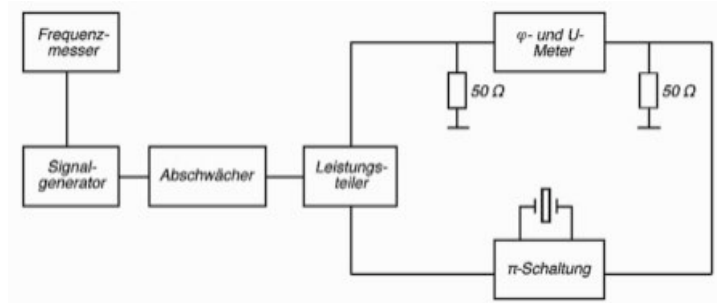
Die π -Schaltung ist in Abb. 4.100 dargestellt.

Abb. 4.100
Aufbau des
 π -Netzwerkes



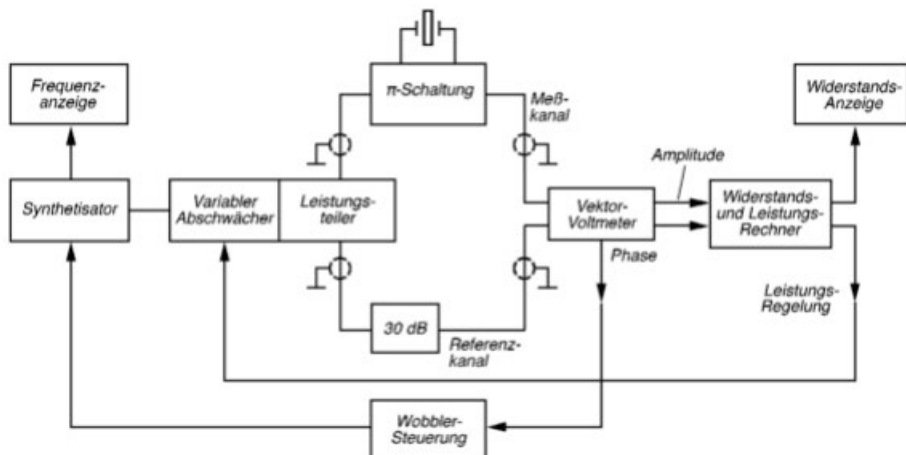
Die obige Abb. 4.100 zeigt die Prinzipschaltung des π -Netzwerkes zur Messung von Schwingquarzen nach DIN 45105. Bei diesem Verfahren wird der zu messende Schwingquarz in das π -Netzwerk eingefügt. Die Grundelemente des von der IEC vorgeschlagenen Meßsystems sind aus der Prüfanordnung in Abb. 4.101 ersichtlich.

Abb. 4.101
Prüfanordnung mit
 π -Schaltung



Am rationellsten lassen sich heute die Messungen der Quarz-Ersatzdaten mit einem automatischen Meßplatz durchführen. Dieser rechnergesteuerte Meßplatz ist mit einem *Vektor Analyser* ausgestattet und ermittelt in Sekundenschnelle sämtliche Quarzdaten. Abb. 4.102 zeigt eine prinzipielle Anordnung diese Prüfsystems.

Abb. 4.102 Prinzipschaltung eines modernen Prüfsystems



Alterungsmessung:

Als Alterung wird die Langzeitstabilität spezifiziert.

Unter **Alterungsmessung** bei Schwingquarzen versteht man die Ermittlung der zeitabhängigen Änderung der Resonanzfrequenz.

Die Alterungsrate wird wesentlich beeinflusst von der Dichtigkeit des Quarzgehäuses (Leckprüfung) und der Kontamination (Sauberkeit) des Quarz-Innengehäuses und Vibrators.

Wie aus der vorhergehenden Fertigungsaufstellung (*Seiten 165–167*) zu ersehen ist, zeigt die Position 20: „Quarze im Vakuum *voraltern*“.

Die Erklärung hierzu ist: Nach dem Bedampfen werden die Quarze *getempert*, um die frisch aufgedampften Gold- oder Silberschichten zu verfestigen und damit eine hohe Alterungsbeständigkeit zu erreichen.

Allgemein wird zwischen einer aktiven und passiven Alterung unterschieden.

Unter der **aktiven Alterung** versteht man die zeitliche Frequenzänderung des Schwingquarzes im Betriebszustand, also eingebaut in einen Oszillator und im Dauerlauf betrieben.

Unter der **passiven Alterung** versteht man die zeitliche Frequenzänderung bei einer Lagerung. Die zu messenden Schwingquarze werden in einer vorgeschriebenen Zeit in einem Laborofen oder besser in einer Klimakammer bei der vorgeschriebenen Temperatur ohne eine elektrische Belastung gelagert.

Die Standards hierzu sind in DIN 45103 niedergelegt. Dabei ist festgelegt, daß die maximale Frequenzänderung bei einer Lagerung der Quarze in der Klimakammer bei $85\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ sein soll.

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

Schwingquarze – Gestern – Heute – und Morgen

Historischer Rückblick – Ausblick

Die wichtigsten Meilensteine der „Piezoelektrizität“

1800	Jaques und Pierre Curie Sorbonne, Paris, Faculté des Sciences	Entdeckung der Piezoelektrizität
1893	Lord Kelvin (W. Thomson)	Molekulare Theorien der Piezoelektrizität in Quarzkristallen
1910	W. Voigt Universität Göttingen	Fundamentales Lehrbuch der Kristallphysik
1914–1918	P. Langevin Sorbonne, Paris	Arbeiten an Ultraschallleitung in Wasser US-Patent 2,248,870 am 21. Juni 1920
1918	A. M. Nicolson Bell Laboratories	Patentierung eines Schwingkreises mit Rochellesalz-Kristall
1920	W. G. Cady Wesleyan University, Middletown, Conn.	US-Patent 2,212,845 am 10. April 1918 Patentierung eines Schwingkreises mit 3 Vakuumröhren und einem Quarzkristall-Schwinger (Rückkoppelungsschaltkreis) US-Patent 1,450,246 am 3. April 1923 US-Patent 1,472,583 am 30. Oktober 1923
1921	G. W. Pierce Harvard University	Erster (Einröhren-)Oszillator US Patent 1,789,496 am 20. Januar 1931 (Basispatent) US-Patent 2,133,642 am 18. Oktober 1938
1926	Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Amerikanischen Telefon und Telegraphengesellschaft	Erster quartzgesteuerter Radiosender – WEAFF – in New York City 610 kHz; 5 kW
1939–1945	Quartz Crystal Section (QCS)	30 Millionen Quarzresonatoren und Oszillatoren wurden während des Zweiten Weltkrieges in den USA hergestellt
1952	A. W. Warner	Entdeckung der Energiekonzentration auf dem schwingenden Teil der Quarzfläche (energy trapping)
1975	E. P. Eernisse Santia Labs, New Mexiko	Doppelt gedrehte SC-Schnitte (Verminderung der mechanischen und thermischen Spannungen)
1975	Vig, Snow, Wilcox	Keramik-Flachmontagen für Quarzschwinger
1976	R. J. Besson	Elektrodenlose BVA-Quarzschwinger
2000	J. Staudte	HFF-Quarze (Inverted Mesa-Technik)

Schwingquarze – Gestern

In der Einführung in *Kapitel 1* bin ich schon kurz auf die Arbeiten von Paul Langevin eingegangen. Das unten angezogene Patent 2,248,870 sagt aus, daß es sich um einen

„Piezoelektrischen Signal Apparat“

handelt. Langevin setzte damals als **Erster** den Quarzkristall zur Schwingungserzeugung ein.

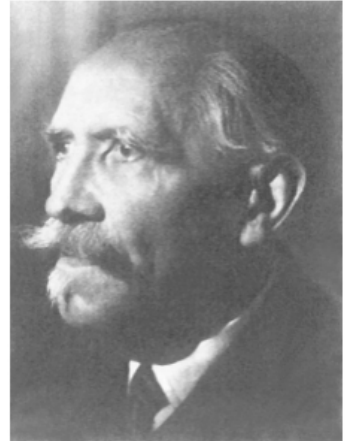
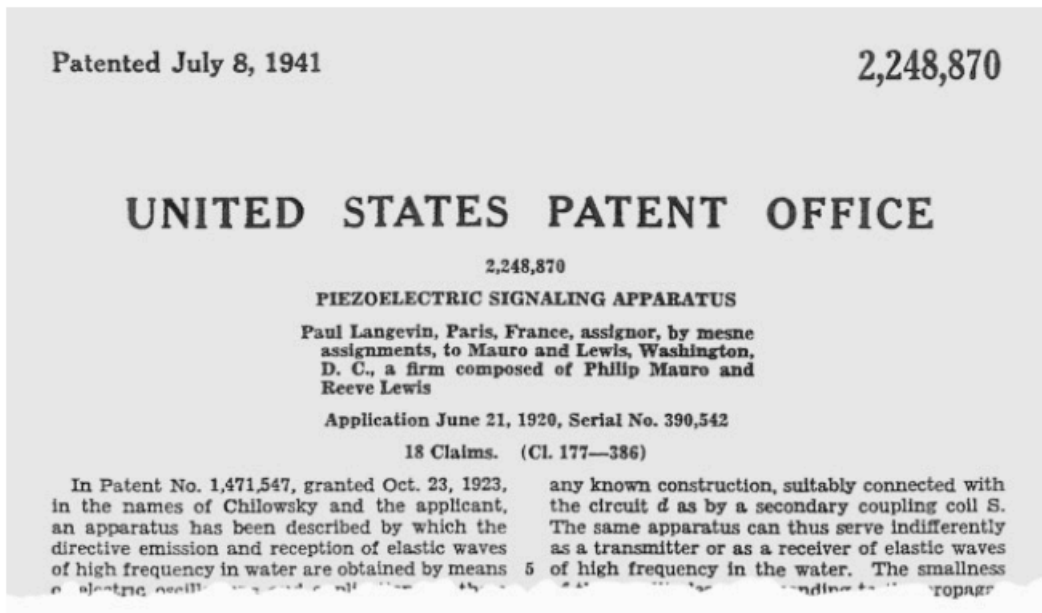


Abb. 5.1 Paul Langevin (1872–1946)

Abb. 5.2 Patent Nr. 2,248,870 – Paul Langevin



Dazu ein kurzer Auszug aus seiner Patentschrift:

...Die vorliegende Erfindung benutzt Mittel, welche die gleiche Nachricht erzielen, indem sie die piezoelektrischen Eigenschaften des Quarzes verwenden, um die Transformation der elektrischen Schwingungen einer gegebenen Frequenz in elektrische Wellen der gleichen Frequenz und umgekehrt zu erreichen.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen in drei Beispielen die Verwendung und in Kurzform eine Beschreibung dieser Sende- und Empfangsstation.

Eine Quarzplatte (a), die ihre Fläche senkrecht hin zur binären Mittellinie eines Kristalls hat, wird zwischen Elektroden oder der Beschichtung (b) und (c) plaziert, um so einen Kondensator zu bilden, der wiederum einen Teil des schwingenden elektrischen Stromkreises (d) ist, welcher die Sekundärspule (L) enthält (Fig. 1). Die Erzeugung von elektrischen Schwingungen in diesem Stromkreis mit den bekannten Mitteln, wie dem Oszillator (T), entsprechend durch eine Primärspule (P) mit der Induktivität (L) verbunden, setzt durch synchrones Verdichten und Ausdehnen die Quarzplatte in die Lage, elastische Wellen (OG) in das Wasser mit der gleichen Frequenz auszustrahlen. Umgekehrt werden die ankommenden elektrischen Wellen (IC) die Quarzplatte erschüttern und eine wechselnde elektrische Polarisierung erzeugen, welche sich wie ein elektrischer Strom in dem Kondensator einstellt und einen schwingenden elektrischen Stromkreis darstellt. Diese Wellen können sehr einfach durch die bekannten Methoden aus der drahtlosen Telegraphie, entsprechend verbunden mit dem Schaltkreis (d) durch eine Sekundärkopplungsspule (S) mit einem Hörer (R) von bekanntem Aufbau, lokalisiert werden.

Die Fig. 2 und 3 zeigen den Aufbau des Apparates und den Stromkreis für die Aussendung und die Aufnahme der hörbaren Schwingungen mittels des hier beschriebenen Quarzkondensators. Sehr gut ist in Fig. 2 die Mosaikanordnung von Langevin aus dem Jahr 1918 zu erkennen (Quarzplatten a_1 und a_2).

Das Beispiel in Fig. 2 und 3 enthält:

(a) Eine Sendestation für die Erzeugung von ungedämpften elektrischen Hochfrequenz-Schwingungen einer Amplitude, die entweder konstant sind oder regelmäßig durch einen Wechselstromerzeuger, einen Lichtbogen oder eine Oszillatorröhre verändert werden.

b) Den schwingenden Stromkreis (d), der z. B. aus der Sekundärspule (L) und dem Quarzkondensator besteht, der letztere wird von entsprechenden Aufbauten (Drehbasis-Gerät) unterstützt, die das Ändern der Richtung von der Horizontalen in die Vertikale ermöglichen.

c) Den Quarzkondensator für den Empfang, der auch der Kondensator für die Aussendung sein kann, da die gleiche Antenne, wie bei der drahtlosen Telegraphie, auch für beide Zwecke verwendet wird.

d) Die empfangenden Stromkreise, die auch teilweise für die Sendung verwendet werden können.

e) Einen Röhrenverstärker (M) und einen Überlagerungsgenerator (D).

Der Aufbau, entsprechend der Erfindung, kann nicht nur für die Aufspürung von Nachrichten unter Wasser und der Übertragung der Signale durch Wasser verwendet werden, sondern auch für medizinischen und anderen Gebrauch wo elastische hochfrequente Wellen verwendet werden. ...

July 8, 1941.

P. LANGEVIN

2,248,870

PIEZOELECTRIC SIGNALING APPARATUS

Filed June 21, 1920

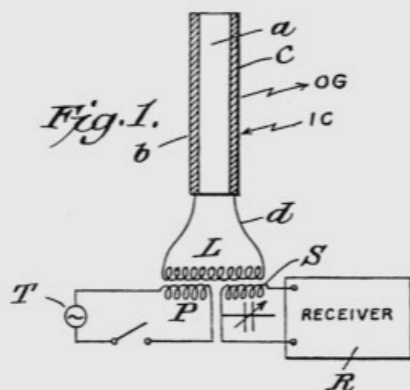


Fig. 2.

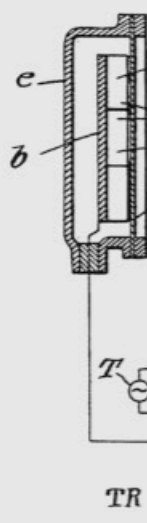
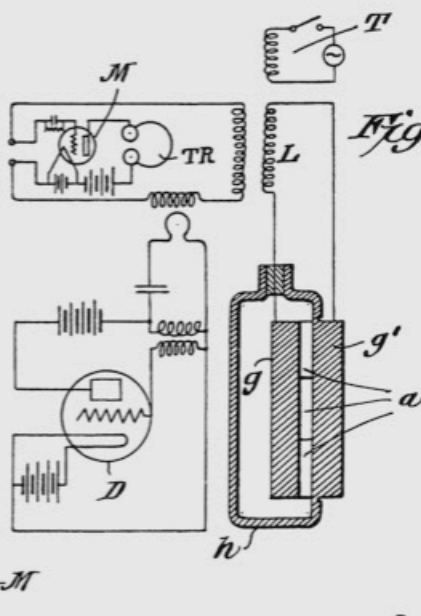


Fig. 3.



Inventor
Paul Langevin,
 Attorney
Maurice Lewis

Zur gleichen Zeit als Langevin Experimente mit Quarz als Ultraschallquelle und -detektor durchführte, führte Dr. A. M. Nicolson in den Bell-Telefon-Laboratorien unabhängig davon Untersuchungen über den Einsatz von Rochellesalz zur Ausführung der gleichen Funktionen bei Schallfrequenzen durch. Tatsächlich war sein erster Patentantrag für eine Reihe von piezoelektrischen Akustikgeräten im April 1918 dem erstmaligen Antrag Langevins auf ein französisches Patent um fünf Monate vorausgegangen. Mit Hilfe von Rochellesalz-Kristall anstelle von Quarz, da dieses über eine größere piezoelektrische Sensivität verfügte, baute Nicolson zahlreiche Mikrofone, Lautsprecher und Grammophon-Tonabnehmer (Patent Nr. 1,495,429 über „Piezophony“). Unter diesen Schaltkreisen, die in seinem 1918 gestellten Patentantrag enthalten waren, befand sich auch ein Schaltkreis, welcher sich später als besonders interessant herausstellte – ein Schwingkreis, der mit einem Rochellesalz-Kristall, wie in Abb. 5.5 gezeigt ist, arbeitete.

Mit dieser einzigen Ausnahme wurde sonst bei allen früheren Anwendungen der Piezokristall als einfacher elektromechanischer *Meßgrößenumformer* verwendet, d. h. er wurde entweder zur Umformung mechanischer Energie in einem System in elektrische Energie in einem anderen verwendet und umgekehrt.

Bei Nicolsons Schwingkreis handelte es sich um eine ganz andere Form einer technischen Neuerung, da dabei ein Piezokristall als Umwandler von elektrischer Energie in mechanische Energie und wieder zurück in elektrische Energie verwendet wurde. Als Nicolson seinen Schwingkreis entwickelte, hatte man vorher weder die potentiellen Funktionen eines piezoelektrischen Schwingungserzeugers untersucht, noch darüber diskutiert. Sein Patentantrag enthielt keine Beschreibung der Funktion des Kristalls, obwohl der Kristall vermutlich auf eine Art und Weise die Übertragung eines Teils der Energie des Anodenstromkreises auf den Gitterkreis übernahm.

Es gab Beweise dafür, daß die Normalschwingungen des Kristalls in Wirklichkeit die Frequenz steuerten, wobei aber diese Tatsache nicht erwähnt wurde.

Der Schaltkreis verkörpert hingegen beide Funktionsgrundsätze von Koppler, Filter und Resonator. Anscheinend fungiert der Kristall als Koppler zwischen dem Anoden- und Gitterstromkreis, und insofern der Kristall die Rückmeldung der Anodenenergie mit Ausnahme von jener, die in der Frequenz des Normalschwingungsmodus des Kristalls auftritt, sperrt, kann man sich vorstellen, daß der Kristall die Funktion eines Filters erfüllt, auch wenn er insgesamt die Aufgabe eines Oszillators hat.

Wenn also die Anzapfung der Anode am unteren Ende der Spule angeschlossen ist, so daß die einzige Rückmeldung durch die Anoden-Gitterkapazität der Vakuumröhre erfolgen kann, dann kann der Kristall wie ein herkömmlicher Resonator funktionieren, wobei er die Frequenz wie ein abgestimmter Gitter-Parallel-Schwingkreis steuert – dabei bildet der gesamte Vakuumröhren-Stromkreis das Äquivalent eines „Huth-Kühn-Senders“.

Aus diesem Grund kommt Dr. Nicolson die Ehre zugute, der Erste gewesen zu sein, der den Piezokristall ausschließlich als „Stromkreiselement“ mit all seinen wichtigen Funktionen in einem Stromkreis verwendete.

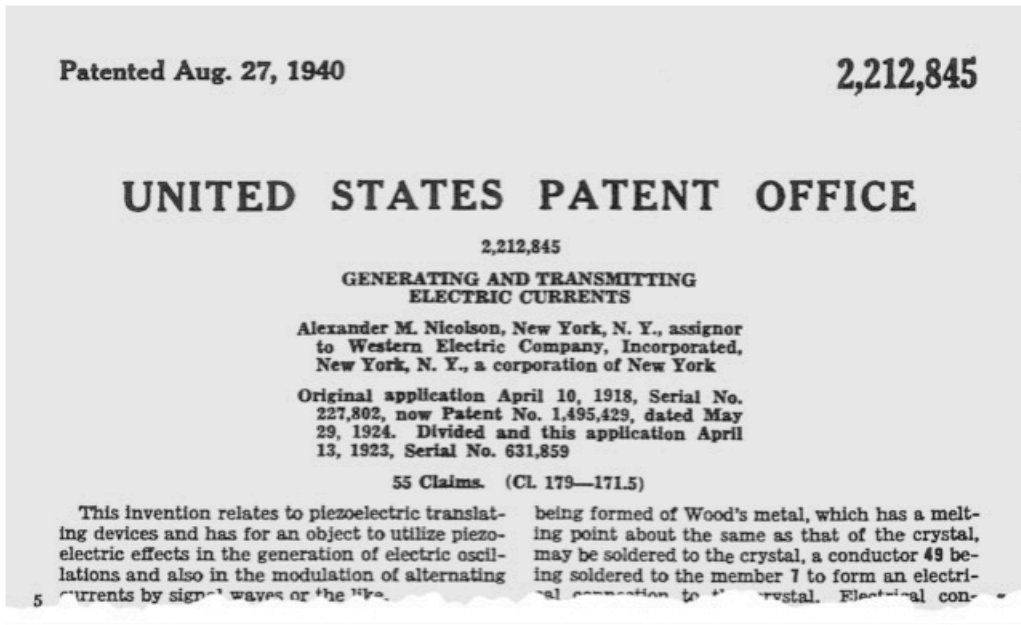
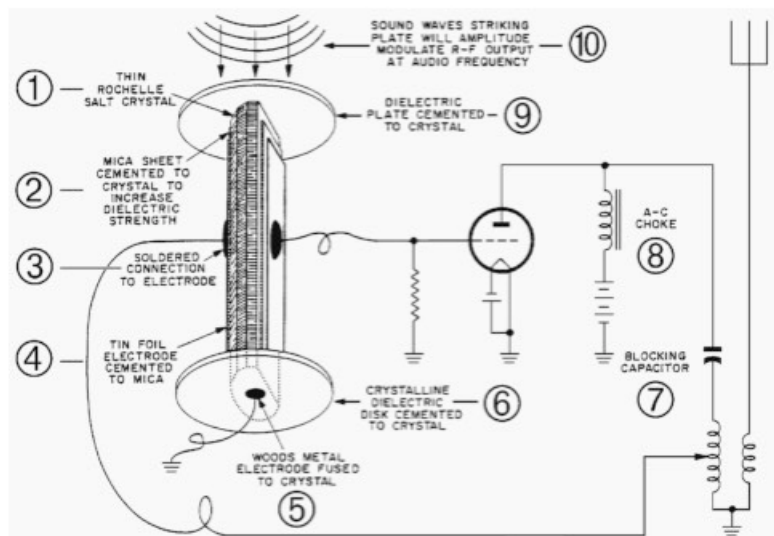


Abb. 5.4 Patentschrift von A. M. Nicolson, 1918

Abb. 5.5
Der erste
kristallgesteuerte
(Rochellesalz-) Oszillator von
A. M. Nicolson
1918



Zu Abb. 5.4

- ① Dünne Kristallplatte aus Rochellesalz
- ② Glimmerplättchen, welches am Kristall befestigt ist, zur Erhöhung der elektrischen Spannungsfestigkeit
- ③ Lötverbindung zur Elektrode
- ④ Elektrode aus Stanniol, die am Glimmerplättchen befestigt ist
- ⑤ Aus Woodschem Metall bestehende mit dem Kristall verschmolzene Elektrode
- ⑥ Kristalline, am Kristall befestigte Platte
- ⑦ Sperrkondensator
- ⑧ Wechselstromspule
- ⑨ Am Kristall befestigte dielektrische Platte
- ⑩ Schallwellen, die auf die Platte auftreffen, modulieren die Amplitude einer Hochfrequenz im Rhythmus ihrer Niederfrequenz-Schwingungen

Obwohl Nicolson der Vater des Piezokristallstromkreises war, so war Prof. Walter G. Cady von der Wesleyan Universität sein größter Prophet. Cadys Interesse am elektro-mechanischen Verhalten von einem im Normalmodus schwingenden Kristall wurde ja, wie bekannt, 1918 während einer Reihe von Experimenten geweckt, welche man durchführte, um den Nutzen von Platten aus Rochellesalz für Unterwassersignale zu untersuchen. Die von ihm entdeckten Schwingungseigenschaften erlaubten es ihm, sich die größten Möglichkeiten vorzustellen, welche der Piezokristall als hochstabiler Resonator zu leisten vermag.

Cady reichte im Januar 1920 einen Patentantrag für einen piezoelektrischen Resonator ein. Er war sich aber nicht der Tatsache bewußt, daß Nicolson bereits schon der Ansicht war, sein Oszillator werde von der Resonanz eben jenes Kristalls gesteuert. Bei einem darauf folgenden Rechtsstreit über die Entdeckung des Prinzips des piezoelektrischen Resonators wurde zum Vorteil von Dr. Nicolson entschieden.

Nun zu den zwei wichtigsten Patenten von Cady:

US-Patent 1,450,246 vom 3. April 1923 – **Piezo Elektrischer Schwingkreis.**

Es entstehen hochfrequente Schwingungen, wenn eine längliche Quarzplatte elektrisch angeregt wird. Die maximalen Schwingungen werden erreicht, wenn die optimale Frequenz des Quarzes erreicht wird. Kapazitive und Widerstandseigenschaften des Kristalls bilden einen Schwingkreis, der vergleichbar ist mit den Akustischen Schwingkreisen von Helmholtz.

Die Auswahl der Resonanzfrequenzen ist von der Form des Kristalls abhängig – eine längliche Platte gibt die genaueste Einzelfrequenz. Cady spricht im Dokument von gedämpften Wellen, Abstimmung zum maximalen Strom und maximaler (optimaler) Frequenz, von harmonischen Wellen und Schwingungen. Sein Versuchsaufbau ermöglicht die Kalibrierung eines Kristalls im Schwingkreis zu einer dem Kristall entsprechenden Normalfrequenz. Einige Beispiele des Aufbaus, aber keine weiteren praktischen Anregungen zur Verwendung werden beschrieben.

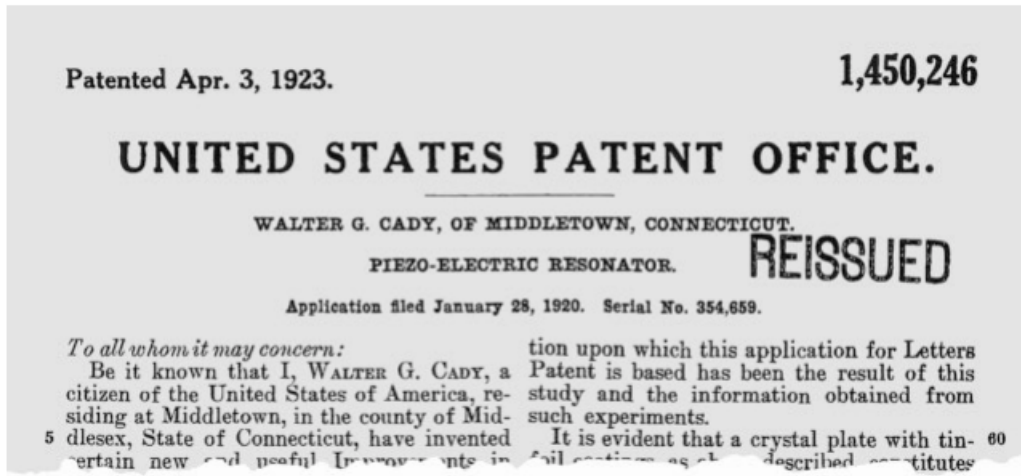


Abb. 5.6 Piezo-Elektrischer Schwingkreis. Cady, April 1923.

US-Patent 1,472,583 vom 30. Oktober 1923 –

Methode zur Erreichung elektrischer Ströme konstanter Frequenz

Die Erfindung kann benutzt werden, Informationen zu verbreiten, oder Meßaufbauten ergänzen, in denen ein konstanter Strom einer konstanten Frequenz benötigt wird. Die Erfindung baut auf Patent Nr. 1,450,246 auf, in dem die Voraussetzungen zu diesem Aufbau geschaffen wurden.

In Fig. 1 wurde die Erfindung in einen „Armstrong-Schwingkreis“ eingefügt. In Fig. 2 wurde ein dreistufiger Schwingkreis-Verstärker mit der Erfindung komplettiert.

Die Kristall-Oszillatoren haben eine beidseitige Metall-Beschichtung. Die elektrischen Schwingungen folgen den mechanischen Schwingungen des Kristalls. Die Quarze mit zwei Beschichtungspaaren lassen eine Synchronisierung des Eingangskreises zum Ausgangsschwingkreis zu.

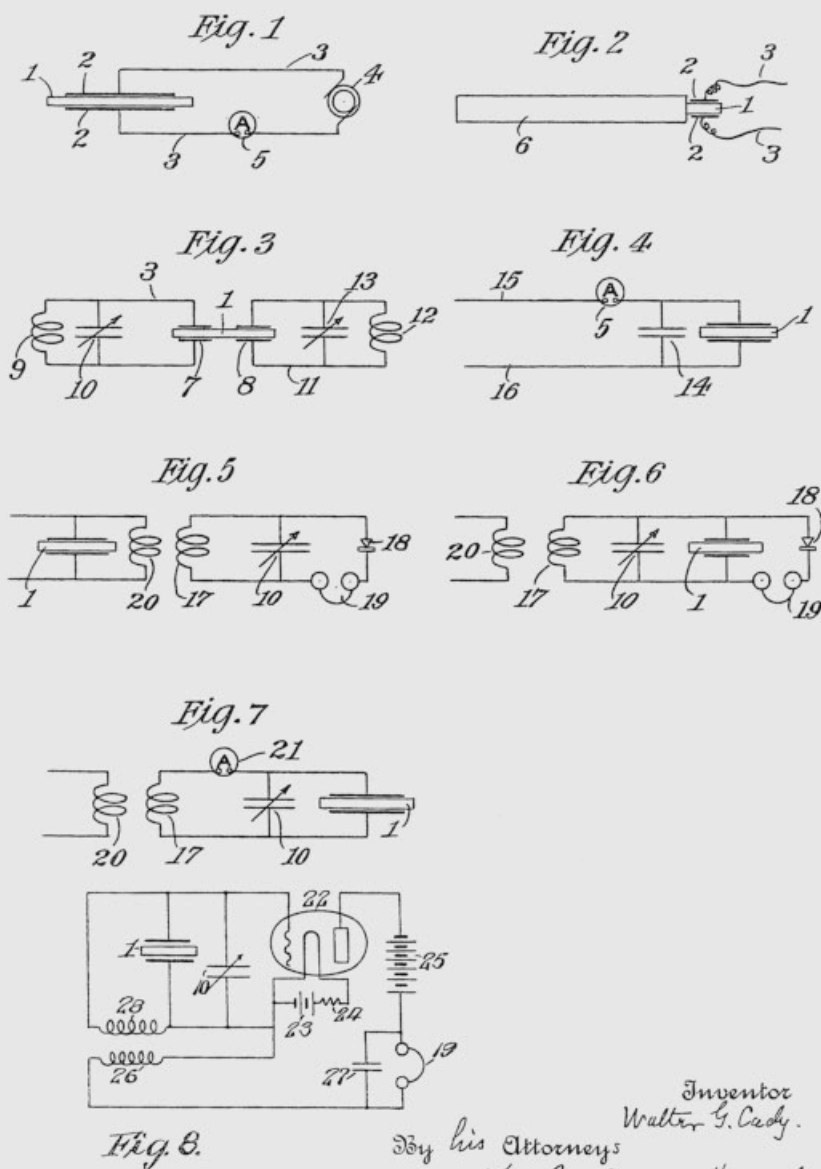
Apr. 3, 1923.

1,450,246

W. G. CADY

PIEZO ELECTRIC RESONATOR

Filed Jan. 28, 1920



Inventor
Walter G. Cady.
By his Attorneys
Kerr, Papp, Cooper & Hayward

Abb. 5.7 Zu Patent Nr. 1,450,246

Patented Oct. 30, 1923.

1,472,583

UNITED STATES PATENT OFFICE.

WALTER GUYTON CADY, OF MIDDLETOWN, CONNECTICUT.

METHOD OF MAINTAINING ELECTRIC CURRENTS OF CONSTANT FREQUENCY.

Application filed May 28, 1921. Serial No. 473,434.

REISSUED

To all whom it may concern:

Be it known that I, WALTER G. CADY, a citizen of the United States of America, residing at Middletown, in the county of Middlesex, State of Connecticut, have invented certain new and useful Improve-

tric resonator that I take advantage of for my present purpose are—first: that property by virtue of which such a resonator, whose vibrations are maintained by impulses; received from one electric circuit, may be used to transmit energy in the form

Abb. 5.8 Methode zur Erreichung elektrischer Ströme konstanter Frequenz.
Cady, Oktober 1923.

Im Anschluß eine kurze Zusammenfassung zum „Cady-Oszillator“:

Einen der ersten geregelten Oszillatoren hatte Cady im Jahr 1921 gebaut. Er bestand aus einem Röhrenverstärker mit einer Vakuumröhre, dessen Ausgang über einen Kristall mit dem Eingangsgitter der Röhre verbunden war. Die Konfiguration des Oszillators mit drei Vakuumröhren wird unter *Fig. 2* in der Patentschrift 1,472,583 von 1923 beschrieben. Wichtig war, daß je nach Verwendung der verschiedenen hohen Verstärker-Kennlinien der Röhren bei verschieden hoher Einstellung der elektrischen Leistung des Schwingkreises die Frequenz konstant blieb. Seine Erfindung baute auf der Verwendung von zwei Elektrodenpaaren auf – diese wurden wiederum in einer selbstgeregelten Rückkopplung verwendet.

Cady erhöhte ebenfalls die Stabilität des Schaltkreises durch Verwendung einer Verstärker-Röhren-Kaskade. (In seiner Zeit allerdings eine teure Angelegenheit.)

Er beschrieb ebenfalls eine Optimierung der Anzahl von Induktivitäten und Kapazitäten. Seine Voraussetzungen an den Kristall waren die, daß eine Metallbeschichtung entweder aufgebracht wurde oder metallene Plättchen als Leiterelektroden verwendet wurden.

Zu den Befestigungsvorrichtungen der Cadyschen Quarzresonatoren noch einige Erläuterungen.

Bei seinen ganz frühen Experimenten mit Resonatoren verwendetet Cady Stäbe aus Rochellesalz und später Quarz, die an der Seite mit einer Schicht aus Stanniolpapier

Oct. 30, 1923.

W. G. CADY

1,472,583

METHOD OF MAINTAINING ELECTRIC CURRENTS OF CONSTANT FREQUENCY

Filed May 28, 1921

Fig. 1.

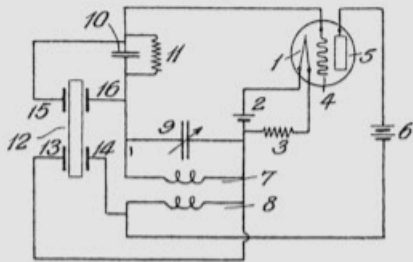


Fig. 2.

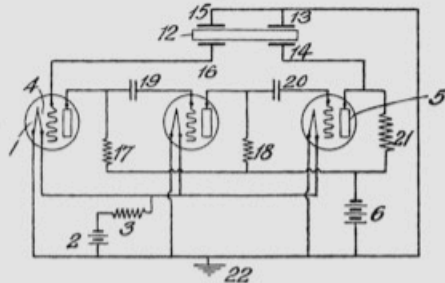


Fig. 3.

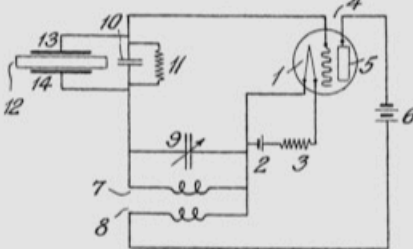


Fig. 5.

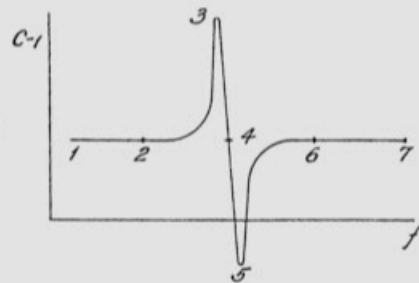


Fig. 4.

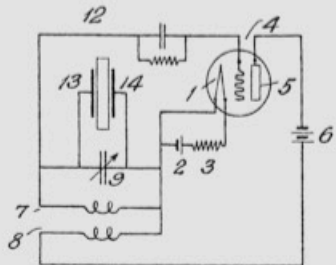
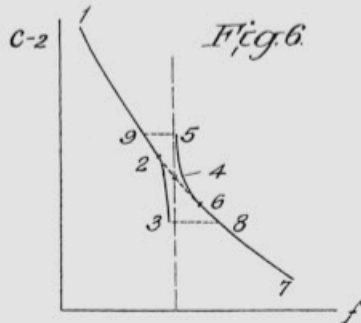


Fig. 6.



Inventor
Walter G. Cady
By his Attorneys
Kerr, Page, Cooper & Hayward

Abb. 5.9 Zu Patent Nr. 1,472,583

befestigt waren. Die Stäbe wurden an feinen Drähten hängend flach auf den Tisch oder auf weiche Wattebüsche (!) gelegt. Cady fand heraus, daß bei Entfernung des Stanniolpapiers die Resonanz viel stärker war. In diesem Versuch stand der Kristall auf der Kante zwischen zwei Messingelektroden. Zwischen den Elektroden ließ man einen schmalen Luftspalt frei.

In manchen Fällen hingen die Stäbe auch an Seidenfäden, die um ihre Mitte gewickelt waren, damit sie in dem Luftspalt zwischen den Elektroden besser schwingen konnten. In den folgenden Abbildungen sind einige der in den frühen 1920er Jahren verwendeten Quarzstäbe mit den typischen Haltevorrichtungen jener Zeit dargestellt. Damals untersuchte man nur die Longitudinalschwingungen der Stäbe, da man noch nicht vorhersehen konnte, daß man Quarzplatten auch in Dickenschwingungen versetzen konnte.

Bei den 1923 verwendeten, primitiven Befestigungsvorrichtungen lagen, wie schon angedeutet, die Quarzstäbe lose in Taschen, die zwischen Elektroden platziert waren. Die Dämpfung war relativ hoch und die Frequenz schwankte durch die leichten Versetzungen des Kristalls. Zudem konnte man auch die Temperatur nicht steuern. Die Präzision betrug ungefähr 0,1 Prozent. –

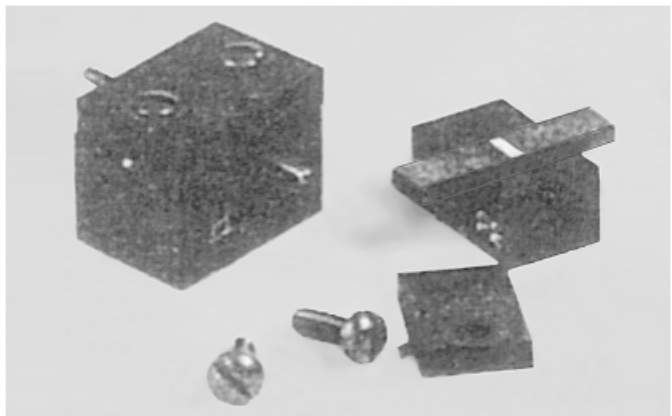
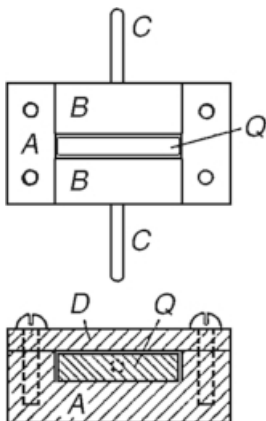
Die folgenden Abbildungen zeigen die ersten Befestigungsvorrichtungen für Quarzresonatoren.

Die Quarzschnitte waren ja damals alles X-Schnitte, die Länge parallel zu Y.

Die Gehäuse A und die Abdeckungen D waren aus Hartgummi oder Bakelit mit den Messingelektroden B.

Abb. 5.10 zeigt eine komplette Resonatorausführung z. B. für 800 KHz.

Abb. 5.10 Resonatorfassung – Aufbau und Ansicht, 1923



Cady hat bei seinen frühen Arbeiten auch Untersuchungen über „zusammen gesetzte Schwingquarze“ durchgeführt. Dabei wurden Kristalle auf Metallstäbe aufgebracht und diese dann in der Längsrichtung zum Schwingen gebracht. Ein einzelner X-geschnittener Rochellesalz-45°-Stab von 1 bis 2 cm Länge wurde auf einen Stahlstab von 15 cm Länge aufgeklebt.

Die Schwingversuche waren so erfolgreich, daß sie zu weiteren Untersuchungen anregten. Die weiteren Versuche wurden mit Stäben der verschiedensten Metalle sowie auch aus Glas und Keramik durchgeführt, um für diese Materialien die dynamischen Werte des Youngschen Moduls (Elastizitätsmodul) zu ergründen. Zwei solche Resonatoren werden in *Abb. 5.11* gezeigt.

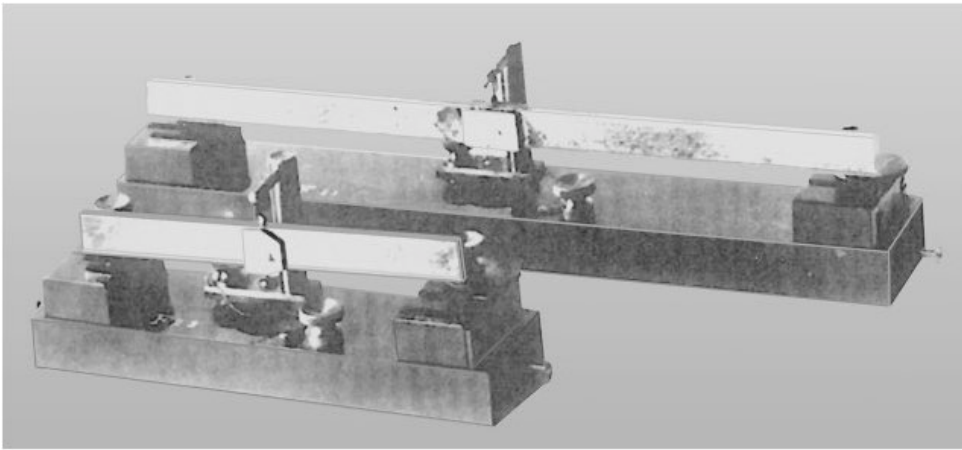
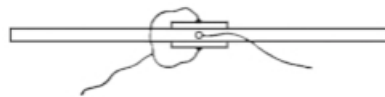


Abb. 5.11 Frühe Ausführungen von Piezoresonatoren

Abb. 5.12

Aufbau Quarz-Stahl-Resonator, 1923



Bei obigem Resonator (*Abb. 5.12*) wurden die Quarzplättchen auf die flachen Seiten des Stahlstabes gekittet, ihre äußeren Zinnfolien wurden parallel angeschlossen. Die Aufhängung, an der der Stab befestigt ist, diente als einer der Anschlußpole.

Prof. George Washington Pierce von der Universität Harvard mit seinen umfassenden praktischen Erfahrungen in der Radiotechnik verlor kaum Zeit, den Oszillator- Schaltkreis von Cady zu kopieren und dann zu vereinfachen. Im Oktober 1923 reichte Pierce einen Bericht über seine eigenen neuen Entwicklungen bei der Sitzung der Amerikanischen Akademie der Künste und Wissenschaften ein.

Obwohl Pierce damals mehrere mit Oszillatorschaltungen verbundene Konzepte patentieren ließ, möchte ich hier nur die wichtigsten im Detail beschreiben.

Bis 1920 wurden im wesentlichen bei allen mit Vakuumröhren versehenen Oszillatorschaltkreisen Induktivitäten und Kapazitäten als Frequenzwahlelemente und auch als Instrument zur Rückführung eines Teils der verstärkten Energie vom Röhrenaussgang zum Röhreneingang verwendet, um die Schwingungen aufrecht zu erhalten.

Obwohl viele Forscher in jener Zeit piezoelektrische Kristalle in ihre Schaltkreise aufnahmen, war es schwierig, die Schaltkreiskomponenten so zu bemessen, und einzustellen, daß die Frequenz durch die elektromechanische Resonanz des Kristalls gesteuert wurde.

Der kristallgesteuerte Oszillatorschaltkreis von Cady war nicht mit Induktivitäten und Kapazitäten ausgestattet, sondern es wurden drei kostspielige Vakuumröhren und ein langer vierpoliger Kristall verwendet.

Nach einigen Monaten Entwicklungsarbeiten im Labor entdeckte Pierce eine sehr simple kristallgesteuerte Oszillatorkonfiguration, bei der nur eine Röhre und ein zweipoliger Kristall verwendet wurde. Die Schaltung war nicht stabiler als Cadys Oszillator, aber ihre Flexibilität und Einfachheit der Konstruktion und der Anwendung waren im Vergleich zu Cadys Schaltkreis ein enormer Vorteil in der Praxis.

Bald nach der Entwicklung dieser Verbesserungen begann Pierce mit seinem Patentanwalt David Rines ein Patent dafür aufzusetzen. Die danach beginnende Patentschlacht zwischen Pierce und Rines auf der einen Seite und der *American Telephon and Telegraph Company* auf der anderen würde allein ein Buch füllen. Ich will die Geschehnisse nur in groben Zügen schildern.

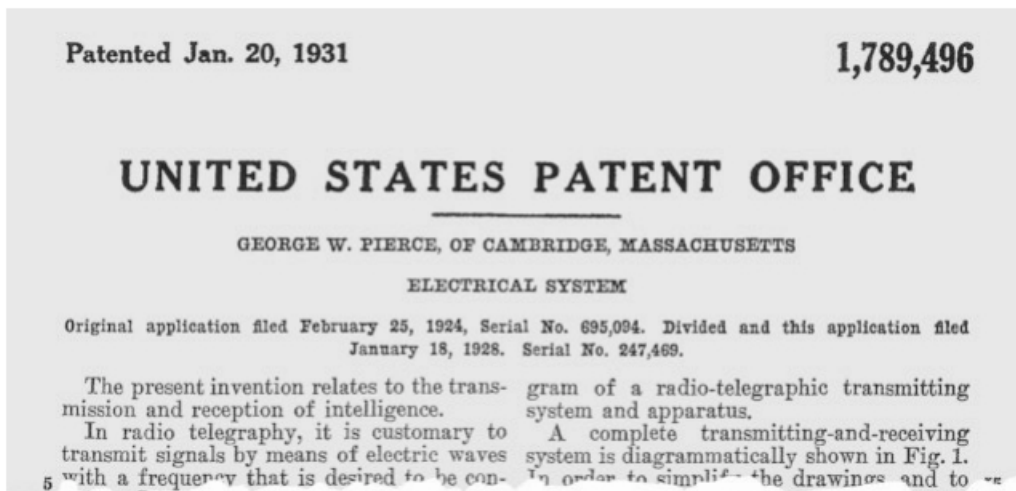


Abb. 5.13 Pierce-Oszillator-Patent (Basispatent)

Jan. 20, 1931.

G. W. PIERCE

1,789,496

ELECTRICAL SYSTEM

Original Filed Feb. 25, 1924

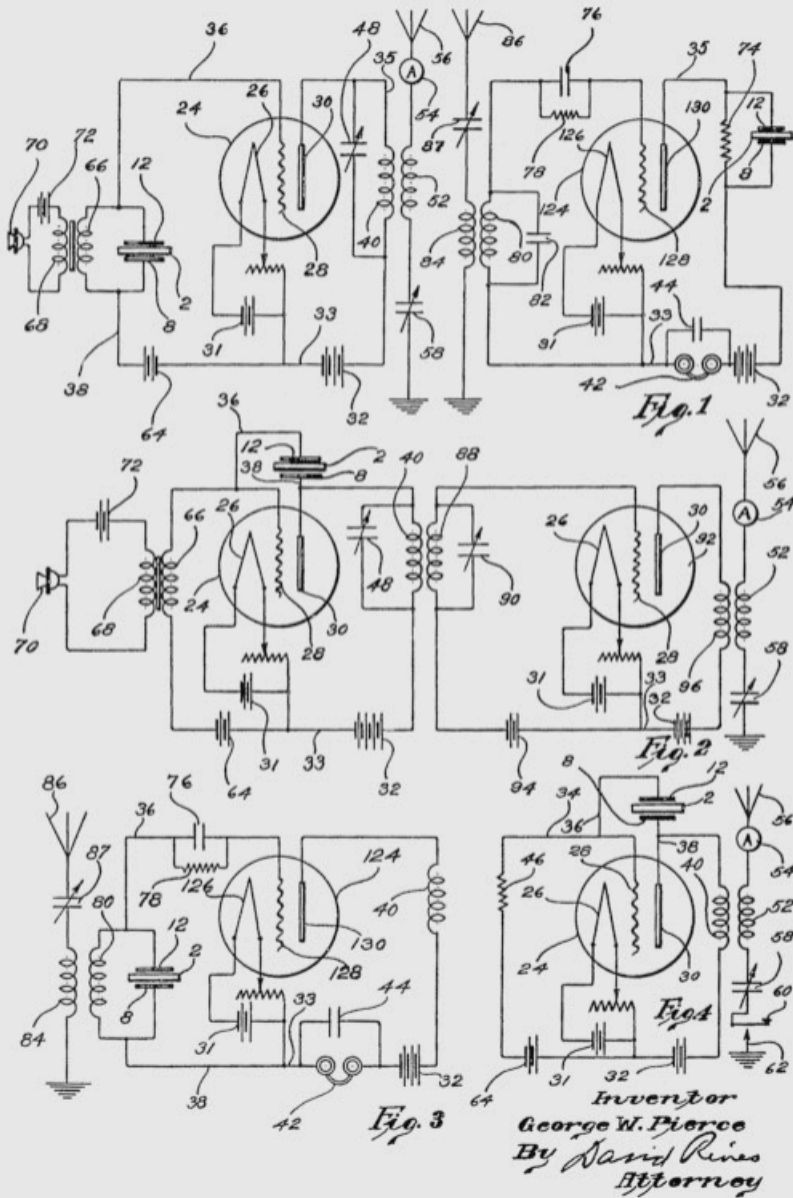


Abb. 5.14 Zu Patent Nr. 1,789,496

Nachdem Cady und Pierce ihre Arbeiten in der allgemein zugänglichen Literatur veröffentlicht hatten, begannen Wissenschaftler in Privat- und Regierungslaboratorien Patente zu beantragen, die sich nach Rines Meinung mit den Anträgen von Pierce überschneiden.

Von Pierce ermutigt, erhob Rines Einspruch und klagte beim Amerikanischen Patentamt. In mindestens einem dieser Anträge von Pierce stellte die AT&T fest, daß sich das eingereichte Pierce-Patent mit dem Patent von Nicolson überschneidet.

AT&T behauptete, daß der Antrag von Pierce im wesentlichen auf bereits ausgestellten oder beantragten Patenten Nicolson's beruhte. Weder Rines noch Pierce wollten dieses Argument zulassen, da es jedes Patent, welches Pierce möglicherweise zugesprochen würde, lahm legen würde.

Bis zu einem gewissen Punkt waren alle Prozesse zwischen Pierce und der AT&T „Interferenzprozesse“, die im wesentlichen Zivilrechtsstreite zwischen den beteiligten Parteien und dem Patentamt darstellten. Ein Patent kann erst erteilt werden, wenn das Patentamt eine „Interferenz“ auflöst.

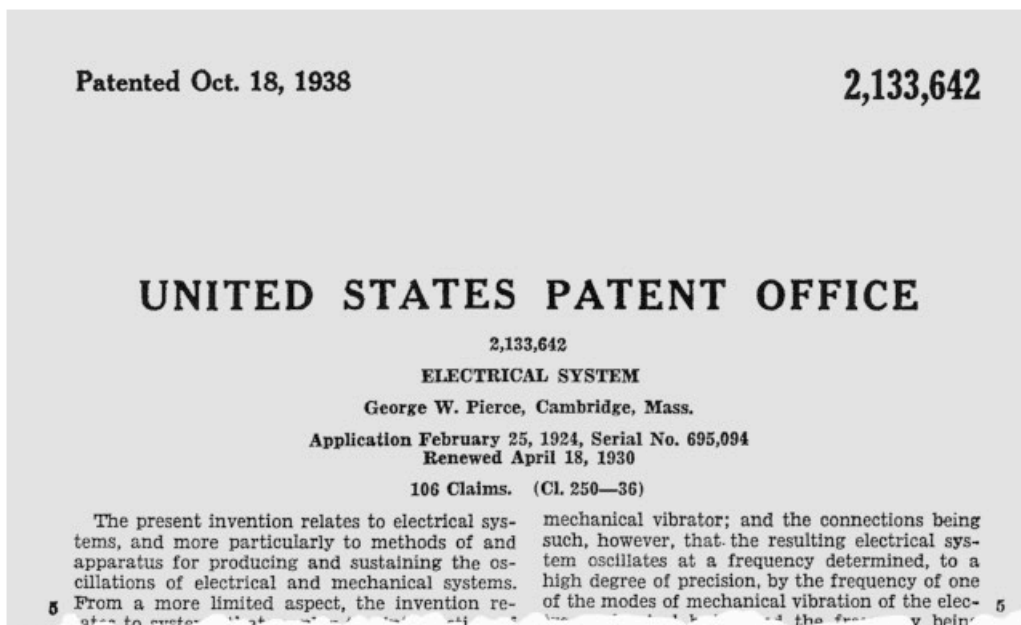


Abb. 5.15 Pierce-Oszillator-Patent von 1938

Die Technologie von kristallgesteuerten Oszillatoren erwies sich vom Moment ihrer Einführung an als immer wertvoller, und zwar sowohl für die Anwendung in der Radiotechnik als auch für bestimmte Zwecke in der Draht-Fernmelde-Technik.

Oct. 18, 1938.

G. W. PIERCE

2,133,642

ELECTRICAL SYSTEM

Original Filed Feb. 25, 1924

3 Sheets-Sheet 1

Fig. 1

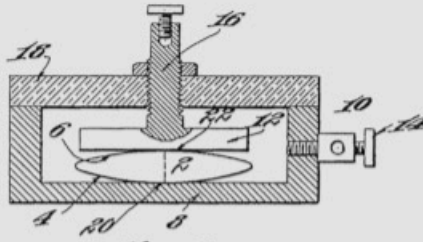


Fig. 2

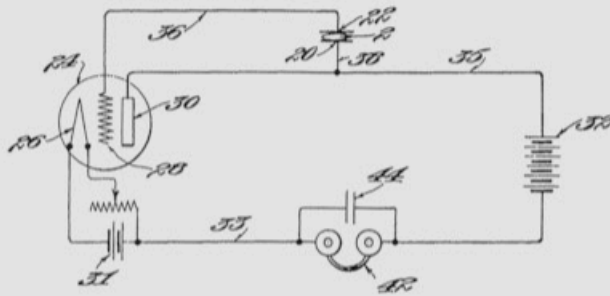


Fig. 3

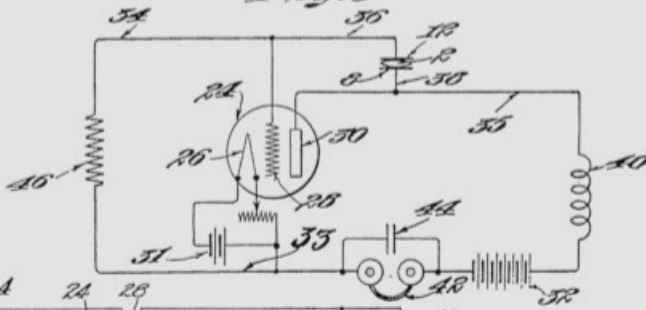
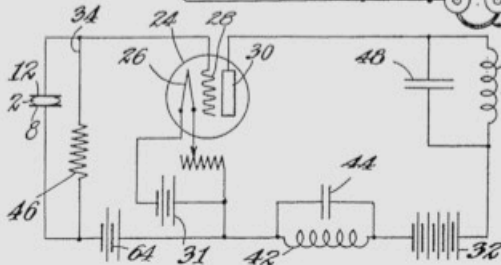


Fig. 11.



Inventor
George W. Pierce
by David Rines
Attorney

Technologisch fortgeschrittene Amateurfunken und Radiostationen nahmen die neue Technologie an, durch welche ihre Übertragungen nun beständig auf einer Frequenz bis auf einen kleinen Bruchteil eines Prozents gehalten werden konnten.

1932 gab die *Federal Radio Commission* (Vorgänger zum FCC) neue Vorschriften über die Frequenztoleranz für Sendestationen heraus. Sie beschränkte die zulässige Abweichung von der zugewiesenen Frequenz von ± 500 Hertz auf ± 50 Hertz.

Diesem enger gefaßten Spielraum konnte man durch Verwendung von kristall-gesteuerten Steuerstufen entsprechen.

Der Patentanwalt Rines entschloß sich damals in einem klugen aber riskanten Schritt, an einem öffentlichen Gericht gegen die AT&T zu klagen. Er beschuldigte das Unternehmen monopolistischer Praktiken. Im Antimonopolklima der 30er Jahre stellte dies eine von AT&T unerwünschte Art von „Publicity“ dar. Durch ein persönliches Zusammentreffen von Pierce und dem Präsidenten von AT&T wurde dann dieser Patentstreit bereinigt und beigelegt. Als der Widerstand seitens AT&T ausgeräumt war, stellte das Patentamt am 18. Oktober 1938 schließlich sieben von Pierces Kristalloszillator-Patenten aus.

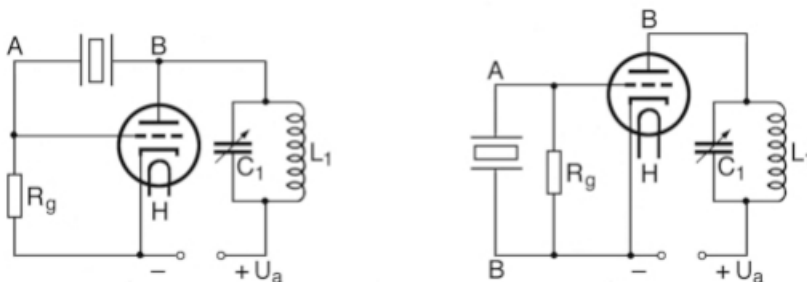
Der Pierce-Kristalloszillator hat eine weit verbreitete Anerkennung gefunden, da er eine gute Frequenzstabilität und eine große Vielseitigkeit hat und äußerst einfach im Aufbau ist.

Die Pierce- und Pierce-Miller-Schaltkreise:

Im Pierce-Schaltkreis ist der Kristall zwischen Gitter und Anode platziert, während er sich beim Pierce-Miller-Schaltkreis zwischen Gitter und Kathode befindet.

Die Pierce-Abhandlung in den *Proceedings of the American Academy of Art and Sciences* beschreibt lediglich die Gitter-Anoden-Anordnung.

Abb. 5.17 Pierce- (links) und Pierce-Miller-Schaltkreis (rechts) im Vergleich



Obwohl Pierce durch eine Gerichtsentscheidung der Vorrang für die Gitter-Anoden-Konfiguration zugesprochen wurde, kann man nicht leugnen, daß J. M. Miller ein Anteil am Verdienst zusteht. In der Literatur werden die Schaltkreise gemeinsam *Pierce-Schaltkreise* genannt, und so wird dieser Ausdruck als Oberbegriff verwendet.

Richtig wäre es aber, bei einer Gitter-Kathoden-Anordnung von einem Pierce-Miller-Schaltkreis zu sprechen! (Siehe auch J. M. Miller US-Patent 1,756,000 am 22. April 1930.)

Seit dem 25. Mai 1922 betrieb die Amerikanische Telefon- und Telegraphengesellschaft die Rundfunkstation WEAf in New York City.

Das Department of Commerce (Ministerium für Handel und Verkehr) wollte zuerst der Station die Kennung WDAM oder WECO zuteilen. Die AT&T akzeptierte aber diese Kennung nicht und schlug – WEAf – vor, abgeleitet aus den Begriffen für die vier Elemente – **W**ater – **E**arth – **A**ir – **F**ire –. Vielleicht wollte die AT&T auf diese alte Symbolik zurückgreifen, um zu beschreiben, wie sich das Verhältnis des Menschen zu den vier Elementen gewandelt hat. Wissenschaft und Technik haben die Elemente zum Nutzen des Menschen gebändigt, und dazu gehört auch der Rundfunk!

Hin und wieder gab es Beschwerden über eine schlechte Wiedergabequalität in den Abendstunden, die man von der Station wahrnahm. Einige Hörer berichteten über die schlechte Qualität, während zur selben Zeit andere Hörer ausgezeichnete Qualität meldeten. Nach der Überprüfung der Geräte bei den Hörern mit der schlechten Empfangsqualität zeigte sich, daß das Phänomen mit dem Standort zusammenhing. Eines Abends war die Empfangsqualität in der Nähe von New Canaan, Connecticut, so miserabel, daß die Techniker von der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der AT&T daraufhin begannen, eine Studie über die Ursache dieser schlechten Qualität durchzuführen. Im Februar 1926 wurden die Ergebnisse dieser Studie veröffentlicht. Die Techniker fanden heraus, daß abends, wenn die Signale nicht nur über den direkten Weg der Bodenwelle, sondern auch über Reflexion der Raumwelle an der Ionosphäre kommen konnten, die Empfangsqualität schlecht wurde. Eine Reihe von Tests brachte diese Störungsursache ans Licht.

Bis zu jener Zeit bestanden Rundfunksender aus einem anodenspannungsmodulierten Oszillator (oder selbsterregtem Sender). Die Frequenz des Oszillators schwankte um einige Hertz während des Modulierens bei jeder Modulationsfrequenz. Die in New Canaan über zwei unterschiedlich lange Ausbreitungswege empfangenen Rundfunksignale unterschieden sich in ihrer momentanen Frequenz wegen der schwankenden Sollfrequenz des Senders und der unterschiedlichen Laufzeiten. Die momentanen Frequenzabweichungen (beider Wellenzüge) erzeugten Störungen im daraus resultierenden Gesamtsignal in der Empfangsantenne und ergaben ein stark verzerrtes Signal, das zeitweise nicht identifizierbar war.

Die Techniker konnten aufzeigen, daß durch die Verwendung einer sehr konstanten Oszillatorfrequenz im Sender, wodurch die Schwankungen während des Modulationsvorgangs (Modulationszyklus) vermieden wurden, der Empfang deutlich verbessert werden konnte.

Zur Gewährleistung dieser Frequenzkonstanz während des Modulationsvorganges verwendeten sie einen **quarzugesteuerten Oszillator** mit nachfolgenden Verstärkerstufen für die Ansteuerung der Endstufe.

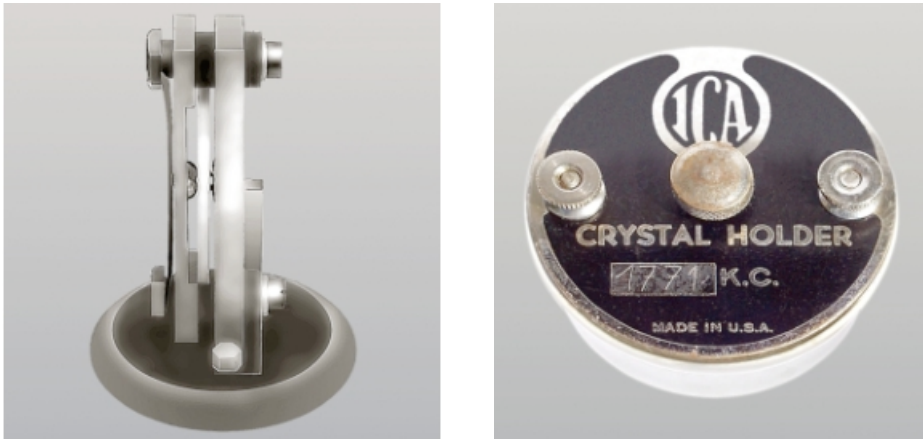


Abb. 5.18 Amerikanische Schwingquarze aus den Zwanziger Jahren
links: 75,6 KC – rechts: 1771 KC

Die bis jetzt aufgezeigten Entwicklungen fanden in der Hauptsache fast ausschließlich in Frankreich und in den USA statt, und so möchte ich nun zu weiteren Aktivitäten in der „Piezoanwendung“ in anderen Ländern überleiten.

In Deutschland wurde „Cadys Oszillator“ von den Firmen Telefunken und Lorenz als Grundlage für ihre Forschungen und der Anwendung frequenzkonstanter Sender verwendet.

Die Entwicklung der Großsender anfangs der Dreißiger Jahre hat sich im wesentlichen in zwei Richtungen vollzogen:

- Vergrößerung der Sendeleistung
- Erhöhung der Frequenzkonstanz

Diese Entwicklungen sind nicht unabhängig voneinander, denn die Verkehrssicherheit im drahtlosen Nachrichtenverkehr erfordert eine gegenseitige Störungsfreiheit, die mit wachsender Stärke und Zahl der eingesetzten Sender in erster Linie durch höhere Anforderungen an ihre Frequenzkonstanz zu erfüllen ist.

Mit der Entdeckung der Verwendbarkeit der Kurzwellen für den transozeanischen Nachrichtenverkehr ist die Forderung einer Hochfrequenzerzeugung mit hoher Konstanz in verstärktem Maß hervorgetreten. Für Kurzwellensender hat die Quarzsteuerung ihr erstes praktisches Anwendungsgebiet erfahren.

In der ersten Zeit der Kurzwellensender-Technik waren es aber noch einstufige selbst-erregte Sender. Sie waren damit hinsichtlich ihrer Frequenz sehr empfindlich gegen Spannungsschwankungen und mechanische Erschütterungen.

Daher wurde zunächst versucht, die mechanischen Erschütterungen durch Montage der Steuerstufen auf Betonklötzen fernzuhalten. Dieses half bei den selbsterregten Sendern natürlich wenig. Man sah z. B. in Amerika damals keine Notwendigkeit, ein Element wie den Quarz in einem Rundfunksender einzusetzen, obwohl doch dort die Quarzsteuerung erarbeitet wurde (*siehe auch Sender WEA*). –

Man sah wohl eine Verwendung im Bureau of Standards zur Standardisierung der Frequenzen und in einigen Versuchslabors für Labormessungen.

Zu der Verwendung von „Kurzwellen“ möchte ich noch kurz die folgende kleine Episode einflechten. Sie stammt aus den persönlichen Erinnerungen von Prof. W. Runge (Leiter des Telefunken-Forschungsinstituts in Ulm von 1955–1963):

... Mit dem transatlantischen Kurzwellenverkehr hatte Telefunken schon sehr früh begonnen. Der welterste Kurzwellensender für transatlantischen kommerziellen Telegrammverkehr hat auf der Strecke Nauen–Villa Elisa Buenos Aires bereits im Sommer 1924 den Betrieb aufgenommen. Ursprünglich war der Kurzwellenverkehr eine Verlegenheitslösung gewesen. Telefunken hatte eine Längswellen-Großstation nach Argentinien geliefert, hatte sie in Monte Grande bei Buenos Aires aufgestellt und eine Verkehrsgarantie übernommen, die nicht erfüllt werden konnte. Zwar war Monte Grande in Deutschland einwandfrei zu empfangen, jedoch war der Empfang von Nauen in Villa Elisa unmöglich, denn man hatte nicht gewußt, daß die aus der Bucht von Mexiko stammenden Luftstörungen dort um ein Vielfaches stärker sind, als man angenommen hatte. Man versuchte, in Villa Elisa mit einer Längswellen-richtempfangsanlage diese Störungen wenigstens zu mildern und hatte zu dem Zweck Ende 1923 Dr. Gothe, einen jungen Mitarbeiter von Dr. Esau, nach Buenos Aires geschickt, der aber an Ort und Stelle die Hoffnungslosigkeit aller Bemühungen bald einsah. Nun hatten damals die amerikanischen Amateure, denen ihre den Betrieb auf den damals kommerziell verwendeten Wellenlängen störenden Spielereien gesetzlich untersagt worden waren, die Reichweiten auch ganz schwacher Sender mit Wellen unter 100 m Wellenlänge entdeckt, und wer funktechnisches Material und funktechnische Kenntnisse besaß, konnte sich leicht einen Kurzwellenempfänger bauen und diesen nord- amerikanischen Amateur-Funkbetrieb mithören. Das tat auch Gothe zur Erholung von den Versuchen, Nauen auf Längswelle durch das Prasseln und Krachen der Luftstörungen hindurchzuhören. Da er diesen Amateurverkehr aus-

gezeichnet und störungsfrei empfangen konnte, und da die USA von Buenos Aires viel weiter entfernt sind als Europa, schrieb er an Telefunken, man möchte doch versuchsweise von Nauen aus den Telegrammverkehr auch auf Kurzwelle senden. Das wurde zwar in Berlin für eine Schnapsidee gehalten, aber schließlich, man saß in der Klemme wegen der Garantie, und einen Kurzwellensender von einigen Kilowatt zu bauen und an die Tastleitung des Längstwellensenders mit anzuschließen, war keine große Sache. Der Erfolg war überwältigend – die Telegraphisten in Villa Elisa erklärten, nie wieder Längstwellen hören zu wollen, wenn so schöne und klare Zeichen auf Kurzwelle zur Verfügung stünden. Und nun begann man, in Nauen ernsthaft an die Entwicklung von Kurzwellensendern heranzugehen, so daß man im Sommer 1924 mit dem regulären Kurzwellenverkehr beginnen konnte. ...

Weitere Kurzwellensender wurden dann im Jahr 1926 für die Wellen 25 und 40 m bei Telefunken gebaut und in der Großfunkstelle Nauen installiert.

Die damalige Konzeption am Beispiel eines 25-m-Senders:

Die Quarzschwingstufe arbeitete auf der Welle von 100 m, die Energie wurde durch zwei Röhren bis etwa 100 W verstärkt; dann wurde die Frequenz vervierfacht und durch weitere drei Leistungsstufen verstärkt.

Die abgegebene Leistung in der Antenne betrug 10 kW.

Bis 1933 wurden von Telefunken noch weitere Kurzwellensender mit Quarzsteuerung entwickelt und aufgestellt, wie z. B. in Nauen, Buenos Aires und Budapest. 1927 gab die Deutsche Reichspost an die Firma Lorenz einen Auftrag über die Lieferung eines 20-kW-Kurzwellensenders für Nauen in Auftrag. Der Sender wurde 1930 aufgestellt und war für den transatlantischen Telegraphieverkehr vorgesehen.

Seitdem hatte die Technik des Kurzwellensenderbaues große Fortschritte gemacht; der quarzgesteuerte Fremdsteuersender war Stand der Technik.

An dieser Stelle möchte ich in dem folgenden neuen Abschnitt die Arbeiten der Amateurfunker würdigen, es war nämlich schon zur damaligen Zeit so, daß auch die Amateure die Funktechnik vorantrieben (*siehe auch Seiten 191 ff in diesem Kapitel*). Der amerikanische „Radio-Club of Hartford“, wie er früher hieß, hatte in der späteren „American Radio Relay League“ bereits im Jahre 1917 über 4 000 Mitglieder.

Die Ansätze eines Amateurfunks in Deutschland zeigten sich erst viel später als in Amerika, England und Frankreich. Dabei darf man nicht vergessen, daß in Deutschland noch immer das „Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches“ vom 6. April 1892 seine Gültigkeit hatte! Die Postbehörde stellte sich massiv gegen die Funkamateure; der Druck von Seiten der damaligen Radioverbände gegen die eigenartige Einstellung der Reichspost wurde aber dann auch immer massiver.

Endlich lud dann 1925 das Reichpostministerium die Radioclubs nach Berlin ein.

Es wurden dort die vorläufigen Richtlinien für die Regelung des Radioamateurwesens in Deutschland festgelegt.

Einen Artikel aus den Richtlinien möchte ich kurz darlegen:

*„Der Verein erhält das Recht, in dem Versuchslaboratorium zu Ausbildungszwecken auch **Sendeversuche** im Rahmen der Versuchserlaubnis zu veranstalten.“*

Ein „Oldtimer“ schrieb damals: ... *Die Radioamateure (Sendeamateure) sind meistens „vom Fach“. Sie haben die Technik der elektrischen Wellen lange Zeit studiert, denn zur Erlangung einer Sendeerlaubnis haben sie eine Prüfung abzulegen. ...*

Dies erschien im Ausschnitt im „Radio-Amateur“ 1925.

Die Stimmen wurden jetzt immer lauter: „Wie lange sollen wir denn noch warten; kann man es uns verübeln, wenn wir ungeduldig werden?“

Dies waren die Worte an den Vorsitzenden des Oberdeutschen Funkverbandes Stuttgart, v. Stockmayer, 1926.

Auf der dritten Kurzwellentagung in Kassel 1927 wurde eine endgültige Einigung der Amateure aus Süd und Nord beschlossen. Ein neuer Name für den Verband wurde festgelegt – DASD – Deutscher Amateur Sende- und Empfangsdienst.

Nachdem der DASD zu einem fest gefügten Verband geworden war, erfolgte 1927 ein schwerer Rückschlag. Die Reichspost, unter dem Einfluß amateurfeindlich gesinnter Regierungsstellen handelnd, sperrte die seitherige, wenn auch sparsam gehandhabte Lizenzausgabe völlig.

Ab diesem Zeitpunkt Anfang 1928 begann die Blütezeit des *Schwarzsendertums*. Obwohl es auch positive Stimmen aus dem Reichspostministerium gab wie von Ministerialrat Thurn, Referent für das Funkwesen, erschien schon 1925 im Funkalmanach:

... Es ist nicht zu leugnen, daß der Beweis der Brauchbarkeit von kurzen Wellen in weitgehendem Maße den Funkliebhabern zuzuschreiben ist. ...

Eine andere Stimme wie von Prof. Leithäuser, Postrat im Telegraphentechnischen Reichsamt Berlin, ebenfalls im Funkalmanach:

... Es ist dem Fleiß und dem Unternehmungsgeist der Amateure zu verdanken, daß mit den kurzen Wellen in den letzten Jahren erneut Versuche zur Überbrückung großer Entfernungen angestellt worden sind. Die Einrichtung beim Senden und Empfang der kurzen Wellen sind durch die Mitarbeit zahlreicher Amateure bereits auf einem guten technischen Entwicklungsstand angelangt. ...

In dieser „Schwarzsenderzeit“ resignierten viele alte Funkamateure und zogen sich stillschweigend zurück.

Die OMs, welche damals die erste deutsche Schwarzsenderorganisation mustergültig organisierten, waren hauptsächlich die Amateure Horkheimer, Romeike, Slawyk, Garnatz, Evertz, Wigand und andere.

So und nun möchte ich zum eigentlichen Thema überleiten und die Arbeiten dieser Amateure aufzeigen, welche sich in dieser Zeit mit dem Piezoeffekt beschäftigten und hierbei viel Positives und Wegweisendes geleistet haben. Es kann in diesem Rahmen nur ein kleiner Querschnitt dargestellt werden, und so möchte ich die Tätigkeiten folgender Amateure vorstellen:

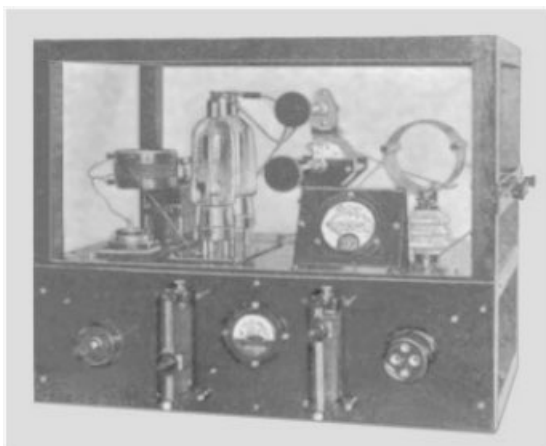
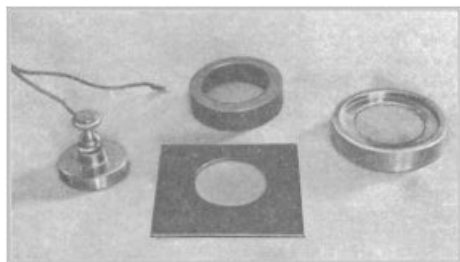
W. Assmann	D4bkh
H. Evertz	DE723
H. G. Laporte	D4veh
R. Rapke	D4bwj

Chr. Schmezer	D4biu
W. Schmitz	EK4aci
R. Wigand	DE0065, D4exf

Als erstes soll die Kurzwellenstation des OM Schmitz aus Mühlheim/Ruhr, es war der sagenumwobene „Mars“, vorgestellt werden. Der Sender war damals schon quarzgesteuert mit einem mustergültigen Gesamtaufbau, Baujahr ca. 1926. Dieser Sender dürfte mithin einer der ersten kristallgesteuerten Amateursender in Deutschland gewesen sein. Die folgende Abbildung zeigt den Stationssender.

Abb. 5.19 Vorderansicht des Kurzwellensenders von W. Schmitz

Abb. 5.20 Kristallhalter mit Quarz



In der Abb. 5.20 ist der Steuerquarz (*Bildmitte*) mit Halter zu sehen. Wie aus einer Abhandlung im *Funk-Bastler Jahrgang 1927* zu entnehmen ist, wurde der Kristall bei der Firma B. Halle, Berlin, angefertigt, der Halter dazu aber sicher in Eigenfertigung hergestellt. Gehaltene Schwingquarze waren in dieser Frühzeit für Amateure kaum erhältlich.

Das Schleifen von Quarzoszillatoren

Von Rolf Wigand, Berlin

In einer Zeit, in der man die den Kurzwellenamateuren zugestandenen Wellenbänder auf ein Mindestmaß herabgesetzt hat, nimmt es nicht wunder, daß immer mehr Amateure zur Quarzsteuerung ihrer Sender übergehen, weil sie damit die Gewähr haben, dauernd über eine konstante, gleichbleibende Frequenz und einen sauberen Ton zu verfügen.

Im folgenden soll erläutert werden, wie die kostbaren Quarzplättchen, die man zur Quarzsteuerung braucht, einwandfrei aus den Kristallen herausgeschnitten werden, wie man die Plättchen schleift und wie man ihre Eigenfrequenz bestimmt.

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten des Herausschneidens, die Abb. 52 skizziert. Der Quarzkristall ist im Querschnitt gezeichnet. Wird die zu schleifende Platte gemäß Abb. 52a aus dem Kristall heraus-

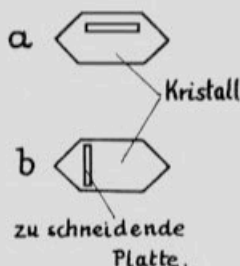


Abb. 52. Wie man die Platte aus dem Quarzkristall heraus-schneiden kann. a liefert den dünnen, b den dicken Typ

geschnitten, also derart, daß die große Fläche parallel zur optischen und elektrischen Achse liegt, so erhält man für dieselbe Frequenz eine geringere Dicke als für den Schnitt nach Abb. 52b, bei dem die große Fläche parallel zur optischen Achse, aber senkrecht zu einer elektrischen Achse liegt. Für die „dünne Form“ (Abb. 52a) ergibt sich die erforderliche Dicke der Quarzplatte in mm aus der Formel

$$d = \frac{1955,75}{f} \quad (1)$$

worin f die Frequenz in Kilohertz bedeutet. Für die „dicke Form“ (Abb. 52b) lautet die Formel

$$d = \frac{2859,96}{f} \quad (2)$$

Der Dickenunterschied der beiden Formen bedingt keinen Unterschied in der Leistung für den Ar...

den. Da die Plättchen für höhere Frequenzen (7000 kHz) sehr dünn sein müssen, ist ein Selbstschleifen sehr schwierig, auch abgesehen davon, daß die dünnen Plättchen sehr leicht zerbrechen; jedenfalls läuft man immer Gefahr, sie durch ungleichmäßigen Druck in der Mitte dünner zu schleifen. Sind hingegen die beiden Flächen innerhalb einer Grenze von

$\frac{5}{100}$ bis $\frac{7}{100}$ mm einander parallel, so

schwingt dieser Typ ausgezeichnet, selbst wenn die Flächen vom Schleifen mit einem verhältnismäßig grobkörnigen Mittel ziemlich rauh sind. Natürlich schleift man diese Rauigkeiten später noch glatt. Das Schleifen geht am besten so vor sich, daß man erst die eine Fläche unter Verwendung feinsten Karborundumstaubes so lange schleift, bis die ganze Fläche auffallendes Licht absolut gleichmäßig reflektiert. Dann befestigt man diese Fläche mit einem Wassertropfen an einem Objektträger (vom Mikroskop!) als Halter und schleift nun nur noch die andere Seite. Bis auf eine Dicke, die etwas oberhalb der gewünschten liegt, schleift man mit etwas gröberem Karborundum (Nr. 150), dann mit immer feinerem, wobei darauf geachtet werden muß, daß man die ganze Fläche plan bekommt (s. o.). Es empfiehlt sich, für das Schleifen mehrere Spiegelglasplatten bereit zu halten, auf denen jeweils nur mit einer Sorte Karborundum und etwas Wasser geschliffen wird. Die Ränder kann man auf einem kleinen, schnell rotierenden Karborundumstein mit etwas Öl leicht abschleifen, etwa so, wie man ein feines Messer schleift.

Beim „dicken“ Typ, zu dem wir jetzt kommen, ist darauf zu achten, daß der mittlere Teil der Fläche keinesfalls eine größere Dicke aufweist als die Ränder. Im Gegenteil: diese Art schwingt besser, wenn man sie auf beiden Seiten etwas konkav schleift. Zuviel des Guten darf man dabei jedoch nicht tun, da der Quarz sonst leicht auf zwei dicht benachbarten Frequenzen schwingt, was natürlich höchst unerwünscht ist. Die Kanten müssen absolut glatt sein, da sonst die Platte u. U. nicht schwingt.

Bei konkav geschliffenen Quarzen ist noch folgendes zu beachten: Bekanntlich wird der Oszillator zwischen zwei plangeschliffenen Platten verwendet; er stellt also das Dielek-

Zu den weiteren Kurzwellenstationen auf demselben Niveau gehörten auch die Stationen der OMs Gramich, Horkheimer, Klotz, Noether und andere – sie waren alle in ihrem Gesamtaufbau ihrer Zeit weit voraus.



Abb. 5.21 b

1931 erschien in der Zeitschrift *Radio für Alle* – RAFA (Abb. 5.21 b – ein informativer Artikel von R. Wigand, Berlin, mit dem Titel: *Das Schleifen von Quarzoszillatoren*. Vorstehend ein Kurzauszug aus diesem Artikel (Abb. 5.21 a, Seite 195).

Der Artikel war in jener Zeit sicher ein Novum – sein Verfasser: Allroundtechniker und Spezialist in der Hochfrequenztechnik.

H. Evertz lernte damals R. Wigand auf einer Kurzwellentagung in Berlin kennen. Wie sich in vielen Gesprächen herausstellte, beeinflusste dessen Artikel Evertz nachhaltig, und so wurden bei ihm hier die Weichen für seine spätere berufliche Tätigkeit gestellt, sich dem Gebiet der Piezoelektrik zu widmen und die Fertigung von piezoelektrischen Bauelementen aufzunehmen (siehe auch Kapitel 7.4 – Piezowerk H. Evertz).

Eichdienst der LGL 5

Nachstehend veröffentlichen wir die Frequenzen derjenigen kristallgesteuerten Amateurstationen, die wiederholt auf Konstanz geprüft wurden und deren maximale Frequenzschwankung $\pm 0,2$ v.T. nicht überstieg. Stationen mit besonders konstanten Frequenzen sind in der Tabelle fett gedruckt. Allen Messungen liegen Normalien der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zugrunde, so daß damit gerechnet werden kann, daß die angegebenen Frequenzen vom Absolutwert im ungünstigsten Falle $\pm 0,1$ v.T. abweichen.

Die Veröffentlichungen werden je nach vorhandenem Material fortlaufend stattfinden, um es jedem Amateur zu ermöglichen, sich an Hand guter Amateurstationen auf den Amateurbändern zu orientieren und sich Empfänger wie Wellenmesser direkt zu eichen.

D 4 ABV	7,1780	SZ	7,169	QB	7,1125
	3,507	UD	7,1295	TJ	7,109
ADC	14,003	UK	7,121	VZ	7,138
WMC	7,202	VD	7,085		
FFG	7,104	VV	7,204	G 5 GY	7,059
EAR 2	7,1755	XFSUFM	7,097	WQ	7,119
				G 6 DB	7,110
F 8 DP	7,094	G 2 BM	7,0985	FA	7,072
FN	7,095	GA	7,060	XG	7,0775
GG	7,2015	HD	7,128	ZR	7,165
HUT	7,153	IO	7,149		
SD	7,0265	IO	7,254	OK 2 AG	7,164
SE	7,160	KB	7,112	OZ 5 A	7,1585
SX	7,185	OW	7,152		

Ferner hat die LGL 5 ihren Eichdienst insofern erweitert, als alle diejenigen CC-Stationen geeicht werden, welche jeden Sonnabend von 22.00 bis 23.00 Uhr MEZ, auf 3,5 MHz und jeden Sonntag von 10.00 bis 11.00 Uhr MEZ, auf 7 MHz

CC - Calibration Service

To Radio: _____

On _____ 193____ AT _____ GMT

Ur CC _____

QRG: _____ **Mc** $\pm 0, \frac{1}{100}$

Pse esk „DASD - LGL 5 - Cologne“ fr ur exact qrg l
vy 73 s DE 723

hierauf Eichkarten via QSL-Post, wie vorstehende Abbildung zeigt.

QSL-Karten und Anfragen bitten wir sofort an die Adresse der LGL 5, Heinz Evertz, Köln, Pantaleonswall 22, zu richten, jedoch können nur Anfragen mit Rückporto beantwortet werden.

Auf den QSL-Karten soll angegeben werden: Grundwelle und Fabrikat des Kristalls, Frequenzangabe der Fabrik, Schaltung des Xmtrs (eventuell mit Skizze), Input des Oszillators.

LGL 5.

Abb. 5.22 Artikel aus der CQ von 1931

Vorher war es aber für Evertz in seiner Amateurfunk-Tätigkeit wichtig, einen Eichdienst aufzubauen. Im vorstehenden Artikel aus der CQ vom November 1931 stellte er diesen Eichdienst vor (Abb. 5.22).

Ein Zwischenbericht dazu erschien im Juni 1932 in der CQ (Abb. 5.23 unten).

Verteilung der CC-Stationen auf dem 7 MHz-Band

Von Heinz Evertz, DE 723

Stationen, deren Sender mit Kristallsteuerung arbeiten, bezeichnet man als „CC-Stationen“ (crystal-controlled).

Eine äußerst wichtige Frage für jeden Amateur, der sich entschlossen hat, auf „CC“ überzugehen, ist die Wahl der Frequenz.

Meist bestellte man bei der Herstellungsfirma einen Kristall für das 7- oder 3,5 MHz-Band oder im günstigsten Falle einen solchen mit einer Frequenz zwischen 7100 und 7200 kHz bzw. 3550 und 3600 kHz, wenn man mit Frequenzverdopplung arbeiten wollte. Man war dann auch zunächst zufrieden gestellt, wenn die Frequenz schön in der Mitte des Bandes lag. Nachdem aber die erste Begeisterung über den FBT 9 verflogen war, mußte auffallen, daß die Stationen auf der anderen Seite zwar die Güte des wunderbaren, glückenähnlichen Tones rühmten, jedoch fast regelmäßig im Text einen lästigen Nachsatz folgen ließen, nämlich: „but vy erm“, d. h. „aber starke Störungen durch fremde Sender“. Einen Ausweg suchte man dann in einem QRO-Sender, möglichst mit 3000 V Anodenspannung und 150 mA.

Letzter Zeit hört man dort wieder einige Stationen, hauptsächlich Engländer, für die das Band nur bis 7275 kHz freigegeben ist. Zwischen 7250 und 7290 kHz können sich, selbst unter Berücksichtigung von RRU und DHE, noch sehr viele CC-Stationen niederlassen, ohne in Gefahr zu laufen, von den beiden Seitenbändern der genannten Stationen gestört zu werden.

Wenden wir uns nun der anderen Seite, nach 7000 kHz hin, zu. Wir finden hier sofort einige Lücken, die noch ausgefüllt werden könnten. Leider wird dieses Stück sehr stark von französischen Telephonstationen mit schlechter Modulation gestört und ist daher nicht so beliebt bei den CC-stns wie das von 7120 bis RRU. Trotzdem ist es interessant, daß von OK-, OZ- und SM-Stationen der Bereich um 7094 kHz auffallend bevorzugt wird, wogegen das Mittel der G-Stationen auf 7128 kHz, das der EKR- und F- auf 7110 und das der D-Stationen auf 7121 kHz liegt. Es ist also nun an Hand der graphischen Darstellung jedem Amateur möglich, sich die günstigste Frequenz für sein Kristall selbst zu wählen.



Es wurde dann kaum merklich besser, lediglich die „QRM-stns“ in der Nachbarschaft wurden totgeschrien und konnten erst wieder arbeiten, wenn der QRO-Sender seinen Betrieb einstellte. Wie beneidet man da alle die Hartleys und TPTG's, die frei wie ein Vogel (und manchmal mit entsprechendem Gezitscher) auf dem Bande umherhüpfen. — Es hat aber alles seine Vor- und Nachteile. CC gehört zum „guten Ton“, und schließlich wird sich wohl jeder OM, der im Besitze eines CC-Xmtr ist, für den Notfall noch einen Hartley mit „CC-Imitationen“ erlauben können.

Um nun der Gefahr der Überfüllung bestimmter Teile des Amateurbandes zu entgehen, muß man bei der Wahl der Kristallfrequenz einiges beachten. Es ist erklärlich, daß die Mitte des Bandes von den Amateuren bevorzugt wird, und zwar aus Angst vor dem Überschreiten der Grenzen des Bandes oder wegen der Nähe stark störender, zum Teil im Band liegender kommerzieller Stationen.

An Hand der graphischen Darstellung läßt sich dies deutlich beobachten. Sie wurde zusammengestellt auf Grund regelmäßiger Beobachtungen von etwa 550 CC-Stationen.

Die starke Anhäufung der CC-Stationen auf dem Bereiche zwischen 7110 und 7120 kHz fällt sofort auf. Es liegen auf diesem schmalen Bereich noch innerhalb der Hörgrenze bei stillstehender Skala über 100 CC-Stationen, die glücklicherweise nicht immer gleichzeitig arbeiten bzw. nicht gleichzeitig hörbar sind. Jedem OM ist dieser überfüllte Bereich aus eigener Erfahrung bekannt. Rechnerisch liegt nun diese „Mitte“ des Bandes nicht an der Stelle, wo sie eigentlich liegen müßte, nämlich auf 7150 kHz. Diese verhältnismäßig starke Abweichung nach unten rührt lediglich von der Furcht vor dem so „beliebten“ RRU her, der im Bande einen Platz einnimmt, auf dem, nach der „Mitte“ des Bandes gerechnet, über 300 Amateurstationen untergebracht werden könnten. Bei RRU hört für die meisten Amateure bereits das Band auf, denn hinter RRU ist es oft totenstill. Erst in

Nachstehend eine Aufstellung der auf die verschiedenen Länder entfallenden bisher kontrollierten guten CC-Stationen:

England	120	Finnland	7
Deutschland	46	Holland	7
Frankreich	38	Österreich	6
Tschechoslowakei	21	Portugal	2
Spanien	12	Schweiz	2
Dänemark	11	Norwegen	2
Polen	8		

Es ist sehr erfreulich, daß Deutschland hinter England an zweiter Stelle steht, obwohl England über 10- bis 20mal soviele Amateursender verfügt wie Deutschland, ein Zeichen dafür, daß gerade die deutschen Amateure bemüht sind, mit möglichst einwandfreien Tonqualitäten einen möglichst kleinen Raum im Äther einzunehmen.

Eins wird leider von manchen Amateuren, die selbst-erregte Sender benutzen, noch nicht beachtet: Um den Rundfunk nicht zu stören, wenden viele Amateure die billigste, aber verwerflichste Methode an, sie arbeiten mit „negativen“ Zeichen, einem sogenannten „spacer“, die weit neben ihren „Tastzeichen“, dem sogenannten „marker“, liegen. Hierdurch werden im empfindlichen Maße alle Stationen gestört und nicht nur die CC-Stationen. Abgesehen von dem Verstoß gegen die Verkehrsregeln ist das Arbeiten mit Nebenwellen als nicht geringe Rücksichtslosigkeit allen anderen OM's gegenüber zu bezeichnen. Es gibt genügend wirksame Mittel, um Rundfunkstörungen zu verhindern oder die Tonqualität zu verbessern. Das Arbeiten mit negativer Welle ist immer ein Zeichen dafür, daß der betreffende Amateur technisch nicht auf der Höhe ist. Es ist nicht nötig, daß er dies durch den Betrieb eines solchen Senders der ganzen Welt mitteilt.

Einer der Höhepunkte in seiner Amateurfunk-Tätigkeit war die Entwicklung des „Varioquarzes“ zusammen mit Christian Schmelzer.

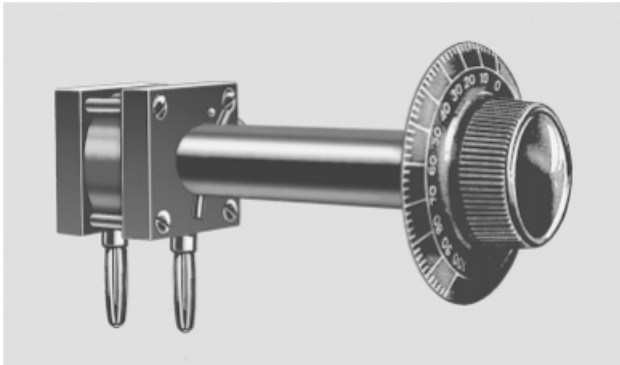


Abb. 5.24
Varioquarz – 1. Ausführung

In der Zwischenzeit hatte Evertz auch den Vertrieb von Steuerquarzen für die Amateurbänder aufgenommen. Die ersten Quarze bezog er aber noch aus London von der Firma Brookes Measuring Tools.

Über den - DASD - wurde die Firma Steeg & Reuter auf Evertz aufmerksam, und so nahm Dr. Reuter Kontakt mit ihm auf. Er konnte ihn dann als Entwickler für Schwingquarze ab Herbst 1932 für sich gewinnen.

Der Varioquarz wurde dort in der Firma auch weiter verbessert und gefertigt.

Die ideenreichen Arbeiten von Evertz brachten der Abteilung Schwingquarze viele Aufträge. Mit einer ersten Annonce in der Fachpresse gab Dr. Steeg & Reuter ihr neues Arbeitsgebiet bekannt. (Siehe auch Kapitel 7.12 – Dr. Steeg & Reuter.)

Abb. 5.25
Anzeige in der Deutschen
Radio-Bücherei

Quarzoscillatoren

für Steuer- oder Eichzwecke
in verschiedenen Haltertypen

- Kurze Lieferzeiten ●
- Mäßige Preise ●

LISTE PIEZO 1 ANFORDERNI

Dr. Steeg

GEGR. 1855

&

Reuter

Bad Homburg

Ein paar Jahre später gab es einen weiteren Anbieter für Amateur-Steuerquarze:
Das Labor für Piezoelektrizität und Hochfrequenztechnik Wolfgang Assmann
annoncierte in der Zeitschrift „Funk“.

Abb. 5.26

Anzeige in der
Zeitschrift
„Funk“

S T E U E R Q U A R Z E !

Ausführung: 20 mm \varnothing oder 20 \times 20 mm.
Genauigkeit der Frequenzangaben $\pm 1 \text{ }^{\circ}/_{100}$.
Garantie für Einwelligkeit, hohe Steuerleistung und Belastbarkeit. Mitglieder des DASD e.V. erhalten Quarze für die Amateurbänder zu Sonderpreisen: 160 u. 80m-Band **7,50 RM**, 40m-Band **9,00 RM**. Frequenzen zwischen 3500 bis 3550 kHz werden nur an die Reichs-BD-Stationen des DASD e.V. abgegeben.
Quarzhalter: Vollkommen geschlossen! In jeder Lage einwandfreies Arbeiten! Verwendung besonderen Elektrodenmaterials! Größte Konstanz der Welle auch bei hoher Belastung! **4,50 RM**. Auf Anfordern werden obige Quarze auch gehaltert und plombiert geliefert. Kein Zuschlag für den Einbau!
Frequenznormalien: 100 kHz zur Eichung und Kontrolle von Wellenmessern. Fertig in Spezialhalter eingebaut! **22,50 RM**. Sämtlichen Artikeln liegen Gebrauchsanweisungen und Schaltungsbeispiele bei. Verlangen Sie die neueste Preisliste!

Laboratorium für Piezoelektrizität und Hochfrequenztechnik
Wolfgang Assmann, Burscheid bei Köln, Hindenburgstraße 92
 Postscheckkonto Köln Nr. 462 19

Eine Neuheit — sind meine

Vielfachquarze

(DRGM. ang.)

In einem Standardhalter mit 38 mm \varnothing sind mehrere Steuerquarze eingebaut. Mit Hilfe eines außen angebrachten oder auch in den Halter eingebauten Umschalters können die verschiedenen Frequenzen eingeschaltet werden. — In sämtlichen Vielfachquarzhaltern sind Quarze mit Spezialschnitt (Temperaturkoeffizient praktisch Null!) eingebaut. Sonderpreise für Mitglieder des DASD e.V. — Frequenz beliebig innerhalb 40-80-160-m-Band.

Ausführung: Zweifach mit drei herausgeführten Steckern	25.— RM
Umschalter hierzu	1.27 RM
Zweifach mit eingebautem Umschalter	30.— RM
Dreifach mit eingebautem Umschalter	44.— RM
Vierfach mit eingebautem Umschalter	58.— RM

Weiterhin liefere ich wie früher **einzelne** Steuerquarze mit **Spezialschnitt** (Temperaturkoeffizient praktisch Null!) 40-80-160-m-Band ungehaltert **10.50 RM**, gehaltert **15.— RM**

Y-Schnitt (TK ca. $80 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)

80-160-m-Band	ungehaltert	7.50 RM,	gehaltert	12.— RM
40-m-Band	ungehaltert	8.50 RM,	gehaltert	13.— RM

Zum Eichn Ihres Frequenzmessers benutzen Sie **Frequenznormale** 100 kHz $\pm 0.1 \text{ }^{\circ}/_{100}$, fertig gehaltert **22.50 RM**.

Sämtliche Quarze arbeiten einwandfrei in transportablen Geräten! Garantie für Einwelligkeit, höchste Steuerspannung und hohe Belastbarkeit! Genauigkeit der Frequenzangaben für lose Steuerquarze $1 \text{ }^{\circ}/_{100}$, für gehalterte Steuerquarze $0.2 \text{ }^{\circ}/_{100}$ unter Berücksichtigung des TK.

Fordern Sie unverbindlichst meine Listen an!

**Laboratorium für
Piezoelektrizität und Hochfrequenztechnik
Wolfgang Assmann, Burscheid bei Köln**

Abb. 5.27
Ankündigungen von
Neuheiten wie der
Vielfachquarz

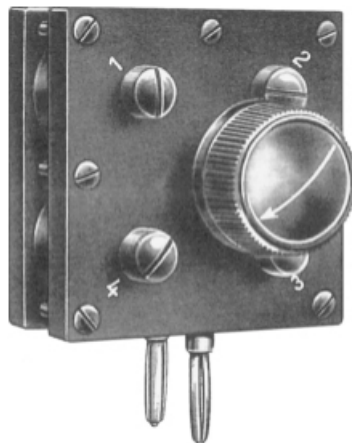


Abb. 5.28
Vielfachquarz

Auch Veröffentlichungen zu diesem Gebiet machten Assmann bekannt, wie z. B. der nachstehende Auszug aus dem Augustheft der CQ von 1935 (Abb. 5.29).

Der Eich-Generator des Amateurs

Von

Wolfgang Aßmann, D 4 bkh

Die genaue Eichung und Kontrolle der Wellenmesser ist eine der Hauptaufgaben des Kurzwellenamateurs. In diesen Blättern¹⁾ ist schon darauf hingewiesen worden, daß der Quarz das einfachste und bequemste Normal für Amateurzwecke ist. Mit den üblichen Quarzen, deren Eigenwelle innerhalb der Amateurbänder liegt, ist wohl eine Kontrolle des Wellenmessers möglich, aber keine zuverlässige Eichung. Der Amateur ist also gezwungen, den Wellenmesser eichen zu lassen oder auch selbst eine Eichung mit Hilfe der bekannten Wellen der Großstationen vorzunehmen, die jedoch nur am Rande der Amateurbänder arbeiten.

Eine besonders zuverlässige und auch einfache Methode ist die Benutzung eines Frequenznormals in Form eines Quarzes hoher Eigenwellenlänge, z. B. mit einer Frequenz von 100 kHz (3000 m). Ein Eichsender dieser Frequenz ergibt auf dem Kurzwellenbereich eine so große Zahl von Oberwellen, daß es leicht möglich ist den gesamten Kurzwellen- und auch Mittelwellenbereich schnell und mit größter Genauigkeit zu eichen.

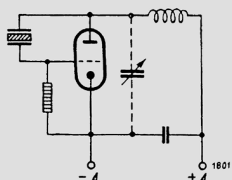


Abb. 1.

Als eine für diese Zwecke zu verwendende Oszillatorschaltung (Abb. 1) hat Schmelzer an dieser Stelle die Pierce'sche Schaltung²⁾ angegeben, die er als „Quarzmonitor“ bezeichnet.

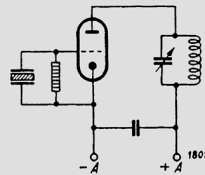


Abb. 2.

Die Erregung langwelliger Quarze ist nun wegen der durch die Orientierung bedingten verschiedenen Schwingungsrichtung nicht so leicht wie bei für Amateurzwecke benutzten Steuerquarzen. Außerdem ist die erzielbare Hochfrequenzleistung von Quarzoszillatoren bei niedrigen und auch bei sehr hohen Frequenzen geringer. (Das Optimum liegt bei ca. 3500 kHz!)

¹⁾ Ch. Schmelzer, CQ 1935, Heft 1.

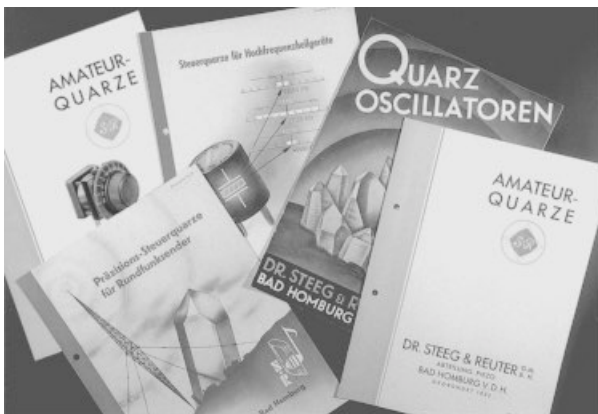
²⁾ G. W. Pierce: Piezo-Electric Crystal Resonators and Chrysal Oscillators applied to the precision Calibration of Wavemeters; Proc. Americ. Acad. Arts and Sci. 1923.

Abb. 5.29

Im Mai 1937 fusionierte die bedeutende Firma Assmann mit Steeg & Reuter, nach dem Evertz im März dieses Jahres die Firma verließ.

Abb. 5.30

Kurzübersicht der Fertigung



Wie aus einer Werbeschrift zu ersehen ist, waren die OM's mit den Amateurquarzen sehr zufrieden. Dazu einige Zuschriften an die Firma.

DR. STEEG & REUTER G. M.  B. H. BAD HOMBURG v. d. H.
GEGRÜNDET 1855

Amateurquarze

Hunderte von Amateurstationen arbeiten mit unseren Quarzen und erreichen damit die besten Erfolge. Die guten Resultate beruhen nicht nur auf einer einwandfreien Qualität in Bezug auf **absolute Einwilligkeit, größte Steuerspannung** und **hohe Belastbarkeit**, sondern ganz besonders auf der Tatsache, daß wir die Wahl der Quarzfrequenzen nach eigenen Statistiken vorgenommen haben. Durch ständiges Überwachen und Messen der auf den Amateurbändern arbeitenden Amateur- und leider auch kommerziellen Sender haben wir ein genaues Bild über die Verteilung der kristallgesteuerten Stationen, sodaß wir bei Bestellungen stets die jeweils günstigste Frequenz aus unserer umfangreichen Statistik ablesen und liefern können, — wenn uns diese Auswahl gestattet wird. — Auf diese Weise ist Gewähr für möglichst einwandfreies Arbeiten gegeben, woran wir das größte Interesse haben.

Abb. 5.31

Abb. 5.32.

Einige Urteile über unsere Quarz-Oscillatoren aus Fachkreisen:

„Der Kristall ist tadellos und der Beste, den ich unter 12 Stück besitze, sowohl was Einwilligkeit wie auch Energie betrifft und wollte ich, daß alle meine alten Quarze ebenso wären.“

Wir UO-QMS kennen Ihre Firma alle sehr gut und wissen auch, daß wir gut bedient werden.“

Martin — Wien.

„Der mir kürzlich gelieferte Steuerquarz für 1760 kHz, ebenso wie die beiden früher von Ihnen bezogenen Kristalle für das 80- und 40-Meterband arbeiten **ganz ausgezeichnet**. Ich werde nicht versäumen bei sich bietender Gelegenheit in Amateursenderkreisen auf Ihre **Qualitätserzeugnisse** aufmerksam zu machen.“

Maushart — Hundseck, D48QO.

„Das „CC“ ist, wie nicht anders erwartet einwandfrei. Mit bestem Dank für so **prompte Lieferung** — . . .“

Marihart — Innsbruck.

„Ihre bisherigen Quarze haben sich alle sehr gut bewährt. Der Kristall arbeitet bei sorgfältiger Abstimmung **mit nur einer Röhre** bei 50 Watt inpt bei 750 Volt Anodenspannung **ohne Störung** mit CC-Ton stabil, **also nur einstufig!** . . .“

Paul — Charlottenburg.

„Ich selbst und viele meiner Freunde benutzen mit **Freude und Zufriedenheit** Ihre Quarze und werden stets Ihre Firma weiterempfehlen.“

Taig-Berlin.

„Mit Kristallen bin ich **sehr zufrieden**. Mit einer ganz gewöhnlichen Netzanode ohne Drossel und nur 2 uF habe ich auf 14 mc fb xtal t 9 Tonc! . . .“

Grbec-Ljubljana, DE 1604

„Wie zu erwarten war, arbeitet der Kristall **einwandfrei** und **gibt mehr Spannung als mein alter englischer 80 m Kristall**. Ganz besonders gefällt mir die **einfache Konstruktion des Halters**, welcher für den versuchenden Amateur **große Vorteile** hat. Beim Ausbau meiner Station werde ich stets an Ihre Firma denken.“

Doppelhofer — Graz.

„Die Station SPIEB bewunderte gestern die **vorzügliche Frequenzkonstanz meines Senders** und erbat Auskunft über Preis und Herkunft des Quarzes.“

Gruner — Behlitz.

„Ein hiesiger OM machte mit den beiden Quarzen eine Versuchssendung, wobei er 9 cc ufb als Note erhielt. **Besser kann es ja nicht sein!** Bestellte diese Quarze auf Empfehlung von D 4 LBV; D 4 BAV und D 4 BNV, welche sehr gut bedient worden sind.“

Dämmig — Flensburg-Mürwik.

Das war zu jener Zeit eine große Aufgabe und die Einrichtung dazu eine sehr bemerkenswerte Anlage. Hier wurden auch bei besonders genauen Sendungen die ausgestrahlten Frequenzen mit Leuchtquarz-resonatoren unter Verwendung eines Eco-Frequenzmessers stabilisiert, welcher durch einen zusätzlichen Frequenznormaloszillator ebenfalls mit einem Leuchtquarzresonator für Präzisionsmessungen ergänzt wurde. Die Eichstation bestand aus einem 100-Watt-Eichfrequenzsender und konnte auch mit einem 1-kW-Zusatz-verstärker betrieben werden.

(Leider hat sich bei mir das Lichtbild dieser Eichfrequenzstation nicht erhalten – schade.)

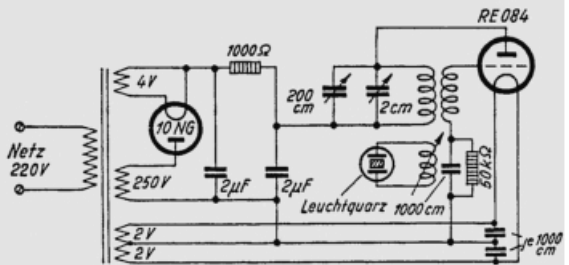
Als kleinen Ausgleich möchte ich noch einen Artikel über die Eichstation aus der Amateurzeitschrift CQ, Heft 12, 1935, vorstellen (Abb. 5.33).

Auf den Kurzwellentagungen des DASD in den Jahren 1931 und 1935 gab die einheimische Kurzwellengruppe Hamburg in einer muster-gültigen Ausstellung ein anschau-liches Bild von der praktischen Tätigkeit der Kurzwellenamateure.

Daß sich auch die Amateure an schwierige Aufgaben wagten, präsentierte der OM Rapcke auf einem der Ausstellungsstände. Er zeigte hier Vorrichtungen zum Quarzschleifen, eine Reihe selbst geschliffener Quarze und auch Apparate zur röntgenologischen Untersuchung von schwingenden Quarzen mit Lauebildern.

Das Leuchtquarznormal des Technischen Referenten der Landesgruppe H

Zur Herstellung der Eichfrequenz für die Kontrolle und Eichung der Normfrequenzmesser und Empfänger wird ein kleiner Vollnetz-Oszillator mit einer RE 084 benutzt, der zur Erregung des Leuchtquarzes als der eigentlichen Frequenznormale dient (s. Abb.). Die Oszillatortöhre wird direkt mit Wechselstrom geheizt. Ihre Anodenspannung liefert eine Einweg-Gleichrichtertöhre. Der Oszillator hat entsprechend seiner Quarzfrequenz eine Frequenz, die im Rundfunkbereich liegt (635 kHz). Der Schwingungskreis wird zur Erreichung einer möglichst hohen Hochfrequenzspannung mit einem 200 cm Kondensator abgestimmt. Diesem ist zur eigentlichen Abstimmung auf die äußerst scharfe Resonanzstelle des Leuchtquarzresonators



2435

Zeichnung vom Verfasser

ein Feinstellkondensator von 2 cm parallel geschaltet. Durch eine Honigwabenspule wird der Leuchtquarz lose induktiv angekoppelt, so daß seine Leuchtbreite möglichst klein ist. Dann ist die Meßgenauigkeit am größten. Ein bis zwei Minuten nach dem Einschalten ist die Frequenz des Oszillators stabil, da dieser mit kleiner Leistung arbeitet. Die Oberchwingungen dieses Oszillators werden im Empfänger abgehört und sind bis über die 30. Harmonische zu verfolgen. Bei Einstellung mit schwach gedämpftem Empfänger ist der Ton der Quarzentladung zu hören. Die Genauigkeit der Eichfrequenz beträgt je nach Einstellung der Leuchtbreite 0,1 bis 0,05 % der Grundfrequenz. Temperaturabhängigkeit des Quarzes ist durch Einbau in den Glaskolben bei niedrigem Gasdruck fast beseitigt.

Laporte

Abb. 5.33
Kurzbericht über das
Leuchtquarznormal des Technischen
Referenten der Landesgruppe H –
Westfalen

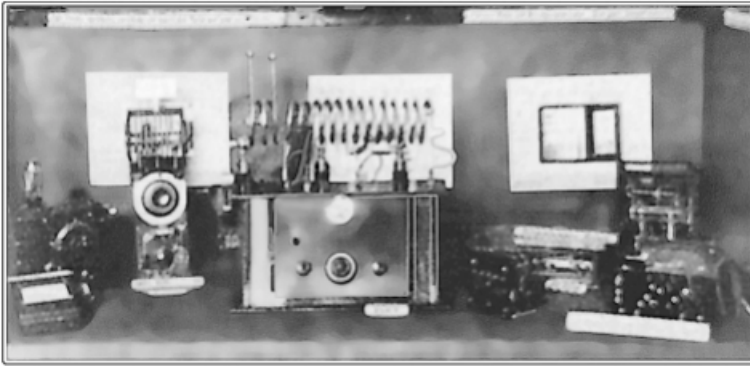


Abb. 5.34
1931



Abb. 5.35
1935

In den obigen Abbildungen wird eine Dokumentation über die Fertigung und Anwendung von Schwingquarzen bei den Hamburger Kurzellenamateuren dargestellt.

In der Sonderschau, besonders aus dem Jahr 1935, zeigte Rapcke Wissenswertes über piezoelektrische Kristalle.

An Quarz- und Turmalinmodellen und an fertigen Kristallen sah man, wie der richtige Schnitt auszuführen ist. Eine Apparatur für die röntgenspektroskopische Analyse von schwingenden Kristallen und einige Röntgenspektrogramme zeigten einen Blick in den Aufbau der Kristalle.

Interessenten erhielten damals auch Unterricht im Schleifen von Kristallen!

Aus jener Zeit hat sich ein historisches Schaustück trotz vieler Bombenangriffe auf Hamburg erhalten (Abb. 5.36).

Es sind dies die nämlichen Schwingquarze, welche damals geschliffen wurden.

Sie werden hier mit dem dazu gehörigen *selbst gebauten* (!) Quarzhalter gezeigt (Abb. 5.37).

Die Abb. 5.38 zeigt, auch aus dieser Zeit, einen Halter einfachster Ausführung – zwischen zwei Kupferplatten wird der Kristall unter leichtem Federdruck gehalten. Es handelt sich hier um eine Druckhalterung ohne Luftspalt.



Abb. 5.36
Historische Sammlung
von selbst geschliffenen
Schwingquarzplättchen –
1935

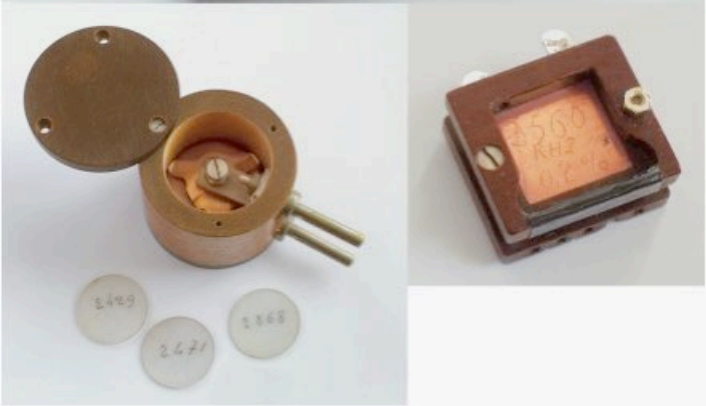


Abb. 5.37 (links)
Kristallhalter zu obigen
Quarzen

Abb. 5.38
Einfach-Kristallhalter
(Druckhalterung)

Wie schon angedeutet, ist es die einfachste Ausführung, während die Anfertigung eines Halters, wie in Abb. 5.37, einige Kenntnisse in der feinmechanischen Fertigung erfordert.

Zum Abschluß des Zwischenkapitels über die Arbeiten der Amateure auf dem Gebiet der Schwingquarze möchte ich noch die Worte wiedergeben, mit welchen G. Ferrié, Leiter der Eiffelturm-Rundfunkstation, die Radio- und Funkamateure beurteilte:

„Es ist ein erfreuliches Zeichen, daß die Zahl der Radio-Amateure überall in der Welt anwächst. Alle Fachleute und Techniker freuen sich über diese Tatsache, denn aus diesen Amateuren erwachsen dem Funk und der Industrie wertvolle Mitarbeiter.“

1939 erschien in der Oktoberausgabe der Fachzeitschrift *Funkschau* unter der Rubrik *Funktechnik außerhalb des Rundfunks* ein Artikel mit dem Titel „Quarzkristalle im Glas“. Meines Wissens gab es aber in Deutschland noch kaum Schwingquarze im Glasgehäuse. Die Hersteller waren in der Hauptsache die zwei Firmen Loewe und Telefunken. Bei Loewe waren es die Leuchtquarze und bei Telefunken die Schwingquarze für Großsender im Glasgehäuse. Bei dem Artikel handelt es sich wahrscheinlich um einen Kurzbeitrag aus einer Fachzeitschrift des Auslandes. In der nebenstehenden Abb. 5.39 wird der Artikel im Original wiedergegeben.

Abb. 5.39 Originalbericht aus der *Funkschau*, Heft 41/ 1939, Seite 324.

QUARZKRISTALLE IM GLAS

Für bestimmte Zwecke der Empfangstechnik benötigt man Quarzkristalle, die in evakuierten Glaskolben sitzen. Die Vorgehensweise dazu ist verhältnismäßig kurz: Man beginnt Quarzkristalle für Bandfilter zu verwenden, weil Bandfilter für höchste Ansprüche an Konstanz nur so hergestellt werden können.

Der Quarzkristall bekommt demnach in der Zukunft reichlich Beschäftigung. Freilich, das sei gleich hinzugefügt, benötigen gewöhnliche Rundfunkempfänger kaum Quarzkristalle, und wenn schon, dann genügen die bisher bekannten. Aber für kommerzielle Geräte bestimmten Verwendungszweckes, für Meßempfänger und dergleichen, da liegen die Dinge anders.

Nun wird man sich fragen, warum es die bisherigen Kristalle in den üblichen Haltern nicht tun und wo etwa der Vorteil der neuen Halterung — nur darum handelt es sich ja im wesentlichen — liegt.

Dazu ist einmal zu sagen, daß ein Unterschied gemacht werden muß, ob Kristalle in einem Sender oder in einem Empfänger Verwendung finden sollen. Jeder Kristall erleidet nämlich durch die ihn umgebende Luft, deren innere Reibung bei den hohen Frequenzen des Rundfunks ganz beträchtlich wird, eine bemerkenswerte Dämpfung. Bei Sendern, die im Kristallkreis immerhin mit einer gewissen Energie arbeiten, spielt das grundsätzlich eine geringere Rolle als bei Empfängern, die jedes Quentchen der Empfangsenergie nutzbringend anwenden müssen. Setzt man nun den Kristall ins Vakuum, so hat man den schädlichen Einfluß der Luft beseitigt; die Schwingamplitude des Kristalls steigt bis aufs Dreifache. Übrigens braucht das Vakuum gar nicht sehr hoch zu sein, nur ungefähr 10 mm Quecksilberhöhe. Unter dieser Bedingung vermeidet man auch sicher den Bereich, in welchem Ionisation eintreten könnte.

Die so erreichte Dämpfungsverringerung hätte keine Bedeutung, wäre es nicht möglich gewesen, eine zweite Ursache für die Kristalldämpfung weitgehend zu beseitigen, nämlich die Dämpfung durch die Elektroden. Die Elektroden müssen ja einerseits dem Kristall gut aufliegen, damit sie genügend guten Kontakt machen, andererseits sollen sie ihn möglichst wenig berühren, eben um fein Schwingen nicht zu behindern. In einer neueren Quarzausführung macht man deshalb von einem schon länger bekannten Verfahren Gebrauch: Man verfiert die entsprechenden Quarzoberflächen mit einer hauchdünnen Silberfärbung, die wegen ihrer geringen Masse die Dämpfung nicht nennenswert erhöht und nur die Frequenz ein wenig verschiebt, eine Wirkung, die man selbstredend genauestens überwachen kann. Auf den Silberflächen ruht mit leichtem Druck ein Bündel Metallgaze auf, ähnlich etwa gewissen Kollektorbürsten in Kleinmotoren.

Der Glaskolben um die Kristalle hat die Form üblicher Röhren und sitzt auf dem üblichen Sockel. Das macht die Handhabung sehr bequem. Außerdem ist die Konstanz derartiger Kristalle, wie Messungen ergaben, über lange Zeiträume praktisch eine vollkommene.

—er.

Während des Zweiten Weltkrieges wurden in Amerika in mehr als 100 Fabriken etwa 30 Millionen Quarzoszillatoren hergestellt. Die Entscheidung der Armee der Vereinigten Staaten, ihre Funkausrüstung auf Kristallsteuerung umzustellen, fiel im Jahr 1939. In dem selben Jahr wurden auch schon für diesen Zweck etwa 50.000 Schwingquarze hergestellt. In der Zeit des Zweiten Weltkrieges erlebte die Fernmeldetechnik auf Kurzwellen einen gewaltigen Aufschwung.

Nach dem Eintritt der USA in den Krieg (1941) wurde in diesem Land ein riesiges Programm aufgestellt, um die Ausrüstung einer großen Zahl von Flugzeugen, Panzern, Infanterie- und Artillerieeinheiten mit Sende- und Empfangsgeräten sicherzustellen. Zu diesem Zweck wurde die *Quartz Crystal Section* – QCS – im Büro des Chief Signal Officers eingerichtet. Der Schwerpunkt dieser Einrichtung lag bei den Problemen im Zusammenhang mit der Errichtung einer Industrie, welche in der Lage sein sollte, den Bedarf der Armee der Vereinigten Staaten und ihrer Verbündeten während des Krieges zu erfüllen.

Hierzu später noch ein paar Einzelheiten in *Kapitel 7.17* –

Die amerikanische Schwingquarzindustrie

(wurde leider nicht mehr ausgeführt)

In diesem Zusammenhang kurz noch eine Gegenüberstellung der deutschen Seite in der Schwingquarzfertigung als Vergleich.

In Deutschland waren es nur 10 Firmen (!), welche in der Zeit von 1939–1945 mit 550 Mitarbeitern etwa 400 000 Schwingquarze fertigten. Im Dezember 1944 betrug die Fertigungsmenge immerhin noch 29 250 Stück.

In diesem Themenkreis soll auch nicht versäumt werden, einen

„Präzisionsschwingquarz ganz besonderer Bauart“ einmal näher darzustellen.

Es handelt sich hier um eine Entwicklung für den Gleichwellen-Rundfunk in Großbritannien. Obwohl Rundfunksender mit kleiner Leistung in Europa und anderen Ländern, um Frequenzen zu sparen, schon ab 1929 (*siehe auch Kapitel 7.4 – C. Lorenz*) im Gleichwellenbetrieb arbeiteten, wurde diese Betriebsart in Großbritannien erst ab dem Jahr 1942 in der BBC (Bishop) angewandt.

Dazu kurz noch ein paar Details zur *Gleichwelle*:

Welle, die von mehreren Sendern gleichzeitig benutzt wird, wenn z. B. drei Rundfunksender ein und dasselbe Programm auf einer gemeinsamen Frequenz ausstrahlen. Dabei dürfen sich aber hier die Trägerfrequenzen der einzelnen Sender nur um einen geringen Bruchteil von einander unterscheiden.

Eine Möglichkeit, dieses Problem zu lösen, besteht in der Synchronisierung der im Gleichwellenbetrieb arbeitenden Sendergruppe mit Hilfe eines gemeinsamen Steueroszillators.

Obwohl so ein solches System realisierbar ist, treten bei seiner praktischen Umsetzung jedoch viele Schwierigkeiten auf.

Die Alternative dazu ist ein System mit freiem Oszillator.

Dabei dient ein unabhängiger Oszillator zur Steuerung eines jeden Senders.

Die hierbei eingesetzten Steueroszillatoren müssen jedoch über eine hochpräzise Frequenzeinstellung und eine hohe Frequenzkonstanz verfügen!

Für diesen Steueroszillator wurde damals im englischen Post-Forschungsinstitut durch den Cheffingenieur C. F. Booth und dessen Mitarbeiter dieser Steuerquarz entwickelt. Die nebenstehende Abbildung zeigt diesen Steuerquarz (Dicken-Scherschwinger) in einer Präzisionshalterung.



Abb. 5.40
Steuerquarz 665 kc/s

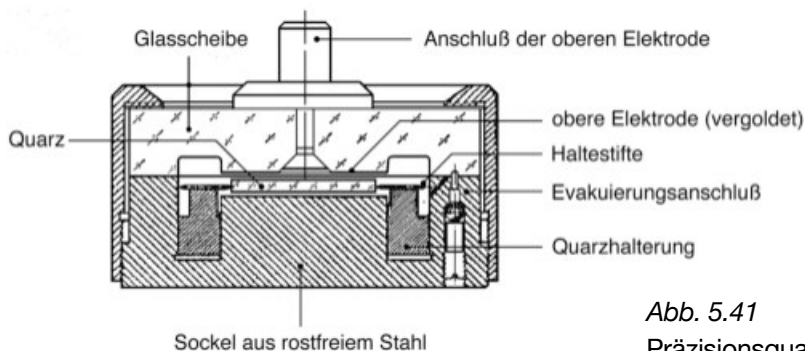


Abb. 5.41
Präzisionsquarzhalter
im Schnitt

Bei dieser Ausführung, bei der aus praktischen Gründen die Dicke des Quarzplättchens auf einen Bereich von 3,3 mm bis auf 1,1 mm eingegrenzt ist (500 bis 1500 kHz), wurden in der Mitte der vier Schmalseiten konische Löcher von 50° Halbwinkel mit einem Diamantbohrer angebracht. Stahlstifte, welche an der Quarzhalterung befestigt sind, halten das Quarzplättchen unter leichtem Druck. Die untere Elektrode ist in ihrem Abstand zur Quarzoberfläche einstellbar. Die obere Elektrode besteht aus einer Goldschicht mit gleichem Durchmesser wie die untere Elektrode, welche auf dem Glasdeckel aufgedampft ist. Die Goldschicht ist mit einem Stahlstift verbunden, der durch den Glasdeckel führt. Der Glasdeckel liegt auf dem Quarzhaltergehäuse auf. Die Auflageflächen sind nach optischen Gesichtspunkten geschliffen. Eine dünne Fettschicht an der Auflagefläche gibt eine luftundurchlässige Verbindung, die dem Unterdruck im Gehäuse standhält.

Nach einer endgültigen Frequenzeichung durch Justieren des Elektrodenabstandes wird der Quarzhalter durch eine verschließbare Bohrung und zwei weitere Öffnungen evakuiert.

Eine Öffnung führt zum Evakuierungsanschluß, die andere zum Innenraum des Quarzhalters. Die Öffnungen sind durch einen Schlitz im Glasdeckel miteinander verbunden. Nach dem Reduzieren des Innendruckes im Gehäuse auf 50 mm Quecksilbersäule werden die beiden Öffnungen durch die Drehung des Glasdeckels verschlossen. Der Glasdeckel ist durch das aufgeschraubte zylindrische äußere Gehäuseteil befestigt. Mit Ausnahme der Goldelektrode sind alle Metallteile aus rostfreiem Stahl. – Übrigens: der Steuerquarz hat ein Gewicht von 670 Gramm!

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde in Deutschland ein Patent aus den USA über einen *Duplex-Biegeschwinger* bekannt. Als Erfinder ist ein Clarence E. Lane, Maplewood, N. J., Mitarbeiter von den Bell Telefon-Laboratorien, genannt. Das Patent wurde am 4. März 1943 eingereicht und am 12. November 1946 erteilt. Die Erfindung bezieht sich auf einen piezoelektrischen Kristall und insbesondere auf zusammengesetzte oder doppelte Quarzkristalle mit einer sehr niedrigen Frequenz im Bereich von 0,8 – 10 kHz.

Hierbei sind zwei längsschwingende Kristalle entsprechend miteinander verbunden, so daß bei Ausdehnung des einen Kristalls der andere beim Zusammenziehen in Biegeschwingung versetzt wird. Die verbundenen Flächen des Kristalls sind dabei neutral.

Für den Duplex-Biegeschwinger wurden gewöhnlich die $+5^\circ$ -X-Schnitt-Kristalle bevorzugt, und zwar hauptsächlich deswegen, weil sie den niedrigsten Temperaturkoeffizienten der X-Schnitt-Familie aufweisen. Um einen Duplex-Biegeschwinger zu bilden, verwendete man am häufigsten die folgenden Kombinationen (hierzu die *Abbildungen 5.42, 5.44, 5.46, 5.48* – sie stellen jeweils vergrößerte Ansichten von einer Hauptfläche und einer Längsseitenansicht der Quarzkristallplatten dar).

Nachstehende *Abbildungen 5.42 bis 5.49* zeigen jeweils die vier möglichen Kombinationen.

Die Beschreibung folgt der konventionellen Terminologie des kristallinen Quarzes, eine elektrische, mechanische und optische Achsenfolge des Quarzkristalls zu bezeichnen, die in drei Orthogonalen oder gemeinsamen rechtwinkligen Achsen X, Y, und Z in den Zeichnungen dargestellt wird.

Die Richtungsangabe erfolgt mit einfacher Drehung um die X-Achse, wie in *Abb. 5.42 bis 5.49* gezeigt. Der Orientierungswinkel Q zeigt die Winkeldrehung der Kristallplatte von der optischen Achse Z und der abgehenden mechanischen Achse Y.

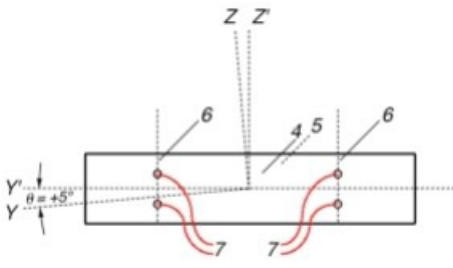


Abb. 5.42

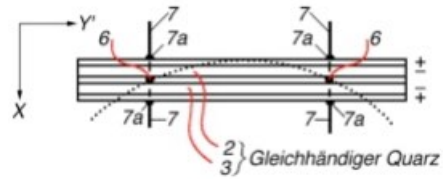


Abb. 5.43

Quarzplatten gleichhändig ausgerichtet und entgegengesetzter Polung.

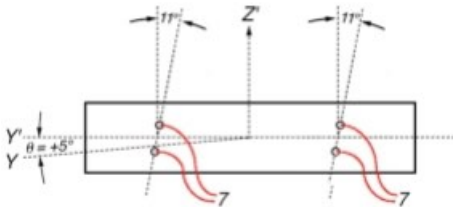


Abb. 5.44

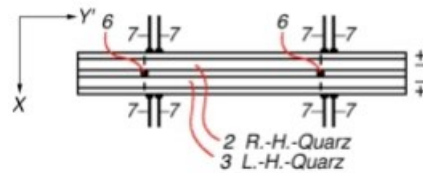


Abb. 5.45

Quarzplatten gleichhändig ausgerichtet (RH – LH – rechts- und linkshändiger Quarz) und entgegengesetzter Polung.

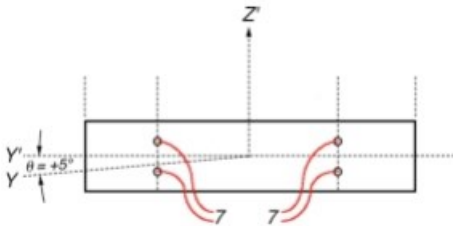


Abb. 5.46

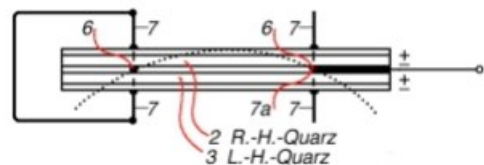


Abb. 5.47

Quarzplatten gleichhändig ausgerichtet und gleichnamiger Polung, aber mit einem Elektrodenanschluß zu den verbundenen Flächen.

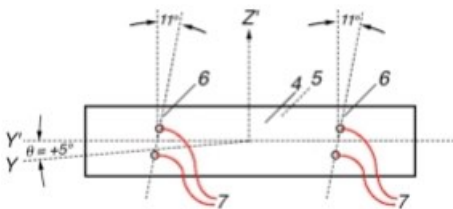


Abb. 5.48

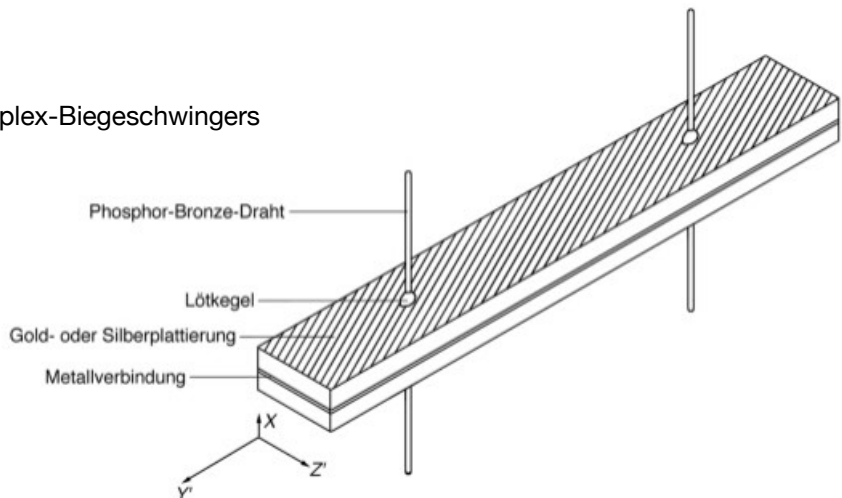


Abb. 5.49

Quarzplatten gleichhändig ausgerichtet und gleichnamiger Polung, aber mit einem Elektrodenanschluß zu den verbundenen Flächen.

Noch ein paar Worte zu den Begriffen *links-* und *rechtshändig*. Schon Anfang des 18. Jahrhunderts experimentierte der Deutsche Friedrich Wilhelm Herschel, in England lebend, mit polarisiertem Licht bei Glas und Quarz. 1822 veröffentlichte Herschel in den *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, daß rechtwinklig zu den drei Achsen geschnittene Quarzteile rechts- oder linkshändig im polarisierten Licht erscheinen. Biot und andere benutzten Teile dieser Kenntnis vor und nach Herschel in ihren weiter-führenden Arbeiten (*siehe auch Seiten 46, 125*).
In der Abb. 5.50 wird die Gesamtanordnung einer verbundenen Duplex-Kristalleinheit gezeigt.

Abb. 5.50
 Aufbau eines Duplex-Biegeschwingers



Die Angewandte Methode zum Verbinden der Kristallplatten ist sehr interessant. Die ersten Versuche hierzu gehen auf die Curies zurück. Bei den ersten Experimenten verwendeten sie Kanadabalsam. Seitdem man jedoch zu plattierten und mit einer Verdrahtung zusammengebauten Plattenkombinationen überging, haben sich die Methoden verändert. Verschiedene Hersteller versilberten die unbehandelten Platten lieber und löteten sie anschließend zusammen. Hierbei wurden auch Versuche mit Indium gemacht. Andere Hersteller hingegen benutzten ausschließlich auf 500 °C erwärmte Silberpaste als Bindemittel. Bei diesem Verbindungsvorgang ist es wichtig, eine Verbindungsstelle gleicher Dicke herzustellen, um eine wiederholbare Frequenzkonstante aufrecht zu erhalten. Die Dicke der Verbindungsstelle auf der Kristallplatte entspricht 0,0254 mm. Besinnt man sich auf die ursprüngliche Wirkung der Einheit, so erkennt man, daß beim Anlegen einer Spannung zwischen den beiden Elektroden eine der Kristallplatten dazu neigt, sich sofort in Längsrichtung auszudehnen, und die andere, sich gleichzeitig zusammenzuziehen. Da sie sich auf Grund der Verbindung nicht

Abb. 5.51
Schwingungsform eines
Duplex-Biegeschwingers

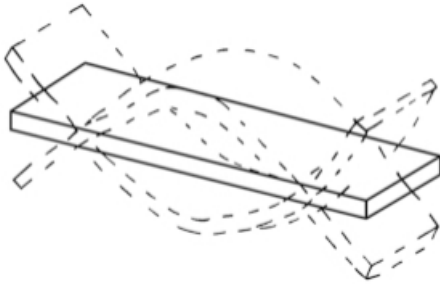


Abb. 5.52
Duplex-Biegeschwinger 1481,48 kHz
der Firma James Knights,
Sandwich, ILL.

frei zueinander bewegen können, ergibt sich daraus eine Biegebewegung, die der eines Bimetalls gleicht. Kehrt man die Polarisierung des Feldes um, so kehrt sich die Bewegung um. Bei einer entsprechend angelegten Spannung stellt sich die Schwingung auf die natürliche Frequenz der Kristalleinheit ein (siehe Abb. 5.51). In der folgenden Abbildung 5.53 sind verschiedene Temperaturfrequenzkurven für Duplexkristalle gezeigt. Sie weisen alle eine parabolische Form auf, obwohl der Scheitel der Parabel in manchen Fällen nicht innerhalb des normalen Betriebstemperaturbereichs liegt. Die Lage des Nullpunkt-Temperaturkoeffizienten entlang der Temperaturskala wird vorwiegend von zwei Faktoren bestimmt:

- a) die Quarzkombination
- b) das Breiten-Längen-Verhältnis der Einheit.

Die beträchtlichen Vorteile der Duplexkristalle im Niederfrequenzbereich sind mit der Einführung des XY-Biegeschwingers weniger geworden.

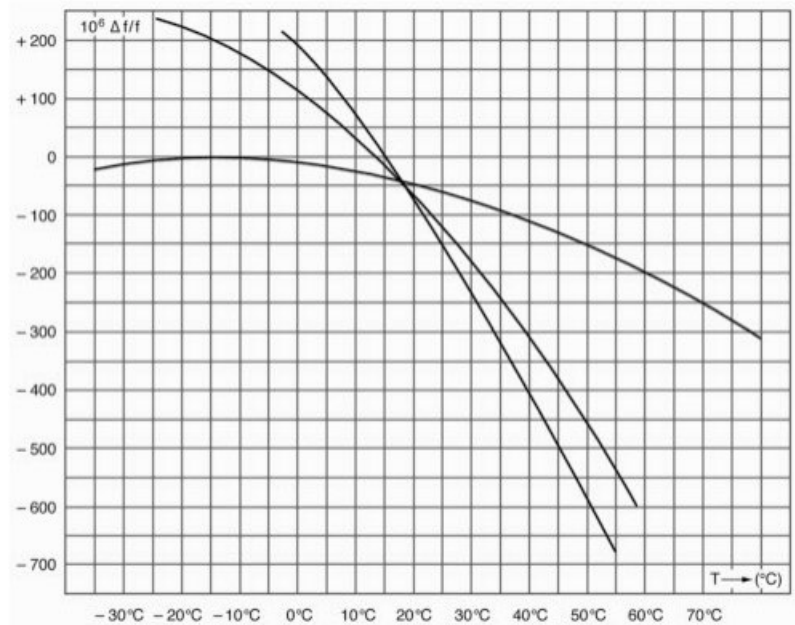
Davor war die Duplexeinheit der einzige Quarzkristall, der für den Frequenzbereich von 1 bis zu 4 kHz genügte.

Diese Schwingerart war in den USA weit verbreitet.

In Deutschland waren es meines Wissens nur zwei Firmen, welche diese Art Schwinger hergestellt haben – KVG und Quarztechnik Müller.

Abb. 5.53

Typische Frequenz-
Temperaturkurve
eines
+5°-X-Duplex-
Biegeschwingers



Die Hauptnachteile dieses Duplex-Biegeschwingers sind im Folgenden zusammengefaßt:

1. Wirtschaftlichkeit des Quarzmaterials: Für eine Einheit werden zwei separate Quarzscheiben oder -stäbe benötigt.
2. Bruchanfälligkeit: Für Einheiten mit einer sehr niedrigen Frequenz besteht die Gefahr der Zerbrechlichkeit bei den langen und dünnen Kristallen.
3. Verbindungsvorgang: Wenn man eine „Unbekannte“ (instabile Substanzen in der Verbindung) in die aktive Dicke des Quarzes einführt, treten erhebliche Schwierigkeiten bei der Weiterverarbeitung der Einheiten auf.
4. Änderung der Frequenz beim Arbeitsgang „Evakuieren“: Das Ausmaß der Frequenzverschiebung ist viel größer als bei allen anderen Kristalltypen und nähert sich oft dem Wert $+200 \cdot 10^5$. Dies ist zurückzuführen auf die Veränderung bei breiten, dünnen Einheiten auf Grund der großen Luftmasse, die durch die Bewegung verschoben wird. Eine Tatsache, die auf die Schwingung vor der Evakuierung zurückzuführen ist. Geringe prozentuale Abweichungen im Verlauf des Auspumpens beschränken die Gesamtjustierungsgenauigkeit bei Duplexschwingern auf Grund der großen Frequenzverschiebung beim Evakuieren.
5. Alterungsverhalten der Frequenz: Verglichen mit XY-Biegeschwingern ist die anfängliche Driftrate der Frequenz hoch.

Schwingquarze – Heute. –

Im Jahre 1952 wurde von A. W. Warner in den Bell-Laboratorien die Energiekonzentration auf dem schwingenden Teil der Quarzfläche entdeckt (*energy trapping*).

Dazu zuerst eine kurze Darstellung zu den Schwingungsarten:

Wenn ein Quarzkristall vibriert, breiten sich entsprechende Wellen aus, welche bei gegebener Frequenz die Kurven von stehenden Wellen erzeugen können. Diese Frequenzen werden Resonanzfrequenzen genannt.

Die dazu gehörigen Kurvenformen beschreiben die Bewegungsresonanz.

Um die Konstruktion der Schwingquarzkristalle verbessern zu können, ist es erforderlich, diese Schwingungsarten genauer zu kennen und zu untersuchen. Das Frequenzspektrum eines Resonators ist in der Regel sehr kompliziert.

Um dieses Spektrum vollständig untersuchen zu können, sind sowohl theoretische Überlegungen als auch eine genaue Analyse mittel Röntgenstrahltopographie, Scanning durch Elektrodenstrahl und Interferometrie erforderlich.

Zur weiteren Geschichte sei gesagt, die ersten Quarzkristallresonatoren aus quadratischen oder rechteckigen Scheiben zeigten damals in den 40er Jahren, daß konturgeformte Scheiben bessere Eigenschaften für Grundwellenquarze – Dickenschwinger – im unteren Megahertzbereich hatten.

Die Erklärung dafür war so, daß die Konturform mit half, die Schwingung in der Mitte der Scheibe zu begrenzen. So war es möglich, die Scheibe an der Kante zu befestigen, da ja dort die Amplitude klein ist.

Bei den damaligen Forschungen fand man heraus, daß im höheren Frequenzbereich flache Scheiben ebenso benutzt werden können, wenn der Elektrodendurchmesser kleiner als die Resonatorabmessung selbst ist.

Wie die Schwingungstheorie zeigt, ist eine Dickenschwingung in einer endlichen Scheibe immer mit einer Biegeschwingung gekoppelt. Da aber diese nicht vom Rand oder den Elektroden gedämpft wird, wurden damals Experimente durchgeführt, um die Verhältnisse zwischen der Dicke, dem Durchmesser, dem Radius der Krümmung und den Elektrodendimensionen zu bestimmen.

Die Ergebnisse wurden in einem Tabellenwerk festgehalten. Die Untersuchungen hatten den Sinn, daß man vermeiden wollte, daß die Resonatorbefestigung sich mit der gekoppelten Biegeschwingung stört.

In den 60er Jahren wurden durch Prof. Mindlin von der Columbia University, USA, und Prof. P. C. Lee von der Princeton University, USA, ebenso mit W. Shockley von der Firma Clevite Corp. in Palo Alto Untersuchungen angestellt, welche zur „Energie-Einfang-Theorie“ und auch zu einem besseren Verständnis der Schwingungsphänomene und der mathematischen Gestaltung des Resonators führten.

In der Schweiz wurde von der Firma „OMEGA-Quarz“ diese Thematik aufgegriffen.

Das dortige Entwicklungsteam stellte sich die Frage: Warum sind eigentlich AT-Resonatoren rund, müssen sie es sein? – Die Antwort dazu ergab, daß in vielen Firmen der optischen Industrie auch „Schwingquarz-Entwicklungen“ gemacht wurden, und so war die logische Antwort, daß die Formgebung von Optikern entwickelt wurde, und Optiker machen doch vorwiegend Produkte in runder Form – Linsen! Ein erstes Patent wurde im Jahr 1972 von den Mitarbeitern der OMEGA-Entwicklungsgruppe, J. Engdahl und R. Hugenin, für einen rechteckigen Dicken-schwingungsschwinger angemeldet. Dieser Schwinger hat seine Längsachse parallel zur Z-Achse (siehe Abb. 5.54).

Dabei wurde die Biegeschwingung, welche sich in der X-Achse ausbreitet, nicht von der Befestigung beeinflusst, aber es zeigte sich auch, daß gegebene Größenverhältnisse beachtet werden mußten, um gute Resultate zu erzielen. Unter Anwendung modernster mathematischer Mittel erstellte Dr. A. Zumsteg, er wurde später auch Mitglied des Teams, die eigentliche Theorie. Dr. Zumsteg wies darauf hin, daß anstelle der Vermeidung der Dicken-schwinger-Biegeschwinger-Kopplung die besten Resultate erreicht wurden, wenn die Scherung stark mit einer Biegeschwingung niedriger Ordnung in Querrichtung gekoppelt war.

Die Firma DRYAN FORDAHL gab dem neuen Quarz den Namen COMODOR

– **CO**upled **MO**de **DO**minance **R**esonator –
(= gekoppelter Schwinger mit ausgeprägter Hauptresonanzfrequenz).

In der nebenstehenden einfachen Darstellung ist der neue Quarz skizziert.

Noch ein paar Eigenschaften zu dem Comodorquarz:
Die ersten Schwinger waren damals für Uhren vorgesehen und wurden für eine Frequenz von 4 194 304 Hz gefertigt.

Die Abmessungen des Kristallstäbchens sind so gewählt, daß die Dickengrundschiwingung zur Grundbiegeschwingung (querliegend) gekoppelt ist. Das Kristallstäbchen hat eine Abmessung von 10 x 1,2 x 0,4 mm.

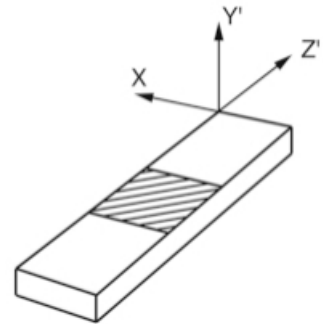


Abb. 5.54
Schnitttrichtung des
COMODOR-Quarzes
35° um die X-Achse
gedreht

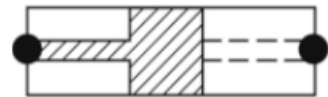


Abb. 5.55
Der neue
COMODOR- Quarz

Der Comodorquarz ist wesentlich weniger empfindlich für schnelle Temperaturwechsel als der AT-Schnitt.

Dies ist die Folge der Tatsache, daß Längenspannungen weder die Dicken-schwingung noch die Biegeschwingung beeinflussen, da beide quer auftreten. Durch die spektrale Reinheit des Comodor ist er bestens geeignet, um auch hochqualifizierte Filter zu fertigen.

Quarزشwinger im SC-Schnitt

SC steht für „Stress Compensated“. Es ist einer der wenigen Quarzschnitte, der theoretisch vorhergesagt wurde. 1975 hat Eroll Eernisse in den USA die Existenz eines stresscompensierten Schnittes vorhergesagt. Es ist ein doppelrotierender Schnitt (sowohl um die Z- wie um die X-Achse gedreht). Die ersten Muster wurden in den Labors von Hewlett Packard, Palo Alto, CA., USA (Jack Kusters) hergestellt (HP vertreibt diesen Resonator als „TTC-Schnitt“, wobei TTC für **“Thermal Transient Compensated”** steht).

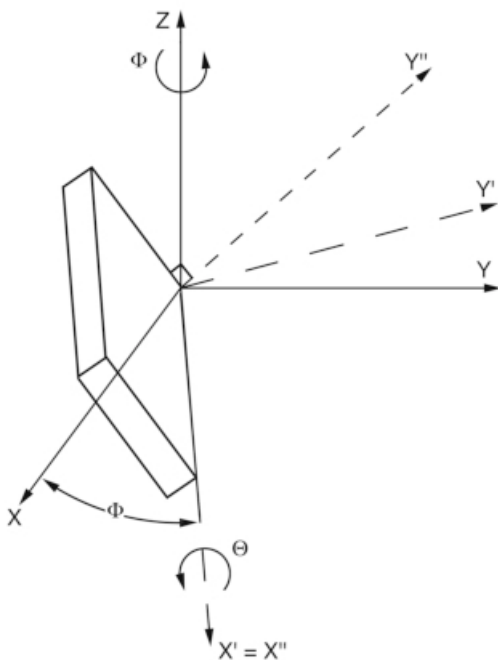


Abb. 5.56
Doppelrotierender SC-Schnitt

Wegen der Stresskompensation erhoffte man sich einen stabileren Quarz, der in Thermostaten zudem schneller aufgeheizt werden kann.

Das damals anvisierte Ziel war also der thermostatisierte Präzisionsoszillator (OCXO).

Die Erwartung für eine Kurzzeitstabilität hat sich erfüllt, die nach einer verkürzten Aufheizzeit vorerst aber nicht.

Es stellte sich nämlich heraus, daß die Aufheizzeit zwar verkürzt war, wenn man wenn man den Bereich von $\pm 10^{-6}$ anschaute, dagegen (wegen des Überschießens der Einlaufkurve) länger wurde im damals hauptsächlich interessierenden Bereich von $\pm 10^{-9} \dots \pm 10^{-10}$.

Zudem war die Schnittwinkeltoleranz auf schwer machbare ± 6 Bogensekunden (!) geschrumpft.

Ein anderer Nachteil des SC-Blancs ist, daß er eine Nebenresonanz hat, deren Frequenz nur 8 % höher liegt und die erst noch stärker ist als die Hauptresonanz. Die Oszillatorschaltung muß dem Rechnung tragen. Der SC-Schnitt war deshalb eher ein Nischenprodukt. –

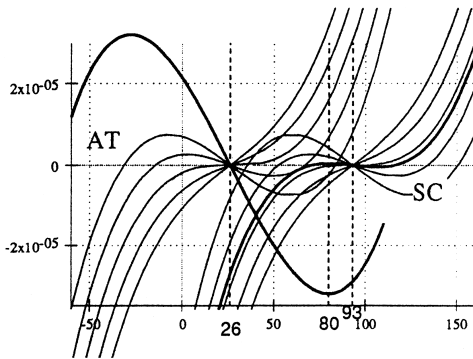


Abb. 5.57

Temperaturgang eines AT-Schnittes (Kuvenschar links) und des SC-Schnittes (Kurvenschar rechts). Der zweite Rotationswinkel Φ verschiebt den Inflexionspunkt von 26 °C (AT) auf 93 °C (SC).

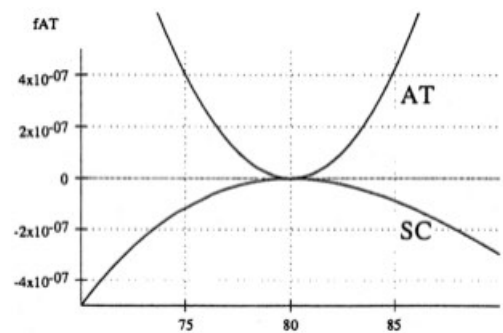


Abb. 5.58

Temperaturgang für AT- und SC-Schnitt in der Nähe des Umkehrpunktes von 80 °C. Der flachere Verlauf des SC-Schnittes wird erkennbar.

In größeren Stückzahlen wurde der SC-Schnitt in temperaturkompensierten Oszillatoren (TCXO) eingesetzt. Da hier die Winkeltoleranzen weit sind (Bogenminuten, nicht mehr -sekunden) und das Kompensationsnetzwerk durch den günstigeren Temperaturgang des SC wesentlich vereinfacht wird, bietet sich der SC-Schnitt für diese Anwendung an.

In neuerer Zeit sind *billige* Thermostatoszillatoren gefragt. Die Anforderungen wurden allerdings – gegenüber den damaligen Präzisionsoszillatoren – wesentlich zurück gefahren. Daher findet auf diesem Gebiet der SC-Schnitt heute seine Anwendung; in diesem neuen Toleranzbereich kann man von schnelleren Aufheizzeiten wirklich profitieren und die flachere Temperaturkurve läßt sich nutzen.

Der SC-Schnitt – als doppelrotierter Schnitt – ist immer schwerer herstellbar als ein einfach rotierter. Daher stellt bei weitem nicht jeder Quarzhersteller ihn auch her. Spezialisierte Blankhersteller liefern aber entsprechende Halbfabrikate.

Der SC-Schnitt ist allerdings auch ein Produkt geworden, welches man einsetzt – einfach, weil es Mode ist. Diese Anwendung mag werbewirksam sein, technisch sinnvoll ist sie nicht.

Keramik-Flachmontagen für Quarzschwinger – “Ceramic Flat Pack Resonators”

1975 wurde aus den USA eine neue Verschlußtechnik bekannt.

Die Anfänge hierzu gehen auf Entwicklungen der Firma *Bliley Electric Co.*, Erie, PA. zurück. Die geistigen Väter waren damals hauptsächlich J. R. Vig, G. S. Snow und P. D. Wilcox.

Der Ausgangspunkt für diese neue Technologie war wohl, daß mit den herkömmlichen Techniken keine hermetisch abschließenden Gehäuse konstruiert werden konnten, und somit der Quarz Verschmutzungen ausgesetzt war.

Bei der Flachgehäuse-Keramik-Technologie, welche auch eine Massenproduktion ermöglicht, kommen hierbei Keramikwerkstoffe mit Aluminiumdichtungen zum Einsatz. Mit dieser neuen Konfiguration entstand ein kleiner, zuverlässiger und robuster Schwingquarz. (Die Abmessungen selber werden immer kleiner.)

Wahrscheinlich ist aber diese Fertigung sehr aufwendig, denn ich konnte nur zwei Hersteller ausfindig machen, in Europa die Firma MICRO CRYSTAL/Schweiz und in Neuseeland die Firma RAKON. In den folgenden Abbildungen sind von den obigen Firmen jeweils Quarze in dieser Technologie dargestellt.

Abb. 5.59



SMD-Schwingquarz Type CC1A-T1A
der Firma MIKRO Crystal/Schweiz

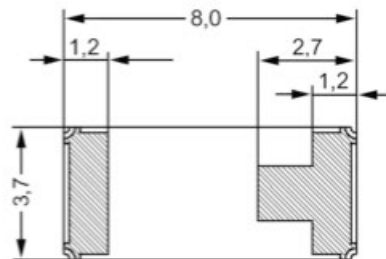


Abb. 5.60

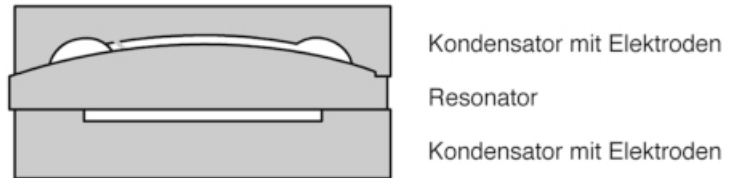


SMD-Schwingquarz Type RSX 5
der Firma RAKON

BVA-Quarze

Der BVA ist ein elektrodloser Quarz (BVA steht für «**B**oîtier à **v**ieillissement **a**mélioré» ein Name, der eher zufällig gewählt wurde). hat auch der BVA Elektroden, aber sie befinden sich nicht direkt auf dem Resonator, sondern auf zwei zusätzlichen „Kondensatoren“, getrennt durch einen Luftspalt (*siehe Abb. 5.61*). Der BVA ist eigentlich eine Rückkehr zu den Luftspaltquarzen, wie sie vor dem Aufkommen der Vakuum-metallisierung gefertigt wurden. Ein weiterer Unterschied zu früher ist der, daß die Kondensatoren nicht mehr aus Metall, sondern auch aus orientiertem Quarz bestehen.

Abb. 6.61
Schnittzeichnung des
„BVA-Sandwiches“.
Der obere Luftspalt
beträgt 8 μ ,
der untere 2 μ .



Sein Erfinder (Raymond Besson, Besançon/Frankreich) hat sämtliche Fabrikations-toleranzen auf das gerade noch technisch Machbare reduziert. Im Gegensatz zu den früheren Quarzen ist der „Resonator“ jetzt plan-convex, um höhere Q-Werte und bessere Alterung zu erzielen. Der Kondensator muß dann natürlich plan-konkav sein, was die Fabrikation nicht erleichtert. Die Luftspalte betragen gerade noch 2 bzw. 10 μ . Ein wesentlicher Vorteil der BVA-Konstruktion liegt darin, daß der aktive Teil des Resonators eine Aufhängung aus Quarz hat, indem die Aufhängung und der Vibrator durch Ultraschallbearbeitung aus demselben Blank gefertigt werden (*Abb. 5.62*). Die vier Brücken sind gerade mal 0,3 mm breit. Der gesamte Aufbau sitzt mit einer Federaufhängung im luftdichten Gehäuse unter Hochvakuum. Die Schlitzte in den „Kondensatoren“ haben nur einen Zweck: sie erlauben in der Endfertigung das Pumpen im Luftspalt.

Der einzige Hersteller weltweit ist die Firma *Oscilloquartz*, Neuchâtel/Schweiz.

Mit dieser Technologie erreicht man folgende Resultate – BVA AT 5 MHz, 5. Oberton:

Blankdurchmesse	$\varnothing_B = 25 \text{ mm}$	Q	> 2 500 000
Vibratordurchmesser	$\varnothing_v = 15 \text{ mm}$	C_1	= 0,183 ff
		Alterung	$\leq 2 \cdot 10^{11}/\text{Tag}$

Diese Daten ermöglichen es, Präzisionsoszillatoren höchster Kurz- und Langzeit-stabilität zu bauen.

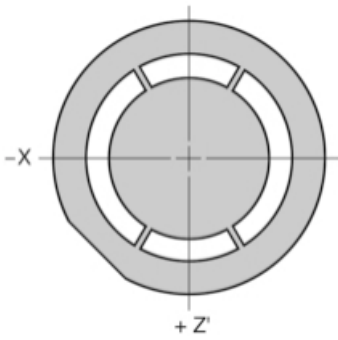


Abb. 5.62
BVA-Resonatorteil mit den
4 Brücken; die Kondensatoren
sind ähnlich aufgebaut.



Abb. 5.63
5-MHz-BVA-Schwinger
für Präzisionsfrequenznormal



Abb. 5.64
BVA-Oszillator –
vorne Resonator
und Printplatte mit
elektronischer
Schaltung

Werkfoto:
Oscilloquartz

Ab 1991 hat auch die Firma *bva Industries*, Besançon/Frankreich, diesen Quarztyp gefertigt. 1998 ist sie in Konkurs gegangen, so daß weiterhin Oscilloquartz die einzige Quelle für BVA-Quarze bleibt.

Schwingquarze – Morgen. –

HFF-Quarze

Bedingt durch die Zunahme der Kommunikationssysteme steigt der Bedarf an höherfrequenten Quarzoszillatoren ständig an.

HFF steht für **High Frequency Fundamental**. Quarze über 200 MHz hat es schon in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts gegeben. Es waren allerdings Quarze, die auf dem 5. oder gar 7. Oberton betrieben wurden. Grundwellenquarze wären einfach zu dünn und zu zerbrechlich geworden, um noch mechanisch hergestellt zu werden. Bei einer Dicke unter 80 µm wird dies schwierig.

Diese Quarze hatten jedoch den Nachteil, daß sie wegen des Obertonbetriebes *schlecht ziehbar* waren. Zu dem hatten sie einen Blankdurchmesser von mindestens 5 mm – eine Größe, die im SMD-Zeitalter viel zu teuren Platz auf dem Print wegnimmt.

Man kam daher auf die Idee, von einem Blank mit 80 µm (entspricht 20 MHz) auszugehen und ein- oder beidseitig eine Vertiefung einzuarbeiten (daher auch der Name *Inverted Mesa*). Die dünne Membran war der Resonator, der stehen gelassene Rahmen war die Aufhängung und brachte die mechanische Festigkeit.

Um 1980 hat die CEPE, Paris (damals zur *Thomson*-Gruppe, heute zu *C Mac* gehörend), erste Muster mit Plasmaätzen erfolgreich hergestellt.

Die Plasmabearbeitung war allerdings sehr langsam, so daß Bearbeitungszeiten von 16 Stunden keine Seltenheit waren. Dies stand dem kommerziellen Erfolg entgegen. Mit dem Aufkommen von anisotrop wirkenden Ätzmitteln wurde die Plasmabearbeitung aufgegeben, denn mit Naßätzen konnten die Membranen doch schneller hergestellt werden.

Ein Pionier der Ätztechnik war *Jürgen Staudte*, USA. Um 1970 hat er den photolithographischen Prozeß für Stimmgabel-Quarze (Uhren) eingeführt. 20 Jahre später hat er dem HFF zum Durchbruch verholfen. Dieser HFF vom 147 MHz (Grundwelle) paßte nun in das Gehäuse eines Uhrenquarzes; er wurde in Clock-Oszillatoren (in Computern und Workstations) millionenweise eingesetzt.

Das Naßätzen läßt sich jedoch nur rationell einsetzen, wenn man sich auf die Photolithographie stützen kann. Die kleinen Abmessungen (2,5 x 1 x 0,08 mm) erschweren die Handhabung, ein Batchprozeß drängt sich auf.

Mögliche Verfahren des Tiefätzens bis zu einer kontrollierten Restdicke sind auch die Verwendung

von
konzentrierter Flußsäure (HF)
oder
kochender, konzentrierter NaOH (180 °C)

Die dafür notwendige Infrastruktur ist aber äußerst aufwendig, weshalb weltweit nur gut ein halbes Dutzend solcher Fertigungen bestehen. Sie stehen in den USA, der Schweiz, in Japan und in China.

Seit neuestem besteht auch in Deutschland eine Fertigung bei der Firma FOQ in Bad Rappenau.

Mit eher labormäßigen Methoden behelfen sich Hersteller, die auf die Photo-lithographie verzichten müssen.

Sie stellen aber keine nennenswerten Stückzahlen her.

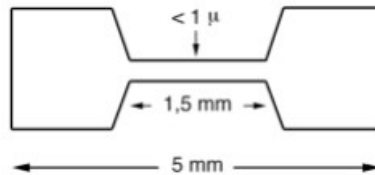


Abb. 5.65 Chemisch geätzter Kristall

Quarzoszillatoren - Quarzfilter - Quarz-Thermostate

6.1 Quarzoszillatoren

Oszillatoren sind das Herzstück vieler elektronischer Einrichtungen.

Geräte der Nachrichtentechnik, Navigations- und Meßeinrichtungen und Datenverarbeitungsanlagen benötigen Oszillatorschaltungen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Kurz- und Langzeitstabilität der Schwingfrequenz.

Bis zum Jahr 1922 etwa wurden in der Hochfrequenztechnik elektrische Schwingkreise nur mit Selbstinduktionen und Kapazitäten aufgebaut.

Die Berechnung erfolgte, wie bekannt, nach der Kirchhoff-Thomsonschen Formel, die eine grundlegende Beziehung für die Theorie der Schwingkreise darstellt:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Die hierin enthaltenen Größen L und C können sich aber mit der Temperatur ändern.

Bei der Entwicklung von Schwingschaltungen war es Alexander Meißner, welcher „Eine Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Schwingungen mit einer Röhre“ im Jahre 1913 zum Patent anmelden ließ (Pat. Nr. 291 604).

Die ursprüngliche Meißner-Schaltung ist eine Anordnung nach *Abb. 6.1.1*), bei der ein Teil der Anodenwechselspannung mit einer Phasenverschiebung von ca. 180° an das Gitter zurückgekoppelt wird. Die Rückkopplung erfolgt hier induktiv über die beiden Spulen L_1 und L_r , die Abstimmung durch den im Anodenkreis liegenden Kondensator C. Der außerordentliche Vorteil dieser Schaltung liegt in seiner Stabilität.

Kommerzielle Geräte benutzten damals häufig diese Oszillatoren. Eine weitere sehr viel benutzte Schaltung ist die „Huth-Kühn-Schaltung“, bei der Gitter- und Anodenkreis auf die zu erzeugende Frequenz abgestimmt sind.

Hier wird Schwingungserzeugung nicht durch äußere Kopplung erzielt, sondern durch die innere Gitter-Anodenkapazität C_{ga} (kapazitive Rückkopplung).

Die zur Schwingungserzeugung benötigte Spannungsteilung erfolgt hier im Verhältnis des Widerstandes von C_{ga} zu dem des Gitterkreises.

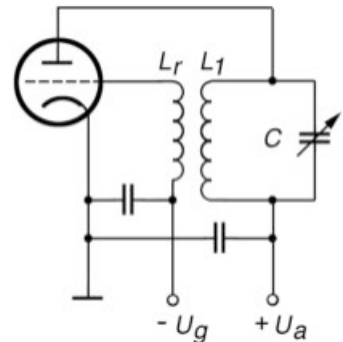
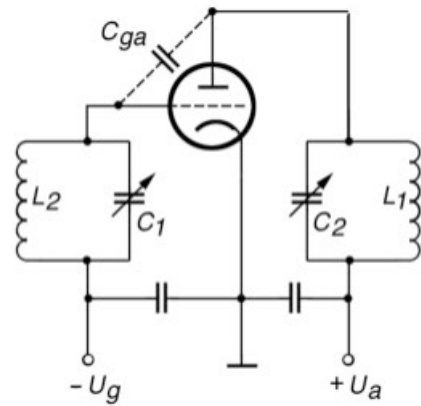


Abb. 6.1.1
Selbsterregungsschaltung
mit Anoden-Rückkopplung

(C_{ga} ist eine konstruktiv durch die Röhrenabmessung festliegende Größe.) Frequenzbestimmend ist bei der Huth-Kühn-Schaltung der Gitterkreis. Der Anodenkreis liegt mit seinem Widerstand dem Spannungsteiler parallel und wird nur auf maximale Leistungsausbeute, d. h. Resonanz, eingestellt.

Abb. 6.1.2 Huth-Kühn-Schaltung



Der Quarzkristall als Resonator

Bei den ersten Unterwasser-Schallversuchen zur Echolotung im Jahr 1914 durch den französischen Physiker Paul Langevin wurde das erste Mal zur Schwingungserzeugung der Quarzkristall eingesetzt. Die hervorragende Konstanz der Grundfrequenz eines schwingenden Quarzstabes wurde dabei von ihm beobachtet. Er schuf eine Theorie der Schwingungen planparalleler sowie zwischen Stahl geklebter Quarzplatten. 1917 führte er den Herren vom Marineministerium seinen Unterwasserschallapparat vor.

Die Funktion des Gerätes beruhte darauf, daß eine Quarzplatte, deren Platten-normale parallel zur X-Achse des Quarzkristalls verläuft, durch eine hohe Wechselspannung in elastische Resonanzschwingungen versetzt wird, gleich der Eigenfrequenz der Platte in Richtung ihrer Dickendimension, und dadurch zur Ausstrahlung intensiver Schallwellen gebracht wurde.

Die von dem Unterwasserschallsender ausgehende Welle wird vom Meeresgrund reflektiert. Man gibt eine sehr kurzes Signal von $1/100$ Millisekunde und mißt das Zeitintervall zwischen Aussendung und Rückkehr.

Zur gleichen Zeit als Langevin Experimente mit Quarz als Ultraschallquelle durchführte, führte Dr. A. Nicolson in den Bell-Telefon-Laboratorien unabhängig davon Untersuchungen über den Einsatz von Rochellesalz als elektronischen Empfänger für mechanische Schwingungen (Druckwellen) durch. Aus diesem Grund kommt Dr. Nicolson die Ehre zugute, der Erste gewesen zu sein, der den *Piezokristall ausschließlich als Stromkreiselement* in einem Stromkreis verwendete.

Wie schon in Kapitel 1 dargestellt, führten W. G. Cady und J. A. Anderson zusammen mit A. M. Nicolson im Auftrag der US-Marine auch Versuche durch, um ein spezielles Ortungsgerät für U-Boote zu entwickeln. Zuerst wurden für die Resonatoren Rochellesalz-Kristalle verwendet. Ab 1919 bei weiteren Versuchen, welche Cady damals durchführte, wurde ein Resonator entwickelt, der die Eigenschaft des piezoelektrischen Effektes eines *Quarzkristalls* ausnutzt.

Sein Quarzkristalloszillator bestand aus drei Vakuumröhrenstufen. Er nutzte hierbei die von A. Meißner beschriebene klassische Rückkopplung mit einem phasendrehenden Übertrager aus, der hier durch den mit zwei Elektroden versehenen Quarzstab ersetzt wurde. 1922 veröffentlichte Cady eine einfache Theorie:

“Theory of Longitudinal Vibrations of Viscous Rods” (Theorie der Schwingungen elastischer Stäbe), in Physical Review 1922, Seite 191, nach der sich ein Piezokristall in der Umgebung der Resonanzstelle als Schwingkreis sehr hoher Güte ($Q = > 10\,000$) mit den Konstanten L-C-R (= Dämpfungswiderstand) ansehen läßt, welche aus den physikalischen Daten und geometrischen Abmessungen des Kristall bestimmbar sind. (Siehe auch Kapitel 5.) Abb. 6.1.3 zeigt das elektrische Ersatzschaltbild eines Quarzes im schwingenden Zustand.

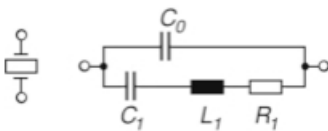


Abb. 6.1.3
Ersatzschaltbild eines
Schwingquarzes

C_0 – Statische Parallelkapazität
 C_1 – Dynamische Kapazität
 L_1 – Dynamische Induktivität
 R_1 – Dynamischer Verlustwiderstand

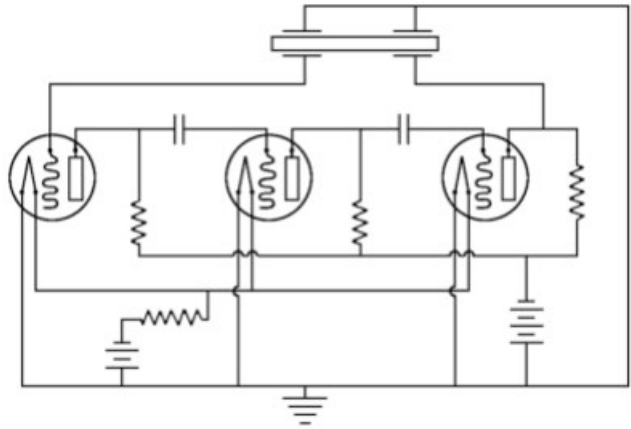
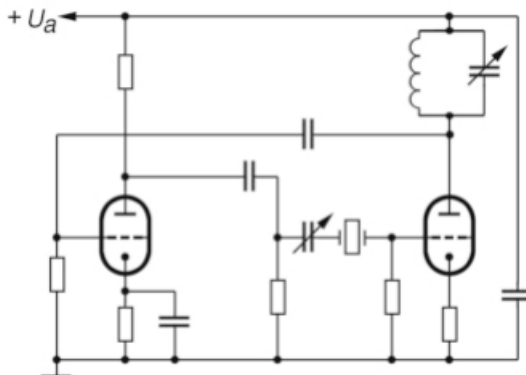


Abb. 6.1.4
Cady-Oszillator – Originaldarstellung
aus der Patentschrift

Abb. 6.1.5 Heegner-Oszillator



Man erkannte bald, daß Quarzkristalle die stabilste und praktischste Lösung für die Anwendung der Resonatoren waren. Lange Zeit haben sich die bekannten Schaltungen in Steuerstufen wie von Pierce, Heegner und Meacham bewährt und sind auch heute noch in der Praxis zu finden.

Über den Pierce-Oszillator ist bereits in *Kapitel 5* berichtet worden und so möchte ich noch kurz den Heegner- und den Meacham-Oszillator vorstellen. Die *Abb. 6.1.5* stellt einen Heegner-Oszillator mit zwei Röhren dar. Die Heegner-Schaltung wird hier im Frequenzbereich von 40 kHz bis 1 MHz angewendet. In der Schaltung wirkt der Quarz als Reihenresonanzkreis und wird in seiner Eigenfrequenz erregt. Der Anodenschwingkreis der zweiten Röhre wird auf die Resonanzfrequenz des Quarzes abgestimmt. Die Meacham-Brückenschaltung findet ihre Anwendung im Frequenzbereich von 10 kHz bis 1 MHz, also für niederfrequente Quarzoszillatoren.

Diese Schaltungsart zeichnet sich durch eine sehr gute Frequenzstabilität aus und wurde vielfach für 100-kHz-Präzisionsfrequenznormale verwendet.

Der Quarz schwingt bei dieser Schaltung in Serienresonanz. In einem der Brückenarme ist als Widerstand eine Glühlampe zur Amplitudenstabilisierung eingesetzt. Die Amplitudenstabilisierung bewirkt hierbei, daß Änderungen des Verstärkungsfaktors keinen Einfluß auf die Oszillatorfrequenz haben.

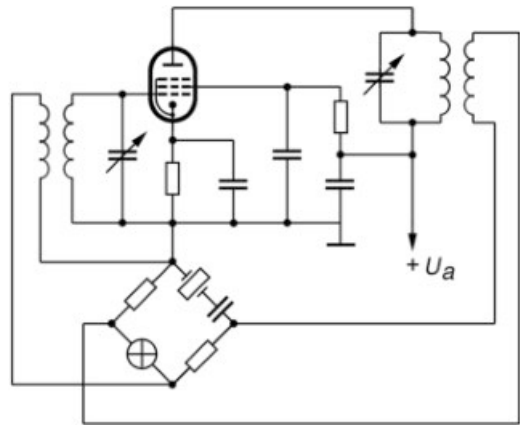


Abb.6.1.6 Meacham-Oszillator

Außer den bereits vorgestellten Quarzoszillatorschaltungen gibt es aber noch andere Schwingerschaltungen. Ich habe hier bewußt als Gegenüberstellung und auch zur Einführung das „Röhrenzeitalter“ vorangestellt.

Zu weiteren Grundsaltungen noch ein paar Angaben mit Schaltungsbeispielen, diesmal mit Halbleitern.

Zuerst noch ein paar Worte zu den Begriffen:

- Serienresonanz
- Parallelresonanz

Ein Schwingquarz hat im Gegensatz zu einem einfachen L-C-Kreis zwei Resonanzfrequenzen, die nahe beieinander liegen:

eine Serienresonanzfrequenz f_s
und eine Parallelresonanzfrequenz f_p

Bei einem Serienresonanz-Oszillator schwingt der Quarz zusammen mit seinem Ziehelement (Kapazität in Serie) in niederohmiger Resonanz. Beispiele sind der klassische Heegner- und der Butler-Oszillator.

Bei einem Parallelresonanz-Oszillator schwingt der Quarz mit seinem parallelen Ziehelement in einer hochohmigen Resonanz. Die bekannteste Schaltung ist hier die „Huth-Kühn-Schaltung“, aus der sich die „Pierce-Schaltung“ ableitet.

Zu der Frage, welche Quarzoszillatorschaltung die zweckmäßigste ist, und ob hier der Quarz in Parallel- oder Serienresonanz betrieben werden soll, unterhielt ich mich einmal mit einem Spezialisten aus der Oszillatorabteilung einer Schwingquarz-Firma. Er erwähnte, daß dies schon eine alte Streitfrage sei und diese Begriffe auch oft in verwirrender Weise benutzt würden. Er empfahl mir deshalb zu diesem Themenkreis die Abhandlung von G. Becker von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zu lesen. Der Titel dieses Artikels: „Über den Begriff der Resonanz von elektrischen Schwingkristallen“.

Ich möchte aber hier nicht näher auf diese Thematik eingehen, sondern nur kurz bemerken: in obigem Artikel werden die charakteristischen Eigenschaften von Serienresonanz und Parallelresonanz sowie Kriterien angegeben, die eine eindeutige Unterscheidung von Serienresonanz- bzw. Parallelresonanz-Oszillatoren erlauben. –

Zu den Oszillatoren in Serien- und Parallelresonanz möchte ich zum Abschluß noch ein paar typische Schaltungsvarianten vorstellen:

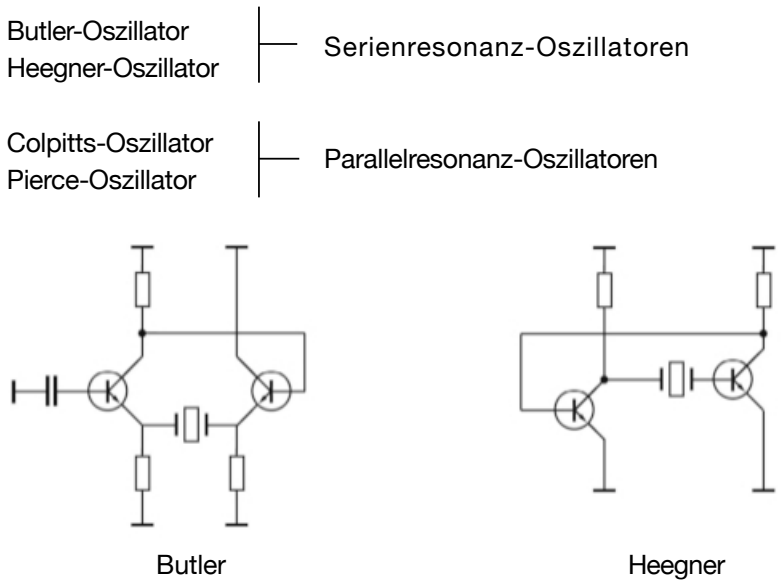
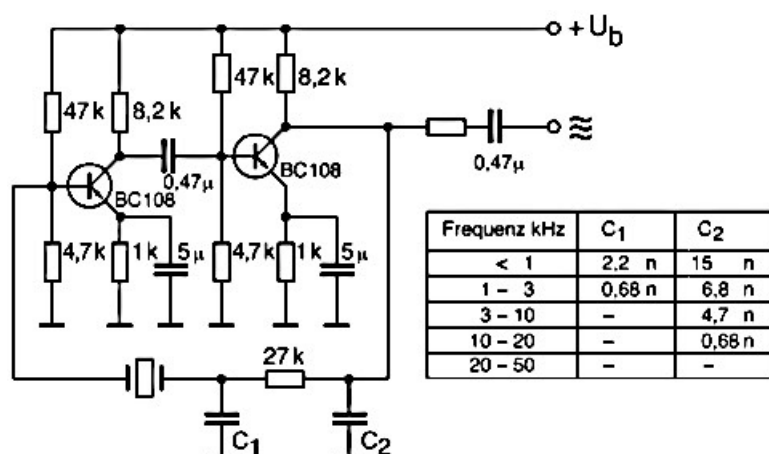


Abb. 6.1.7 Serienresonanz-Oszillatoren (Prinzip)

Die Abb. 6.1.8 zeigt den zweistufigen Serienresonanz-Oszillator nach Heegner für den Frequenzbereich von 800 Hz bis 50 kHz.

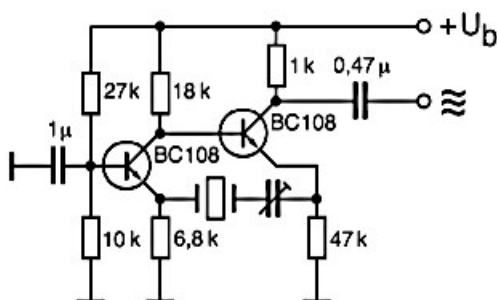
Abb. 6.1.8
Serienresonanz-
Oszillator
nach Heegner



In dieser Heegner-Schaltung wurden vorwiegend Biegeschwinger und Längsdehnungsschwinger, auch Stimmgabeln, verwendet. Diese Schaltung wird heute aber nur noch selten eingesetzt.

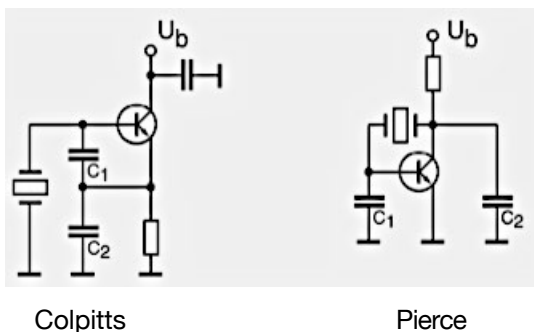
Eine weitere mehrstufige Schaltung ist der Butler-Oszillator. Die Butler-Schaltung wird heute noch mit am meisten verwendet.

Abb. 6.1.9
Butler-Oszillator
für 50 bis 500 kHz



Zu den gebräuchlichsten Quarzoszillatorschaltungen der Parallelresonanz-Familie gehören, wie schon oben angezeigt, der Colpitts- und der Pierce-Oszillator. Eine in der Praxis bewährte Schaltung ist der Colpitts-Oszillator mit einer Darlingtonstufe. Diese Schaltung arbeitet sehr zuverlässig.

Abb. 6.1.10
Parallelresonanz-Oszillatoren
(Prinzip)



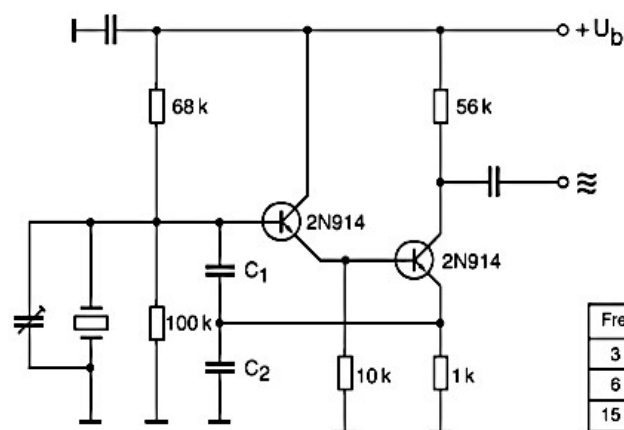
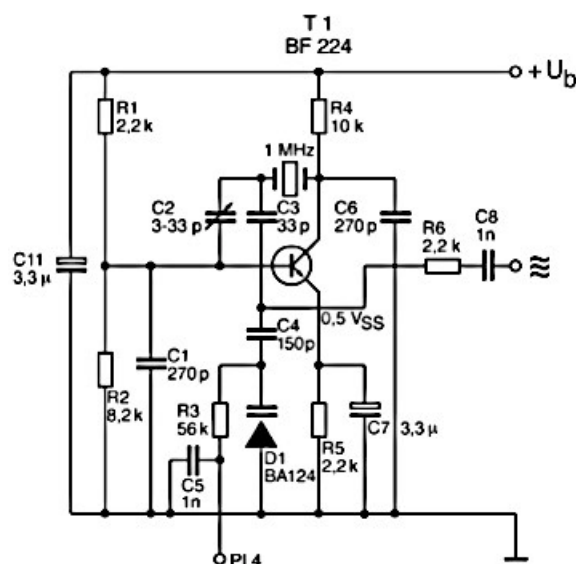


Abb. 6.1.11
Colpitts-Oszillator mit
Darlingtonstufe für
Grundtonquarze

Frequenz kHz	C ₁	C ₂
3 – 6 MHz	560 pF	470 pF
6 – 15 MHz	560 pF	220 pF
15 – 30 MHz	220 pF	100 pF



Der **Pierce**-Oszillator ist neben dem Heegner-Quarzoszillator mit einer der ältesten und bewährtesten Oszillatoren. Als Beispiel ist hier in der Abb. 6.1.12 ein Pierce-1-MHz-Oszillator als Quarzeitbasis aufgezeigt.

Abb. 6.1.12
Quarzeitbasis

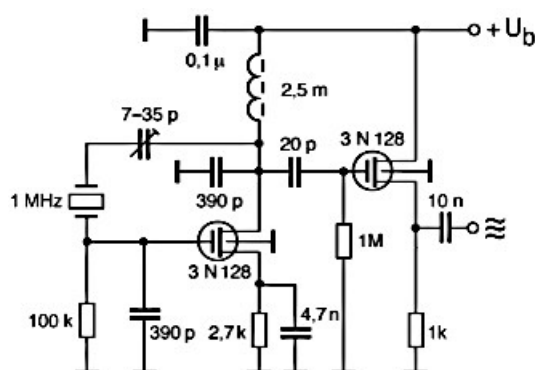


Abb. 6.1.13
Quarzoszillator, 1 MHz,

Quarzoszillatoren mit integrierten Schaltungen

Moderne Oszillatoren mit integrierten Schaltungen werden oft in einfachen Frequenzzählern und anderen Meßgeräten eingesetzt. Ihr Vorteil ist, daß sie ohne viele externe Bauelemente auskommen und sich auch gut in ihre digitale Umgebung einpassen *aber den Quarz hoch belasten*. In der Literatur ist schon viel geschrieben worden und eine Stelle aus einer Abhandlung möchte ich noch zitieren:

„... was man von den häufig publizierten Schaltungen eines mit NAND-Gattern (wie SN 7400) zu Schwingungen gequälten Quarzes zu halten hat, soll hier nicht erörtert werden. Jedenfalls gibt es zur Zerkleinerung von kristallinem Quarz wirtschaftlichere Methoden ...“

– Ein sauberer Oszillatoraufbau: *Schwingtransistor – Pufferstufe – Anpaßstufe* –, ist doch ein Qualitätsmerkmal !

Quarzoszillatoren der Industrie

Im letzten Teilabschnitt dieses Kapitels möchte ich noch industriell gefertigte Quarzoszillatoren vorstellen.

Es ist oft für den Gerätehersteller nicht ganz leicht, eine geeignete Schwingschaltung zu konzipieren, welche den Eigenschaften der Steuerquarze angepaßt ist.

Der Schaltungsentwickler sollte dem Oszillatorhersteller die Geräte- und die Schnittstellenspezifikationen aber keine Schaltung übermitteln. Ferner, um auch dem Schaltungsentwickler die Mühe zu sparen, hier selbst umfangreiche Untersuchungen anzustellen, haben viele Schwingquarzhersteller Quarzoszillatoreinheiten konstruiert, die richtig angepaßte und günstig dimensionierte Schwingschaltungen enthalten. Bei diesen Oszillatorbaugruppen gibt es keine Schwierigkeiten mehr mit der Frequenzgenauigkeit, der Frequenzkonstanz, der Ausgangsspannung und dergleichen, wenn der Geräteentwickler, unter Berücksichtigung seiner Produktspezifikation, die richtige Wahl trifft. Alle diese Eigenschaften werden für diesen kompletten Oszillator vom Hersteller genau garantiert, so daß die für den Quarz allein noch bestehenden Unsicherheiten hier vollständig ausgeschaltet sind.

Der wichtigste Teil einer Oszillatorspezifikation ist die Frequenzgenauigkeit, die drei Hauptbestandteile aufweist:

1. Abgleichgenauigkeit bei Nennbedingungen
Unter Abgleichgenauigkeit versteht man die Abweichung der Ausgangsfrequenz von der Nennfrequenz unter Nennbedingungen.

2. Frequenzstabilität im Hinblick auf die Temperatur
Wenn kein Kompensationsverfahren angewandt wird, hat der Quarzoszillator annähernd den Frequenz-Temperaturgang des verwendeten Schwingquarzes. Gute Stabilität kann auch für einfache Quarzoszillatoren durch sorgfältige Wahl des Schnittwinkels erreicht werden.
Die bestmögliche Frequenzstabilität erreicht man durch Betrieb des Schwingquarzes bei fester Temperatur (z. B. +70 °C) in einem Thermostaten.
3. Alterung
Die Änderung der Ausgangsfrequenz mit der Zeit wird *Alterung* genannt. Diese schließt Alterungseffekte des Schwingquarzes und der Oszillatorschaltung selbst ein. Die Alterung der Quarzresonanzfrequenz erfolgt normalerweise logarithmisch ansteigend, die Rate ist also zu Beginn weit höher als später. Die anderen Bauteile des Oszillators altern nach ähnlichen Gesetzen. – Verbesserung ist durch einen künstlichen Alterungsprozeß möglich.

Weitere wichtige Spezifikationsmerkmale für Frequenzstabilität sind:

Betriebsspannungsabhängigkeit – Lastabhängigkeit – Phasenrauschen – Kurzzeitstabilität

Die verschiedenen industriell gefertigten Oszillatortypen

Es gibt vier Grund-Oszillatortypen:

Einfache Quarzoszillatoren	(PXO)
Spannungsgesteuerte Quarzoszillatoren	(VCXO)
Temperaturkompensierte Quarzoszillatoren	(TCXO)
Temperaturstabilisierte Quarzoszillatoren	(OCXO)

Im nachfolgenden Beitrag sind einige der typischen Eigenschaften dieser Oszillatoren zusammengefaßt.

Einfacher Quarzoszillator (PXO)

Quarzoszillatoren, die nur einen Schwingquarz mit dem kompletten Oszillator in einem gekapselten Gehäuse vereinen, werden PXO (Packed Crystal Oscillator) genannt. Diese „Low-Cost-Oszillatoren“ sind Miniaturoszillatoren und werden zur Taktsignalerzeugung für Mikroprozessoren oder in Konsumgütern (z. B. Uhren) eingesetzt.

Spannungsgesteuerter Quarzoszillator (VCXO)

Quarzoszillatoren, die durch eine externe Spannung moduliert oder abgestimmt werden können, heißen VCXO (Voltage Controlled Crystal Oscillator). Typische Anwendungen von VCXOs sind Schmalband-Frequenzmodulation, PLL-Systeme (Phase Locked Loop) und Frequenzumtastung in der Datenübertragung.

Die Ausgangsfrequenz wird hierbei durch eine extern angelegte Spannung verändert bzw. moduliert. Dies geschieht, indem man eine Kapazitätsdiode als spannungsabhängige Lastkapazität verwendet.

Temperaturkompensierter Quarzoszillator (TCXO)

Quarzoszillatoren, deren Frequenzänderung über den Arbeitstemperaturbereich direkt oder indirekt kompensiert wird, nennt man TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator). Die Frequenzstabilität von TCXOs ist bis zu 20-mal besser als ohne Kompensation ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$). Dies macht sich vor allem bei Anwendung mit größerem Temperaturbereich (z. B. 20 °C bis 70 °C) erheblich bemerkbar. Der Temperaturbereich des Quarzes wird mit Hilfe eines analogen oder digitalen Kompensationsverfahrens über dem Arbeitstemperaturbereich stabilisiert.

Die digitale Kompensationsmethode (DTCXO) ist aber mit einem erheblichen Aufwand verbunden, liefert aber Temperaturgänge $< 1 \cdot 10^{-6}$.

TCXOs werden vornehmlich in mobilen und stationären Funkgeräten eingesetzt.

Temperaturstabilisierter Quarzoszillator (OCXO)

Quarzoszillatoren mit interner Temperaturstabilisierung werden als OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator) bezeichnet.

Die Konstanzhaltung der Temperatur des Schwingquarzes und auch der Schwingerschaltung macht außerordentliche Frequenzstabilitätswerte möglich.

Diese Vorzüge werden mit einem relativ großen Leistungsbedarf zur Aufrechterhaltung der Temperatur von 60 °C bis 90 °C des Thermostaten und einer Aufheizzeit von einigen Minuten erkauft.

Bei stationären Geräten kann man eine Vorheizschaltung (Standby) einsetzen, um die gewünschte Frequenzgenauigkeit unmittelbar nach dem Einschalten zu erreichen. Auch Einschalthystereseerscheinungen können auf diese Weise eliminiert werden. OCXOs für bewegliche Funkanlagen sollten eine kleine Baugröße, geringe Stromaufnahme und eine kurze Aufheizzeit aufweisen. Ein thermostatisch geregelter Quarzoszillator enthält Schwingquarz, Oszillatorschaltung, Temperatursensor und Heizelement. Die Thermostattemperatur wird 10 °C bis 15 °C über der höchsten Arbeitstemperatur gewählt und über dem Arbeitsbereich durch eine Temperaturregelschaltung bis auf wenige zehntel Grad Celsius konstant gehalten.

Die folgende Zusammenstellung zeigt einen kleinen Querschnitt aus der Entwicklung unterschiedlicher Quarzoszillatoren aus den Jahren 1930 bis heute.

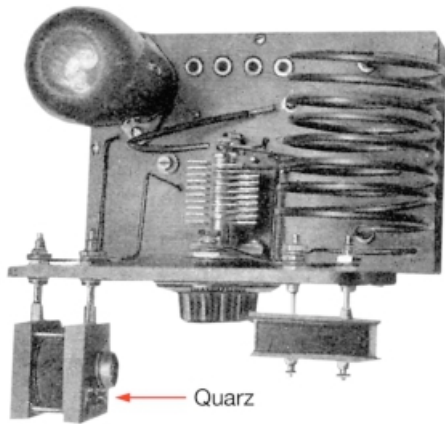


Abb. 6.1.14
Kristall-Oszillator
in Huth-Kühn-Schaltung
für einen Kurzwellen-
Amateursender
(1931)

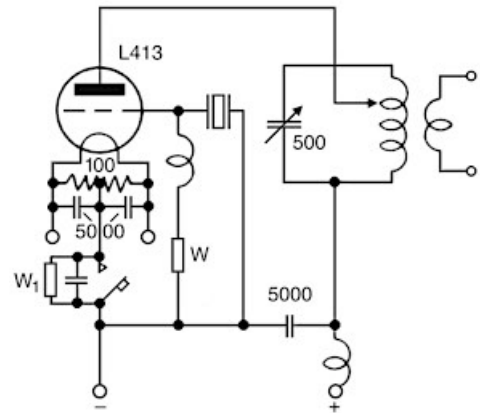


Abb. 6.1.15 Schaltung des Oszillator

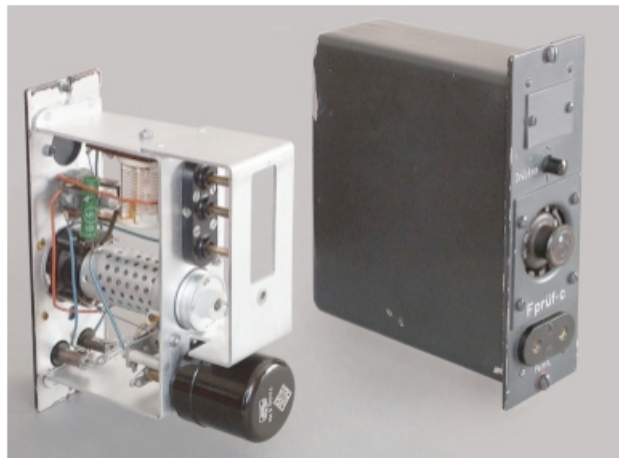


Abb. 6.1.16
Eichoszillator 7 000 kHz für
den Wehrmacht-Tornister-
Empfänger Type Fu.d2
(1942)



Abb. 6.1.17

Pilotgenerator 84,08 kHz (1957)

Der Pilotgenerator ist eine Baugruppe aus einer Trägerfrequenz-Anlage.

In dem jeweiligen TF-System wird für die Regelung des Pegels eine Pegelschwinauna (Piloton) benötigt.



Abb. 6.1.18

5,0-MHz-Quarzoszillator
mit Teilerstufen 1,0 MHz, 1 kHz
Präzisionsausführung
(1958)

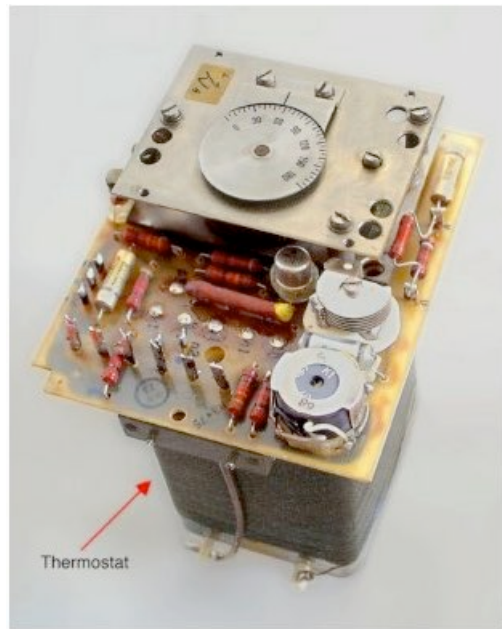


Abb. 6.1.19

124-kHz-Oszillator
für die zentrale Trägerstromversorgung
einer TF-Anlage – Grundgenerator
(1965)

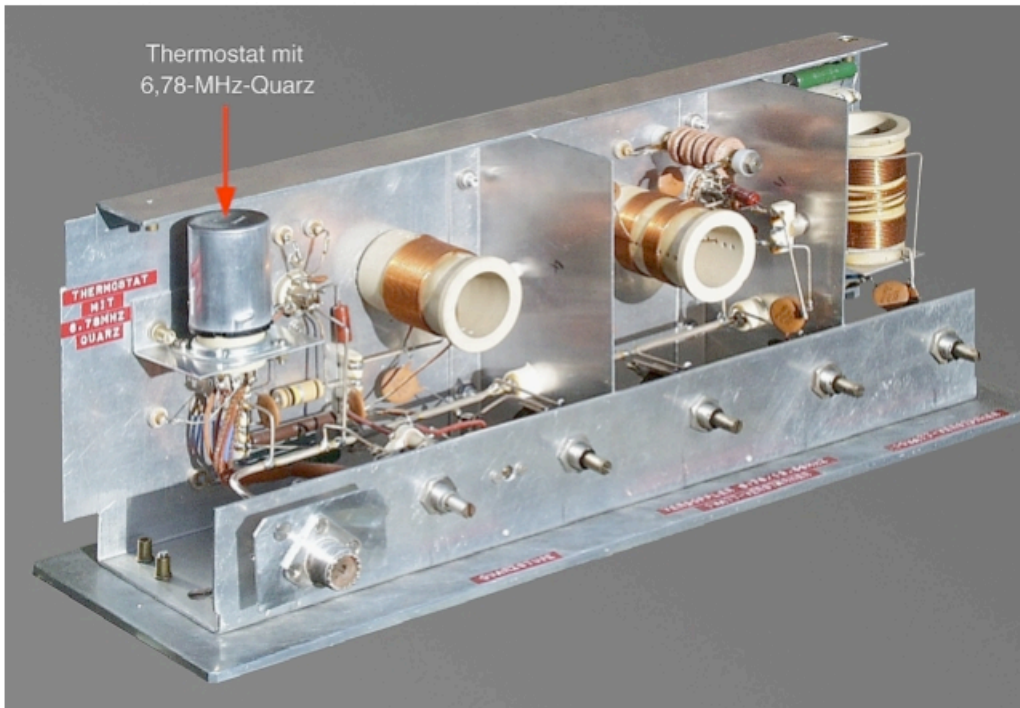


Abb. 6.1.20
Quarzoszillator eines
Hochfrequenz-Industriegenerators
für 13,56 MHz (1969)

Aufbau:

Die vom Schwingquarz 6,78 MHz zwischen Steuergitter und Schirmgitter der Oszillatorröhre angeregte HF-Schwingung wird vom Anodenschwingkreis der Röhre kapazitiv ausgekoppelt.

In der auf den Quarzoszillator folgenden Frequenzverdopplerstufe wird die Ausgangsfrequenz von 13,56 MHz ausgefiltert und überein Bandfilter im Gegentakt auf die Steuergitter einer Verstärkerröhre eingespeist. –

Der Generator wurde speziell zur Plasma-erzeugung in Sputter-Anlagen der Halbleiter- und optischen Industrie eingesetzt.

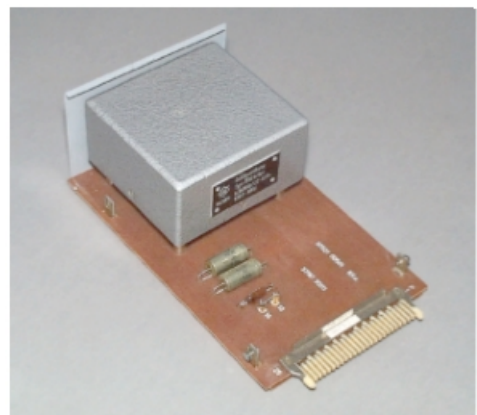


Abb. 6.1.21
Quarzoszillator 5 MHz
Frequenzstabilität $< \pm 1 \cdot 10^{-8}$
(1970)

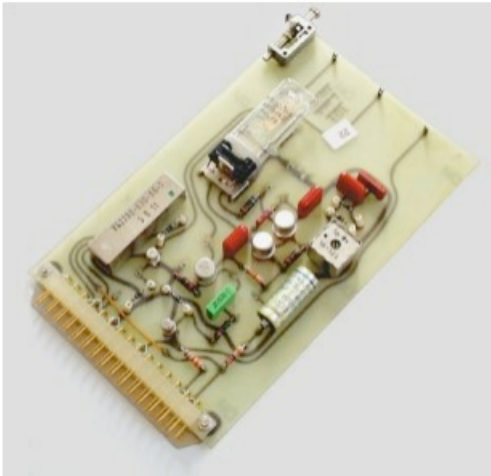
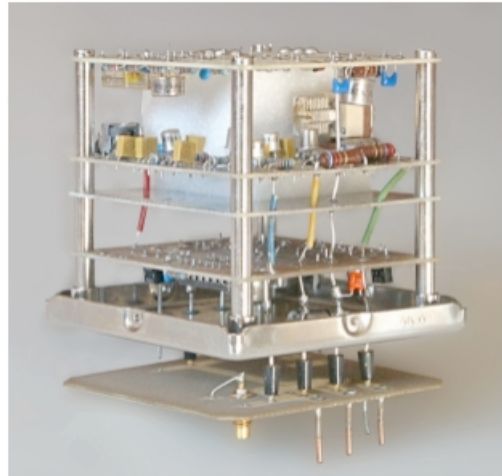


Abb. 6.1.22
Signalfrequenz-Generator
153,600 kHz
(197



6.1.23
Präzisionsoszillator 5,0 MHz
mit Teilerstufen 1,0 MHz, 100 kHz –
Sonderausführung – (1983)



Abb. 6.1.24 Quarzoszillatoren –
Heute –

In obiger Abbildung sind die
in ihrer neuen Form
eingeführten
Quarzoszillatoren dargestellt

PXO
VCXO
TCXO
OCXO

Quarzoszillatoren
(Darstellung von links nach rechts)

6.2 Quarzfilter

Die Verwendung von Quarzkristallen als Filterelemente wurde 1922 erstmals von Walter G. Cady in seiner Abhandlung „Der piezoelektrische Kristallresonator“ vorgeschlagen (*siehe auch Kapitel 1, Seite 31*).

Im Laufe der Entwicklung hielt der Filterquarz schon bald auch Einzug in der Empfangstechnik. Hier wurde in Amerika sehr früh bei den Amateurgeräten – den „Communications-Empfängern“ – der ZF-Teil mit derartigen Filtern ausgerüstet! Ich möchte aber zuerst in der Chronologie ein wenig weiter ausholen und in die Zeit der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts zurück gehen ...

Oliver Heaviside stellte 1893 grundlegende Betrachtungen zur Leitungstheorie an. Diese Betrachtungen führten ihn auf die sogenannte Telegraphengleichung. Aus ihr entwickelte er die Schlußfolgerung, daß die Durchlässigkeit einer Leitung sich bei Erhöhung der Leitungsinduktivität verbessern würde. Entsprechende Versuche von ihm schlugen jedoch fehl. Erst Michael Pupin gab im Jahre 1899 die richtige Art und Weise an, mit seinen „Pupinspulen“ die Telefonleitungen zu versehen. Dieser durchschlagende Erfolg gab Anlaß zu Untersuchungen des Frequenzverhaltens von leitungsähnlichen Schaltungen mit zwei Ein- und Ausgangsklemmen, den Vierpolen, welche Spulen und Kondensatoren enthielten. Diesen Problemen widmete sich dann Karl W. Wagner beim Telegraphentechnischen Reichsamt in Berlin in den Jahren 1910–1914. Er stellte bei diesen Vierpolen ein charakteristisches Dämpfungsverhalten für unterschiedliche Frequenzen fest, welche einen Durchlaßbereich und einen Sperrbereich aufwiesen. So gelang es ihm, eine Theorie dieser Wellenfilter aufzustellen (bekannt als die „Wellenparametertheorie“). Diese grundlegende Arbeit über die elektrischen Filter wurde damals beim Archiv für Elektrotechnik am 7.1.1915 eingereicht. Doch nur der erste Teil der Arbeit – „Die Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen“ – durfte veröffentlicht werden. Der Hauptteil, welcher die Theorie und die Schaltungen der L-C-Siebketten umfaßte, wurde von militärischer Seite während des Ersten Weltkrieges zurückgehalten, da man damals schon die Bedeutung und den Wert der Erfindung erkannt hatte. Der zweite Teil erschien erst 1919 mit dem Titel: „Spulen und Kondensatorleitungen“. Dort wurden auch die vier Grundtypen elektrischer Filter – Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre –, ihre Berechnung und ihre Eigenschaften beschrieben. In der Zwischenzeit war aber bekannt geworden, daß der Amerikaner G. A. Campbell von den Bell-Telephon-Laboratorien am 15.7.1915 (!) ein Patent über Siebketten-schaltungen eingereicht hatte (US-Patent Nr. 1127 113). Im Jahr 1934 erschien in Amerika ein Artikel von W. P. Mason mit dem Titel: „Electrical Wave Filters Employing Quartz Crystals as Elements“.

In diesem Artikel behandelte Mason die Grundlagen für den Entwurf von Quarzfiltern, welche er später in seinem Buch: *“Electromechanical Transducers and Wave-Filters”* weiter verarbeitete.

Unter den Siebschaltungen nehmen die Quarzfilter einen besonderen Platz ein. Da gerade in dem Frequenzgebiet von 50 kHz bis 500 kHz Quarzfilter wirtschaftlichere Schaltungen ergeben als Spulenfilter und in Folge der geringen Dämpfung der Quarze auch steilere Dämpfungsverläufe ermöglichen, werden Quarzfilter bevorzugt in Zwischenfrequenzstufen bei Kurzwellenempfängern verwendet.

Die ersten Veröffentlichungen über Quarzfilter in Deutschland sind so ab dem Jahr 1937 erschienen. Es sind dies in der Hauptsache Arbeiten von W. Cauer und W. Kautter aus dem Telefunkenlabor.

Abb. 6.2.1



Abb. 6.2.2

Im Jahre 1949 erschien ein Standardwerk auf diesem Gebiet, auch von einem ehemaligen Telefunken-Mitarbeiter verfaßt (Abb. 6.2.1).

Ein Pendant dazu im französischen Raum stellt die im Jahr 1953 erschienene Arbeit von D. Indjoudjian und P. Andrieux dar (Abb. 6.2.2)

Durch weitere Forschungen in Theorie und Ausführung wurde dann der Weg in der elektrischen Nachrichtentechnik, besonders in der Trägerfrequenz-Technik, geebnet.

Wie ich schon oben angedeutet habe, war ein wichtiger Einsatz von Quarzfiltern aber auch im kommerziellen Empfängerbau. Mason zeigte die ersten Filter, die nur aus Quarzen allein oder unter Zusatz von Kapazitäten und Induktivitäten aufgebaut waren.

Bei einem normalen Rundfunkempfänger darf die Selektivität im allgemeinen nicht zu hoch getrieben werden, da man ja ein breites Band entsprechend den höchsten Modulationsfrequenzen aufnehmen will. Eine extrem hohe Selektivität kann man nur für Telegraphie-Empfang gebrauchen. Hier kommt man mit Bandbreiten von 50 bis 120 Hz auch bei großen Telegraphiegeschwindigkeiten aus.

Mit Hilfe von Quarzfiltern konnte man nun Empfänger bauen, bei denen man mit einem einzigen Handgriff Bandbreiten von 20 bis 5 000 Hz einstellen kann, ohne daß sich die Amplitude der Resonanzspitze merklich ändert. Dabei ist wichtig, daß die geringe Durchlaßbreite eine gute Frequenzkonstanz des zweiten Überlagersers bei Telegraphie-Empfang erfordert.

Bei kommerziellen und auch bei Amateur-Kurzwellenempfängern höherer Preisklassen fanden sich jetzt im ZF-Teil bei höheren Ansprüchen an die Trennschärfe mehr und mehr Quarzfilter.

Diese einfachste mit einem Schwingquarz versehene Filterschaltung erhält man, wenn der Quarz den Längswiderstand eines π -Gliedes bildet (Abb. 6.2.3).

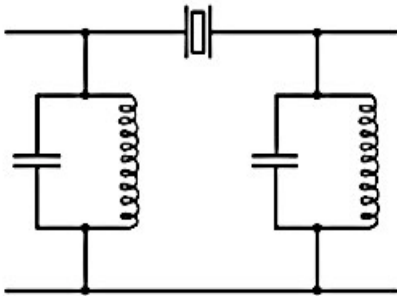


Abb. 6.2.3

Grundsaltung eines Zwischenfrequenzfilters

In der Siebschaltungstheorie sind außer obiger π -Schaltung auch noch T-Schaltungen, überbrückte T- und Brückenschaltungen bekannt.

Ich möchte aber nicht im Einzelnen auf diese Schaltungen näher eingehen.

Die Filtertheorie ist ein sehr komplexes Thema und für Interessenten, welche tiefer in diese Thematik einsteigen möchten, gibt es im Anhang einige Literaturhinweise.

So möchte ich speziell zu den ZF-Quarzfiltern überleiten. Hierbei unterscheidet man zwei Arten von Filtern:

1. Einseitig geregelte Quarzfilter
2. Zweiseitig geregelte Quarzfilter

Die folgenden Abbildungen zeigen die Prinzipdarstellungen eines einseitig- und eines zweiseitig geregelten Filters.

Regelt man mit einem Widerstand am Eingang des Filters, so spricht man von einem einseitig geregelten Filter. Der Quarz ist nach obiger Abbildung in den Anodenkreis und an das Gitter der folgenden Röhre geschaltet. So kann man mit dem Widerstand R_1 die Bandbreite einstellen, Nachteil: Amplitudenänderung.

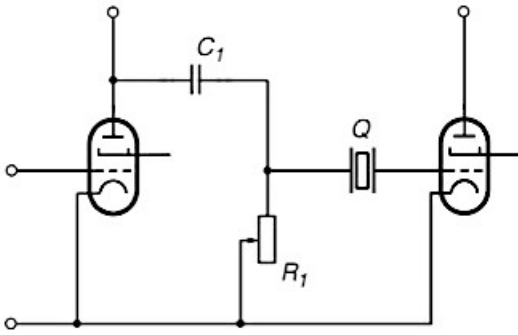


Abb. 6.2.4
Einseitig geregeltes T-Filter

Allerdings ist die Verstärkung dieser Schaltung nicht sehr groß. Praktischer ist die Filterbauart nach Abb. 6.2.5.

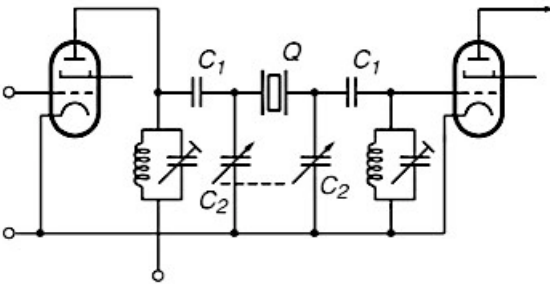


Abb. 6.2.5
Zweiseitig kapazitiv geregeltes Filter

Bei dieser Schaltungsart ist der Quarz zwischen zwei Schwingkreise geschaltet und kapazitiv angekoppelt. Die Bandbreite kann durch die simultane Bedienung der beiden Kondensatoren C_2 verändert werden.

Wie schon eingangs erwähnt, wurde in Amerika anfangs der 30er Jahre die Verwendung eines Quarzfilters in der ZF-Stufe bei den Kurzwellen-Empfängern angepeilt.

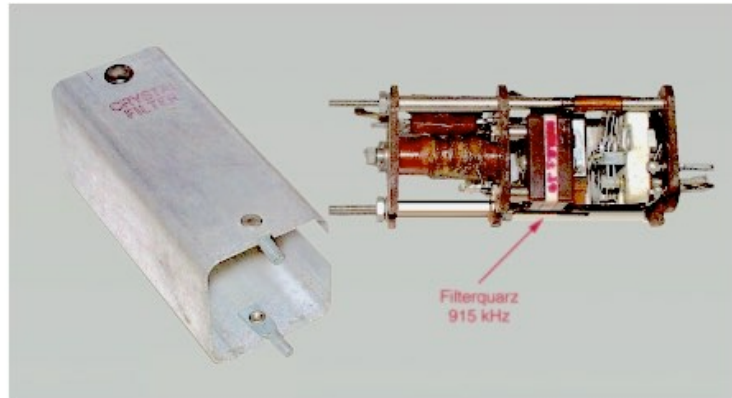
1932 veröffentlichte die "American Relay League" in ihrer Clubzeitschrift QST bemerkenswerte Aufsätze über Kurzwellen-Empfangstechnik und -Empfänger. Der Verfasser dieser Artikelserie war der damalige technische Redakteur der QST, James Lamb.

Lamb verwirklichte damals ein Brückenfilter mit einem einzigen Quarz von 525 kHz. Seine Aktivitäten fußten auf den Arbeiten von W. G. Cady aus dem Jahre 1922. Der Entwickler James Millen, damals bei der National Company Inc., Malden, USA tätig, erkannte den Wert des Quarzfilters und veranlaßte Lamb zur Anmeldung eines Patents (US-Patent Nr. 2054757, Erfinder James Lamb; Patent angemeldet am 24. August 1933, erteilt am 15. September 1936).

Im Oktober 1934 stellte die Firma National den Prototyp des von ihr entwickelten neuen Allwellen-Empfängers HRO der Öffentlichkeit vor.

1935 brachte National ein professionelles Gerät auf den Markt, den legendären „National HRO“. Dieses Gerät soll den Nachbau von Nachrichtenempfängern auch bei anderen Firmen beeinflusst haben!

Abb. 6.2.6
Amerikanisches
"Crystal Filter"



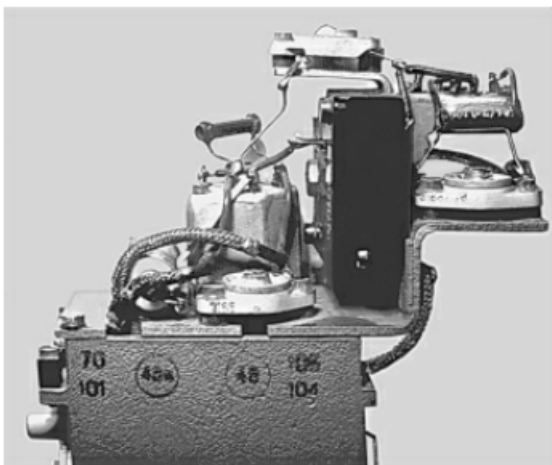
Der HRO setzte damals einen neuen Standard in Bezug auf die Selektivität, und so wurde das Gerät später auch von amerikanischen und britischen Diensten bei den speziell eingerichteten Funkeinheiten (Special Communication Units) während des Zweiten Weltkrieges eingesetzt.

Ein Crystal Filter aus einem amerikanischen Empfänger BC-348 jener Zeit zeigt die Abb. 6.2.6.

Im Jahr 1939 setzte dann auch in Deutschland eine Entwicklung und Produktion von kommerziellen Empfängern mit ZF-Quarzfiltern ein. Eines dieser ersten Geräte aus dem kommerziellen Bereich war der Mittelwellen-Empfänger Mw.E.c mit einem 352-kHz-Vakuum-Filterquarz (siehe auch Kapitel 7.6 – Ostmark-Werke).

Ab 1940 kam der Allwellenempfänger KST von den Körting-Radio-Werken Leipzig, ein ein Nachbau des HRO, aus der Produktion.

Ursprünglich war ja das Gerät für die Amateure gedacht, wurde aber gleich von der Wehrmacht für die Funküberwachung eingesetzt.



Der KST war mit einem regelbaren Quarzfilter ausgestattet.

Durch den neuartigen Aufbau des Quarzfilters wurde eine Steigerung der Trennschärfe bis auf den höchsten praktisch ausnutzbaren Grad ermöglicht. Ein weiteres Gerät war der Funkhorch-Empfänger – Fu. H. E. d – mit einem 3000-kHz-Filterquarz (1943).

Abb. 6.2.7
Filterbaustein aus Fu. H. E. d

Last but not least der Luft-Boden-Einheitsempfänger E 52, der „legendäre Köln“ mit zwei Quarzfiltern 1000 kHz.

Man begann erstmals den Quarzfilterbau im Bereich um 455 kHz.

Mit den steigenden Frequenzen mußten Quarzfilter für immer höhere Zwischenfrequenzen gebaut werden. Für die durchgehenden Frequenzbereiche moderner Geräte liegt die erste ZF nun zwischen 40 MHz und 75 MHz.

Die Quarzindustrie bot so ab Ende der 60er Jahre eine Neuheit an: Quarzfilter „in diskreter Ausführung“. Diese Quarzfilter bestehen aus 2 bis 10 Resonatoren, welche aus einzelnen Quarzen mit zusätzlichen elektrischen Bauelementen zu einer Filterschaltung kombiniert sind. Es waren dies z. B. die hochfrequenten Quarzfilter für 9,0 MHz zur Verwendung in Einseitenband- und AM-Sende- und Empfangsanlagen, ebenso wie Quarzfilter für 10,7 MHz für die Verwendung in AM- und FM-Funksprechanlagen.

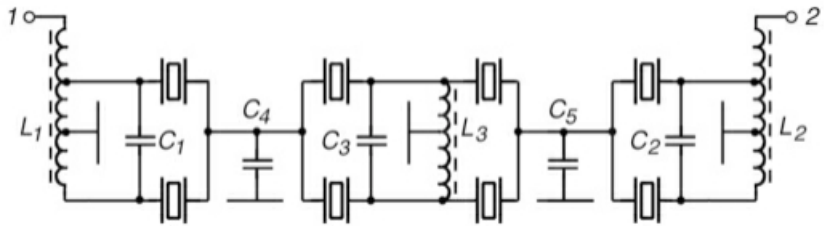


Abb. 6.2.8

Innenschaltung eines Quarzfilters XF 9 B der Firma KVG

Die folgende Abbildung zeigt Ansicht und Aufbau dieser Filter von verschiedenen Herstellern.



Abb. 6.2.9

Diskrete
Quarzfilter –
ein Querschnitt

Auf dem Gebiet der Quarzfilter kam etwa Mitte der 1970er Jahre wieder ein neuer Filtertyp auf den Markt.

Es waren dies die „monolithischen Quarzfilter“ in miniaturisierter Bauform. Hierbei befinden sich mehrere, akustisch miteinander gekoppelte Resonatoren auf einer Quarzscheibe – es werden also nicht einzelne Quarzresonatoren mit den zusätzlichen elektrischen Elementen zu einer Filterschaltung kombiniert. Die folgende Schautafel gibt einen kurzen Einblick in die Technik. Sehr gut sind auf der Tafel die Größenverhältnisse, wie unten links, zu ersehen. Das Gewicht dieses Filters ≈ 5 Gramm.

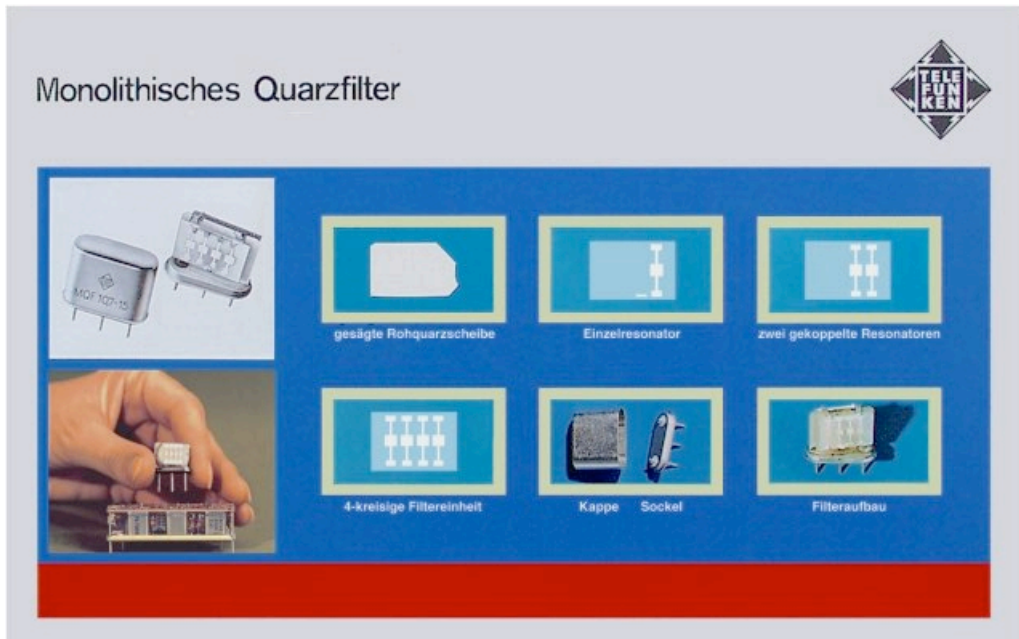


Abb. 6.2.10 Aufbau eines monolithischen Quarzfilters

Dieser neue Filtertyp begann nun die konventionellen Quarzfilter auf ihren typischen Einsatzgebieten mehr und mehr zu ersetzen und erschloß neue Anwendungsbereiche.

Die monolithischen Quarzfilter entsprechen in ihrem elektrischen Verhalten mehrkreisigen, mit elektrischen Schwingkreisen aufgebauten Filtern. Mehrere Elektrodenpaare werden in geeigneter Geometrie auf Quarzplättchen im AT-Schnitt aufgebracht. Die so gebildeten Resonatoren werden über mechanische Schwingungen in der Quarzplatte gekoppelt.

Zur Vervollständigung des Themas *Filter* in der Empfangstechnik sind noch die piezokeramischen Filter zu erwähnen. – Von den Firmen CLEVITE (USA) und INTERMETALL (BRD) wurden sogenannte „Transfilter“ entwickelt.

Diese stelle Kristallfilter dar, welche anstelle von Quarzresonatoren solche aus PTZ – einer Sinterkeramik, aus PbO , ZrO_2 und TiO_2 – verwenden.

Diese Filter weisen beträchtliche Vorteile auf. Sie besitzen sehr kleine Abmessungen, haben eine hohe Güte und kommen ohne Schaltelemente wie Spulen, Kondensatoren und Widerstände aus. Mit einer Eigenfrequenz zwischen 450 kHz und 500 kHz sind sie für eine Verwendung als Selektionsglieder in ZF-Stufen von Rundfunkempfängern zugeschnitten.

Bei den Vibratoren dieser Filter handelt es sich um radial schwingende Keramik-scheiben, die zweipolig und dreipolig ausgeführt sein können (Abb. 6.2.11).

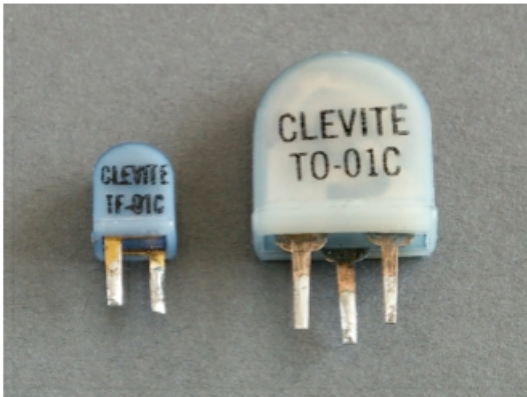


Abb. 6.2.11

Piezokeramische Filter

links zweipolig

rechts dreipolig

Zur Abrundung des Themas *Filter in der Funkempfangstechnik* müssen auch die mechanischen Filter erwähnt werden.

Die US-Firma Collins entwickelte in den 50er Jahren eine ganz neue Filterart, von ihr „Magnetostruktionsfilter“ genannt.

Diese Art Filter wird im allgemeinen als mechanisches Filter (MF) bezeichnet und ist später in ähnlicher Art auch von anderen Firmen gebaut worden.

Die Filterelemente bestehen hier aus einer Stahl-Nickel-Legierung in Zylinder- oder Plättchenform, die durch dünne Drähte mechanisch verkoppelt sind.

Zunächst wurden mechanische Filter in Funkgeräten als Ersatz für Spulenfilter zur Verbesserung der Selektion eingeführt. Für UKW-Funksprechgeräte standen sie dabei in Konkurrenz zu Quarzfiltern, die es erlauben, die Selektion schon bei einer höheren Zwischenfrequenz vorzunehmen. Besonders in der Einseitenbandtechnik haben sich durch die Benutzung mechanischer Filter große Vorteile ergeben.

In die Rundfunktechnik haben sich mechanische Filter aus Kostengründen nicht einführen können. Die Hersteller dieser Filter in Deutschland waren die Firmen Telefunken (BRD) und Telefilter (DDR).



Abb. 6.2.12
Mechanische Filter

Als letzter Abschnitt soll noch der Einsatz der Quarzfilter in der Trägerfrequenz dokumentiert werden. In der Übertragungstechnik auf Leitungen hat das Quarzfilter eine wachsende Bedeutung gewonnen und mit dem Bild dieser Technik bestimmt. Die folgende Übersicht stellt die fortschreitende Entwicklung der Filter in der Trägerfrequenz dar. Die Abb. 6.2.15 und 6.2.16 zeigen das elektrische Schaltbild von zwei Quarzfiltern für die Trägerfrequenztechnik.

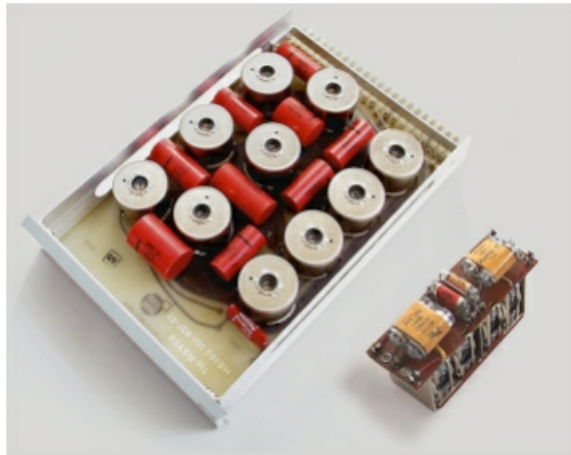


Abb. 6.2.13 und 6.2.14 – 1–5
L-C-Filter und Quarzfilter
aus der Trägerfrequenztechnik
im Überblick

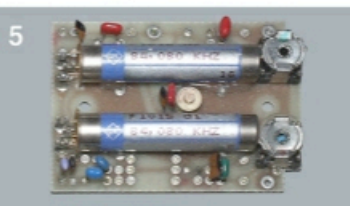
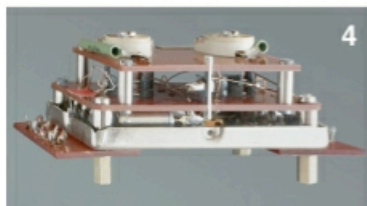
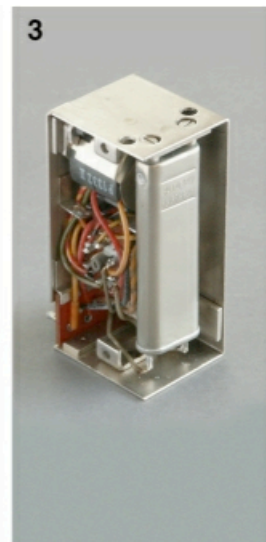
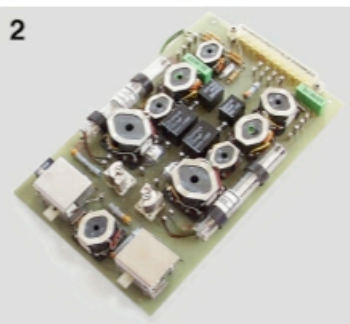


Abb. 6.2.15
Brückenfilter –
symmetrisch

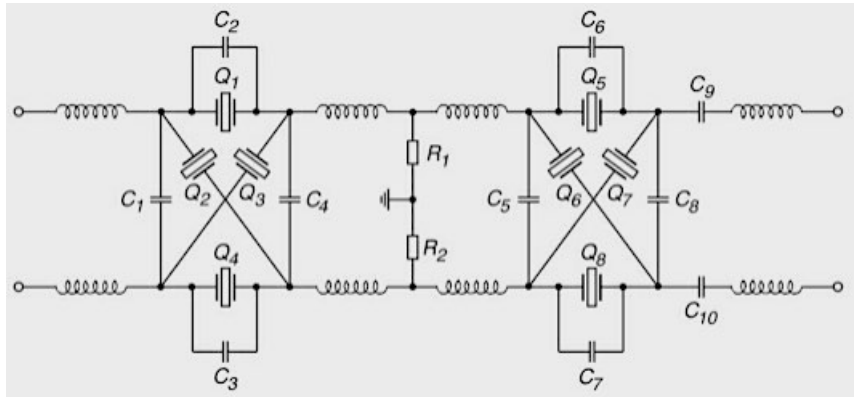
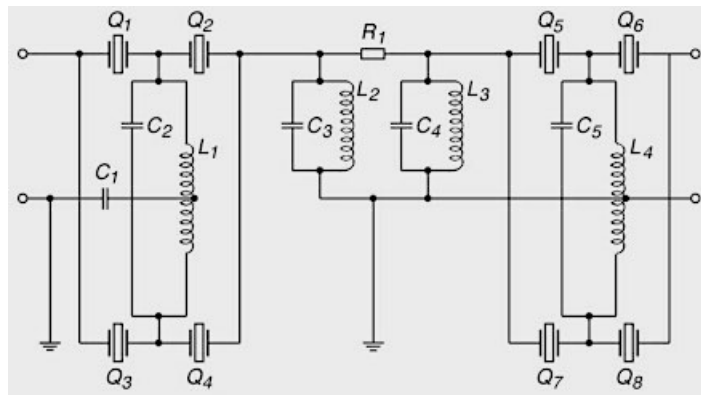


Abb. 6.2.16
Brückenfilter –
unsymmetrisch



Bandfilter mit Quarzen werden meistens als Brückenfilter gebaut.

Die in den Fernsprech-Verstärkereinrichtungen verwendeten Filter haben verschiedene Aufgaben zu erfüllen. In den Nf-Verstärkereinrichtungen handelt es sich im allgemeinen darum, das zu übertragende Frequenzband zwecks Erhöhung der Leitungsstabilität nach oben hin durch einen Tiefpaß oder, sofern die Fernsprechleitung zusätzlich mit Unterlagerungstelegraphie (darunter versteht man die Ausnutzung von Fernsprechverbindungen für gleichzeitiges Fernschreiben) ausgenutzt wird, nach unten durch einen Hochpaß zu begrenzen.

Hochpaßfilter verhalten sich hierbei also umgekehrt wie Tiefpaßfilter.

Bei den Trägerfrequenz-Einrichtungen werden in jeder Frequenzumsetzerstufe Filter benötigt, die aus dem bei der Modulation (und Demodulation) entstehenden Frequenzgemisch nur das zur Übertragung notwendige Frequenzband herausfiltern. Alle übrigen außerhalb des Nutzbandes liegende Frequenzen würden die Zwischenverstärker unnötig belasten und könnten außerdem in anderen Sprechkanälen Störungen hervorrufen.

6.3 Quarz-Thermostate

Viele Geräte der Nachrichtentechnik und auch Geräte aus der elektronischen Meßtechnik enthalten frequenzbestimmende Elemente wie LC-Oszillatoren, Schwingquarze, Filterquarze – für besonders hohe Ansprüche erfolgt dann der Einbau dieser frequenzbestimmenden Elemente in einen Thermostaten. Allgemein gesagt ist ein Thermostat eine Vorrichtung, mit der eine Temperatur selbsttätig konstant gehalten werden kann.

Zum Aufbau in Kurzform:

Der Thermostat besteht aus einem elektrisch beheizten Gehäuse mit einem Temperaturfühler, dies kann in der einfachsten Form ein Bimetallschalter sein. Für höhere Ansprüche wird durch ein Kontakt-Thermometer oder von einem temperaturabhängigen Widerstand über ein Relais die Heizung geschaltet. Der Heizstrom wird bei Erreichen der oberen Temperaturgrenze *aus*- und bei Erreichen der unteren Temperaturgrenze *ein*-geschaltet. Wenn die mit dem AUS- und EIN-Schalten verknüpften Temperaturschwankungen in ihrer Auswirkung geschwächt werden, so verwendet man für den Thermostaten ein größeres Gehäuse, welches ein weiteres, mit großer Wärmekapazität behaftetes Gehäuse enthält (Zweifach- oder Dreifachthermostat), in dem sich das auf konstanter Temperatur zu haltende Element befindet.

Die heutigen vollelektronisch geregelten Quarzthermostate arbeiten stufenlos (ohne Hysterese). Sie nutzen dabei die Kennlinie von temperaturunabhängigen Bauelementen aus und stellen sich den Arbeitspunkt des Heiztransistors selbst ein. Aufwendige Schaltungen mit noch höherer Genauigkeit steuern diese Vorgänge über Operationsverstärker.

Dies liest sich vielleicht für die heutigen Anwender als selbstverständlich, es war aber damals Ende der 20er Jahre mit dem Problem der Temperaturstabilisierung in einem Quarzthermostaten gar nicht so einfach. Unlängst blätterte ich in alten Zeitschriftenbänden und bin dabei auf eine interessante Abhandlung gestoßen.

In dem besagten Artikel handelt es sich um eine Beschreibung der damaligen Gleichwellensendergruppe Köln, Aachen und Münster (Westfalen).

Die Firma Lorenz war auf diesem Gebiet damals führend.

Dort wurden zuerst zwei unterschiedliche Systeme entwickelt:

1. Gleichwellenselbststeuerung mit Stimmgabeln über Fernkabel
2. Gleichwellensteuerung mit Schwingquarzen (ohne Kabelsteuerung)

Bei der ersten Lösung wurden die Gleichwellensender durch besondere Steuerleitungen mit dem gemeinsamen Grundfrequenzgenerator verbunden. Nachteilig war aber bei diesem System, daß die Sender mit dem Grundfrequenzgenerator durch diese Steuerleitung verbunden sein müssen.

Schon bald lag der Wunsch der Reichspostverwaltung vor, möglichst ohne die Steuerleitung auszukommen, und so hat die Firma Lorenz ein zweites Gleichwellensystem entwickelt. Bei diesem neuen System wurden Schwingquarze als Steuerfrequenzgeber eingesetzt.

Das Problem war aber damals so, daß man nicht eine Serie von Schwingquarzen auf ein und dieselbe Frequenz abgleichen konnte und auch nicht in der Lage war, sie mit ausreichender Genauigkeit auf der selben Frequenz zu halten.

Die Lösung dieser Aufgabe gelang Lorenz durch Nachregulierung der Eigenfrequenz des Quarzes mit Hilfe der Temperaturänderung und durch Feinnachstellung des Elektrodenabstandes und durch einen *besonders konstruierten Thermostaten*.

Ich möchte in diesem Kapitel nur kurz auf die Konstruktion dieses Quarzthermostaten eingehen.

Weiteres darüber im Kapitel *Firmenprofil C. Lorenz* und in der Abhandlung „*Entwicklung eines Thermostats für Kristallerregung und seine Anwendung im Gleichwellenrundfunk*“ in Technische Berichte der C. Lorenz AG, 1933.

Nun in Kurzform zur Konstruktion dieses Thermostaten:

Der Schwingquarz befand sich innerhalb eines massiven, zylindrischen Kupferblocks mit den Abmessungen: 100 mm Höhe, 120 mm Durchmesser.

Der Block war luftdicht abgeschlossen und wurde durch eine im äußeren Teil eingebaute Heizspirale geheizt. In diesem Teil befand sich auch das Regulierthermometer, zum EIN- und AUS-Schalten der Heizung.

Sollte z. B. die Temperatur auf 60 °C eingestellt werden, so mußte die Handeinstellung des Heizwiderstandes so erfolgen, daß die Ein- und Ausschaltung der Heizung in gleichen Intervallen erfolgte. Die Kontrolle erfolgte über Signallampen. Die Temperatur im Innern des Blockes blieb vollkommen konstant, da durch den massiven Kupferblock kleine Temperaturschwankungen zwischen den beiden Intervallen gänzlich ausgeglichen wurden. Lorenz ging aber noch einen Schritt weiter und verwendete die Einstellung der Heizung auch noch zur Änderung der Eigenfrequenz des Schwingquarzes. Mit Hilfe eines innerhalb des Regulier-Thermometers beweglichen Eisenstiftes, dessen Lage durch einen außen befindlichen Magneten verändert werden konnte, wurde die Eichung des Thermometers verändert, so daß nun die Regulierung auf eine andere Temperatur erfolgte.

Da sich nun die Quarzfrequenz bei einer Temperaturänderung von etwa 1 °C um etwa 50 Hz verändert, ist dadurch eine Grobregulierung erreicht.

Die Feinregulierung erfolgte durch eine nach außen gehende Schraubenspindel, mit welcher der Abstand der einen Elektrode zum Quarz eingestellt wurde. Der Quarzthermostat befand sich außerdem gemeinsam mit dem kompletten Grundfrequenzgenerator in einem weiteren Gehäuse, welches ebenfalls als Thermostat ausgebildet war. Dieses Gehäuse besaß ebenfalls ein Kontakt-Thermometer, welches beim Erreichen der Temperatur von 30 °C die Bodenheizung ausschaltete. Die Abb.6.3.1 zeigt einen Schnitt durch den Thermostaten.

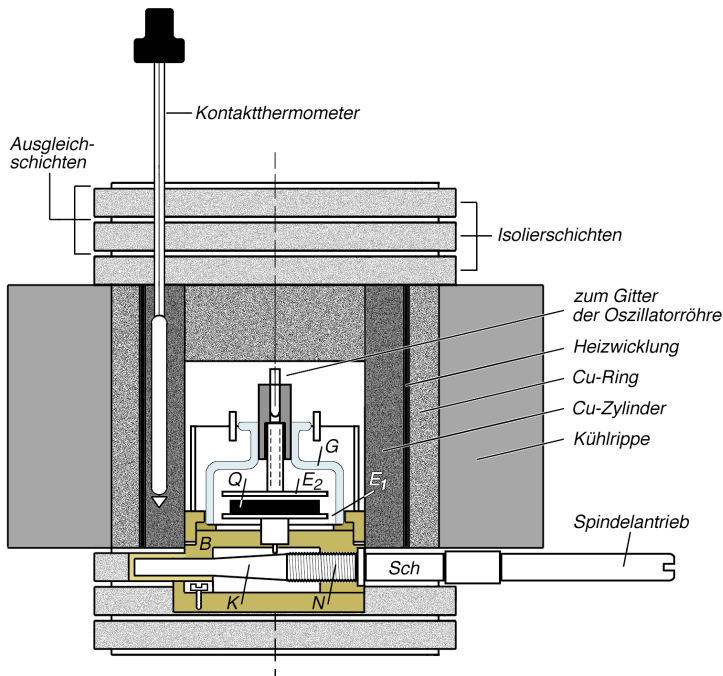


Abb. 6.3.1
Lorenz-Thermostat
Prinzipdarstellung

Eine kurze Erläuterung zum Quarzhalter:

Nach Abb. 6.3.1 liegt der Quarz **Q** auf der Elektrode **E₁** auf. Die Elektrode **E₂** ist mit der Glasglocke **G** fest verbunden. Der untere Teil des Quarzhalters, im Sockel **B**, wird durch den Konus **K** mittels der Spindel **Sch** gehoben und gesenkt. Das Gewinde **N** besitzt nur eine geringe Steigung. Mit dieser Anordnung ist es möglich, durch 40 Umdrehungen der Spindel eine Änderung des Elektrodenabstandes von nur 1 mm zu erreichen.

Diese Feinheit ermöglicht es, die Frequenz während des Betriebes mit einer Genauigkeit von 10^{-6} einzustellen.

Abb. 6.3.2
Thermostat
in geöffnetem
Zustand



Wie ja schon bekannt, ist bei hohen Anforderungen an die Frequenzkonstanz von Schwingquarzen in vielen Fällen der Einbau in temperaturgeregelte Thermostaten erforderlich.

Dazu möchte ich noch einige wichtige Begriffsbestimmungen – Kennwerte – für Thermostate aufzeigen:

1. Die Umgebungstemperatur ist die Temperatur der Luft, die den Thermostaten unmittelbar umgibt.
2. Der Umgebungstemperatur-Bereich ist der Bereich der Umgebungstemperatur, in dem der Thermostat seine regelnde Funktion erfüllt. Er ist nach oben begrenzt durch die Schalttemperatur und nach unten durch die Bemessung der Heizleistung, die nur zur Erzielung einer begrenzten Übertemperatur ausreicht.
3. Das Regelverhältnis bezeichnet das Verhältnis der Änderung der Innentemperatur.
4. Die Arbeitstemperatur ist die gewünschte Innentemperatur und wird für die Mitte des leeren Einbauraumes angegeben.
5. Die Temperatur-Welligkeit bezeichnet die Temperaturschwankungen an der Innenwand des leeren Einbauraumes innerhalb der Schaltperiode.
6. Die Anheizzeit ist die Zeit, die notwendig ist, um bei einer Umgebungstemperatur von + 20 °C die Arbeitstemperatur zu erreichen.
7. Die Schalttemperatur ist die Temperatur am Regler, bei der dieser ein- bzw. ausschaltet.
8. Die Einstelltoleranz ist die Toleranz, mit der die Schalttemperatur eingestellt werden kann.
9. Die Schalttoleranz gibt die Temperaturtoleranz an, innerhalb derer sich die eingestellte Schalttemperatur während des Betriebes ändern kann.

Ausführungsformen von Thermostaten

In Abb. 6.3.3 ist der prinzipielle Aufbau eines Kleinthermostaten mit einem Bimetall-Thermoschalter dargestellt.

Die Ausführung a) ist für einen Schwingquarz ausgelegt, die Ausführung b) nimmt zwei Schwingquarze auf.

Für Normalfrequenzanlagen und Frequenznormale ist es auf alle Fälle erforderlich, den *Präzisionsquarz* in einem Thermostaten zu betreiben.

Die nachstehenden Beispiele sollen dies aufzeigen.

Für die Trägerfrequenztechnik wurde für die zentrale Trägerstromversorgung von der Firma Siemens nebenstehender Thermostat (Abb. 6.3.4) entwickelt.



Abb. 6.3.3

Typische Kleinthermostate

links: mit Lötanschlüssen

rechts: über Oktalsockel steckbar

Diese im Beispiel gewählte Ausführung enthält einen 3-poligen 4-kHz-Biegeschwinger.

Alle für die mehrfache Umsetzung der Frequenzbänder erforderlichen Trägerfrequenzen werden als Vielfache der Grundschwingung – 4 kHz – gewonnen.

Die Anforderung an die sehr große Genauigkeit und Konstanz der Grundfrequenz brauche ich hier in diesem Beispiel nicht weiter zu betonen.

Für noch höhere Ansprüche kommt ein Zweifach- oder Dreifach-Thermostat in Frage. Die Abbildung 6.3.6 zeigt eine prinzipielle Darstellung eines Doppelthermostaten. In der Abb. 6.3.5 ist auch ein Doppelthermostat dargestellt, wie er in einer Normalfrequenz-Anlage aber auch in einer Sendersteuerstufe Anwendung fand. Sehr gut sind die Kontakt-Thermometer für Außen- und Innenthermostat zu erkennen. Die Schaltthermometer sind Präzisionsausführungen mit einer Schaltgenauigkeit von 0,1 °C, hergestellt von der Firma Richter & Wiese, Berlin.

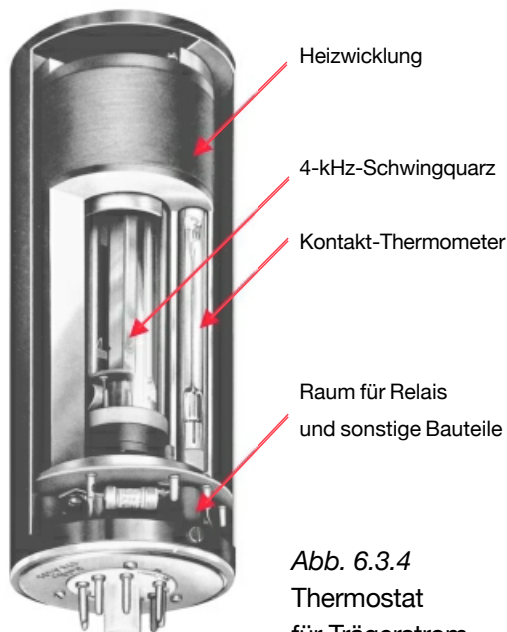


Abb. 6.3.4
Thermostat
für Trägerstrom-
versorgung

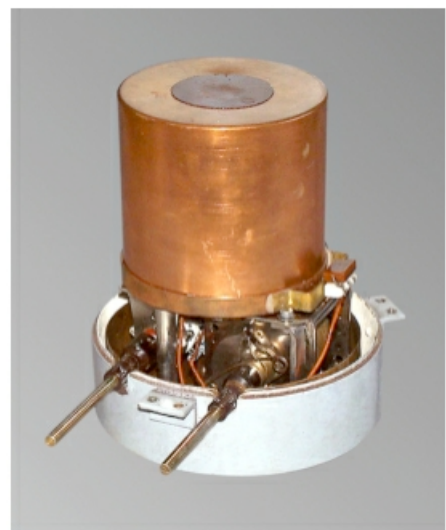


Abb. 6.3.5
Doppelthermostat ohne
Schutzhaube
Vorne links: Regelelemente

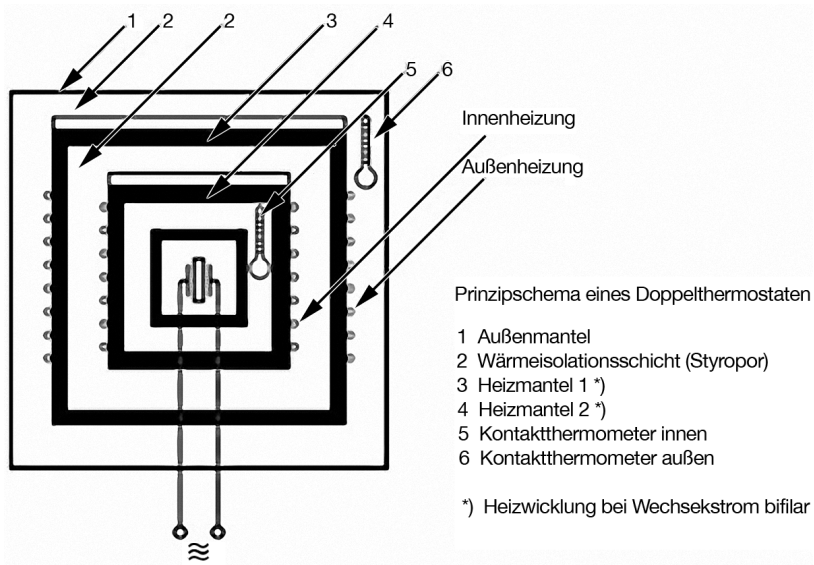


Abb. 6.3.6

Abb. 6.3.8 (oben rechts)
Schaltthermometer wie in nebenstehendem
Thermostat verwendet

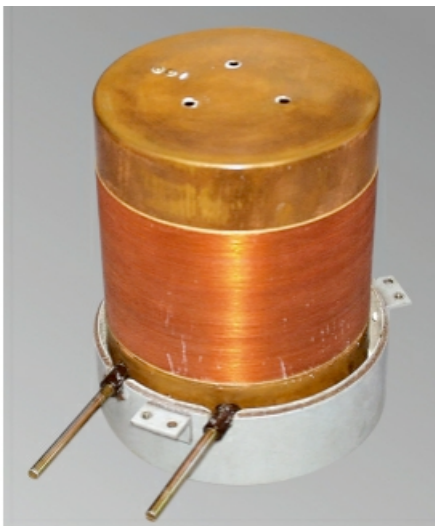
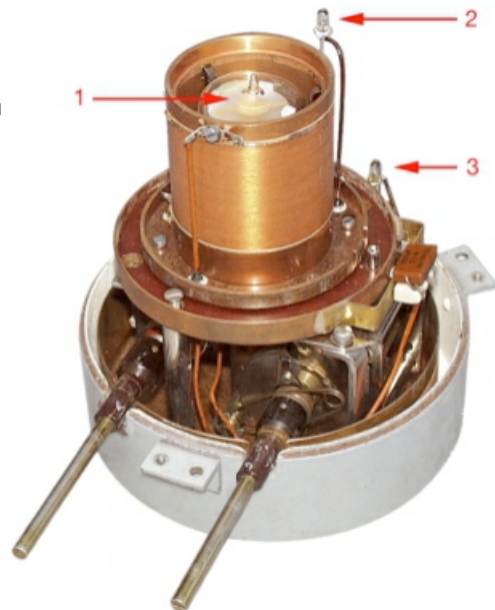


Abb. 6.3.7
Außenthermostat mit Heizwicklung;
sie ist auf einen Kupferzylinder gewickelt



1 1-MHz-Präzisionsquarz
2 Schaltthermometer – Innenthermostat
3 Schaltthermometer – Außenthermostat

Abb. 6.3.9
Innenthermostat
mit 1-MHz-Präzisionsquarz

Zum Abschluß des Kapitels *Quarzthermostate* möchte ich noch einen Dreifachthermostaten aufzeigen in einer Ausführung, wie er z. B. in der Kleinquarzuhr Type XSZ von Rohde & Schwarz Verwendung fand, sowie einen Schwingquarz-Thermostaten für gedruckte Schaltungen.

Abb. 6.3.10
Dreifach-
Thermostat –
Kleinquarzuhr
XSZ

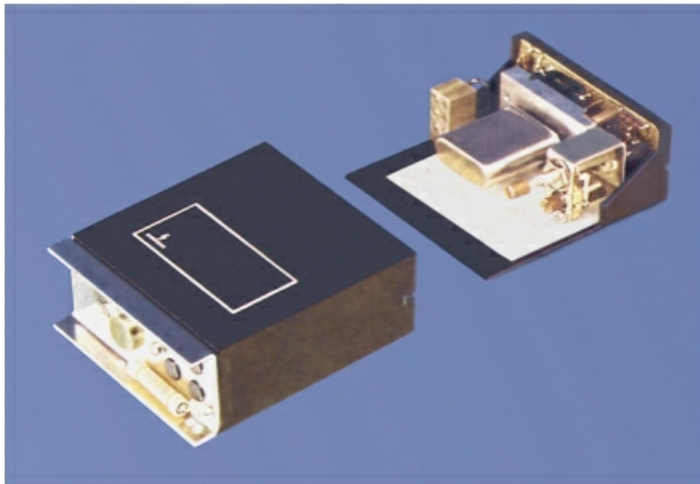
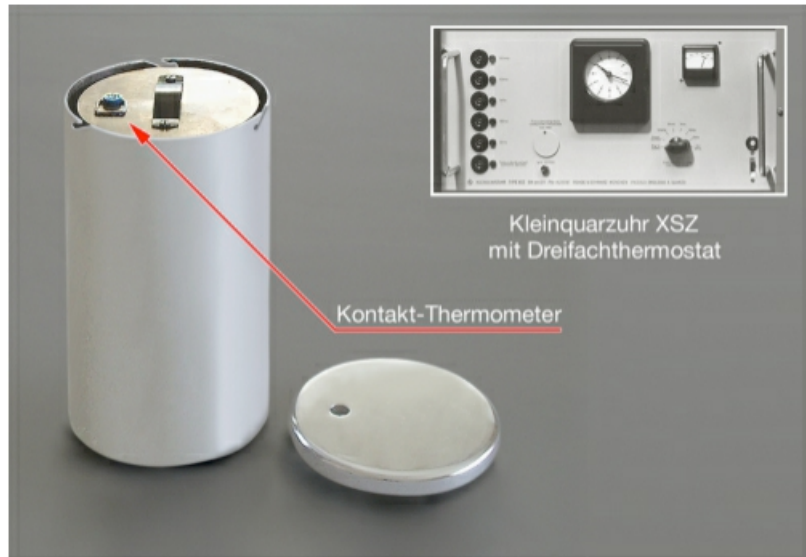


Abb. 6.3.11
Geregelter
Schwingquarz-
Thermostat
für gedruckte
Schaltungen
(ca. 1962)

Die Firma Siemens hat 1962 einen kleinen, günstigen Schwingquarz-Oszillator mit Thermostat für gedruckte Schaltungen entwickelt. Von außen gesehen ist der Oszillator ein flacher, rechteckiger Quader aus Isolierstoff. An der Schmalseite hat er ein Kühlblech mit dem Leistungstransistor für die Regelschaltung. Die Außenabmessungen sind 100 x 160 mm.

Firmenprofile

7.1	Bernhard Halle; Berlin-Steglitz	252
7.2	Kristallverarbeitung; Neckarbischofsheim	261
7.3	Loewe-Opta; Berlin-Steglitz vormals: Radiofrequenz; Berlin-Friedenau	278
7.4	C. Lorenz; Berlin-Tempelhof	299
7.5	C.A. Niendorf; Bernau bei Berlin	320
7.6	Ostmark Werke; Wien und Prag/Gbell	322
7.7	Piezo Werk, Heinz Evertz; Stockdorf/München	332
7.8	Quarzkeramik;Stockdorf/München	350
7.9	Quarz Technik; Daun/Eifel	372
7.10	RFT – VEB Werk für Fernsehelektronik; Berlin-Oberschöneweide	381
7.11	Siemens-Halske; Berlin-Siemensstadt und München *)	391
7.12	Dr. Steeg & Reuter; Bad Homburg v.d.H.	402
7.13	Telefunken; Berlin-Zehlendorf *)	444
7.14	Telequarz; Neckarbischofsheim 2	447
7.15	VEB – Narva; Berlin, Ehrenbergstraße	457
7.16	Carl Zeiss; Jena	465
7.17	Die amerikanische Schwingquarz-Industrie *)	515
7.18	Nachtrag: FOQ Piezotechnik; Bad Rappenau	519
7.19	Werkstätten für Piezo-Technik *)	523

*) Diese Kapitel konnte der Autor nicht mehr vollenden.
Er verstarb nach am 3. April 2004

B·HALLE NACHFL.
OPTISCHE WERKSTÄTTEN
BERLIN-STEGLITZ

GEGRÜNDET 1873



**Piezoelektrische
Quarzkristalle**

7.1 Bernhard Halle Nachf.; Berlin-Steglitz

Optik! Ein seltsames Wissensgebiet, in der Antike bereits in einigen Abschnitten behandelt und trotzdem noch heute nicht in dem ganzen Umfang und der Bedeutung bekannt, wie sich aus der stürmischen Entwicklung in den letzten hundert Jahren schließen läßt.

Es ist schwer, die Grenzen des Gebietes abzustecken, denn schon die Frage, ob Optik als selbständiges Wissens- und Forschungsgebiet anzusehen sei oder ob sie als Teilgebiet der Physik, in gewisser Beziehung sogar nur als Hilfsmittel in eigentlich wesensfremden Gebieten zu betrachten sei, läßt sich kaum befriedigend beantworten ...

So lauteten die einführenden Worte in der Festschrift zum 90jährigen Jubiläum der Firma Bernhard Halle Nachf. im Jahre 1963.

Die erste Firma – Firmen sind alphabetisch aufgelistet – welche ich hier bei den Firmenprofilen vorstellen möchte, ist die Firma Bernhard Halle. Sie ist also eine jener Firmen, die dem Fertigungsbereich der Optischen Industrie zuzuordnen ist und die auch Schwingquarze hergestellt hat.

Der Gründer der Firma Bernhard Halle wurde am 19. Dezember 1842 in dem kleinen Städtchen Neuhausen bei Magdeburg als Sohn des dortigen Apothekers geboren. Der aufgeweckte Knabe wählte einen handwerklichen Beruf, mit 15 Jahren begann er eine Lehre als Uhrmacher.

Wie es damals so üblich war, ging er nach Abschluß der Lehre auf Wanderschaft. Sein Weg führte ihn nach Hamburg und dort bekam er Arbeit in einer berühmten Chronometer-Werkstatt. In Hamburg lernte er auch Dr. Hugo Schröder kennen, in dessen Werkstatt wurden damals vorwiegend große Astrofernröhre und Einzeloptiken hergestellt. Schröder weckte in dem jungen Halle das Interesse für die praktische Optik und so kam es, daß Halle zu Schröder in die Lehre ging.

Neun Jahre! dauerte die Lehrzeit, für heutige Verhältnisse überhaupt nicht mehr denkbar. – Bei dieser gründlichen Ausbildung unter Schröders Anleitung lernte er die Herstellung von Linsen, Prismen und Spiegeln.

Nach dieser Lehrzeit führte in der Weg nach Berlin. Dort arbeitete er zuerst mit seinem Bruder Gustav, welcher eine kleine Werkstatt in Rixdorf (Neukölln) betrieb, zusammen. Ihr Ziel war die Vervollkommnung der optischen Meßwerkzeuge.

Noch aber war die Zeit nicht gekommen, sich selbständig zu machen.

Zuerst noch gab es ein Zusammentreffen mit Prof. Hartnack, dieser lernte Halle als guten Optiker kennen und so schlug er ihm vor, zu ihm nach Potsdam zu kommen.

Halle folgte seinem Ruf und etablierte sich in Potsdam. Zur gleichen Zeit kam er auch in engeren Kontakt mit Rudolf Fuess, der seine Werkstatt nach Steglitz verlegte. Viele Aufträge von Fuess wurden damals von Halle bearbeitet. Fuess bat Halle auch, nach Steglitz zu ziehen, um die Verbindung noch enger zu gestalten.

Im Jahre 1893 erwarb Halle das Grundstück Hubertusstraße 11 in Steglitz in Nähe der Firma Fuess und richtete dort seine Werkstatt ein.

Mit wenigen Mitarbeitern fertigte Halle weiterhin Glas- und Quarzoptik.

Im Jahre 1899 stellte Halle seinen ersten Lehrling ein, es war Erich Ritter.

Um die Jahrhundertwende (1900) kam Anton E. Frank aus Wien als neuer Mitarbeiter zur Firma. Frank lernte in Wien bei der bekannten Optikfirma Reichert und war anschließend kurz bei der Firma Schmidt & Haensch in Berlin beschäftigt, bevor er zu Halle kam. Diese oben genannten zwei Mitarbeiter übernahmen dann am 1.7.1906 von dem über 60jährigen Halle die Firma.



Abb. 7.1.1
Firmengebäude Hubertusstraße 11

Wenn er auch mit der Übergabe des Betriebes seine Tätigkeit in der Firma ganz aufgegeben hatte, so konnte er sich überzeugen, daß sein Erbe gut verwaltet wurde.

Am 4. April 1926 starb Bernhard Halle, und segensreiches Leben endete.

Mit jugendlichem Elan führten Erich Ritter und Anton Frank die Firma in guter Zusammenarbeit weiter.

Der Erfolg der neuen Inhaber blieb nicht aus und so konnten sie unter Wahrung der Tradition des Hauses die Firma zu einem Institut von Weltgeltung ausbauen. Enge Kontakte zu Wissenschaftlern der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Berlin entstanden, es waren dies im besonderen Prof. Giebe und Dr. Scheibe.

Zu dieser Zeit entstanden auch in der PTR die berühmten ersten Quarzuhren der Welt.

So erörterte schon 1925 Prof. Giebe mit Ritter die Frage nach der Wahl der Schnittlage für einen piezoelektrischen Leuchtquarz.



Abb. 7.1.2 Die Aufnahme aus dem Jahre 1906 zeigt die Optiker Ernst Zohm, Anton Frank, B.Halle, Walter Jaedicke (von links)

Die Firma Radiofrequenz in Berlin-Friedenau, gegründet von Dr. Siegmund Loewe richtete eine Anfrage an die Firma Halle über eine eventuelle Zusammenarbeit auf dem Gebiet der piezoelektrischen Oszillatoren.

Dr. Loewe hatte schon früh über seinen in Amerika lebenden Bruder David über die Frequenzstabilisierung durch Quarzkristalle erfahren (US-Patentnummer 1450246).

Dr. Loewe war für alles Neue immer sehr aufgeschlossen, und so schwebte ihm gleich vor, ebenso eine Fertigung für dieses neue Bauelement aufzubauen.

Als Praktiker war er sich aber auch über die Schwierigkeiten beim Schleifen der Quarzstäbe und Platten bewußt. Die Firma Halle hatte damals schon in ganz Europa in der Quarzbearbeitung einen sehr guten Namen und so kam es dann zu der Zusammenarbeit Halle – Loewe.

Bald nahm die Firma Halle die Eigenfertigung und den Vertrieb von piezoelektrischen Quarzplatten selbst auf und in der Zeitschrift für HF-Technik und Elektroakustik wurde die Fertigung angekündigt.



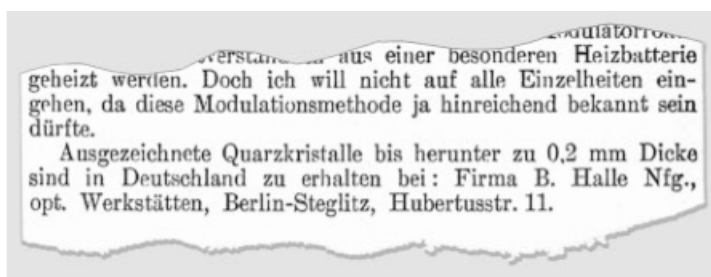
Im Katalog Nr. 6 von 1934 wurde die neue Fertigung von piezoelektrischen Quarzplatten und Stäben mit entsprechendem Halter das erste Mal mit aufgenommen.

Diese neue Fertigung von Schwingquarzen hatte einen guten Start und in den vielen Bauanleitungen der damaligen Zeit war fast immer im Schlußsatz zu lesen

Abb. 7.1.3

Abb. 7.1.4

Aus der Zeitschrift „DerBastler“ 1927



Die Abb. 7.1.5 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Katalog über das Schwingquarzprogramm.

Ein „Gedicht“, welches damals auch in Berlin kursierte, möchte ich nicht vorenthalten, es lautet:

*Ziehst Du zum Wochenende
hinan in Feld, Wald, Wies und Au
Der einzige Quarz mit dem Du hörst ist
von Loewe Friedenau.*

*Ob „Super“ oder „Neutrodyne“
ob „Detektor“ oder „Tropa“.
Mit Halle-Quarzen nur allein
vernimmst Du ganz Europa.*

*Und brüllt der Löwe noch so laut,
es nutzt in keinem Falle.*

*Der Funkfreund, der den Trick durchschaut
kauft doch bei Firma Halle.*

*Der „Löwe“ ist ein prima Tier doch
nützt ihm nicht sein Toben
im ganzen weiten Funkrevier
hört man nur Halle loben.*

*Der neue Wellenplan ist Mist
das wissen wir nun alle.
Der Fehler zu heben ist
mit Quarzen von der Firma Halle.*

Piezelektrische Quarzplatten

Für Gasdruck- und Schallmessung, Konstanterhaltung und genaue Messung elektrischer Schwingungen und anderes.

Die Platten sind aus homogenem Material gefertigt und zur optischen und elektrischen Achse genau orientiert.

Sie sind je nach Verwendungszweck so verschiedenartig, daß genauere listenmäßige Angaben nicht möglich sind.

Wir bitten im Bedarfsfall Offerte einzufordern.

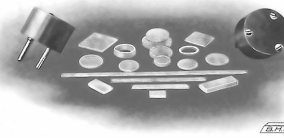
Einige Ausführungen von Quarzen für Sendersteuerung nachstehend:

Piezo electric quartz plates

For measuring gas pressure and sound, for maintaining the constancy of and accurately measuring electric vibrations.

The plates are made of homogeneous material, and adapted exactly to the optical and electrical axes. Their forms are so various, according to their intended purpose, that exact listed statements are not possible. Buyers are requested to apply for special offers.

A few types are appended:



	Durchmesser in mm Diameter in mm	Wellenlänge in m Wave in m		Durchmesser in mm Diameter in mm	Wellenlänge in m Wave in m
C 147	20	40—69	C 155	20	2000
C 148	20	70—99	C 156	20	2200
C 149	20	100—499	C 157	20	2800
C 150	20	500—699	C 158	20	3000
C 151	20	1000	C 159	20	3400
C 152	20	1300	C 160	20	4200
C 153	20	1480	C 161	20	6000
C 154	20	1700			

Kristallhalter für nebenstehende Steuerquarze

Diese von uns entwickelte Form ist aus der Abbildung ersichtlich. Die Fassung hat 2 Steckerslits in Normalabstand und ist staubdicht abgeschlossen. Durch Einrücken einer Lackplombe in die versenkte Deckelschraube kann die Fassung gegen unbefugtes Öffnen gesichert werden.

Ausführung in 2 Höhen:

C 162 für Steuerquarze bis 300 m Wellenlänge

C 163 desgl. bis 1000 m Wellenlänge

Fassungen für größere Wellenlängen und solche anderer Ausführung nach Vereinbarung.

Crystal mount opposite page for quartz control crystal

The illustration shows this construction of ours. The mount has 2 plug pins at standard distance, and is closed dust tight. The mount can be protected from unauthorised opening by means of pressing a lacquer seal into the top screw.

Made in 2 heights

C 162 for quartz control crystals up to 300 m wave length

C 163 ditto up to 1000 m wave length

Mounts for greater wave lengths and in other designs as per agreement.

Quarzstäbe

Quartz rods

	Format in mm Form in mm		Format in mm Form in mm
C 164	1,5×3×20	C 167	1,5×3×50
C 165	1,5×3×30	C 168	1,5×3×75
C 166	1,5×3×40	C 169	1,5×3×100

Quarz-Oszillatoren in Fassungen.

Schnitt A.
Temperaturkoeffizient
ca. $20 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}.$



Piezo Quartz Oscillators, Mounted.

Cut A ("Zeno" or "Corie" cut).
Temp. Coeff.
about 20×10^{-6} Grad Celsius.

			Abweichungen vom Sollwert Tolerances			
			$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,2\%$
○ 1	15—	20 m — kHz 20 000—15 000	a	b	—	—
○ 2	über 20—	30 m — kHz 15 000—10 000	a	b	c	—
○ 3	" 30—	40 m — kHz 10 000—7 500	a	b	c	d
○ 4	" 40—	100 m — kHz 7 500—3 000	a	b	c	d
○ 5	" 100—	400 m — kHz 3 000—750	a	b	c	d
○ 6	" 400—	625 m — kHz 750—480	a	b	c	d
○ 7	" 625—	800 m — kHz 480—375	a	b	c	d
○ 8	" 800—	1200 m — kHz 375—250	a	b	c	d
○ 9	" 1200—	1500 m — kHz 250—200	a	b	c	d
○ 10	" 1500—	2000 m — kHz 200—150	a	b	c	d
○ 11	" 2000—	3000 m — kHz 150—100	a	b	c	d
○ 12	" 3000—	4000 m — kHz 100—75	a	b	c	d

Oscillatoren mit längeren Wellen auf Anfrage. — Long wave oscillators on request.

Quarz-Oszillatoren für Druck- und Ultraschallwellen-Messungen. Piezo Quartz Oscillators for Pressure and Ultrasonic Measurements.

○ 13	10×10 mm	Dicke Thickness	1 — 4 mm	○ 21	40×40 mm	Dicke Thickness	8,5—10 mm
○ 14	10×10 "	"	4,1—8 "	○ 22	50×50 "	"	5—8 "
○ 15	20×20 "	"	1—4 "	○ 23	50×50 "	"	8,5—12 "
○ 16	20×20 "	"	4,5—8 "	○ 24	60×60 "	"	5—8 "
○ 17	30×30 "	"	1—4 "	○ 25	60×60 "	"	8,5—12 "
○ 18	30×30 "	"	4,5—8 "	○ 26	80×80 "	"	5—8 "
○ 19	40×40 "	"	1—4 "	○ 27	80×80 "	"	8,5—12 "
○ 20	40×40 "	"	4,5—8 "	○ 28	80×80 "	"	15 "

Für runde Platten derselben Größen gelten die gleichen Preise. Platten mit anderen Abmessungen werden angefertigt. Preise auf Anfrage.
Round plates in the above sizes are furnished at the same prices. For plates of other dimensions prices on request.

Abb. 7.1.5 (oben)
Fertigungsprogramm
von piezoelektrischen Elementen
ab 1934

Abb. 7.1.6
Ausschnitt aus der Quarzliste „O“

In den späten 30er Jahren erfolgte bei der Quarzfertigung eine wesentliche Erweiterung. Durch Anbauten an das Stammhaus ergab sich für die Schwingquarz-Fertigung eine Verbesserung in der Serienfertigung.

Aus dem Quarzkatalog dieser Jahre ein Auszug (Abb. 7.1.6).

Wie aus obiger Quarzliste zu ersehen ist, fertigte die Firma jetzt auch Quarz-Oszillatoren für Druck- und Ultraschallwellen-Messungen.

Wie schon weiter vorne angezeigt, ist die wesentliche Erweiterung der Fertigungsfläche inzwischen abgeschlossen worden.

Nach dieser Erweiterung erfolgte der nächste Schritt, den Meßgeräte-Park zu erweitern und zu modernisieren, wie die nachstehende Entwicklung zeigt.

In Zusammenarbeit mit der PTR und Halle wurde ein Präzisionswellenmesser entwickelt und gebaut.

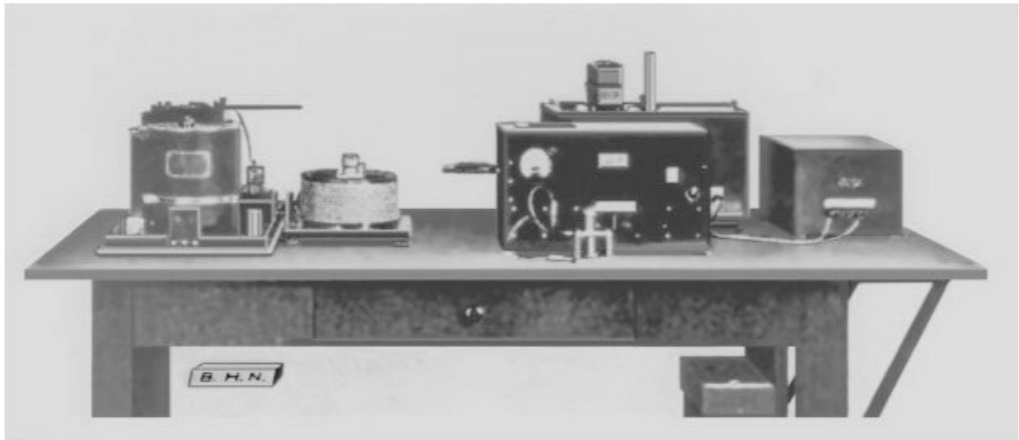


Abb. 7.1.7 Wellenmesser Bauart PTR – Halle

Zu den Quarzoszillatoren für Druck- und Ultraschallmessungen sollte auch noch eine Fertigung von Filterquarzen entstehen. Für diese Herausforderung waren viele ausgezeichnete Mitarbeiter aus der Optikfertigung dafür schon geschult worden.

Aus der Werkstatt sollte der Optik-Spezialist Ernst Zohm die Leitung der Quarzfertigung übernehmen. Für die Planungs- und Prozeß-Seite war der Physiker Dr. Dr. Lange zuständig. Nach dem Tod von Dr. Lange wurde dieses Gebiet von E. Ritter übernommen. Für seine Arbeiten auf diesem Gebiet wurde ihm 1932 von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Hochschule Dresden die Ehrendoktorwürde (Dr. rer. tech. e. h.) verliehen.

Später war durch die freundschaftliche Zusammenarbeit mit der Quarzfertigung von Telefunken, Dr. R. Bechmann auf diesem Gebiet ein guter Ratgeber. Damals wurden auch viele Musterquarze für Telefunken durch Halle hergestellt.

Während des Zweiten Weltkrieges wurde die Firma sogleich für Rüstungsaufträge eingesetzt.

Die Quarzfertigung war bald bis an ihre Grenzen ausgelastet, denn es wurden außer verschiedenen anderen Frequenzen auch der Eichquarz – 776 kHz – für den 30/80-Watt-Sender gefertigt (Abb. 7.1.8). Die Aufträge hierfür vergab Telefunken. Laut einer Statistik (vom „Ringleiter für Quarz“ erstellt) ist die Produktion von Schwingquarzen im Dezember 1944 bei Halle mit 700 Stück angegeben, gefertigt mit 7 Mitarbeitern.

Die Fertigung dieses Eichquarzes in größeren Stückzahlen stellte für die damalige Zeit eine große Herausforderung dar.



Abb. 7.1.8

Eichquarz Type QS 2, 776 KHz

Einen kleinen Einblick in die Nachkriegsfertigung zeigen die *Abb. 7.1.9 und 7.1.10*



Kriegsende 1945 – von den russischen Streitkräften kam sogleich der Befehl zum Abbau der kompletten Werkstätten. Es war danach eine schwere Aufgabe, den Betrieb wieder aufzubauen. Durch Einsatz von geliehenen Maschinen kam die Fertigung ganz langsam wieder in Gang.

Bald schon verließen wieder die ersten Schwingquarze die Werkstatt; die ersten Kunden waren damals die Firmen Blaupunkt und Telefunken.

Die Quarzfertigung hatte in den Nachkriegsjahren nicht mehr so den hohen Stellenwert wie früher. Es läßt sich heute nicht mehr richtig nachvollziehen, warum?

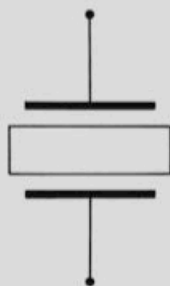
Wahrscheinlich spielte die totale Demontage durch die russischen Streitkräfte auch eine große Rolle dabei.

In den Jahren 1949/50 gab es nochmals einen Großauftrag für die Schwingquarzfertigung. Die Berliner Polizei und Feuerwehr rüstete ihren Fahrzeugpark mit neuen modernen Funkgeräten aus, die Bediengeräte hierzu waren mit schaltbaren Quarzkanälen ausgestattet. Ab dem Jahre 1955 wurde die Quarzfertigung aufgelöst und an Telefunken komplett abgegeben.

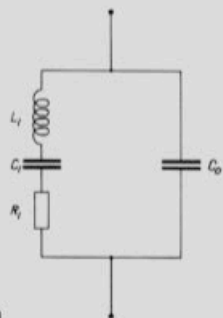
Dr. Erich Ritter wurde 1959 das Bundesverdienstkreuz verliehen, er starb hoch betagt im Jahre 1971. Auch der Quarzspezialist Ernst Zohm erhielt nach fast 60-jähriger Betriebszugehörigkeit das Bundesverdienstkreuz. Ernst Zohm starb im Jahre 1972.

Der zweite Besitzer Wilhelm Anton Frank starb 1980, sein Sohn Axel Frank führte die Firma weiter. Im November 1993 stellte der letzte Besitzer einen Konkursantrag und drei Monate später am 31. Januar 1994 wurde der Konkurs eröffnet.

SCHWINGQUARZE



- Steuerquarze
- Filterquarze
 - Normalfrequenzquarze
 - Ultraschallquarze
 - Druckmeßquarze
- Sonderanfertigungen



KRISTALL-VERARBEITUNG · NECKARBISCHOFSHAIM GMBH

7.2 KVG Kristall-Verarbeitung Neckarbischofsheim

Die Firma Kristall Verarbeitung Neckarbischofsheim ist eine Gründung von dem Physiker Kurt Klingsporn. Kurt Klingsporn wurde am 11. Mai 1899 als Sohn eines Kaiserlichen Rates in Berlin geboren.

Im Hause Klingsporn galt die Maxime:

*Üb immer Treu und Redlichkeit Bis an dein kühles Grab
Und weiche keinen Fingerbreit Von Gottes Wegen ab.*

Auf diese Weise des Glockenspiels der Potsdamer Garnisonskirche wies Vater Klingsporn seinen Sohn schon hin, ehe er zur Schule kam.

Diese Worte beeindruckten Kurt Klingsporn so nachhaltig, daß aus ihnen drei Grundrichtungen erwachsen, die sein ganzes Leben bestimmten:

– Wandervogel – Christentum – Preußentum –

<i>Erstens:</i>	<i>Suum cuique</i>	<i>Jedem das Seine.</i>
<i>Zweitens:</i>	<i>Semper talis.</i>	<i>Bleib immer treu.</i>
<i>Drittens:</i>	<i>Pro gloria et patria</i>	<i>Ruhm – aber fürs Vaterland.</i>

*... Durch getreues Festhalten an diesen Richtlinien gelang es uns allen mit persönlichem Einsatz, harter Arbeit und unerschütterlichem Fleiß aus den Trümmern von 1945 diesen schönen Betrieb aufzubauen, so daß wir dankbar das Fest zum **25. Jubiläum** feiern dürfen und können. ...*

Dies waren die Worte (in gekürzter Form) zum Geleit der *Jubiläumsausgabe des Schwingquarz-Kataloges 1972*.

Wie verlief nun der Berufsweg von Kurt Klingsporn.

Nach Abschluß der Reifeprüfung im März 1920 begann er ein Studium der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg.

Anschließend folgten Praktikerjahre im Zentrallabor bei Siemens & Halske. Von 1926 bis 1933 Studium der Physik, speziell Kristalloptik. Von 1935 bis 1937 arbeitete Klingsporn dann in der Quarzabteilung der Firma Loewe Radio.

Ab 1938 Aufbau und Leitung der gesamten Schwingquarzfertigung bei der C. Lorenz AG in Berlin-Tempelhof. Hier bei Lorenz gab es ein Zusammentreffen mit Hermann Niggemeyer. Dieser war nach seinem Studium 1937 in das neu gegründete Quarzlabor der Firma eingetreten.

Dort gab es in jener Zeit Entwicklungsaufgaben zu lösen, die abseits der üblichen Berufsausbildung lagen.

Dazu nebenbei eine kleine Abschweifung:

Noch in den ersten Jahren nach der Neugründung seiner Firma in Neckarbischofsheim kam bei irgendwelchen Gelegenheiten Kurt Klingsporn ins Erzählen aus seiner Berliner Zeit bei Lorenz. Dabei erwähnte er auch immer den Namen H. Niggemeyer. In diesen Berliner Jahren fühlte sich Klingsporn als Mentor dieses liebenswerten Menschen und Kollegen – wahrscheinlich erkannte er in Niggemeyer schon damals einen exzellenten Naturwissenschaftler.

(Siehe auch Firmenprofil „Lorenz“.)

In den Jahren 1942 bis 1945 fiel Klingsporn eine Sonderstellung zu. Wie es zu dieser Sonderstellung kam, dazu gibt es eine Vorgeschichte.

In Deutschland trat so ab 1941 ein akuter Mangel an Rohquarz für die Schwingquarzfertigung ein. Bei Telefunken wurden damals Prozeßfolgen ausgearbeitet, um Rohquarze mit einem Gewicht bis zu 50 g zu verwenden. Die Situation wurde aber immer schwieriger, und so wurde die Ankunft eines Transport-U-Bootes mit Rohquarz aus Brasilien mit großer Spannung erwartet. Nach Eintreffen des U-Bootes mit seiner kostbaren Ladung gab es beim General-Luftzeug-Meister Milch im RLM eine Konferenz mit einer Präsentation von Probestücken des mitgebrachten Materials. Bei dieser Sitzung war auch Reichsmarschall Göring anwesend, ebenso wie Dr. Rottgardt, Vorsitzender der Kommission für Funktechnik, und als Fachmann für Kristalloptik K. Klingsporn. Bei der Begutachtung stellte Klingsporn fest, das Material war wegen zu vieler Einschlüsse in den Kristallen fast wertlos. Hier soll dann Göring spontan den größten Quarzkristall Klingsporn geschenkt haben (was aber nicht verbürgt ist). Doch ab diesem Zeitpunkt gab es für die Rohquarzbeschaffung die Stelle eines „Beauftragten Sachverständigers der Reichsregierung“.

Der erste Einsatz für Klingsporn war dann in Goroschki/Schitomir, Rußland, von Januar 1942 bis März 1943, um die dortigen Lagerstätten zu begutachten und brauchbaren Quarz für die Fertigung auszusuchen.

Auf Anordnung der Reichsregierung wurde 1943 offiziell die Dienststelle für die „Quarzbeschaffung“ in Wittingen/Hannover geschaffen. Im Vorfeld dieser Gründung erschien Anfang März 1943 ein Herr de Boer von der Firma W. de Boer, Hamburg, bei der Firma Pieper – Maler- und Autolackierei-Betrieb, Dammstraße 1 – und schloß einen Vorvertrag über die Einlagerung eines Betriebes mit der Firma Pieper.

Durch die Organisation Todt wurden zwischen Ende März und Anfang April viele LKW- Ladungen technisches Material in die Werks- und Lagerräume gebracht. In dem gesamten Betrieb mußten anschließend alle Elektroleitungen erheblich verstärkt werden. Im April 1943 wurde dann auch ein Gewerbe angemeldet.

Die Abb. 7.2.1 zeigt in der Dammstraße 1 das Wohnhaus, dann folgt nach rechts das Hoftor und daran anschließend die Malerwerkstatt mit der Garage mit rückwärtigem Ausgang in den Hof. Der Hof hatte eine Fläche von 1000qm. Auf dem Hofgelände befanden sich mehrere Nebengebäude. In diese wurde der Rohquarz aus Schitomir eingelagert. Vom Hof in das Wohnhaus wurde eine zusätzliche Tür in den Giebelteil gebrochen (ist noch als zugemauerter Durchbruch zu erkennen) und ein Aufgang gebaut.



Abb. 7.2.1 Verlagerungsstandort Wittingen, Dammstraße 1 (Aufnahme 1954)

Die Fertigung fand in den Räumen des Malerbetriebes statt. Konditionierung, Büro und Versand befanden sich in den unteren Räumen im Giebelteil.

Nach der Aussage eines Bewohners aus Wittingen im Jahr 2001 sollen dort auch Schwingquarze gefertigt worden sein (?) –. Dazu gibt es noch viele offene Fragen, die wahrscheinlich heute niemand mehr beantworten kann.

Klingsporn schrieb in seiner Vita auch nur, ich zitiere:

Beauftragter Sachverständiger für die **Rohquarzbeschaffung**
in Rußland und in Deutschland, Wittingen/Hannover.

Der Status von Klingsporn in der Firma W. de Boer war der eines Betriebsleiters.

A b s c h r i f t.

Hauptring „Elektrotechnische Erzeugnisse“
Beim Reichsminister für Bewaffnung und
Munition.

Arbeitsring „Schwingquarze“
Der Leiter

Anschrift:
Obering. Dr. phil.
R. Bechmann i.H.
Telefunken G.m.b.
Berlin SW 11
Hallesches Ufer
30
Ruf 196961

U.Z.
Dr. Be./S.

1.10.42

Betr. Bedarf an Quarz-Rohmaterial für
Schwingquarz-Fertigung.

Wie mir vom Reichswirtschaftsministerium mitgeteilt wird, ist in einigen Monaten mit der Zufuhr von russischem Quarz-Rohmaterial zu rechnen. Das RWiM benötigt jedoch nähere Angaben der erforderlichen Quarzmengen, die von der quarzverarbeitenden Industrie angefordert werden. Es ist vom RWiM beabsichtigt, den quarzverarbeitenden Firmen das Quarz-Rohmaterial wenn möglich in vorgeschnittenen, zwillingsfreien Blöcken zur Verfügung zu stellen, wie dies in der Besprechung bei der Reichsstelle für Waren verschiedener Art am 31.3.42 festgelegt wurde.

Ich bitte daher um Mitteilung:

a) in welcher Form das vorstehend erwähnte Quarzmaterial zur Weiterverarbeitung in ihrem Betrieb gewünscht wird, wobei ich um Angabe der Orientierung, der zweckmässigsten Grössen und Dicken der Blöcke bitte,

b) wieviel von dem unter (a) aufgeführten Quarzmaterial etwa für das Jahr 1943 von Ihnen benötigt wird, wobei die zu erwartende dem brasilianischen Material gegenüber höhere Ausbeuteziffer zu berücksichtigen ist,

c) ob das Material entfärbt oder unentfärbt zugeliefert werden soll. Bevor die Zerlegung und das Vorschneiden des aus Russland angelieferten Materials beginnt, wird W. de Boer und den an Quarzen interessierten Firmen stattfinden, zu der Sie eine Einladung erhalten werden.

Heil Hitler!
Bechmann.

Abb. 7.2.2 Rundscheiben von Dr. Bechmann

Meine Meinung: Wahrscheinlich fungierte das Unternehmen hauptsächlich als Vorfertigungsbetrieb mit Arbeiten wie Orientieren, Schneiden und Schleifen der Rohquarzblöcke.

Ein Nachbar von gegenüber berichtete, daß der Betrieb etwas Geheimnisvolles blieb, da alle Fenster zur Straße stets verhangen waren. Die offizielle Version der Tätigkeit des Betriebes war Produktion von Grammophon-Nadeln! –

Das vorstehende Schreiben vom Leiter des „Arbeitsringes Schwingquarze“ an die Schwingquarzfirma (Abb. 7.2.2), es kam erst jetzt in meine Hände, bestätigt meine Meinung.

Nach Kriegsende erhielt das Haus Dammstraße 1 den Schutzbrief “out of bounds” von der Militäradministration.

Aus dem Jahr 1946 existiert noch ein Schreiben, ausgestellt von der Regierung Lüneburg, an den Stadtdirektor in Wittingen (Abb. 7.2.3).

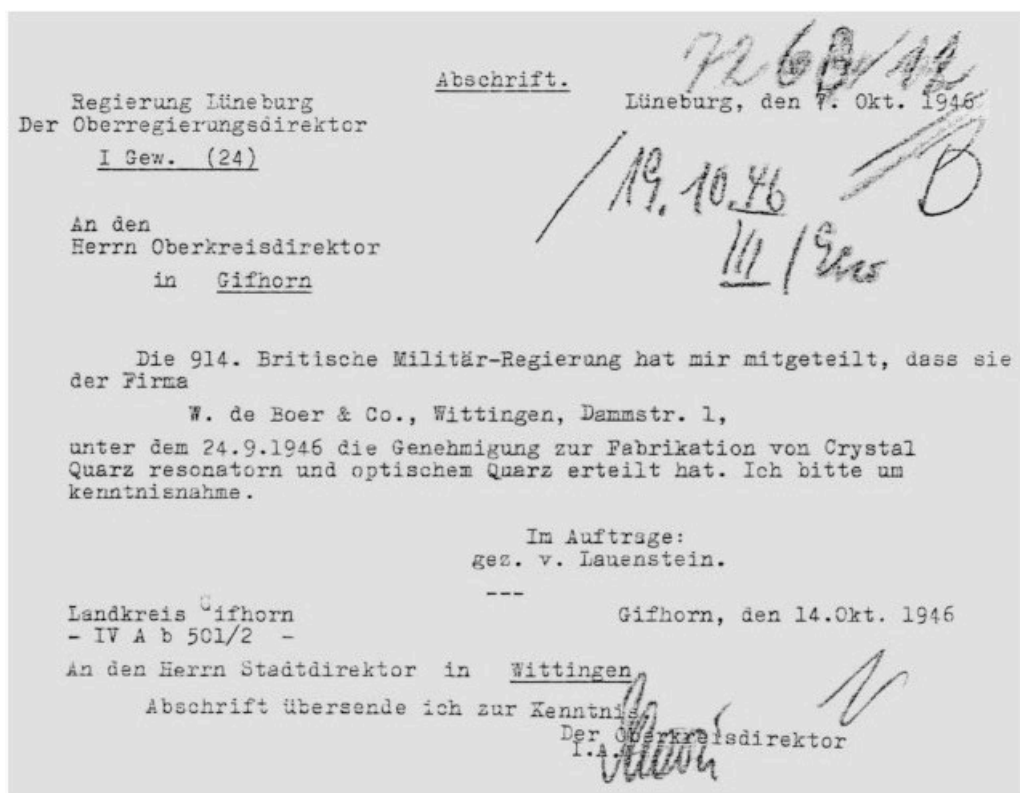


Abb. 7.2.3

Da erhebt sich jetzt die Frage, hat die Firma nun doch Schwingquarze hergestellt oder war die Herstellung nur in der Planung?

Im August 1947 schrieb die Firma W. de Boer an die Stadtverwaltung Wittingen (Abb. 7.2.4 – unten). Wie aus diesem Schreiben hervorgeht, zog sich im August 1947 die Firma de Boer zurück. Nachfolgefirma wurde die

Niedersächsische Kristall-Verarbeitungs-G.m.b.H.

W. DE BOER & CO., HAMBURG
BETRIEB WITTINGEN/HANN.

Postanschrift: W. de Boer & Co., (20) Wittingen/Hann., Postfach 42

An die
Stadt Wittingen
(20 a) Wittingen /Hann.

RBN.: 0/0489/5081c
Fernruf: Wittingen/Hann. 425 u. 368
Drahtwort: Wedeboer Wittingen
Bahnhöfe: Wittingen Reichsbahn
Kleinbahn Wittingen West
Bank: Genossenschaftsbank
Wittingen e. G. m. b. H.

20 Wittingen/Hann. 3. Sep. 1947

Betrifft:
Bezug:

Ihre Zeichen: Ihre Nachricht vom: Unser Zeichen: Unsere Nachricht vom: Tag:

August 1947

Der bisherige Betrieb Wittingen unseres Hamburger Stamm-
hauses ist jetzt als selbständige Firma unter dem Namen:

NIEDERSÄCHSISCHE KRISTALL-VERARBEITUNGS-G. m. B. H.

ins Handelsregister eingetragen worden. Das neue Unter-
nehmen setzt die Arbeit des früheren Aufbereitungsbetriebes
fort und übernimmt dessen sämtliche Verpflichtungen und
Rechte.

Wir bitten alle Behörden und Interessenten höflichst,
hiervon Kenntnis zu nehmen.

Hochachtungsvoll!
W. DE BOER & CO.

PRODUKTION PLANET NO.:
HAN/EGON 10 E/ 1001

F/0797

Bevor ich nun über die Nachfolgefirma berichte, noch ein paar Worte zu der Firma W. de Boer. Diese Firma wurde schon 1920 in Hamburg 1, Meßberghof, gegründet als Im- und Export und Großhandel mit Chemikalien und ätherischen Ölen. In der Sparte Import von Rohmaterial (auch Quarz) war sie in jener Zeit führend. 1967 ist die Firma erloschen.

Wie aus dem Karteiblatt (Abb. 7.2.5) zu entnehmen ist, übernahm dann K. Kling-sporn den Betrieb und führte ihn unter dem neuen Namen (siehe oben) weiter.

03 Druck: Nord-Wittlingen

Heftband

Stadt-Gemeinde: Wittlingen

Karteiblatt für stehendes Gewerbe

Name des Geschäftes (Betriebes): Niedersächsische Kristall-Verarbeitungs G.m.b.

Name des ~~Betriebsinhabers~~ Geschäftsführers: Kling-sporn Beruf: Physiker

Vorname: Kurt Wohnung: Bahnhofstr. 34

Art des Betriebes: Herstellung von Kristallpräparaten aller Art

Antriebskraft: elektrische Maschinen Gerichtlich eingetr. Handelsfirma ja, Isenngen
15. Januar 1948

Arbeiterzahl (Angestellte)

a) Erwachsene		b) Jugendliche unter 18 Jahren	
männliche	weibliche	männliche	weibliche
<u>9</u>	<u>2</u>		

Das Geschäft (Betrieb) wurde (wird)

eröffnet am: 1.1.47 entstanden aus der Firma W.de.Boer & Co. wiedereröffnet am:

geschlossen am: Grund der Schließung:

geschlossen am: Grund der Schließung:

Das Gewerbe wurde beim Bürgermeister gemeldet am: April 1943

Das Finanzamt ist benachrichtigt am:

Das Finanzamt ist benachrichtigt am:

Das Gewerbe ist erloschen am:

Abb. 7.2.5

Noch unter dem alten Betriebsinhaber de Boer wurden dort auch die Quarzbestände für die englischen und amerikanischen Streitkräfte auf andere Frequenzen umgeschliffen. Kling-sporn führte diese Aufträge bis etwa 1948, Währungsreform, weiter aus, danach Auftragsabbruch.

Im Anschluß fertigte die Firma einen Nachbau der amerikanischen Militär-Quarz-Typen wie FT 241 A und FT 243.

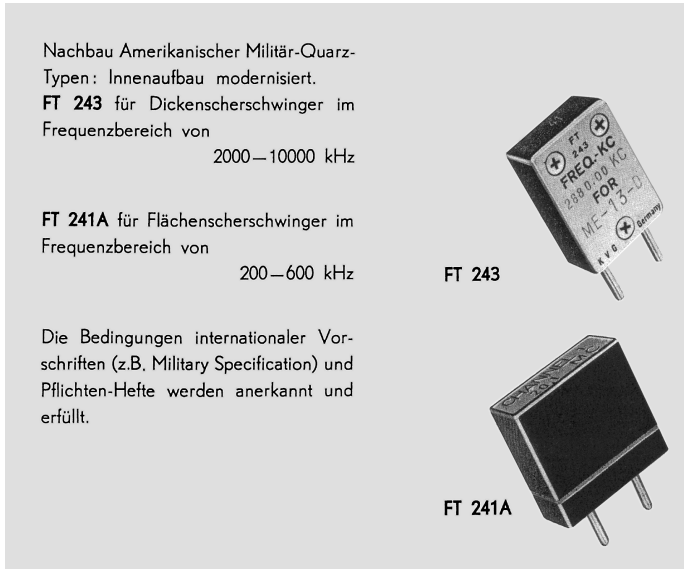


Abb. 7.2.6

Nachbau amerikanischer Militär-Quarze

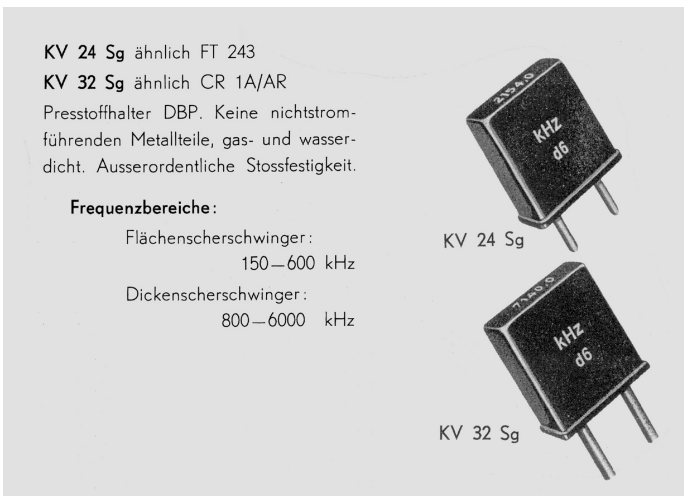


Abb. 7.2.7

Die ersten aus eigener Entwicklung gefertigten Quarze

In der Zwischenzeit versuchte der Malermeister Pieper seinen Betrieb zurück zu erhalten, mußte aber einen Prozeß anstrengen, den er letztlich auch gewann. So mußte die Quarzverarbeitung im Oktober 1950 gehen, einerseits herausgeklagt, andererseits ignoriert durch den Ort Wittingen mit seinem Gemeinderat, der befürchtete, daß die Spezialfirma mit ihren besseren Löhnen den Akkord verderben würde. Genutzt hat es der Gemeinde gar nichts, das VW-Werk in Wolfsburg kam und holte alle Arbeitskräfte für noch bessere Löhne aus dem Ort.



Niedersächsische Kristall-
Verarbeitungs-GmbH.

Wittingen
(Han)

16. Okt. 1950

An die
Stadt Wittingen
Wittingen / Han.

Betr.: Betriebsverlagerung

Am heutigen Tage ziehen wir mit unserem
Kleinindustrie-Betrieb für Quarzfertigung von
hier, Demastr. 1, nach Backarbischofsheim,
Weibstadterstr. 107, um.

Guter Ordnung halber melden wir deshalb hier-
durch unseren Betrieb bei den städt. Behörden
ab.

Niedersächsische Kristall-
Verarbeitungs-G. m. b. H.

Dr. Klingemann

20. 10. 50.

*1/ Publikation in der Dr. Presse
über das Unternehmen.*

2/ 8000 bei uns

Z.

Mitglied im Verband der Deutschen Feinmechanischen und Optischen Industrie e. V., Köln.

Telegramme:
Kristalltechnik
Fernruf: 425

Anschrift: (20a) Wittingen/Han
Postfach 42
Bahnhofstr. Wittingen

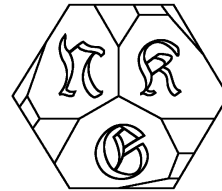
Banken: Nordwestbank Celle 6910,
Volksbank Harenshöf/Han 126
Postcheck: Hannover 1156 61

Production Permit:
HAN/ECON 14 R/1001
RB-Nr. 0/0489/8953

Abb. 7.2.8 Schreiben der Quarzverarbeitung an die Gemeinde Wittingen



Abb. 7.2.9/10
1950 – Das Gruppenbild
im Hof der Dammstraße 1
war der Abschied der
Niedersächsischen Kristall-
Verarbeitungs-GmbH
Wittingen



Ein neuer Anfang ...

Der neue Standort „Neckarbischofsheim“, eine Gemeinde in Nordbaden, im Kraichgau zwischen Schwarzwald und Odenwald gelegen – hier fand jetzt die Firma ihre neue Heimat.

In dem leer stehenden ehemaligen HJ-Heim boten sich gute Möglichkeiten auch für eine spätere Erweiterung.

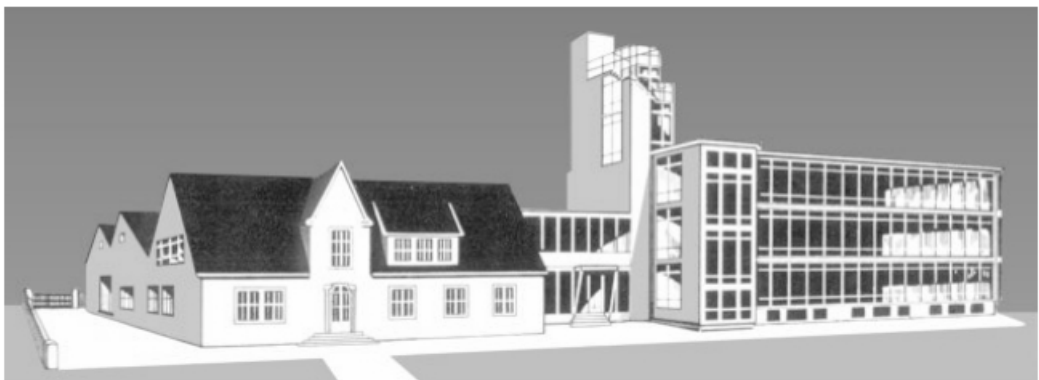
Hier begann Klingsporn mit 7 Arbeitern ein modernes Quarzwerk aufzubauen.

Die Illustration zeigt die Firmengebäude, links die erste Unterkunft, rechts die Neubauten.



Abb. 7.2.11 Firmengebäude Neckarbischofsheim

Abb. 7.2.12 Kurt Klingsporn



Die Firma nannte sich jetzt
Kristall-Verarbeitung · Neckarbischofsheim GmbH
mit neuem Logo



Abb. 7.2.13

Der neue Betrieb konnte durch die langjährigen und vielseitigen Erfahrungen seines Gründers mit den modernsten Fertigungseinrichtungen und Bearbeitungsmaschinen ausgestattet werden. Somit konnten auch die höchsten Ansprüche der Verbraucher an Präzision und Qualität befriedigt werden.

Niederfrequenz- und Ultraschallquarze wurden als erstes neu in die Produktion aufgenommen.

Der folgende Bildbericht gibt einen kleinen Einblick in die Fertigung der 50er Jahre bei KVG.



Abb. 7.2.14 Sägen einer Z-Fläche



Abb. 7.2.15 Z-Korrektur

Abb. 7.2.16
Anschleifen einer planen
Bezugsfläche



Abb. 7.2.17 (unten)
Schleifen des Außendurchmessers
eines Ultraschall-Quarzes

Abb. 7.2.18 (unten rechts)
AT-Scheiben sägen



Ende der 50er, Anfang der 60er Jahre wurden auch Schwingquarze in Allglastechnik gefertigt. Die Allglastechnik ist eine Entwicklung aus dem Quarzwerk Philips in Doetinchem/Holland.

Diese Technologie forderte natürlich neue Fertigungseinrichtungen. Ich möchte aber hier in der Beschreibung nur die Verschlußart herausgreifen.

Wie der Name „Allglastechnik“ schon sagt, bestanden bei dieser neuen Quarzform Bodenplatte und Kappe aus Glas. Abb. 7.2.19 zeigt zwei Quarze dieser neuen Generation.

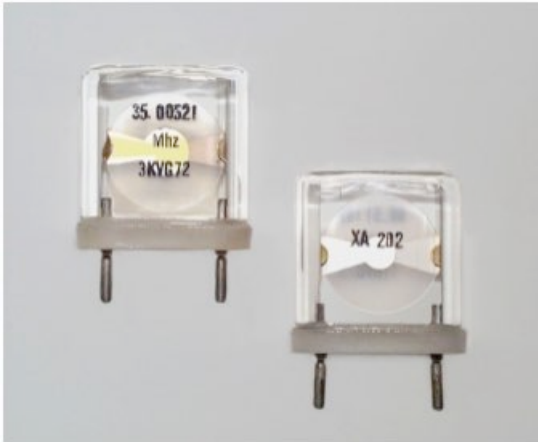


Abb. 7.2.19

Quarze in Allglastechnik

Wie schon angedeutet, war bei dieser neuen Art der Vibrator in einem Glasgehäuse montiert.

Die Verschußart

„Glasverschmelzung“ erfüllte bei diesen Schwingquarzen die höchsten Ansprüche an die Langzeitkonstanz.

Nun zu der Technologie der „Glasverschmelzung“:

In der Bodenplatte aus Sinterglas ist ein Induktionsring aus Kovar *) eingelassen. Durch eine induktive Erwärmung im Vakuum erfolgt dann die Verschmelzung (Abb.7.2.20 und 7.2.21).

Abb. 7.2.20

Prinzipdarstellung
„Glasverschmelzung“

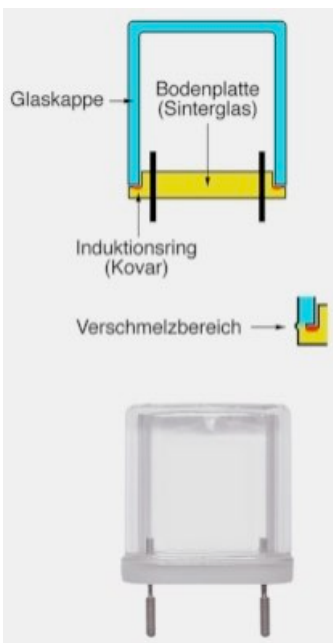
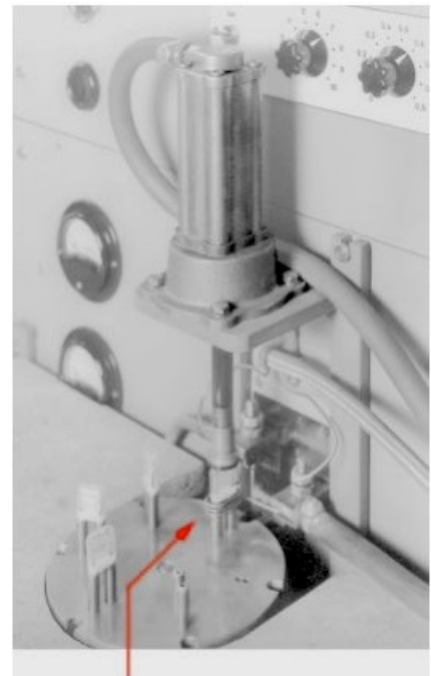


Abb. 7.2.21

Allglasverschluß-
Maschine
(Darstellung ohne
Vakuummantel)



Induktionserwärmungsspule

*) Kovar ist eine FeNiCo-Legierung und findet ausschließlich für Glasverschmelzungen in der Vakuumtechnik Verwendung.

Im Oktober 1960 trat nach einem Studium der Allgemeinen Nachrichtentechnik an der Technischen Hochschule Darmstadt *Rudolf Fischer* als Mitarbeiter in die KVG ein. Im Jahre 1965 wurde ihm Einzelprokura erteilt und die technische Gesamtleitung übertragen.

Die weitere Geschichte der KVG und ihre technischen Fortschritte in Kurzform:

Das Jahr 1964 war Beginn der Filterfabrikation und zwei Jahre später kam das *Monolithische Quarzfilter* auf den Markt. Ab diesem Zeitpunkt wurde auch der Computer für Quarz- und Filterdimensionierung eingesetzt.

1969 wurden die ersten TCXOs – Temperaturkompensierte Quarzoszillatoren – angeboten.



Abb. 7.2.22
Hochfrequentes Quarzfilter für 10,7 MHz

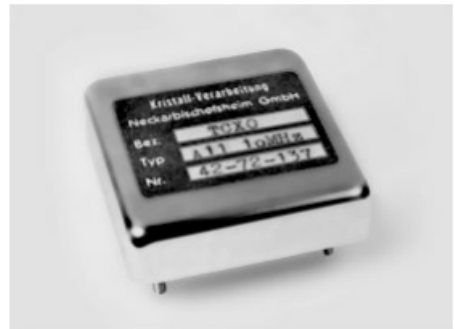


Abb. 7.2.23 TCXO – 10 MHz

1970 – Übergang zur Einzelbedampfung.

Ende 1971 nahm R. Fischer die Gelegenheit wahr, für eine begrenzte Zeit eine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Stuttgart zu übernehmen.

Die Anregung kam von Prof. Glaser vom Institut für Uhrentechnik.

Dort entstand die Dissertation:

Eigenschaften und anwendungsspezifische Probleme niederfrequenter NT- und X+5°-Biegeschwinger für quarzgesteuerte Gebrauchsuhren.

Abb. 7.2.24

Anlage für Einzelbedampfung

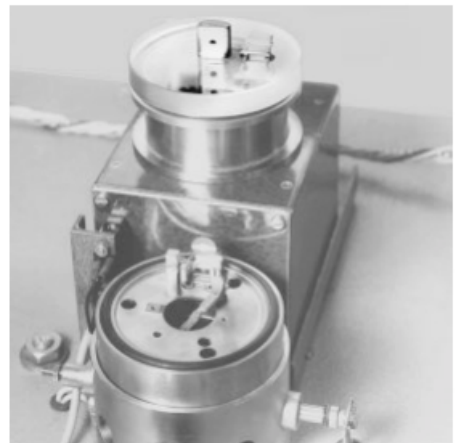




Abb. 7.2.25 einst ...

Abb. 7.2.26 ... jetzt.



Im Dezember 1973	kehrte R. Fischer wieder zur KVG als Geschäftsführer zurück.
Im Jahre 1973	wurden Fertigungsanlagen für Konvexquarze installiert.
Die 80er Jahre	brachten viele Neuerungen in der Quarztechnologie sowie auch neue Produkte.
1981	Frequenzkontrollierende Poliermaschinen.
1983	Verbesserte Winkelmessung beim Quarzschnitt.
1985	Fertigung von Miniatur-OCXOs, -VCXOs und -TCVCOs.
	Im Herbst starb Kurt Klingsporn im Alter von 86 Jahren. Er konnte im Ruhestand mit Stolz auf das von ihm geschaffene Werk zurück blicken.
1987	Laserbeschriftung bei Quarzen.
1988	Rechnergesteuerte Bedampfungsanlagen.
Am 21.12.1990	verstarb völlig unerwartet der Geschäftsführer Dr. Rudolf Fischer im Alter von 58 Jahren. Unter seiner Leitung wurde im Jahre 1965 das Quarzfilter XF-9A entwickelt, welche das amerikanische McCoy-Filter in Europa ablöste.
	In diesem Jahr – 1990 – wurden auch neue Räume bezogen.
1991/92	startete in der Fertigung ein automatischer Quarzaufbau.
Im Juli 1995	wurde die Kristallverarbeitung Neckarbischofsheim verkauft an die amerikanische Firma Vectron International – Norwalk, Conn.
Ende 1996	übernahm diese die alt eingesessene Firma Quarzkeramik, Stockdorf
<i>Nachsatz:</i>	Nach den neuesten Informationen soll die Firma inzwischen von einigen Mitarbeitern übernommen worden sein!

RADIOFREQUENZ G.M.
B.H.

BERLIN=FRIEDENAU

NIEDSTRASSE 5

Loewe-Audion G. m.
b. H.

Berlin=Friedenau, Niedstr. 5

Telegramm-Adresse: Laborloewe

Telephone: Rheingau 8046/8047/8066

RADIO AG  DS LOEWE

Schwingquarze


RADIO AG  DS LOEWE

BERLIN-STEGLITZ / WIESENWEG 10

7.3 Loewe-Opta; Berlin-Steglitz – vormals Radiofrequenz; Berlin-Friedenau

Im Jahre 1920 schrieb ein gewisser Dr. Siegmund Loewe von einer Studienreise nach Amerika an seine Firma in Berlin (ein kurzer Auszug daraus):

... dieses Land ist überhaupt ein einziges großes Feld für alles, was Technik heißt. Je großzügiger ein Gedanke, um so sicherer wird er hier aufgenommen. Und trotzdem besteht noch eine ganz ungeheure technische Möglichkeit, die bisher niemand zu sehen zu haben scheint: die Benutzung der „wired wireless“ nicht zur Führung mehrerer Telefongespräche längs derselben Leitung, sondern zur gleichzeitigen Übermittlung verschiedener Nachrichten. Lassen Sie mich das Projekt so entwickeln, wie ich es mir gelöst denke: es besteht in jeder Stadt der Welt eine Organisation, die vermietete oder verkaufte kleine Apparate instandhält, welche auf den ersten Blick Phonographen zu sein scheinen. Denn sie tragen einen Schalltrichter und geben nach Einlegen eines Schalters Musik von sich. Allerdings brauchen sie nicht aufgezogen zu werden und wechseln ihr Programm unaufhörlich. Nach einfachem Drücken verschwindet die Musik, dafür hört man politische Nachrichten ...

In weiteren nachfolgenden Ausführungen ging er nochmals auf die „wired wireless“ ein und schied dann zum Schluß:

*... in voller Zuversicht, daß dieses Projekt eines Tages verwirklicht sein wird,
grüße ich Sie* *als Ihr Dr. S. Loewe.*

Diese Worte waren keine Phantastereien, sondern konsequente Überlegungen, denen jahrelange Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Dr. Loewes auf dem Gebiet der drahtlosen Telegraphie vorausgegangen waren.

Wer war nun dieser Dr. Siegmund Loewe? –

Am 6. November 1884 wurde er als Sohn eines praktischen Arztes in Berlin geboren. Der Vater erkannte frühzeitig die Begabung seines Sohnes, aber in der Schule war er alles andere als ein Musterschüler. Wegen der vielen Tadel und Arreststrafen mußte ihm sein Vater ernstlich zürnen. Siegmund war nämlich ein etwas eigenartiger Schüler, was jedoch keineswegs Unbegabtheit war. Die Schulkalamität wuchs sich schließlich zu einer Katastrophe aus, indem er mit dem Zeugnis von Untersekunda abging. Eine krankhafte Vorliebe für die Astronomie hatte ihn befallen. Der Vater ging dann mit seinem Sohn zu dem berühmten Professor Foerster. (Wilhelm Foerster, 1832–1921,

war Direktor der Sternwarte Berlin.) Dieser schüttelte aber ob der traurigen Schulerfahrungen nur den Kopf und empfahl eine Lehre bei dem Mechaniker Gustav Halle in Neukölln (dem Bruder von Bernhard Halle, Optische Werkstätten). Hier absolvierte Loewe eine sehr gründliche 1 1/2-jährige praktische Lehrzeit. Daraus resultierte seine große Handfertigkeit in der Feinmechanik, und die kam ihm später bei seinen Versuchen im eigenen Labor sehr zugute. Nebenbei besuchte er die erste Handwerkerschule in Berlin mit ihren ausgezeichneten Lehrern.

Professor Leman an der Schule nahm ihn auf Grund seiner guten Kenntnisse und seiner großen Geschicklichkeit ab und zu mit auf die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, wo er Präzisionsmessungen auszuführen lernte. Gleichzeitig nahm er an Vorlesungen an der Technischen Hochschule besonders bei Professor Slaby teil. Er sah jetzt ein, daß gewisse Schulexamina nun einmal erforderlich sind und legte dann im Nachhinein seine Reifeprüfung ab.

Von 1905–1910 arbeitete er bei Telefunken; in dieser für die drahtlose Technik wichtigsten Zeit arbeitete er dort am Lichtbogengenerator.

Nach den Praktikerjahren bei Telefunken studierte Loewe in Jena bei Max Physik und Elektrotechnik. Auch setzte er dort seine astronomischen Studien bei Professor Knopf fort. 1912 promovierte er mit *magna cum laude* zum Dr. Phil. und kehrte dann als Mitarbeiter des Grafen Arco zu Telefunken zurück.

Bei Kriegsausbruch 1914 wechselte er zur Dr. Erich F. Huth-Gesellschaft für Funkentelegraphie und übernahm dort die Leitung der Laboratorien und der Patentabteilung. Im November 1918 richtete sich Dr. Loewe in Berlin nahe dem Halleschen Tor in der Gitschiner Straße 108 ein eigenes Laboratorium ein. Bis zum Jahre 1921 blieb er aber weiterhin mit der Firma Huth vertraglich verbunden.

Im Frühjahr 1920 unternahm Loewe im Auftrag der Firma Huth, als einer der ersten Deutschen nach dem Weltkrieg, eine Studienreise in die USA. Er schrieb von dort jenen visionären Brief, aus dem am Anfang dieses Firmenprofils zitiert wurde.

In Berlin stieß aber die Vision von Siegmund Loewe auf Unverständnis. Die Firma Huth rief ihn sofort nach Eintreffen des Briefes telegraphisch nach Berlin zurück.

Nebenbei knüpfte Loewe bei seiner Amerika-Studienreise auch mit Hilfe seines dort lebenden Bruders David die ersten überseeischen Geschäftsverbindungen an.

Im Oktober 1921 löste er die vertragliche Bindung mit der Firma Huth.

Loewe hielt nun in Berlin viele Vorträge über den Rundfunk in Amerika. Die Radio-Idee wurde hier begeistert aufgenommen, und er fand in Dr. Eugen Nesper einen Verbündeten. Mit ihm zusammen wurde 1923 der Deutsche Radio Club gegründet. An der Zeitschrift „Der Radio-Amateur“, dem Organ des Clubs, ist Loewe als Autor sehr aktiv beteiligt.

Inzwischen war sein Bruder David wieder für eine bestimmte Zeit nach Berlin zurückgekehrt, und so begannen die Brüder in dem Laboratorium in der Gitschiner Straße mit der Fertigung und dem Vertrieb von Radiobauteilen und -geräten.

Am Anfang des Jahres 1923 gründete Loewe zur wirtschaftlichen Auswertung seiner Erfindungen die „Loewe Audion GmbH“ in Berlin-Friedenau. Gleichzeitig übernahm er auch die technische Leitung der „Radioröhrenfabrik GmbH“ in Hamburg.

Am 22. Januar 1923 kam es zum Zusammenschluß der Loewe-Labors mit der seit 1918 bestehenden „Mechanischen Werkstatt Grüttner & Lüttger“ in Berlin-Friedenau zu der Firma „Radiofrequenz GmbH“ in Berlin-Friedenau, Niedstraße 5.

Im Oktober des selben Jahres gründete Dr. Loewe auch eine eigene Gesellschaft zur Herstellung von Rundfunkröhren, die „Loewe Audion GmbH“ mit Sitz ebenfalls in Berlin-Friedenau.

In den folgenden Jahren wurden auch schon die ersten Versuche unternommen, Schwingquarze zu fertigen. Durch seinen damals in Amerika lebenden Bruder David kamen schon sehr früh erste Informationen nach Deutschland über dieses neue Bauelement – Schwingquarz.

Loewe, jeder neuen Idee aufgeschlossen, baute noch in Friedenau in der Niedstraße eine Schwingquarz-Pilotlinie auf in Zusammenarbeit mit den Optischen Werkstätten Bernhard Halle in Steglitz.

Die guten Fertigungskenntnisse aus der Radioröhrenfabrikation waren dabei sehr hilfreich, und so fertigte schon damals die Firma Radiofrequenz die ersten Schwingquarze in einem Glashalter.



Abb. 7.3.1 Die Keimzelle von Loewe-Opta, Niedstraße 5, in Berlin-Friedenau
Erste Zeitungsinserate



Abb. 7.3.2
Die Firmengründer
David Ludwig Loewe
und
Dr. Sigmund Loewe
(von links)

Wie aus der abgebildeten Patentschrift zu ersehen ist, ließ sich Loewe diese Idee im Jahre 1925 schützen.

Abb. 7.3.3 Patentschrift Nr. 500727 über den Einbau eines piezoelektrischen Kristalls in einen Vakuumraum (siehe auch folgende Seite)



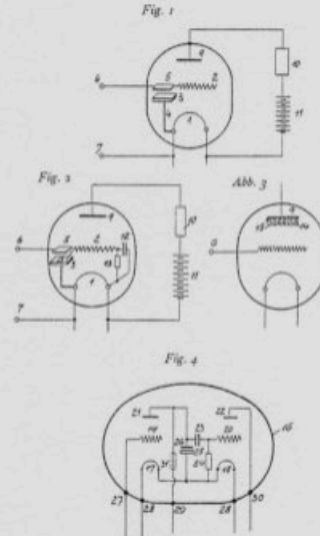
Bei den Anordnungen von Fig. 1 bis 4 soll aber die Impedanz ein Maximum betragen. Dies ist auch in der Tat der Fall. Hier ist nämlich parallel zu dem Piezokristall eine Zusatzkapazität geschaltet, die vorzugsweise aus dem Stromkreis entfernt, die beispielsweise bei der Anordnung von Fig. 1 von der Elektrode 5 zu der Elektrode 4 führen, ohne den Piezokristall 3 zu treffen. Die Impedanz einer solchen Schaltungsanordnung, die außerhalb der Resonanz im wesentlichen gleich dem Widerstand der Zusatzkapazität ist, nimmt beim Fortschreiten von niedrigen zu höheren Frequenzen mit Annäherung an die Resonanzfrequenz zunächst wie beim Felden der Zusatzkapazität ab. Sie erreicht jedoch schon vor der Resonanz des Piezokristalls ein Minimum, nimmt bei weiterer Frequenzsteigerung wieder zu und erreicht bei Frequenzen oberhalb der Resonanz ein Maximum, das größer als der kapazitive Widerstand außerhalb des Resonanzbereichs ist. Bei Steigerung über die Resonanzfrequenz hinaus nimmt die Impedanz wieder auf den der Zusatzkapazität entsprechenden Betrag ab. Auf dieser merkwürdigen Erscheinung, die den Charakter der Spannungsresonanz be-

steht, beruht die Wirkungsweise von Fig. 1 bis 4.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Elektronenröhre, dadurch gekennzeichnet, daß sie durch Einbau eines piezoelektrischen Kristalls in den Vakuumraum selektiv für bestimmte Frequenzen gemacht ist;
2. Elektronenröhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die erzeugte Spannung das Gitter der Röhre nicht direkt, sondern vermittels der piezoelektrischen Spannung erzeugt wird;
3. Elektronenröhre nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der piezoelektrische Körper derart betriebsweise auf die Anode geschaltet ist, daß die piezo-elektrischen Spannungen sich zu dem Anodenkathoden addieren;
4. Elektronenröhre nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in die Röhre ein Mehrfachverstärkersystem eingebaut ist, bei welchem die Kopplung zwischen den beiden Systemen durch einen piezo-elektrischen Kristall erfolgt.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

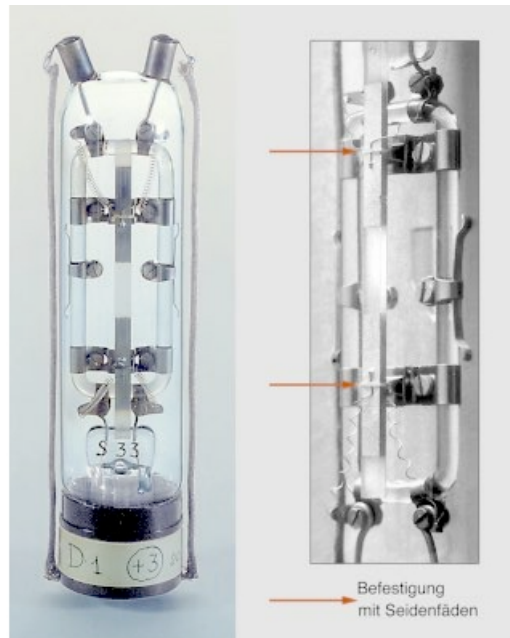


Die folgende Abbildung zeigt einen allerersten Schwingquarz aus der Pilotfertigung, noch in der Niedstraße 5 hergestellt.

Der Vibrator wurde in seinem Bewegungsknoten (Schwingungsknoten) montiert (gehalten). Wie auf der Fotografie zu erkennen ist, ist der Quarzstab an zwei Bewegungsknoten auf einem Metallbügel festgebunden. Die Bindungen wurden mit dünnen Seidenfäden ausgeführt. Die Bindung mußte, um Dämpfungsvermehrung zu vermeiden, möglichst genau an den Knoten erfolgen.

Abb. 7.3.4

Einer der ersten Schwingquarze, ein Biegeschwinger mit der Frequenz 77,33 kHz



Die Ausweitung des neuen Arbeitsgebietes erforderte jetzt auch ein Labor für Forschung und Entwicklung. Die Personalfrage des Leiters war aber nicht so einfach zu lösen. Dies zeigt eine Annonce aus jener Zeit.



Abb. 7.3.5

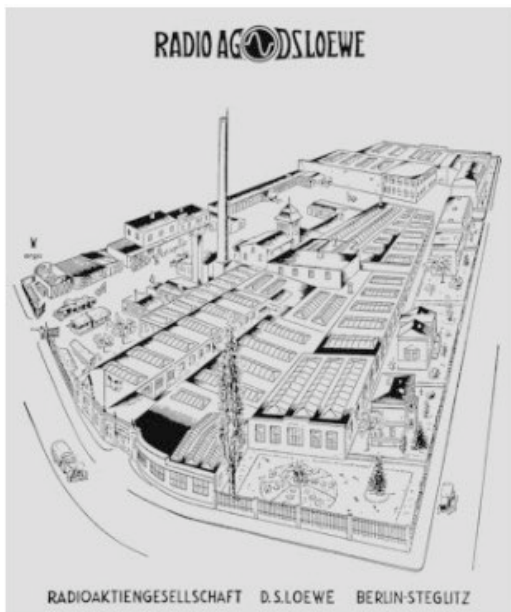
Loewe hatte dann mit der Einstellung von Heinrich Eberhard das große Glück, einen außerordentlich fähigen Mitarbeiter zu gewinnen.

Dies zeigte sich auch schon bald in seinen ersten Patentveröffentlichungen im Jahre 1926.

(Darauf komme ich noch zurück.)

Die Fertigungsräume in der Niedstraße wurden bald schon zu klein. Es gelang Dr. Loewe im Sommer des Jahres 1925 die Grundstücke und Gebäude der in Berlin- Steglitz, Wiesenweg 10, gelegenen ehemaligen Astro-Werke zu erwerben. Zusammen mit einigen Nachbargrundstücken entstand hier das spätere Berliner Werk der Radioaktiengesellschaft D.S.Loewe Berlin-Steglitz.

Abb. 7.3.6 Loewe – Fabrik Wiesenweg 10



Als erstes wurde auf diesem neu erworbenen Gelände eine Röhrenfabrik gebaut mit gleichzeitiger Integration der Schwingquartzfertigung, die nun den technischen Vorstellungen von Dr. Loewe entsprach.

In dem neuen Werk in Berlin-Steglitz erfolgte dann auch die Zusammenfassung von Radiofrequenz und Loewe Audion. Der neue Firmenname war zuerst „Loewe-Radio GmbH“ und später etwa ab 1930 „Radio AG. D.S.Loewe“ (das D im Firmenlogo (Abb. 7.3.6 oben) bezog sich auf den älteren Bruder und Teilhaber David Ludwig Loewe).

Auf einer Sitzung des Elektrotechnischen Vereins am 10.12.1925 in Berlin hielt Professor E. Giebe von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt einen Vortrag mit Vorführungen über „Leuchtende piezoelektrische Resonatoren als Hochfrequenz-normale“. Er ging sehr ausführlich auf das Phänomen „Das Leuchten schwingender Quarzstücke im Vakuum“ ein. Daraus ein kurzer Auszug:

... Die physikalische Ursache für diese Erscheinung, welche die piezoelektrischen Effekte und die damit verbundenen elastischen Vorgänge demonstriert, ist in den sekundären piezoelektrischen Spannungen zu suchen, welche durch die stehenden longitudinalen Schwingungen des Quarzstabes auf seinen von den elektrischen Kraftlinien des erregenden Feldes senkrecht geschnitten Oberflächen erzeugt werden. Diese Sekundärspannungen sind, wie sich aus den Experimenten ergab, so hoch, daß sie durch ihre ionisierende Wirkung in einem luftverdünnten Raum eine leuchtende Entladung hervorrufen. Die wesentliche Versuchsbedingung für das Auftreten des Leuchtens ist also der Einschluß des Quarzresonators in ein mehr oder weniger evakuiertes Glasgefäß. Außerdem muß der Quarzstab so zwischen den Erregungselektroden angeordnet werden, daß sich eine Glimmentladung jener sekundären Piezospansungen ausbilden kann.

Die Elektroden dürfen also nicht dicht an dem Quarzstab anliegen, sondern zwischen Stab und einer der Elektroden muß ein hinreichender, je nach dem Gasdruck verschiedener Zwischenraum von 0,5 bis zu 10 mm gelassen werden (Abb. 7.3.7).

Abb. 7.3.7 Anordnung eines Quarzstabes zwischen zwei Elektroden E_1 und E_2 zur Anregung einer Leuchterscheinung

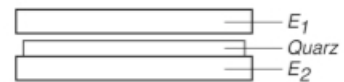


Abb. 7.3.8 Leuchtfigur eines 100-mm-Quarzstabes.

Frequenz: 27 400 Hertz.

Elektrische Wellenlänge $\lambda = 10\,950\text{ m}$.



Legt man an die Elektroden E_1 , E_2 eine aus einem Röhrensender entnommene hochfrequente Wechselspannung von etwa 100 bis 400 V bei einem Luftdruck von 10 bis 15 Hg in dem den Resonator einschließenden Glasgefäß und stimmt die Senderfrequenz auf die longitudinale Grundfrequenz des Stabes ab, so zeigt sich bei Resonanz in dem Raum zwischen Stab und Elektrode E_1 jene Leuchterscheinung.

Sie hat für einen 100 mm langen Quarzstab das in Abb. 7.3.8 nach einer fotografischen Aufnahme wiedergegebene Aussehen und gibt ein Abbild einer stehenden elastischen Halb- welle. In der Stabmitte, wo die elastischen Deformationen und somit die sekundären Piezospansungen am stärksten sind, ist die Intensität des Leuchtens am größten; sie nimmt entsprechend den Deformationen nach beiden Stabenden bis auf Null ab ...

Zum Abschluß des Vortrages waren, wie schon angekündigt, noch Vorführungen vorgesehen.

Der Vortragende führte aus:

„Eine für genaue Sendereinstellung im praktischen Betrieb geeignete Ausführungsform ist schon seit einigen Monaten am Witzlebener Sender im Dauerbetrieb und hat sich nach Mitteilung des Telegraphentechnischen Reichsamts gut bewährt.

(Für diese Wellenlänge von 505 m war dies die Einfachausführung.)

Die Benutzung derartiger Resonatoren in der Praxis setzt natürlich entsprechende Konstanz der Senderfrequenz voraus. Wenn diese nicht vorhanden ist oder den entsprechenden Umständen nach nicht vorhanden sein kann, wie z. B. bei selbsterregten Röhrensendern, wo die Schwankungen der Antennenkapazität entsprechende Frequenzschwankungen bedingen, wird ein solcher leuchtender Resonator zu empfindlich sein. Verwendet man aber in diesen Fällen statt eines einzelnen Resonators mehrere, auf verschiedene benachbarte Frequenzen etwa in Stufen von 0,1 bis 0,2 ‰ abgestimmte Resonatoren, so hat man eine Einrichtung, die etwa dem bekannten Resonanz-Zungenfrequenzmesser bei Niederfrequenz entspricht, aber wesentlich empfindlicher als dieser ist. Bei einem solchen Apparat) kann man dann Frequenzschwankungen von 0,1 bis 0,2 ‰ unmittelbar ablesen und auch erkennen, in welchem Sinn gegebenenfalls die Senderfrequenz nachzuregeln ist.“*

*) Die folgende Abbildung zeigt ein Gerät das die Frequenzschwankungen erkennt und man diese unmittelbar ablesen kann. Dieses aus 3 Resonatoren bestehende Überwachungsgerät wurde von der Firma Radiofrequenz hergestellt und bei den damaligen Vorführungen im Betrieb gezeigt



Abb. 7.3.9
Überwachungsgerät für eine
Sendefrequenz (1382 kHz)

Wie wurde nun diese **Leuchtmethode** entdeckt?

Bei den zahlreichen Versuchen an der PTR mit Quarzresonatoren fanden die beiden Physiker Giebe und Scheibe eines Tages an dem unten (*Abb. 7.3.10*) skizzierten Versuchsaufbau bei der Inbetriebnahme an der Stirnseite des Quarzes jene koronaähnliche Entladungserscheinung.

Es war, wie mir ein Mitarbeiter aus jener Zeit erzählte, diese Entladungserscheinung sehr effektiv zu beobachten, als an einem schon etwas dämmrigen Abend im Versuchsraum gedämpftes Licht herrschte.

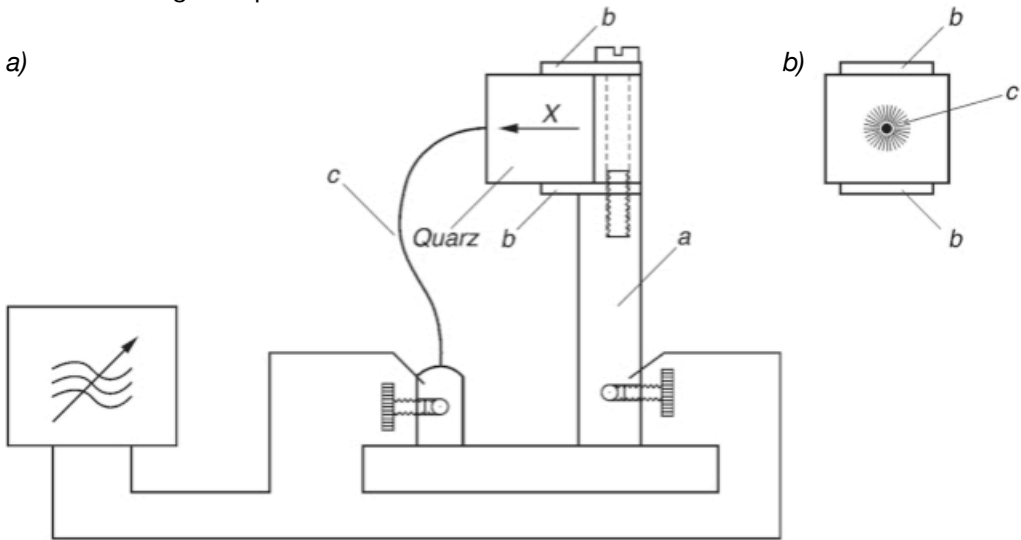


Abb. 7.3.10 – a), b)

Versuchsanordnung zum Nachweis der Kristallschwingungen mit der Leuchtmethode

In der *Abb. 7.3.10 – a), b)* ist der verwendete Versuchsaufbau skizziert, mit welchem damals der Nachweis von Kristallschwingungen mittels der Leuchtmethode erbracht wurde.

Zu der Versuchsanordnung noch einige Details:

Auf einem Vierkantmessingstab **a** ist mittels der Federn **b** ein kleiner Quarzkristall befestigt. Der Messingstab stellt die eine Elektrode dar, die andere wird von dem Draht **c** gebildet, welcher in Verlängerung der X-Achse die Mitte des Quarzkristalls berührt. Nach Anlegen einer Hochfrequenzspannung und wenn dann der Quarz schwingt, erkennt man im Dunkeln um das Drahtende auf der Quarzoberfläche diese koronaähnliche Entladungserscheinung.

In der Patentschrift Nr. 480110 vom 3. September 1929 mit dem Titel „Einrichtung zur Sichtbarmachung von piezoelektrischen Resonanzerscheinungen mittels Leuchterscheinungen“ wurde ihm dieses Patent zuerkannt. Weitere Anmeldungen folgten.





Abb. 7.3.12

Die nebenstehende Aufnahme zeigt aus jener Frühzeit einen Leuchtquarz mit 125,040 kHz im Betrieb

Aus einer unbekannten Quelle stammt die folgende Teilbeschreibung über „Die Verwendung der Loewe Leuchtquarz-Resonatoren“.

Abb. 7.3.13

Ausschnitt aus einer Loewe-Informationsschrift

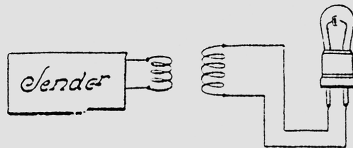


Fig. 3

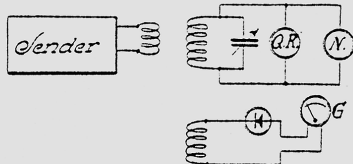


Fig. 4

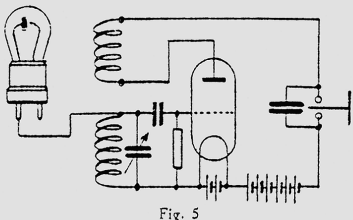


Fig. 5

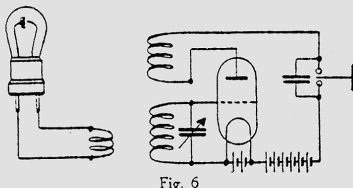


Fig. 6

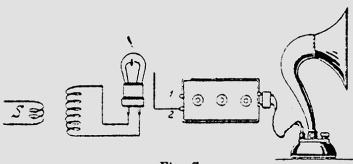


Fig. 7

Die Verwendung der Quarzresonatoren.

Am Sender:

Die Abstimmung eines Senders nach einem vorhandenen Frequenznormal (Fig. 1 der Broschüre) erfolgt auf einfachste Weise, wenn je nach der Wellenlänge das Frequenznormal mit einer entsprechend großen Spule mit dem Sender induktiv gekoppelt wird. Die Eigenschwingung der Kopplungsspule soll möglichst in der Nähe der auf dem Frequenznormal angegebenen Welle liegen (Fig. 3).

Es ist zu beachten, daß der Sender mit einem Feinstellkondensator versehen sein muß, da die Einstellung für den Quarzresonator sehr scharf ist. Vorteilhaft wird der Sender erst mittels Grobeinstellung auf die zu beobachtende Welle eingestellt. Sobald das Aufleuchten zwischen den Elektroden des Resonators eintritt, ist die Kopplung loser zu wählen und durch Nachregulierung das Leuchten des Quarzes selbst einzustellen.

Nach der Schaltung von Fig. 4 ist der Quarzresonator Q R mit einem abgestimmten Kreis gekoppelt, parallel dazu liegt eine Neon-Röhre. In dieser Zusammenstellung kann man den Resonanzkreis, welcher z. B. als Wellenmesser ausgebildet sein kann, in Verbindung mit dem Quarzresonator auf genauesten Wert bestimmen. Bedingung ist, daß die Einstellung des Senders mit dem Quarzresonator genau übereinstimmt, was nach Fig. 3 kontrolliert wird. Die Einstellung der Kopplung wird hierbei so vorgenommen, daß die Neon-Röhre bei Resonanz gerade noch aufleuchtet. Bei richtiger Kopplungseinstellung kann man dann beobachten, daß die Neon-Röhre gerade dann dunkel wird, wenn die Quarzelle aufleuchtet. Wie in Fig. 4 angegeben ist, kann man auch als Indikator der Resonanz einen Gleichrichter mit Galvanometer verwenden.

Am Empfänger:

Um die Abstimmung eines Empfängers in Verbindung mit einem Quarzresonator vorzunehmen, genügt es, daß derselbe einpolig an dem Gitterkreis eines bis zur Schwingneigung rückgekoppelten Audions angeschlossen wird. Fig. 5.

Man hört alsdann beim Durchdrehen des Abstimmkondensators einen „Klixton“ welcher auch bei den verschiedenen Oberschwingungen zu beobachten ist. Da nun das Schwingaudion selbst Oberschwingungen ausführt, kann man auf diese Weise auch die drei- und vierfache Wellenlänge des geeichten Quarzresonators am Empfänger bestimmen. Desgleichen kann der Resonator nach Fig. 6 induktiv mit dem Empfänger verbunden sein.

Ist hinter dem Audion eine Verstärkerstufe geschaltet, so kann der oben beschriebene Effekt schon beobachtet werden, wenn der Quarzresonator in die Nähe der Spule oder des Abstimmkondensators gebracht wird.

In Fig. 7 ist die Zusammenschaltung zur Hörbarmachung des Resonanzeffekts der Quarzresonatoren angegeben. Als Verstärker wird ein N. F. 333 verwendet, dessen Gitterleitung in die Nähe des Leuchtresonators gebracht wird, um den Effekt zu verstärken, kann zwischen 1 und 2 auch ein abgestimmter Kreis eingeschaltet werden.

Das neue Produkt – Leuchtquarze – war für die Firma ein gutes Geschäft, bestellten damals doch viele Sendestationen dieses neue Bauelement.

Es war für die Sender- beamten bei der Abstimmung und Überwachung des Senders auch eine große Erleichterung, und der Frequenzzähler war damals noch in weiter Zukunft.

Die allerersten Versuche wurden ja damals wie bekannt am Witzlebener Sender durchgeführt (*siehe auch Seite 286*). Die neueren Abstimmgeräte waren jetzt meistens ein siebenstelliges Tableau – hier in diesem Beispiel *Abb. 7.3.14* für eine Sendefrequenz von 4,0 MHz.

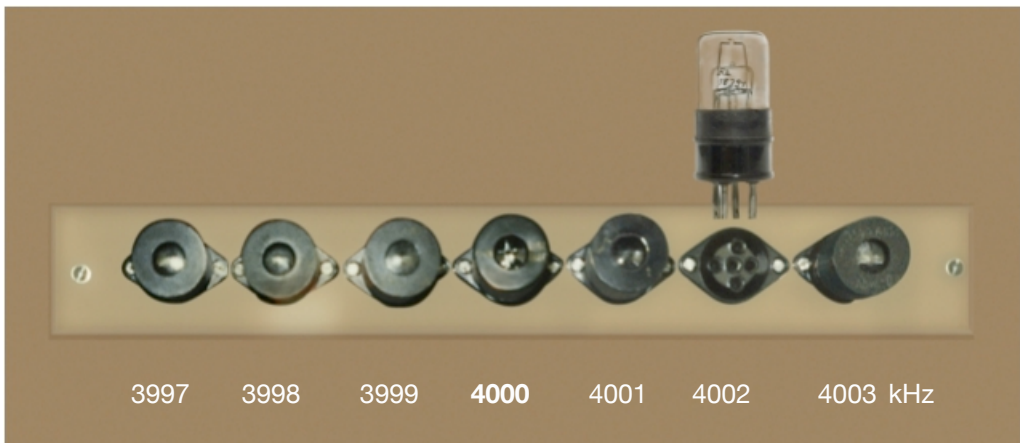


Abb. 7.3.14

In der Zwischenzeit war auch der Ing. Walter Gutzke in die Firma eingetreten. Sein Verantwortungsbereich lag hier in der Fertigung der Schwingquarze. Die gute Zusammenarbeit zwischen dem Entwickler Eberhard und dem Fertigungsleiter Gutzke fand bald ihren Niederschlag in einer Vielzahl der verschiedensten Ausführungsformen von Schwingquarzen. Man darf hierbei nicht vergessen, es war in Deutschland die Zeit der ersten Gehversuche auf diesem Gebiet, und so waren es beachtliche Erfolge in der Fertigung, insbesondere aber in der Entwicklung praktischer brauchbarer Leuchtresonatoren. Hier hat sich die Firma Loewe Radio sehr verdient gemacht.

Im nächsten Abschnitt möchte ich einmal die Produktpalette der gefertigten Schwingquarze vorstellen.

Die ersten gefertigten Schwingquarze waren damals schon in einem Glashalter. Dies war zu jener Zeit noch ein Novum (*siehe auch Abb. 7.3.4*).



Abb. 7.3.15
Erster Glasquarz



Abb. 7.3.16
Fadenhalterung

Zu dieser nebenstehenden Ausführung gibt es noch eine interessante Geschichte.

Wie mir dazu vor langer Zeit R. Leonhard (Miterfinder der Quarzuhr bei Rohde & Schwarz) erzählte, wurden bei Rohde & Schwarz und auch bei der Physikalisch Technischen Reichsanstalt diese „gebundenen Resonatoren“ bei den frühen Entwürfen ihrer Quarzuhren verwendet.

Die Halterung der Quarzstäbe erfolgte in einem Bewegungsknoten.

Bei einer tiefen Eigenfrequenz der Schwingung mußte die Bindung des Stabes sehr sorgfältig ausgeführt werden. Dies erforderte ein ganz besonderes Können, um sicherzustellen, daß die Konfiguration der Fadenbindung während eines Langzeit- betriebes sich nicht ändern würde. Diese gebundenen Resonatoren waren so aufgebaut, daß an einem rechteckigen Glasrahmen ein dicker Metallbügel befestigt war, an dessen rechtwinklig umgebogenen Enden der Quarzstab mittels Kunstseidefäden festgebunden war. Die Seide wurde so straff wie möglich um den Quarzstab geschlungen, durch eine Bohrung im Bügelende gezogen und verknotet (Abb. 7.3.16). Der Quarzstab liegt so nicht unmittelbar auf dem Metall des Bügels, sondern auf der Seidenfadenschlinge, die ein unelastisches Polster zwischen Metall und Quarzstab bildet.

Die Bindung erfolgte an den beiden Bewegungsknoten, die den Stabenden am nächsten liegen.

Nach dem Tod des Spezialisten, welcher diese Arbeit immer ausführte, gab es in der Firma Loewe niemand, der geeignet war, diese anspruchsvolle Arbeit weiterzuführen! Aus diesem Grund wurde der Typ des Kristallresonators geändert.

Es wurden dann GT-Schnitt-Quarzresonatoren verwendet.



Abb. 7.3.17

Das nebenstehende Museumsexemplar (Abb. 7.3.17) ist eine erste Ausführung in einem Preßstoffgehäuse. Als Frequenzangabe ist die Wellenlänge 99,46 m angegeben. Man findet übrigens sehr häufig bei Loewe-Quarzen diese Wellenlängenangabe, z. B. Abb. 7.3.18 Herstellungsjahr \approx 1938.



Abb. 7.3.18

Der große Renner im Schwingquarzprogramm waren natürlich die Leuchtquarzresonatoren.

Es gab folgende Ausführungen:

Einfach-, Zweifach- und Dreifach-Ausführungen mit Löt- oder Steckfassung.

Abb. 7.3.19

Verschiedene Ausführungen von Loewe-Quarzen

Abb. 7.3.19 b)

Steuerquarz 1850 kHz



Abb. 7.3.19 a) unten

Links: Leuchtquarz 4684,8 kHz Löt Ausführung

Mitte: Leuchtquarz 3702,4 kHz Steckfassung

Rechts: Steuerquarz 1850 kHz



In dieser Zeit wurde dann auch der Sechsfach-Leuchtquarz vorgestellt. Einer der ersten Anwender dieser Sechsfachausführung war die Firma C. Lorenz, Berlin. Dort wurde für die Wehrmacht ein Quarzwellenkontroller TYP PQK1 entwickelt und gebaut. Die Abb. 7.3.21 zeigt ein Exemplar dieses Sechsfach-Leuchtquarzes.

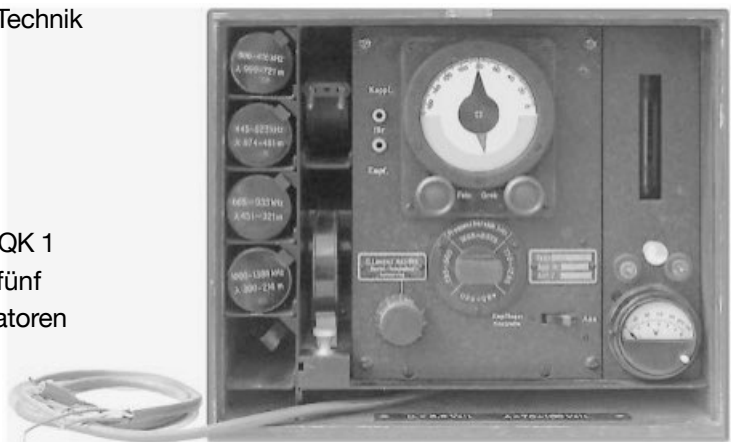


Abb. 7.3.20
Erste Ankündigung der
Leucht-Quarznormalien
in der Zeitschrift für HF-Technik
und Elektroakustik
im Jahr 1929



Abb. 7.3.21
Sechsfach-Leuchtquarz

Abb. 7.3.22
Quarzwellenkontroller PQK 1
Für dieses Gerät waren fünf
Sechsfach-Leuchtresonatoren
vorgesehen



Die nachstehende Tabelle aus einer vorläufigen Beschreibung der Firma Lorenz gibt eine Übersicht über den Frequenzbereich und die verwendeten Quarze.

Quarz-Röhre	Frequenzen der Leucht-quarze in Kilohertz						Bereiche des Well-lenkontrollers in Kilohertz etwa:
I	300	320	342	365	390	416	294 - 508
II	445	475	508	544	582	623	504 - 780
III	665	710	758	810	866	935	770 - 1240
IV	1000	1068	1139	1215	1298	1388	1236 - 2020
V	1482	1585	1692	1810	1935	2070	

Der Quarzwellenkontroller diente

- als Sender zum Eichen von Empfängern und Schwingkreisen sowie zur Einstellung des Senders
- als Empfänger zum Eichen von Sendern

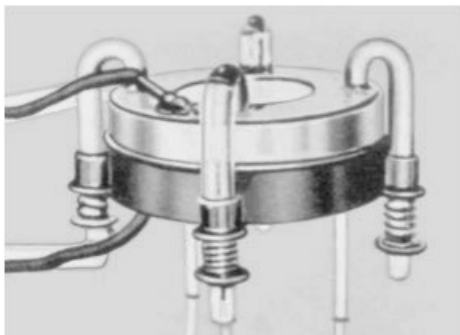


Abb. 7.3.23
Ultraschallquarz

Weniger bekannt war wohl, daß die Firma Loewe auch Ultraschallquarze gefertigt hat. Die nebenstehende Abb. 7.3.23 vermittelt einen Eindruck von einem damals so gefertigten Ultraschallquarz. Diese Ausführung war für große Schallenergien vorgesehen. Der Quarz wurde durch die Glasbügel festgehalten und angedrückt, die Glasbügel wurden durch Spiralfedern nach unten gezogen. Gleichzeitig sollten die Glasbügel ein Verschieben der Quarzplatte auf der (Blei-)Unterlage verhindern.

Bei meinen Recherchen erfuhr ich von einem älteren Herrn, er war früher in der Schwingquarzindustrie zu Hause, daß bei Loewe ein Verfahren, Quarze als piezoelektrische Geber (Druckaufnehmer) für technische Druckmessungen zu verwenden, in Arbeit war. Diese Druckaufnehmer werden heute hauptsächlich von der Firma Kistler in Winterthur/Schweiz hergestellt.

Ab der Jahreswende 1937/38 wird die Arisierung der deutschen Wirtschaft vor dem Hintergrund des Vierjahresplanes systematisiert.

Diese Entwicklung erfaßte nun auch Dr. Sigmund Loewe und seine Radio AG D. S. Loewe.

Sigmund Loewe verließ schließlich Deutschland und wanderte am 26. Oktober 1938 in die USA ein.

Den neuen Besitzern der Firma genügte es nun nicht, die jüdischen Besitzer vertrieben zu haben – ihr erster Schritt war 1940 die Umbenennung in Löwe Radio AG. Es genügte aber auch diese Änderung noch nicht ganz und so wurde im Jahr 1942 in Opta Radio AG umbenannt!

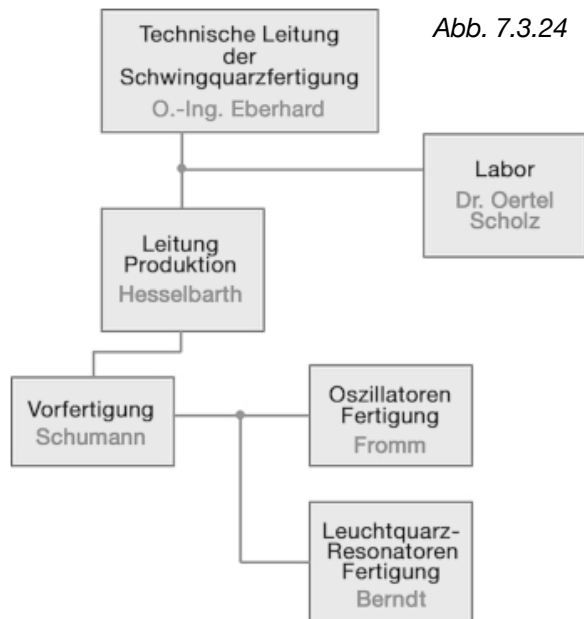
Das Kriegsjahr 1939 – ab sofort erfolgte eine Umstellung auf Kriegsproduktion.

Auf Anordnung des Reichsministers der Luftfahrt Hermann Göring wurde eine wesentliche Erweiterung der wirtschaftlichen Kapazitäten durchgeführt.

In der Nähe des Hauptwerkes wurde die Firma Peter Grassmann in Berlin-Lankwitz, Siemensstraße 19–24, der Löwe Radio AG angeschlossen.

Ich erwähne dies besonders, denn hier war zuletzt, bis zu dem Luftangriff in der Nacht vom 23./24.08.1943, in der das Werk bis auf die Grundmauern niederbrannte, die Schwingquarzfertigung untergebracht.

Eine der wenigen erhalten gebliebenen Unterlagen enthält ein Organigramm der Schwingquarzfertigung (Abb. 7.3.24).



Anschließend einige Aufnahmen von den während des Krieges gefertigten Schwingquarzen.

Der bekannteste, welcher auch in großen Stückzahlen gefertigt wurde, ist der Eichquarz 2830 kHz (in der Abb. 7.3.25 rechts).

Die Frequenz 2830 kHz als Eichfrequenz wurde in den Wehrmachtsgeräten – 10 W.S. a/b/c – 20 W.S b/c/d – UKW.E c1/d1 – verwendet.



Abb. 7.3.25
Verschiedene Löwe-Quarze aus der Kriegsfertigung
(Halterungssysteme variieren)

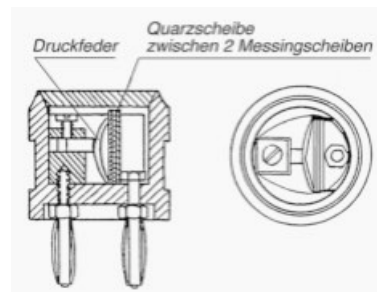


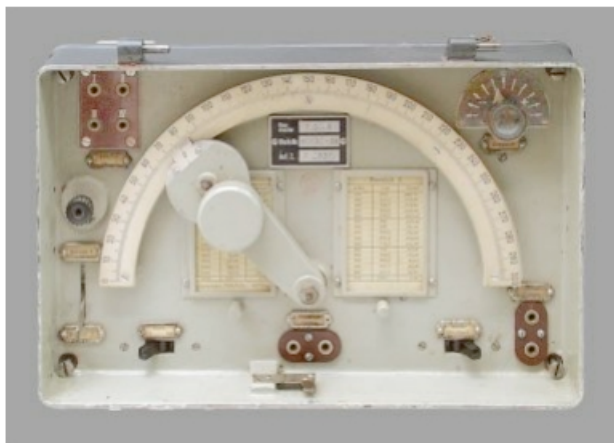
Abb. 7.3.26
Loewe Schwingquarz
im Schnitt und von oben

Abb. 7.3.27
Eine etwas andere Form eines Langwellen-Leuchtquarzes
von 332,80 kHz – Baujahr etwa 1941



Zur Vervollständigung möchte ich auch einmal ein Gerät vorstellen, welches einen Einfach-Leuchtquarz enthält.
Es ist der Quarzwellenkontrollor Type PQK 2.

Abb. 7.3.28 a), b)
PQK 2 – Frontansicht und Blick in das Innere des Gerätes



Das Gerät diene zur Messung der am Sender und Empfänger der Flugzeug-Bordfunkanlagen FuG III und FuG V eingestellten Frequenzen.

Das Gerät besitzt zwei Wellenbereiche: Bereich I 50 – 100 m (6000 – 3000 kHz)
Bereich II 500 – 1000 m (600 – 300 kHz)

Die Schaltung ist so aufgebaut, daß parallel zum Abstimmkondensator der Leuchtquarz liegt, mit dessen Hilfe die Eichung für die Quarzfrequenz nachgeprüft werden kann.

Vor nicht allzu langer Zeit erhielt ich wieder einmal eine alte Form eines Schwingquarzes (diese werden immer seltener!) für die Sammlung. Ein früherer Arbeitskollege hatte ihn auf einem Flohmarkt für mich entdeckt.

Wie auf dem abgebildeten Exemplar (Abb. 7.3.29) gut zu erkennen ist: Loewe Radio SA Milano – demzufolge muß es auch ein Zweigwerk von Loewe in Mailand gegeben haben? –

Der erste Eindruck über das seltene Exemplar: sicher auch ein Schwingquarz für irgendein Wehrmachtsfunkgerät.

Vielleicht wurde auch während des Krieges bei einem italienischen Unterlieferanten diese Form gefertigt?

Eine Anfrage bei der Pressestelle der Firma Loewe in Kronach ergab dann des Rätsels Lösung: die Firma hatte tatsächlich eine Schwingquarzfertigung in Mailand. Im Jahr 1937 startete dort die Schwingquarzfertigung.

Bei derselben Anfrage hatte ich gleich noch einen weiteren Punkt mit an-geschnitten: eine Firma S. T. A. R., ebenfalls in Mailand ansässig, fertigte auch Leuchtquarze, in Form und Ausführung identisch mit den Loewe-Leuchtquarzen.



Abb. 7.3.29



Abb. 7.3.30

Links mit Haube Zweifach-, in der Mitte Dreifachleuchtquarz

Ein Exemplar (siehe Abb. 7.3.30) war noch in der blauen Originalverpackung, also nahm ich an, S.T.A.R. ist eine eigenständige Firma. Leider konnte zu dieser Frage keine befriedigende Antwort gegeben werden, da die meisten der Akten bei Luft- angriffen verbrannt sind.

Bekannt war nur noch, daß es zwischen Loewe und der Firma S.T.A.R. Verhandlungen gegeben hat. Ob es aber zu einem Vertragsabschluß kam, ist nicht mehr bekannt, es ist aber zu vermuten! In der Abb. 7.3.30 sind zwei verschiedene Leuchtquarze aus der S.T.A.R.-Fertigung vorgestellt.

Wegen der zunehmenden Luftangriffe auf Berlin, welche im August 1943 zum Totalverlust der Schwingquarzfertigung im Werk II (Peter-Grassmann-Werk) führten, wurden für die wichtigsten Produktionszweige Werke außerhalb Berlins aufgebaut.

Für die Schwingquarzfertigung war der Ort Goldberg/Schlesien vorgesehen.

Als Fertigungsstätte dienten die Räume der Firma P. & M. Neumann KG, Wollhut- und Stumpenfabrik, Am Gerber-Berg 4.



Abb. 7.3.31



Abb. 7.3.32

Der kleine Kartenausschnitt zeigt den neuen Fertigungsstandort – Goldberg. Über irgendwelche Ereignisse und Besonderheiten im Werksteil Goldberg ist nichts mehr bekannt. Ein letztes Bild aus der Fertigung – es ist dieser Schwingquarz.

Wegen des Vormarsches der russischen Streitkräfte wurde im Januar 1945 mit dem Rücktransport des schlesischen Werkes begonnen.

Der Wiederaufbau der Quarzfertigung nach dem Krieg unter der russischen Besatzungsmacht beschlagnahmt wurden.

C. LORENZ • AKTIENGESellschaft

BERLIN — TEMPELHOF

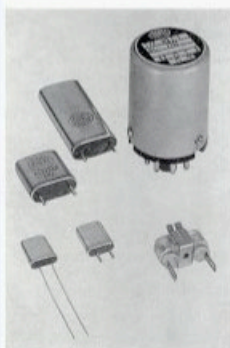


C. LORENZ AKTIENGESellschaft
BERLIN-TEMPELHOF, LORENZWEG



STANDARD ELEKTRIK LORENZ

Steuer- und Filterquarze



Quarze werden als frequenzbestimmende Elemente in Oszillatoren und Filtern bei Sendern, Empfängern und Meßgeräten verwendet und als Normalen für Eichzwecke eingesetzt.

Kristalle, Elektroden und Halterungsteile sind zum Schutz gegen mechanische und atmosphärische Einflüsse in luftdicht abgeschlossene Gehäuse eingebaut, welche internationalen Normen entsprechen.

Erstklassige Rohquarze, hochwertige Elektrodenplattierung bei allen Typen sowie hohe Präzision bei der Herstellung und moderne Fertigungsverfahren machen die Lorenz-Quarze selbst für die höchsten technischen Anforderungen in modernen kommerziellen Geräten und Anlagen geeignet.

1026-1-1

7.4 C. Lorenz Aktiengesellschaft; Berlin-Tempelhof

Im Jahre 1800 machte sich in Berlin der „Mechanikus“ David Friedrich Lewert selbstständig. Berlin hatte im Gegensatz zu anderen deutschen Städten, wie z. B. Nürnberg und Augsburg, keine Tradition in der Mechanik, und einen Mechaniker zählte man in jener Zeit in Berlin noch zu den „Künstlern“. Wie man aber heute weiß, war Lewert einer der ersten Berliner Mechaniker, der sich mit der Anfertigung elektrischer Apparate befaßte. Bald wandte er sich ganz der elektrischen Telegraphie zu.

1808 wurde sein Sohn Carl Friedrich geboren, der später in die Firma einstieg, die sich dann *Lewert und Sohn* nannte. 1839 wurde beiden vom preußischen König das Prädikat „Hofmechanikus“ verliehen.

Der erste Morseschreiber wurde 1851 bei Lewert gebaut.

Sein Sohn übernahm die Werkstatt, bevor David Friedrich 1863 als Rentner in Berlin starb.

1889 starb Carl Friedrich – dessen Söhne führten das Geschäft weiter, waren aber offensichtlich schon bald nicht mehr dazu in der Lage.

1893 kaufte Robert Held die Firma, nachdem er erst 1890 die 1880 gegründete C. Lorenz AG übernommen hatte.

Am 1. April 1853 begann der Mechaniker Wilhelm Gurlt ganz bescheiden mit der Anfertigung von Telegrapheneinrichtungen für die Eisenbahn. Später wurde das Geschäft durch Lieferungen für die Militär-Telegraphie ausgeweitet. In den Jahren 1887 und 1890 traten die Söhne des Gründers in die Firma ein. Nach dem Tod von W. Gurlt im Jahre 1897 waren sie die alleinigen Inhaber.

1915 wurde die offene Handelsgesellschaft in eine GmbH umgewandelt, deren Anteile sämtlich in den Besitz der C. Lorenz AG übergingen.

Die Vorbesitzer Paul und Willi Gurlt schieden 1916 auf ihren eigenen Wunsch aus der Firma aus.

Carl Lorenz

Als im Jahre 1880 Carl Lorenz die alte Firma C. Lorenz gründete, nannte er sie: Telegraphenbauanstalt, Fabrik für elektrisches Licht, Kunst und Industrie.

Ihr technischer Leiter war sein Bruder Alfred Lorenz.

Die erste große Kundschaft, es war die Deutsche Reichspost, gewann die Firma Lorenz 1893 durch den Kauf der Firma C. F. Lewert.

Am 20. Dezember 1898 starb Carl Lorenz an der damals in Berlin grassierenden Grippe. Sein Bruder Alfred führte die Firma für die Witwe und die Kinder weiter.

In jener Zeit erschien in einer Berliner Tageszeitung eine Annonce, daß eine Telegraphenbauanstalt wegen Todes des Inhabers zu verkaufen sei.

Robert Held, welcher in der Textilbranche tätig war, las diese Anzeige. Es handelte sich um die Telegraphenbauanstalt C. Lorenz. Sie hatte damals ihren Sitz in der Prinzessinnenstraße 21. Die Verhandlungen mit der Witwe führten bald zum Ziel, und so wurde die Firma von Robert Held als alleinigem Inhaber übernommen.

Der Bruder von Carl Lorenz, Alfred Lorenz, blieb der Firma als technischer Leiter weiterhin erhalten. Robert Held übernahm die kaufmännische Leitung.

Obwohl von Hause aus technischer Nichtfachmann, zeigte er ein feines Gespür für aussichtsreiche Entwicklungsmöglichkeiten. Rechtzeitig hatte er erkannt, daß mit den einfachen Vorstellungen und technischen Mitteln jener ersten Zeit nicht weiterzukommen sei, und daß die Fernmeldetechnik einer breiteren wissenschaftlichen Grundlage bedürfe, um aus dem Zustand des Bastelns und Probierens herausgehoben zu werden. Diese zielbewußte Einstellung von Robert Held ist sicher eine der Hauptursachen für das einsetzende schnelle Aufblühen der Firma geworden. Es verstand sich dann auch von selbst, daß die Firma ihr Interesse der neuen *Funktechnik* zuwandte. Sie gliederte sich zu diesem Zweck im Jahre 1905 eine besondere Abteilung für *Drahtlose Telegraphie* an.

In einer für damalige Verhältnisse sehr großzügigen Weise wurden Wissenschaftler zur Erschließung dieses neuen Aufgabengebietes eingesetzt – es sei nur an Namen wie *Hahnemann, Rein, Pungs, Harbig, Scheller, Nesper, Gerth* erinnert.

Der Siegeszug der Hochvakuumröhre, welcher bald nach dem Ersten Weltkrieg einsetzte, beeinflusste natürlich die Sendertechnik. Noch 1920 verbreitete die Station der Reichspost in Königswursterhausen ihr erstes Weihnachtskonzert über einen Lorenz-Paulsen-Lichtbogen-Sender. Als das Reichpostministerium an die Firma Lorenz mit dem Ersuchen herantrat, sich am Bau von Rundfunksendern zu beteiligen, betrachtete dies die Firma als eine Ehrenpflicht.

Den ersten Rundfunksender lieferte Lorenz bereit im Jahre 1924 – es war der Sender Leipzig. Die hochfrequente Schaltung war ein zweistufiger Sender mit einer Steuerstufe und der eigentlichen Leistungsstufe. Mit den in den ersten Jahren gebauten Rundfunksendern war es jedoch nicht möglich, die gesamte Bevölkerung von Deutschland zu erreichen. Das Reichspost-Zentralamt sah sich deshalb veranlaßt, Sender von größerer Leistung aufzustellen.

Die Zahl der verfügbaren Wellen aus dem Rundfunkbereich war aber bald vergeben, da überall in Europa Rundfunksender installiert wurden. Dies führte im Jahre 1925 zur Gründung des Weltrundfunkvereins. Dieser machte es sich zur Aufgabe, mit technischen Mitteln zu erreichen, jedem Land zu seinem Recht zu verhelfen.

Eines dieser Mittel, welches der Weltrundfunkverein vorschlug, um noch mehr Sender trotz der wenigen Wellen in Betrieb nehmen zu können, war der Vorschlag eines *Gleichwellenrundfunk-Netzes*.

Der Gleichwellen-Rundfunk.

(Mitteilung aus dem Laboratorium der C. Lorenz A.-G.)

Von W. Hahnemann und F. Gerth.

Kaum ein Jahr nach der Einführung des Rundfunks in Deutschland machten sich schon die Schwierigkeiten in der Wellenverteilung geltend, die im Frühjahr 1925 zur Gründung des Weltrundfunkvereins führten, zu dessen wichtigsten Aufgaben die Herbeiführung einer Vereinbarung über die Verteilung der Wellen zwischen den angeschlossenen Ländern gehört. Durch seine Arbeiten hat der Weltrundfunkverein außerordentlich segensreich gewirkt; ohne ihn wäre heute wahrscheinlich in Europa ein Chaos auf dem Rundfunkgebiet, das die Weiterentwicklung des Rundfunks ernstlich hemmen und auf die Dauer seinen Fortbestand überhaupt in Frage stellen würde. Trotzdem kann das Wellenproblem durch Vereinbarungen allein nicht befriedigend gelöst werden, denn der Bedarf an Sendestellen übersteigt die Zahl der verfügbaren Wellenbänder ganz erheblich. Es hängt dies damit zusammen, daß das Versorgungsgebiet eines Senders einen praktisch ziemlich engbegrenzten Umfang hat. Damit ein Sender bei Tag und Nacht dauernd gut empfangen werden kann, muß die Feldstärke am Empfangsort den durchschnittlichen Störungsspiegel, der durch die luftelektrischen Verhältnisse unabänderlich gegeben ist, wesentlich überschreiten. Da die Feldstärke mit der Entfernung vom Sender mindestens in den Tagesstunden nach einem Exponentialgesetz abnimmt, kann der Versorgungsbereich des Senders durch eine in den Grenzen des praktisch Möglichen liegende Leistungserhöhung nur wenig erweitert werden. Es ist das Verdienst von K. W. Wagner, diese Verhältnisse zuerst klar erkannt und die Folgerung daraus gezogen zu haben, daß dem Problem der gleichmäßigen Versorgung des ganzen Reiches mit Rundfunk nur durch den sogenannten Gleichwellenrundfunk beizukommen ist, das ist der Betrieb einer Reihe von synchron gesteuerten Sendern auf genau gleicher Welle. In seiner früheren Stellung als Präsident des Telegraphentechnischen Reichsamts stellte Prof. Wagner bereits 1924 der Funkindustrie die Aufgabe, die technischen Mittel

zur synchronen Steuerung der Sender zu entwickeln. Das Übermaß der auf dem Funkgebiet vorliegenden Aufgaben und vielleicht auch der Umstand, daß der Gleichwellenrundfunk damals noch nicht allgemein als so dringlich empfunden worden ist, hat bewirkt, daß die Entwicklung sich mehrere Jahre hingezogen hat; inzwischen sind auch außerhalb Deutschlands, z. B. in England, Versuche mit dem Gleichwellenrundfunk gemacht worden.

Über die Versuche, die das Telegraphentechnische Reichsamt mit Einrichtungen der Firma Telefunken ausgeführt hat, wurde kürzlich an anderer Stelle berichtet¹⁾. Im folgenden wird das von der C. Lorenz A. G. unter Mitwirkung von E. Geißler, Fr. Gutzmann, H. Rochow und R. Seidelbach ausgearbeitete System zur zwangsläufigen Steuerung von Rundfunksendern beschrieben, das bei der kürzlich in Betrieb genommenen Anlage der Gleichwellensender Berlin O—Stettin—Magdeburg praktisch verwendet wird.

Zunächst soll eine allgemeine Betrachtung vorausgeschickt werden.

Für die Technik des Gleichwellen-Rundfunks kommen in erster Linie zwei Systeme in Frage:

1. Das System der unabhängigen Sender, d. h. der Sender, bei denen die Trägerfrequenz am Ort selbst erzeugt und durch zweckentsprechende Mittel so konstant wie möglich gehalten wird. Die Abweichungen der einzelnen Sender untereinander dürfen dabei nicht mehr als ungefähr 15 Hz betragen, d. h. sie müssen unterhalb einer Frequenz bleiben, die dem menschlichen Ohr noch als Ton wahrnehmbar ist.

2. Das System der von einer Zentralstelle aus zwangsläufig gesteuerten Gleichwellensender, unter denen lediglich noch Phasenunterschiede, dagegen keine Frequenzunterschiede mehr auftreten können.

¹⁾ W. Hahn, „Funk“ 1928, S. 245.

Abb. 7.4.1 Aus *Elektrische Nachrichten-Technik*, Bd. 6/1929

Hier setzten nun die Pionierarbeiten von Lorenz ein. Ein Ausschnitt aus der Zeitschrift *Elektrische Nachrichten Technik*, Bd. 6/1929, zeigt den Weg auf, den die Firma Lorenz verfolgte (Abb. 7.4.1).

Das Reichspost-Zentralamt verfolgte zuerst seine Idee, daß eine Grundfrequenz von etwa 30 kHz von einer Zentralstelle den Sendern zugeleitet und nach entsprechender Vervielfachung als Trägerwelle ausgestrahlt wird. Es war beabsichtigt, vorhandene Freileitungen auszunutzen, aber eine Leitung, welche auch viele atmosphärische Entladungen auffängt, ist nicht geeignet, die Wellen mehrerer Gleichwellensender sicher in Übereinstimmung zu halten.

Dieses Verfahren wurde dann aufgegeben und das von Lorenz entwickelte System der Steuerung über *Fernkabel* von der Reichspost eingeführt.

Dies führte zur Aufstellung der Gleichwellensender Berlin-Ost, Magdeburg und Stettin (siehe auch Artikel Abb. 7.4.1).

Da aber auch schon der Wunsch auszukommen, entwickelte Lorenz ein *zweites Gleichwellensystem*, bei dem jeder einzelne Sender unabhängig von den andern durch konstante Frequenzerzeugung die einmal eingestellte Sollfrequenz mit nur ganz geringen Abweichungen einhält. Die Frequenz wurde bei diesen Sendern durch einen *Quarkristall* in einer neuartigen Oszillatorschaltung bestimmt.

Die Güte des Quarkristalls in dieser angewandten Schaltung wird auch von der Güte der Quarzhalterung mitbestimmt und ist hierbei von großer Bedeutung für die zu erreichende Frequenzkonstanz im Sendebetrieb.

Die mechanische Ausführung dieser Halterung zeigt die folgende Abb. 7.4.2.

Für den vorliegenden Fall wurde dieser Quarzhalter von Dr. H. Jacobs entwickelt und im Jahr 1930 auch schon für den Großrundfunksender Leipzig eingesetzt.

Dazu muß noch folgendes gesagt werden: Bisher war es noch nicht möglich, mit Quarzen diese Aufgabe zu lösen, da man nicht in der Lage war, eine Reihe von Quarzen genügend auf ein und derselben Frequenz abzustimmen und sie mit ausreichender Genauigkeit auf derselben Frequenz zu halten. Die Lösung dieser Aufgabe gelang Lorenz durch Nachregulierung der Eigenfrequenz des Kristalls mit Hilfe der Temperaturänderung und durch Feinnachstellung eines Elektrodenabstandes und durch einen besonders konstruierten Thermostaten.

Mit dieser Version der Geräte wurde im April 1930 die Gleichwellensendergruppe Köln-Münster-Aachen installiert.

Ihre Übereinstimmung in der Frequenz lag bei $2 \text{ bis } 3 \cdot 10^{-6}$. Nach Aufstellung und Betrieb dieser Geräte lag aber schon bald der Wunsch vor nach einer wesentlich höheren Frequenzübereinstimmung, als sie bisher erreicht worden war.



Abb. 7.4.2

Die Frequenzgenauigkeit der Quarzsteuerung wurde in der Zwischenzeit von Lorenz schon auf weit über $1 \cdot 10^{-6}$ gebracht.

Nachdem auf die oben geschilderte Weise die technische Durchführbarkeit eines Gleichwellenrundfunks erwiesen war, wurden weitere Versuche durchgeführt, welche eine Verbesserung der Geräte und insbesondere der *Quarzsteuerung* anstrebten.

Die praktischen Erfahrungen mit dieser bis zum Jahr 1932 in Betrieb befindlichen Sendergruppe (Köln–Münster–Aachen) waren damals befriedigend, doch es zeigte sich auch, daß eine *noch höhere Frequenzgenauigkeit nötig* war, um die Verwirrungsgebiete, welche sich zwischen den Gleichwellensendern ausbilden, zu verkleinern. Dies ging auch aus Messungen hervor, die vom Reichspostzentralamt mit Lorenz an der Berliner Sendergruppe durchgeführt wurden. Diese Messungen ergaben nämlich, daß im Betrieb eine Frequenzgenauigkeit von 10^{-9} notwendig und erreichbar wäre!

Bei den westdeutschen Gleichwellensendern kam aber noch als besondere Schwierigkeit hinzu, daß wegen der geringen Feldstärke des Aachener Senders gegenüber demjenigen von Köln und in Folge einer verhältnismäßig ungünstigen Feldverteilung innerhalb der Stadt Aachen, die Grenze des Verwirrungsgebietes bis in den östlichen Stadtbereich von Aachen hineinreichte.

Wenn man die Genauigkeit der verschiedenen Gleichwellensystem miteinander vergleicht, so ist dazu folgendes zu sagen: In unabhängigen – quarzsynchronisierten – Anlagen muß jeder Sender für sich eine geforderte *Höchstgenauigkeit* von 10^{-9} *absolut und dauernd einhalten!*

Die Bedingungen sind aber demgegenüber für ein zentral synchronisiertes wie z. B. das kabelgesteuerte System erheblich leichter, und um es kurz auszudrücken, hier ist nämlich nur die relative Genauigkeit der einzelnen Sender für jeden Augenblick der ganzen Betriebsdauer innerhalb obiger Grenzen zu halten. Die absolute Genauigkeit der ganzen Sendergruppe darf sich aber im Verlauf längerer Zeit in größerem Maße verändern, wenn nur die relative gegenseitige Abweichung nicht den Betrag von 10^{-9} überschreitet und solange die absoluten Änderungen innerhalb international festgelegter Grenzen verbleiben.

Bezugnehmend auf die Störungen in den Zwischengebieten hatte sich bei den mehrjährigen Versuchen gezeigt, daß die kabelgesteuerten gegenüber den quarzgesteuerten Gleichwellensendern vorteilhafter sind, und so wurde von der Reichspostverwaltung angeregt, wenigstens *für die nahe Zukunft* bei dem kabelgesteuerten System zu bleiben.

Dieses System wurde in der Folgezeit erheblich verbessert. Hierbei wurde dann auch die *Stimmgabel* als gemeinschaftlicher Tongeber und die Verwendung von fremdgesteuerten Stimmgabeln bei den Nebensendern zum Empfang der Grundfrequenz eingeführt.

Das zur Erfüllung dieser Aufgaben von Lorenz vorgeschlagenen System mit Stimmgabel-Oszillatoren hat sich, wie auch die ersten Versuche an der Berliner Sendergruppe zeigten, so gut bewährt, daß eine allgemeine Einführung von der Reichspostverwaltung beschlossen wurde.

Bei dieser neuen Anordnung wurde, wie oben schon erwähnt, eine relative Frequenzgenauigkeit von 10^{-9} innerhalb einer längeren Betriebsdauer und unter normalen Betriebsverhältnissen erzielt.

In Anerkennung dieser grundlegenden Arbeiten hat damals die Reichspostverwaltung der Firma Lorenz den Aufbau eines Südwestdeutschen und des Norddeutschen Gleichwellennetzes übertragen.



Abb. 7.4.3

Deutsche Gleichwellennetze 1930

In den nächsten Jahren kamen noch weitere Gleichwellennetze wie das Oberitalienische und das Norwegische Netz zur Ausführung.

Zu dieser angewandten Technik muß aber noch folgendes gesagt werden: Das früher benutzte Verfahren der direkten Steuerung der Nebensender über Kabel, das so genannte Stimmgabelsystem der direkten *Kabelsteuerung*, welches zur Erzeugung des Steuertones beim Hauptsender und zu dessen

Siebung beim NebensenderStimmgabeln benutzte, war aber verhältnismäßig empfindlich gegen Kabelstörungen wie z. B. *Übersprechen* und *Kabelaufälle*. Das Übersprechen im Kabel und geringe Steuertone- und Netzinduktion ergaben eine Störmodulation hauptsächlich in der Phase.

Im Jahr 1932 wurde schon bei Telefunken von W. Runge auf das indirekte Verfahren zurückgegriffen und ein Ausführungsvorschlag gemacht (*siehe Telefunken-Zeitung Nr. 62, Dezember 1932*). In dem von Runge beschriebenen *indirekten* System wird ein niederfrequenter Frequenz- bzw. Phasenvergleich durchgeführt.

Um diese Kabelanfälligkeit sowohl gegen Kabelaufälle als auch gegenüber der Störmodulation herabzusetzen, wurde jetzt *ein neues indirektes Gleichwellensystem*, damals von Hahnemann und Gerth vorgeschlagen, von E. Schulze-Herringen und den Mitarbeitern Eich und Miseré im Großsenderlabor der Firma entwickelt. Für einen einwandfreien Gleichwellenbetrieb waren hierfür folgende Grundforderungen zu erfüllen:

1. Eine hohe Gleichlaufgenauigkeit der Sender untereinander.
2. Eine geringe Störmodulation der Sender, sowohl in der Amplitude als auch in der Phase.
3. Eine hohe Betriebssicherheit und eine gute Gleichlaufgenauigkeit der Sender bei Kabelaufällen.

Der einwandfreie Empfang von Gleichwellensendern hängt aber nicht nur von einem guten Gleichlauf der Sender ab, sondern die Sender dürfen vor allem keine *Störmodulation* sowohl in der Amplitude als auch in der Phase haben.

Eine der unangenehmsten Störungen ist der Kabelaufall, wie das Ausfallen des Steuertones durch Unterbrechung im Kabel oder in den Zwischenverstärkern.

Alle Verfahren haben allgemein mit ihrer zentralen Wellenerzeugung und Fremdsteuerung den Nachteil, daß bei Ausfall des Steuertones der betreffende Sender im gleichen Augenblick ebenfalls ausfällt. In diesen Fällen hilft auch das beste drahtgesteuerte System nicht mehr, und so muß ein anderes System in Tätigkeit treten und den Gleichlauf aufrecht erhalten. Deshalb kam man wieder zu dem System mit den *unabhängig gesteuerten* Sendern zurück. Es ist die *Selbststeuerung mit Fremdregulierung* durch Steuerkabel und wird auch als „*indirektes Kabelsteuerungsverfahren*“ bezeichnet. Dieser Weg wurde schon einmal beschritten.

Hier waren es die *unabhängigen quarz-gesteuerten* Gleichwellensender Aachen, Köln und Münster (*siehe auch Seite 303*). Allerdings war damals die Absolutkonstanz der Quarze noch nicht hoch genug, um die Anforderungen eines einwandfreien Gleichwellenbetriebes zu erfüllen. Der Aufbau dieses neuesten Gleichwellensystem ist der *Abb. 7.4.4* zu entnehmen.

Das wesentliche an diesem Verfahren ist die Selbststeuerung der Sender durch *Schwingquarze*, so daß auch beim Ausbleiben des Steuertones oder bei Kabelstörungen der Sender mit größter Frequenzkonstanz weiter betrieben werden kann. Bei Normalbetrieb werden die Wellen sämtlicher Nebensender einer Gleichwellengruppe mit der Frequenz des Hauptsenders dauernd verglichen und bei kleinsten Abweichungen vom Sollwert der Wellenlänge automatisch nachgeregelt. Da in dieser Konzeption der Steuertone nicht zur Erzeugung der Nebenwelle herangezogen wird, bleiben die vom Steuertone aufgenommenen Störungen auch ohne Einfluß.

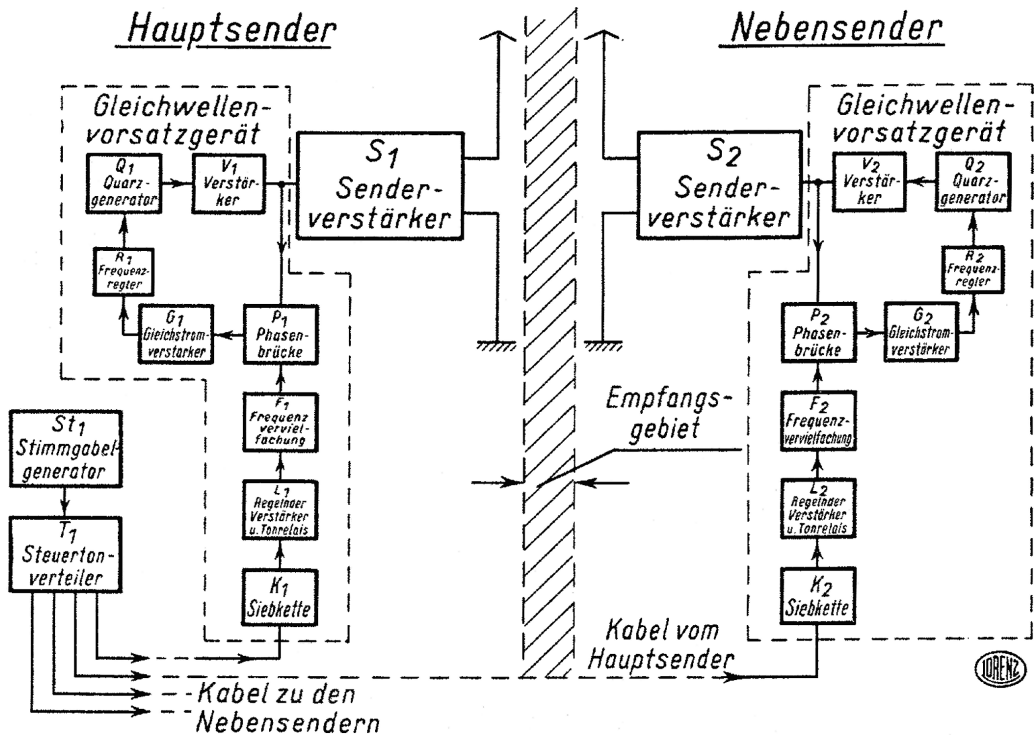


Abb. 7.4.4 Indirektes Kabelsteuerverfahren – schematische Darstellung

Zu den Forderungen an die Güte der Bausteine in diesem neuen System wäre noch zu sagen: bei den Sendern kamen jetzt hochwertige Quarzoszillatoren mit einer sehr hohen Konstanz als Schwingungserzeuger zum Einsatz.

Den Haupteinfluß auf die Quarzkonzanz hat außer der Quarzhalterung, der Temperaturkoeffizient des Quarzes selbst.

In den vergangenen Jahren war es jedoch gelungen, den schlechten Temperaturkoeffizienten von $TK \cdot 10^{-5}/^{\circ}C$ auf etwa $5 \cdot 10^{-7}$ und niedriger herabzusetzen (siehe dazu auch H. Straubel in Physik. Zeitschrift 35, 1934).

Zur Erreichung dieser hohen Konstanz von $K \cdot 10^{-7}$ muß der Quarz natürlich in einem Thermostaten betrieben werden.

Der Schwingkreis des Quarzgenerators verändert bei Verstimmung in bestimmten Grenzen die Quarzfrequenz. Der Temperaturkoeffizient dieses Kreises hat daher einen gewissen Einfluß auf die Quarzkonstanz, diese beträgt ungefähr $3 \cdot 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$.

Daher sind aus diesem Grund auch die Stufen **1** und **2** in einem Thermostaten untergebracht.

Die Stufe **2** ist eine Trennstufe, die aus Rückwirkungsgründen ganz lose an den Quarzgenerator angekoppelt ist. Aus den gleichen Gründen verwendete man auch einen Quarz, der auf der halben Betriebsfrequenz schwingt. In der vierten Verstärkerstufe wird die Quarzfrequenz verdoppelt. Für den Schwingquarz und die Stufen 1 und 2 wurden zwei getrennte Thermostaten vorgesehen, welche aber als eine Einheit zusammengebaut wurden.

Die Abb. 7.4.5 zeigt den Aufbau dieses Zwillingsthermostaten – jeder Thermostat besitzt jedoch ein eigenes Schaltgerät.

Bei der Konzipierung führten Überlegungen dahin, für den Quarz allein einen Thermostaten besonderer Güte zu entwickeln, da hier nur wenige Zuleitungen von außen notwendig sind, die auch immer Wärmeverlust bedeuten. Der Topf ist mit dem Quarzhalter federnd aufgehängt.

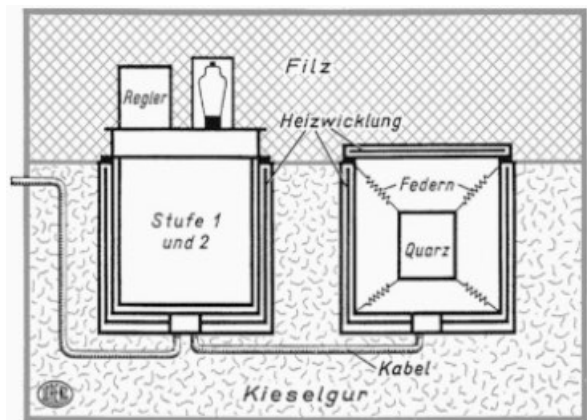


Abb. 7.4.5 Aufbau Zwillingsthermostat

Die Abb. 7.4.6 zeigt den federnd aufgehängten Quarzhalter, daneben ist der Schwingquarz dargestellt. Zur Einstellung der Frequenz ist oben ein parallel zum Quarz geschalteter Trimmer vorgesehen. Mit dem Parallelkondensator konnte eine sehr genaue Frequenzänderung vorgenommen werden (Abb. 7.4.7).

Zum Abschluß des Themas „Quarz-Gleichwellensender“ sollen noch kurz ein paar Angaben gemacht werden. Die Nachteile des direkten Systems in Bezug auf Kabelausfälle und Störmodulation führten ja zur Weiterentwicklung des direkten zum indirekten System.

Zu dem neuen System gab es, wie schon erwähnt, drei Grundforderungen:

- Hohe Gleichlaufgenauigkeit der Sender untereinander
- Geringe Störmodulation der Sender in der Amplitude und in der Phase
- Hohe Betriebssicherheit bei Dauerbetrieb

Durch Umwandlung des direkten Stimmgabelsystems in das indirekte Verfahren mit *Quarzen* als Schwingungserzeuger in den einzelnen Sendern wurden diese Forderungen erfüllt.

Das indirekte Quarz-Gleichwellensystem arbeitet ähnlich wie das direkte System mit *Steuerton* als Hilfsfrequenz, welcher aber bei dem indirekten System nach Vervielfachung nur als Vergleichsfrequenz benutzt wird. Bei den einzelnen Sendern wird die vervielfachte Regelfrequenz mit einer von der jeweiligen Quarzsteuerstufe abgezweigten Schwingung einer Phasenbrücke zugeführt, deren Brückenstrom einen Frequenzregler steuert. Der entstehende Richtstrom wird nach Verstärkung der Drehspule des Reglers zugeführt. Auf der Achse der Drehspule ist ein kleiner Drehkondensator an- gebracht. Dieser Kondensator ist parallel zum Schwingquarz des Senders geschaltet. Bei einer Änderung seiner Kapazität wird hierbei die Frequenz verändert – *Ziehen* des Quarzes –.



Abb. 7.4.6 Quarzhalter



Abb. 7.4.7 Steuerquarz

Wenn also in einem Fall die Trägerfrequenzen von Mutter- und Tochtersender von der vervielfachten Regelfrequenz abweichen, so entsteht in der Phasenbrücke ein Richtstrom, dessen Größe und Richtung von der Abweichung der Trägerfrequenz abhängt. Der oben erwähnte Frequenzregler besteht in der Hauptsache aus einem gänzlich richtkraftlosen Drehspulenelement, dessen Achse mit einem kleinen *Ziehkondensator* verbunden ist. Wenn einmal Betriebs- und Vergleichsfrequenz aus dem Gleichlauf fallen, so wird durch den dabei ausgelösten Brückenstrom das Phasenrelais auf den Frequenzregler einwirken und den Kondensator so stellen, bis die beiden Trägerfrequenzen wieder in Übereinstimmung gebracht wurden.

Mitte der dreißiger Jahre war in Deutschland das Gebiet der Funktechnik voll im Aufschwung begriffen.

Innerhalb der Firma Lorenz gab es auf dem sich mehr und mehr ausweitenden Gebiet der kommerziellen Empfänger-Entwicklung bei den hierfür benötigten Schwingquarzen viele Probleme zu lösen.

Es gab damals in Deutschland noch keine Firma, die solche Quarze mit speziellen Eigenschaften zu entwickeln und dann in größeren Stückzahlen zu fertigen in der Lage gewesen wäre. So war es jetzt dringend notwendig geworden, ein Quarz-laboratorium zu gründen, um damit eine Basis für die Quarzfertigung zu schaffen. Der zweite Schritt war, diese Fertigung aufzubauen.

Das Quarzlabor begann seine Tätigkeit im Jahr 1936 unter der Leitung von Dr. Hans Jacobs. Die eigentliche Schwingquarzertigung begann im Jahr 1938. Es ist sicher auch einmal interessant, über die ersten Aktivitäten des neu gegründeten Quarzlaboratoriums zu berichten.

Die folgenden Ausführungen gehen auf einen Artikel zurück, welcher in den Technischen Hausmitteilungen – Lorenz Berichte – im Jahr 1936 erschienen ist.

Der Titel dieser Abhandlung:

„Elektrische Messungen an Piezokristallen“ von H. Jacobs und W. Scholz.

Die Autoren stellen hier fest, wenn die industrielle Praxis über das Niveau des Bastelbetriebs hinauskommen und planvolle Arbeit leisten will, muß sie unbedingt ausreichend genaue in der Handhabung einfache und zeitsparende Meßverfahren für diesen komplizierten Effekt anwenden.

Die Aufnahme einer vollständigen Resonanzkurve (Haupt- und Nebenresonanzen) ist mit die wichtigste elektrische Messung an einem Oszillator- oder Filterkristall.

Für diese Messung wurde vom Prüfgerätebau der Firma dieses Gerät (Abb. 7.4.8) gebaut, welches den gestellten Anforderungen entsprach.



Abb. 7.4.8

Meßsender für Quarzkristalle

Der Meßvorgang lief folgendermaßen ab:

Der Abstimmkondensator dieses vorgestellten Meßsenders wurde durch einen Synchronmotor angetrieben. Dieser drehte sich langsam über die Frequenzintervalle hinweg, in denen der Quarzkristall Resonanzstellen aufweist. Ein Stromschreiber zeichnete dabei die vollständige Resonanzkurve auf.

An Schnelligkeit und Bequemlichkeit wird das erstere beschriebene mechanische Verfahren noch übertroffen durch die Aufnahme der Resonanzkurven mit einer Kathodenstrahl-Oszillographenröhre. Bei dieser Prüfmethode sieht man immer sofort jede Änderung am untersuchten Quarzkristall, und somit ist sie hier für Fabrikation und Prüffeld unentbehrlich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, die Einfachheit und Zuverlässigkeit des oben vorgestellten Meßverfahrens war für jene Zeit eine sehr elegante Methode.



Abb. 7.4.9
Hermann Niggemeyer

Nach Abschluß seines Studiums an der Technischen Hochschule Aachen begann Hermann Niggemeyer am 15.11.1937 im Quarzlabor bei der Firma Lorenz. Das war damals ein ganz neues Arbeitsgebiet und so gab es für den frischgebackenen Diplomingenieur Entwicklungsaufgaben zu lösen, die abseits der üblichen Kenntnisse lagen. Er konnte allerdings schon auf Veröffentlichungen von Rochow, Gerth, Jacobs und Schulze-Herringen aus dem Großsender-Labor aufbauen. Das war der Anfang einer Laufbahn, die ihm in der Fachwelt später den Titel „Quarzpapst“ einbrachte.

Mit zu den ersten Aufgaben von Niggemeyer gehörte die Entwicklung eines regelbaren Quarz-Zwischenfrequenzfilters für einen Funkhorch-Empfänger. Dazu mußte auch für derartige Filterquarze die entsprechende Halterung entwickelt werden.

In dem Artikel „Die Entwicklung der Quarzfertigung bei Lorenz“ in der Jubiläumsschrift **75 Jahre Lorenz** berichtete Niggemeyer in sehr anschaulicher Weise über die Probleme der Quarzfertigung jener Zeit.

Aus damaliger Zeit ein kleiner Abriß aus der Quarzfertigung:

Die Halterungen dieser Quarze – Dreipunkthalterung mit Luftspaltelektroden – waren wohl für Oszillatoren technisch einwandfrei, aber für Filterquarze ungeeignet (siehe oben), da die Quarzersatzdaten durch die einstellbaren Luftspalte fertigungsmäßig nicht ausreichend genau gehalten werden konnten.

Es war damals um einiges schwieriger bei den Dickenschwinger-Quarzen, sie luftspaltlos herzustellen. Durch direktes Aufbringen von Elektroden versagten die Quarze.

Dies war zunächst unerklärlich. Untersuchungen ergaben, daß bei solchen Quarzen die gewollte Scherbewegung fest verkoppelt war mit einer Biegebewegung (siehe auch die Artikel von Straubel und Bechmann).

Die weiterführenden Gedankengänge gingen dann zur Herstellung von Schwingquarzen mit linsenförmiger Oberfläche. Durch diesen Fortschritt ergab sich eine leichtere und präzisere Fertigung anstelle der komplizierten Luftspalthalter mit ihren teuren Drehteilen. Die Gehäuse waren jetzt billige Preßstoffteile. Der zweite Punkt war, die Frequenz konnte jetzt durch eine genau bemessene Elektrodenschichtstärke (aufplattierte Edelmetallelektroden) schnell und präzise abgeglichen werden.

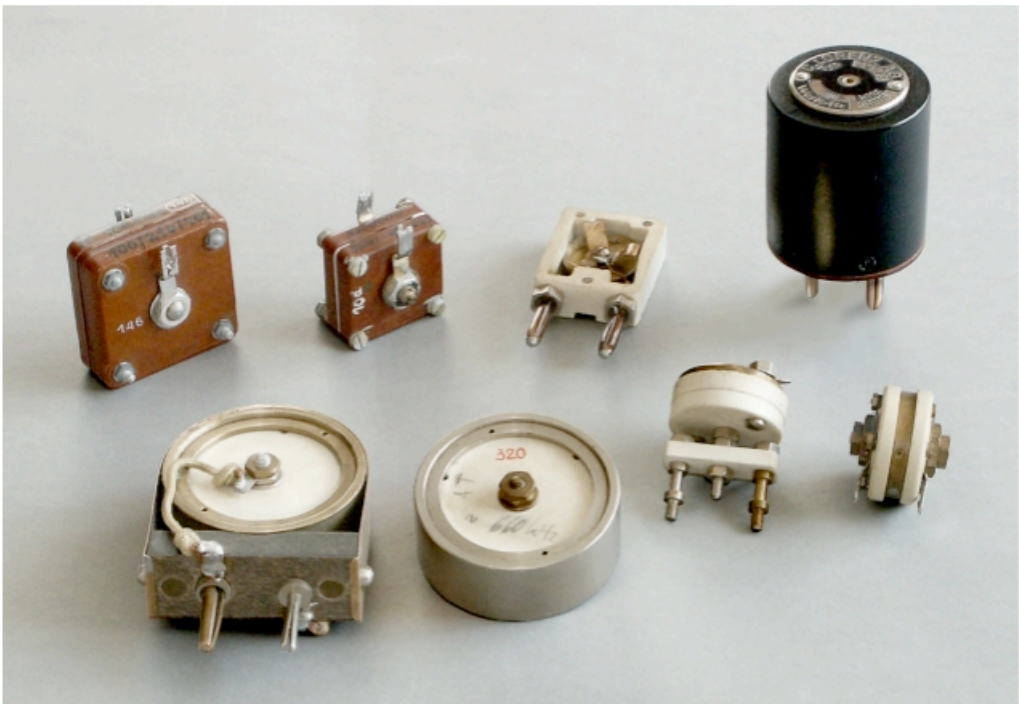


Abb. 7.4.10 Schwingquarze mit Luftspaltelektroden vor 1940

Zu den Schritten von Niggemeyer gehörte auch (ein *High-Light*, würde man heute dazu sagen) die Anwendung eines Verfahrens zur optimalen Bestimmung des Schnittwinkels, unter denen die Quarzscheiben aus dem Rohkristall herauszuschneiden sind.

„Stellt die Dinge auf den Kopf“, war ein geflügeltes Wort von ihm.



Abb. 7.4.11
Lorenz-Quarze
mit aufplattierten
Elektroden
1940–1945

Er kehrte das Braggsche Prinzip zur Bestimmung der Gitterkonstanz von Kristallen um und führte im Kriegsjahr 1942 die Bestimmung der Schnittwinkel mit dem „Röntgenspektrometer“ ein (siehe auch Kapitel 4, Seiten 134/135).

Soweit mir bekannt ist, war Lorenz die einzige Firma in Deutschland, die in der Fertigung mit Röntgenstrahlen gearbeitet hat. Eine amerikanische Quelle berichtete, daß bei den Ostmark-Werken in Prag auch mit Röntgenspektroskopie gearbeitet wurde. Meines Erachtens ist dies aber nicht zutreffend.

Beim Einmarsch der sowjetischen Truppen rettete damals Niggemeyer die Röntgenröhre vor dem „Export nach Rußland“ mit Überredungskunst, einem Sechskreis-Rundfunkempfänger und einem Mikroskop!

Auch ein wichtiger Fortschritt auf dem Sektor *Wehrmachtsgeräte* war die Entwicklung von *Laufzeitstäben* aus Quarz für die Entfernungseichung bei Funkmeßgeräten.

Ein Ausführungsbeispiel zeigt die Abb. 7.4.12 a und den Aufbau des Verzögerers in Abb. 7.4.12 b.

Kurz zur Entfernungseichung mit dem piezoelektrischen Gerät. Praktisch laufen alle Entfernungseichungen auf eine Kurzzeitmessung mit hoher Genauigkeit hinaus.

Es ist die folgende Methode: man transformiert den elektrischen Impuls in einen mechanischen.

Diesen mechanischen Impuls (Stoß) schickt man durch einen Stoff, dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit für Stoßwellen bekannt ist.

Nach dem Durchlaufen der Strecke im Stoff wandelt man ihn in einen elektrischen Impuls zurück und hat damit eine Verzögerung erreicht.

Man schickt in der praktischen Ausführung den elektrischen Impuls in einen Quarz. Dieser erzeugt daraufhin eine Ultraschall-Impulswelle, die mit endlicher Ausbreitungsgeschwindigkeit durch das Medium läuft.

Aus der Abb. 7.4.11 b erkennt man den Aufbau: ein Metallgehäuse trägt im Inneren den Verzögerungsstab aus Glas, an dessen Ende der Quarz aufgelötet ist. Der eine Belag des Quarzes liegt am Gehäuse, der zweite an einer Lötfläche.

Der Glasstab ist in Filzringen gelagert und durch Federdruck gehalten.

Mit Hilfe eines Satzes dieser piezoelektrischen Verzögerer (daraus sind zwei in Abb. 7.4.12 a abgebildet) läßt sich das Funkgerät auf einige Promille genau eichen. In Verbindung mit einem Sendeempfänger wurde diese Anordnung als Eichgerät eingesetzt (Deckname „Rehbock“).

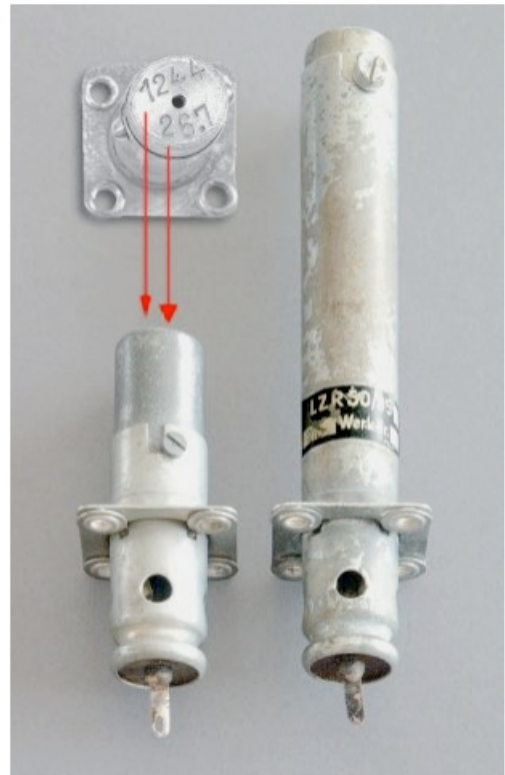
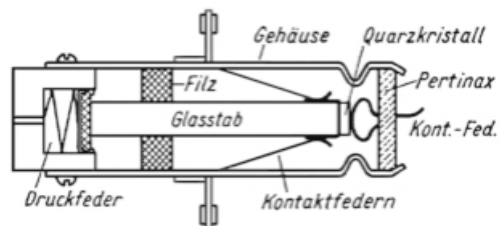


Abb. 7.4.12 a

Abb. 7.4.12 b



Nach Ende des Krieges und der vollständigen Demontage war eine kleine Basis geblieben und so konnten zunächst nur einzelne Schwingquarze für große Nachrichtensender gefertigt werden. Einen dieser Steuerquarze zeigt die Abb. 7.4.13. Es mußte aber damals noch viel improvisiert werden!

1946 konnten erst die Entwicklungslabors wieder aufgebaut und mit einer kleinen fabrikmäßigen Produktion von Schwingquarzen begonnen werden.



Die erste große Aufgabe war der Bau von Einseitenbandfiltern für die Kurzwellen Sende- und Empfangsanlagen der Bundespost für den Überseeverkehr.

Auch die Umstellung der Rundfunksender in Folge des Kopenhagener Wellenplanes brachten der Firma Aufträge für Steuerquarze. Die geringe Zahl von Wellenlängen, welche Deutschland in Kopenhagen zugeteilt wurden, machte die Entwicklung von *Gleichwellenvorsätzen* erforderlich.

In Zusammenarbeit mit der Zentraltechnik des NWDR entstanden solche Vorsätze mit drei unabhängigen Quarzstufen.

Die folgende Abb. 7.4.14 zeigt den Steuerquarz 769 kHz aus einem dieser Gleichwellengeräte – ein Erzeugnis höchster Präzision!

Abb. 7.4.13

Steuerquarz aus der ersten Nachkriegsfertigung

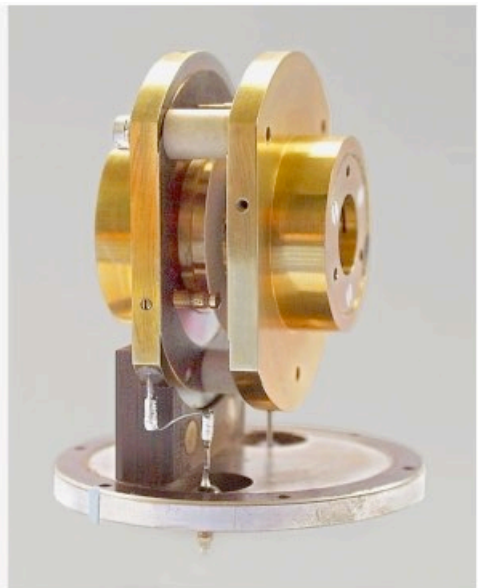


Abb. 7.4.14 Gleichwellensteuerquarz 769 kHz

Bald nach der Währungsreform begann eine Entwicklung von Funksprechgeräten. Hierbei stellte sich ein notwendiger Bedarf an Schwingquarzen über 10 MHz heraus. Das Kleinfunkgerät KL4, als erstes in großer Serie gefertigt, hatte einen beachtlichen Quarzbedarf.

Hierzu mußten auch neue Quarzhalter entwickelt werden. Wie sich während des Zweiten Weltkrieges herausgestellt hatte, waren die Preßstoffhalter undicht und der schädliche Feuchtigkeitsfilm verursachte einen großen Ausfall. Der eingeschlagene Weg war – wie schon bekannt – gasdichte, verlötete Metallhalter zu verwenden. In der *Abb. 7.4.15* sind rechts einige Muster dieser neuen Gehäusegeneration gezeigt. Für die Funksprechgeräte konnte die international verbreitete Haltertype HC-6/U übernommen werden (*im Bild links*).



Abb. 7.4.15 Schwingquarze der neuen Generation 1948

Der Schwingquarz gewann im Rahmen der Miniaturisierung durch seine Zuverlässigkeit und Qualität an Bedeutung auf dem Elektronikmarkt.



Schwingquarze

Biegeschwinger
Längsschwinger
Dickenschwinger
Obertonschwinger
für alle üblichen Frequenzen

3 Güteklassen
in Lorenz-Präzision

Maße und Sockel
nach internationaler Norm

LORENZ
C. Lorenz Aktiengesellschaft
Stuttgart

3016 kHz
3450 kHz
3041 kHz
5075 kHz
5615 kHz
6473 kHz

Abb. 7.4.16
Ausschnitt aus einem
Werbeprospekt

Ein Meilenstein im Berliner Quarzwerk, inzwischen umgezogen vom Lorenzweg 5 (Hauptgebäude) nach der Codlitzstraße 34/36 (Südwerk), war bei der Olympiade 1968 in Mexiko, als die Richtfunkstrecke durch den südamerikanischen Urwald auszufallen drohte. Weil die hierfür benötigten Quarze nicht in der erforderlichen Qualität zur Verfügung standen, fertigte Niggemeyer mit seinen Mitarbeitern über Nacht diese hochwertigen Austauschquarze an, getreu seinem Motto:

„Geholfen haben wir immer.“

Ein ganz markanter Meilenstein in der Quarztechnologie war die Einführung des so genannten *Euroquarzes*. Hier legte Niggemeyer den Grundstein für die kontinuierliche Weiterentwicklung des SEL-Quarzwerkes. In der Vorausschau war dies doch der Grundstein für den Übergang von der Kleinserienfertigung zur preiswerten und dennoch hochpräzisen Massenproduktion von Schwingquarzen, wodurch Niggemeyer der ITT weltweit Vorsprung sicherte. 1977 – Hermann Niggemeyer geht in den Ruhestand. Im Herbst 1977 schied der 65jährige nach 40 Jahren erfolgreichen Berufslebens aus. Er war einer der Pioniere auf dem Gebiet der Quarzentwicklung und einer der ersten, welcher die Quarztechnologie maßgeblich beeinflusst hat.

Im Berliner Hilton-Hotel hatte das Quarzwerk zu einem Empfang eingeladen. Dr. Jochen von Bonin, Leiter der Unternehmensgruppe Bauelemente, hielt die Laudatio.

Er schilderte den beruflichen Werdegang Niggemeyers, als man vor vierzig Jahren von der Improvisation zur feinwerktechnischen Fertigung der Schwingquarze überging.

Quarze sind heute ebenso weltbekannt wie perfekt. An ihre Geschichte wird man nur erinnert, wenn einem der Anlaß hierfür geradezu ins Auge springt. In humoriger Weise trug v. Bonin auch noch viele nette Episoden aus dem Berufsleben vor und vergaß auch nicht zu erwähnen, daß die Uhr in der Staatskarosse des japanischen Kaisers Hirohito ihre Genauigkeit einem Quarz aus Berlin zu verdanken hat!

*... SEL-Quarze in den USA
ausgezeichnet ...
schrieb die Zeitschrift
DER ELEKTRONIKER*

*... Qualität und Zuverlässig-
keit sind schon immer
oberstes Gebot der SEL-
Bauelemente ...*

Unter diesem Aspekt wurde dem SEL-Quarzwerk, Berlin, von der Chrysler Automobile Corp., Detroit, der **Quality Award 1986** verliehen.

Diese Auszeichnung ist die Krönung der bisherigen Aktivitäten aus dem hart umkämpften Weltmarkt für Quarze und der Beweis für eine zuverlässige weltweite Partnerschaft.

*Als einziger Quarzlieferant
gehört SEL-Bauelemente
dazu, ein Beweis dafür, daß
SEL-Quarze aus Berlin den
außergewöhnlichen
Anforderungen und den
hohen Qualitätsstandards der
Automobilindustrie gerecht
werde ...*



Abb 7.4.17 Lorenz Werk Hauptgebäude



Abb 7.4.18 Quarzwerk Codlitzstraße 34/36
(Südwerk)

Am 11.12.1985 verstarb Hermann Niggemeyer völlig unerwartet.

Hermann Niggemeyer war ein exzellenter Naturwissenschaftler, der sein Wissen konsequent in die Praxis umsetzte. Es gab für ihn keine unlösbare Aufgabe.

Er blieb bei all seinen technischen Erfolgen ein Mensch, der sein Wissen stets weitergab.

Mit seinen Mitarbeitern setzte er so manchen „Quarz-Meilenstein“ und hat sich nie als „Einzelkämpfer“ verstanden – und so hörte er auch den Titel „Quarzpapst“ gar nicht gerne.

Solche Entwicklungen kann keiner alleine machen, da gehört ein ganzes Team dazu!

1988 ist die SEL mit dem „Euroquarz“ Marktführer in Europa. Aber auch ein nicht alltägliches Jubiläum feierte der Unternehmensbereich Bauelemente im Werk Berlin:

Fünzig Jahre Quarzfertigung.

Zum 50. Geburtstag geht der Mini-xtal in Großserie. Dieses Bauelement setzt den Trend zur Miniaturisierung fort. Bei gleichem technischen Leistungsvermögen ist es nur noch halb so hoch wie herkömmliche Quarze.

Am 6.11.1988 schrieb die Berliner Morgenpost:

– SEL will ihr Quarzwerk in Berlin ausbauen –

Die Standard Elektrik Lorenz AG (SEL), Stuttgart, will ihr Quarzwerk in Berlin weiter ausbauen. Wie es in einer Mitteilung des Unternehmens, das zur Alcatel-Gruppe gehört, heißt, wird in der Fabrik, die seit 50 Jahren besteht, für den Produktbereich „Professionelle Quarze“ eine neue Fertigungsstrecke mit modernsten Fertigungstechnologien und einem beachtlichen Investitionsvolumen aufgebaut. –

1991 konnte man im Geschäftsbericht 1991 der Standard Elektrik Lorenz lesen:

Quarzgeschäft neu ausgerichtet

Der im Vorjahr eingeleitete Verkauf unserer Produktionsanlagen für die Fertigung von Standardquarzen nach Thailand wurde 1991 abgeschlossen. Wie angekündigt, werden wir den Vertrieb von Quarzen weiterführen! –



Um die Jahrhundertwende gründete der Optiker C. A. Niendorf (der genaue Zeitpunkt ist leider nicht bekannt und kann nur näherungsweise angegeben werden) in Bernau/Mark in der Bürgermeisterstraße 21 eine optische Werkstätte. Die Firma spezialisierte sich damals vorwiegend auf Kalkspat- und Quarzoptik. Schon bald erweiterte die Firma und suchte noch neue Mitarbeiter.



Abb. 7.5.1

Insertat in der Central-Zeitung für
Optik und Mechanik

Nach dem Tod von C. Niendorf übernahm der Optiker Hermann Giesebart die Firma. Eine Aufnahme aus jener Gründerzeit (Abb. 7.5.2) ist alles, was noch von dieser Firma erhalten geblieben ist!

Interessant ist vielleicht dabei, wie auf dem Bild zu sehen: die würdigen Herren tragen einen Bowler, es sind wie schon erwähnt die Optiker.

In früheren Zeiten sprach man von einem „Mechanikus“ und dem „Optikus“, sie gehörten damals noch zu den „Künstlern“. Man hatte einen großen Respekt vor diesen vornehmen Leuten.

Wie heißt es so schön in einem Berliner Lied:

*Auf dem Omnibus da sitzt ein Optikus,
und hat die Lackstiefeln an!*

Durch die Spezialisierung der Firma in der Quarzbearbeitung wurde sie zum Zweiten Weltkrieg vom Rüstungskommando mit in die Schwingquarzproduktion einbezogen.



Abb. 7.5.2

Aufnahme vom Geschäftshaus Optische Werkstätten C. A. Niendorf (links im Bild) mit Optikmitarbeitern

Aus dem Jahr 1944 sind noch ein paar Daten bekannt:

Laut den amerikanischen Fiat-Berichten fertigte die Firma Niendorf im Dezember dieses Jahres

1100 Quarze, allerdings ohne Fassung (not assembled), mit 7 Mitarbeitern.

Die Platten waren vorwiegend für Telefunken bestimmt.

Was nach dem Krieg aus der Firma geworden ist, konnte leider nicht mehr ausfindig gemacht werden. Die Gemeindeverwaltung von Bernau konnte auch keinerlei Angaben mehr über die Firma machen.

Das Gebäude Bürgermeisterstraße 21 steht so nicht mehr, auf diesem Platz wurde einer jener bekannten Plattenbauten erstellt!

SCHWINGQUARZE



Ostmarkwerke G.m.b.H

Werk Prag / GBELL

7.6 Ostmark-Werke, Wien und Prag

Die Firma Ostmark-Werke GmbH mit Zentrale und Hauptwerk in Wien 75, Arsenal, und Zweigwerk in Prag-Gbell, stellte ein reines Armee-Unternehmen dar. Die Vorläufer dieses Unternehmens waren die

UTD – Ústřední Telegrafní Dílny –

die zentralen Telegraphen-Werkstätten in Prag.



Abb. 7.6.1 Firmenlogo

Dieser Betrieb fertigte auch schon früh Schwingquarze unter obigem Firmenzeichen. Die Produktion endete dann im Jahre 1939.

Wahrscheinlich mit Kriegsbeginn erfolgte eine Gleichschaltung mit Wien; und so wurden die ehemaligen Telegraphen Werkstätten mit in die Rüstungsproduktion eingebunden.

Das Fertigungsprogramm im Werk Prag-Gbell umfaßte außer dem Sender der Type 10 WS.c und Handlademaschinen vorwiegend Schwingquarze.



Wie oben erwähnt befanden sich die Ostmark-Werke in Prag-Gbell in der Prager Straße 347. Gbell ist heute ein Stadtteil von Prag 9.

Abb. 7.6.2

Der Kartenausschnitt ist zur besseren Orientierung gedacht.

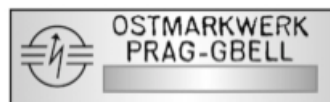


Abb. 7.6.3

Das neue Firmenlog

Der Hauptanteil der dort gefertigten Quarze waren Schwingquarze, bestimmt für den Mittelwellenempfänger Caesar – Mw. E. c. –

Dies waren: 1. Zwischenfrequenz-Filterquarze 352 kHz in Stufe I und II
 2. Quarz für die zweite Überlagerungsstufe 353 kHz

Warum der Hauptanteil in der Fertigung dieser oben genannten Quarze besonders erwähnt wird, hat einen besonderen Grund:

Bei den Schwingquarzen, welche für die Nachrichtengeräte der Deutschen Wehrmacht hergestellt wurden, gab es kaum ein Alterungsproblem, während sich dieses bei den Alliierten Streitkräften als sehr ernst herausstellte. Die Situation änderte sich aber während des Nordafrika-Feldzuges bei den Deutschen Streitkräften schlagartig. Die extremen klimatischen Bedingungen hatten zur Folge, daß auf Grund der Zersetzung von Wasser auf den Kristalloberflächen die Schwingquarze wegen der undichten Halterung versagten!

Der Arbeitsring „Schwingquarze“ im Hauptring „Elektrotechnische Erzeugnisse“ beim Reichsminister für Rüstung und Kriegsproduktion beschloß auf einer Arbeitstagung im Hause Telefunken im Sommer 1942 eine umfassende Änderung durchzuführen, das hieß die Preßstoffhalter durch gasdichte Metallhalter zu ersetzen.

Dr. Bechmann stellte dann hierbei eine Halterungsform zur Diskussion, welche schon bei Telefunken als Versuchsmuster existierte. In Anlehnung an die im Jahre 1938 neu auf den Markt gekommenen Rundfunkröhren der E-Serie (Harmonische Serie) entwickelte damals Telefunken einen Schwingquarz im Gehäuse der neuen E-Röhren.



Abb. 7.6.4
Versuchsschwingquarz 8 000 kHz
Type QS V1



Abb. 7.6.5
Ein erstes Exemplar der Nullserie
F : 3000 kHz

Diese neue Form bedingte natürlich einen viel höheren Fertigungsaufwand. Der Aufwand in der Fertigung wurde aber von den zuständigen Stellen in der Rüstungsleitung auch sofort akzeptiert, war doch hauptsächlich der Einsatz des Mittelwellen-Empfängers Caesar bei den Panzerverbänden im Führungspanzer dieser Einheiten. Die ersten Schwingquarze in dieser Form wurden noch im Telefunken Röhrenwerk Berlin in der Sickingenstraße gefertigt. Später lief die Fertigung, auch um sich vor den immer mehr zunehmenden Luftangriffen zu schützen, bei den Ostmark-Werken in Prag an. In der folgenden Bildübersicht soll ein kleiner Einblick in die Fertigungstechnik dieser Schwingquarz-Type **OLEV, spezial** gegeben werden.

Dazu noch eine Bemerkung: Es konnte nicht eindeutig geklärt werden, ob die Fertigung teils in Berlin mit Co-Produktion in Prag, oder ausschließlich nur in Prag lief. Eine Fertigungslinie für diesen Spezialquarz aufzubauen, war schon ein großer Aufwand, waren doch hierfür eine große Anzahl von Spezialmaschinen erforderlich. Nach Kriegsende beschlagnahmten die Russischen Streitkräfte die gesamte Fertigung. Trotz umfangreicher Recherchen ist es mir nicht gelungen, diese Frage ganz zu klären.

Zum besseren Verständnis über die Fertigung von E-Röhren möchte ich noch ein paar Erläuterungen geben, denn wer weiß heute noch etwas, wie es so schön heißt, über diese „Oldies“?

Wie auf Seite 324 erwähnt, erschienen im Rahmen der so genannten „Harmonischen Serie“ 1938 erstmalig Stahlröhren. Diese unterschieden sich auch durch einen grundsätzlich neuen Aufbau von den Glasröhren, z. B. wurden sämtliche Röhrenanschlüsse nun zu Sockelstiften geführt. Wegen der durch den neuen Aufbau bedingten größeren Grundplatte wurde ein neuer Sockel notwendig, der 8 Stifte besitzt und in der Mitte ein Pumpröhrchen trägt, dessen äußere Umhüllung gleichzeitig als Führungsstift dient und das sichere Einsetzen der Röhre in die Fassung ermöglicht. Der von den Glasröhren abweichende Aufbau der Stahlröhren bedingte natürlich eine ganze Reihe neuer Herstellungsverfahren. Man kann den Herstellungsgang etwa in folgende Einzelvorgänge unterteilen:

1. **Anfertigung der metallischen Grundplatte** mit den nötigen Durchführungen für die Zuleitungen. Für die Anfertigung der Grundplatte wird eine nach unten umgebördelte Metallscheibe ausgestanzt, welche eine entsprechende Anzahl Löcher besitzt. In die Löcher werden zunächst kleine rohrnietenartige Fernico-Hülsen eingeschweißt. In das mittlere Loch kommt eine lange Metallhülse, das so genannte Pumpröhrchen, für die Entlüftung des Kolbens (Abb. 7.6.6).

2. Einsetzen der Fernico-Hülsen. Auf der Unterseite der Platte ist eine schleifenartige Rinne, die zum Verlöten der Fernico-Hülsen und des Pumpröhrchens dienen soll. In diese Rinne werden nun einige Stückchen Kupferdraht gelegt und die ganze Platte wird erhitzt. Das Kupfer wird dadurch flüssig und verläuft um die Fernico-Hülsen und das Pumpröhrchen, wodurch diese mit der Metallplatte fest und luftdicht verlötet werden (Abb. 7.6.7). Vor dem Verlöten werden die Hülsen auf die Grundplatte aufgeschweißt. Die Fernico-Hülsen bestehen aus einer Eisen-Nickel-Kobalt-Legierung, die einen ähnlichen Wärmeausdehnungsgrad besitzt wie die Glasperlen, die in diese Hülsen später eingeschmolzen werden und die Isolation zwischen Metallplatte und Durchführungsdraht übernehmen. Durch diese übereinstimmende Wärmeausdehnung zwischen Metallhülsen und Glas wird das Vakuum des Stahlkolbens durch bedingte Temperaturschwankungen gesichert. Die Fernico-Hülsen werden deswegen verwendet, weil eine ganz aus Fernico-Legierung hergestellte Grundplatte zu kostspielig wäre. Nach Einlöten der Fernico-Hülsen wird die Grundplatte im Reduzierofen gesäubert.

3. Einschmelzen der Durchführungen. Im nächsten Arbeitsgang werden die Durchführungsdrähte in die Fernico-Hülsen eingesetzt, und zwar kommt in jede Hülse ein kleines Molybdän-Glasröhrchen (Abb. 7.6.8), in das ein Durchführungsdraht gesteckt wird. Das Glasröhrchen wird durch eine Gasflamme erhitzt und verflüssigt. Dadurch schmilzt es den Führungsdraht in der Mitte ein und die Durchführung ist abgedichtet. Der Durchführungsdraht besitzt ein kurzes Mittelstück aus Molybdän, während die Enden aus Nickel bestehen.

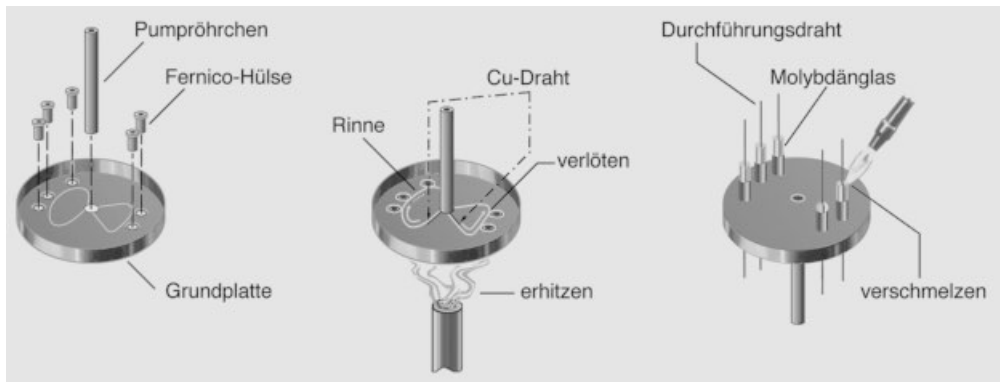


Abb. 7.6.6

Abb. 7.6.7

Abb. 7.6.8

Parallel zu den geschilderten Arbeitsgängen verlief auch der Aufbau des eigentlichen Schwingersystems. Auf einer im Dreieck angeordneten Trägerplatte wurde der abgegliche 352- oder 353-kHz-Quarz liegend und federnd eingebaut. Die Abb. 7.6.13 kann dieses Detail besser vermitteln als eine Beschreibung.

Der innere Aufbau mit dem Schwingquarz ist damit fertiggestellt und es muß nunmehr der Stahlkolben aufgesetzt und mit der Grundplatte verbunden werden. Dies erfolgt durch einen kurzzeitigen Schweißvorgang (Abb. 7.6.9).

Dazu wird eine Wechselspannung von 10 Volt verwendet, die eine Stromstärke von etwa 180 000 Ampère durch die Auflagefläche des Kolbens auf der Grundplatte schickt.

Der Schweißvorgang dauert $\frac{3}{50}$ sec. und kommt durch eine ringförmige aufgesetzte Elektrode zustande, welche sich von oben auf den umgebördelten Rand des Kolbens legt.

Die zweite Elektrode legt sich von unten gegen die Grundplatte.

Das vakuumdichte Verschließen des Kolbens mit der Grundplatte erfordert natürlich eine Hochleistungsschweißmaschine mit einer Thyatronsteuerung (Abb. 7.6.10).

Bei dem anschließenden Arbeitsgang wird der Kolben entlüftet, da dieser nun noch mit der Außenluft durch das Pumpröhrchen in Verbindung steht. An das Pumpröhrchen wird eine Vakuumpumpe angeschlossen, welche die Luft aus dem Innern absaugt. Eine Schließvorrichtung sorgt dafür, daß das Pumpröhrchen vakuumdicht umschlossen wird. Nach einer Entlüftung erreicht man, daß im Kolben noch ein Restdruck entsprechend 0,00001 mm Quecksilbersäule zurückbleibt. Anschließend wird das Pumpröhrchen erst zusammengedrückt und dann elektrisch verschweißt (Abb. 7.6.11).

Nach anschließender Funktionsprüfung wird der Kolben lackiert und beschriftet.

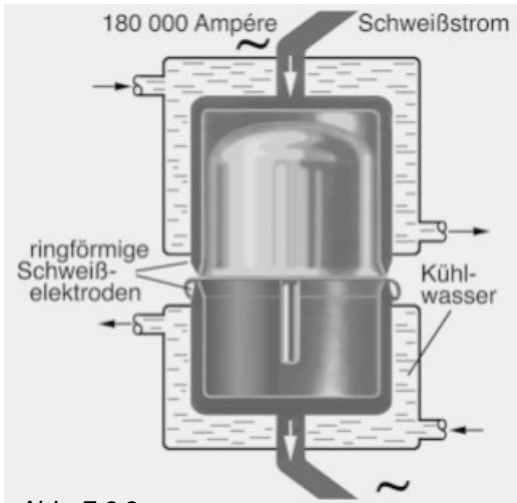


Abb. 7.6.9
Prinzipdarstellung eines Kolben-Aufschweißvorganges

Abb. 7.6.10
Kolbenschweißmaschine
in Betrieb



Die Abb. 7.6.12-13 zeigen den Innenaufbau dieses Quarzes. Das Fertigprodukt ist in der Abb. 7.6.14 dargestellt. Die Seitenansicht habe ich bewußt so dargestellt – man kann so am Rand des Kolbens sehr gut das eingeprägte Emblem der Ostmark-Werke erkennen.

Abb. 7.6.11

Entlüften und Verschweißen des Pumpröhrchens



Abb. 7.6.12-13

Innenaufbau eines
352/353-kHz-Quarzes

Links: Innenansicht
auf das Quarzplättchen

Rechts:
Ansicht von der Seite



Abb. 7.6.14

Links:
353-kHz-Quarz
von Telefunken

Rechts:
Ausführung der Ostmark-
Werke



Die Firma hat außer den beiden Quarzen für den Mittelwellen-Empfänger C auch noch einen 500-kHz-Quarz in diesem Stahlgehäuse hergestellt. Der Einsatz war sicher als Eichquarz in einem Nachrichtengerät gedacht (Abb. 7.6.15).



Abb. 7.6.15
500-kHz-Eichquarz

Im Fertigungsprogramm der Firma waren auch Schwingquarze in Kunststoffgehäusen. Das Exemplar in Abb. 7.6.16 stammt bestimmt aus einer sehr frühen Fertigung, das Gehäuse ist nämlich aus Resitex, und sicher auch in Eigenfertigung hergestellt.

Das zweite Exemplar ist in einem herkömmlichen Preßstoffgehäuse von der Firma *Kunstharzpresserei Schwaben O. Single*)* in Göppingen/Württemberg.

Der Quarz wurde etwa im Jahr 1942 gefertigt (Abb. 7.6.17).



Abb. 7.6.16
Schwingquarz 5 262,50 kHz
Herstellungsjahr \approx 1939

*) Es ist in diesem Zusammenhang vielleicht auch von Interesse: diese Firma hat überwiegend die Gehäuse für die Schwingquarzindustrie geliefert. Ein „High Light“ aus der Quarzfertigung der Ostmark-Werke war bestimmt der 500-kHz-Eichquarz in Abb. 7.6.18 (folgende Seite). (Auf den ersten Blick eher ein unscheinbares Exemplar.)



Abb. 7.6.17
Schwingquarz 4 265 kHz

Der Aufbau mit **Feinstgewinde** für den Frequenzabgleich ist, wie oben schon angedeutet, ein Spitzenerzeugnis der Feinwerktechnik! Am Besten man läßt die folgenden Bilder sprechen.

In Abb. 7.6.20 ist der Eichquarz in einem aufgeschnittenen Zustand dargestellt. Sehr gut ist dabei das Feinstgewinde zu erkennen.

Die Fertigungskosten waren sicher nicht gering, wenn man bedenkt, wie viel an Zeit allein bei der Zerspanung der Messingteile aufgewendet werden mußte.

Es ist bemerkenswert, wie noch im „Totalen Krieg“ dieses aufwendige Erzeugnis entstehen konnte. Der Einsatz muß bestimmt für ein sehr wichtiges Gerät gewesen sein. Viele Sammler habe ich befragt, doch keiner wußte eine Antwort. So war eine Klärung bisher nicht möglich.

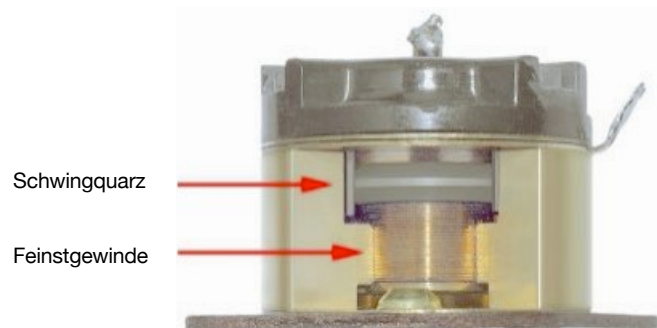
Abb. 7.6.18
Eichquarz II 500 kHz



Abb. 7.6.19
500-kHz-Eichquarz in Einzelteilen



Abb. 7.6.20
Das Innere des Eichquarzes II



Zum Abschluß dieses Kapitels – Ostmark-Werke. Wie ich oben schon erwähnte, haben die Russischen Streitkräfte die gesamte Fertigung als Reparationsleistung abgebaut und in die UdSSR transferiert.

In den Jahren 1940–1945 beschäftigte die Firma durchschnittlich 1400 Mitarbeiter. *Wahrscheinlich* war der renommierte Physiker und Universitätsprofessor Václav Petržílka der geistige Vater dieses Eichquarzes.

Bekannt ist Petržílka vor allem bekannt durch seine zahlreichen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Schwingquarze, besonders der turmalingesteuerten Oszillatoren. Wie auch aus einer Abhandlung aus den Laboratorien von Telefunken und den Ostmark-Werken im Jahr 1943 hervorging, war Petržílka dort tätig, wenn er nicht sogar Leiter dieses Laboratoriums war.

In der Abb. 7.6.19 zeigt das Abdeckblech (ganz rechts) die Codierung – **bnl** – und dies ist ja das Fertigungskennzeichen für die Ostmark-Werke.

Im Dezember 1944 fertigte die Quarzabteilung noch mit 119 Mitarbeitern 2100 Schwingquarze!

Die Fertigung in den Ostmark-Werken endete ja 1945. Dann folgte eine Quarzproduktion in den gleichen Räumen in Prag-Gbell unter dem Firmennamen – **PAL** –.



Die Quarzfertigung endete im Jahr 1952. Danach übernahm die Firma **TESLA** diese Fertigung in Königgrätz, Hradec Králové. Nach letzter Reorganisation lautet jetzt die Firma

KRYSTALY a. s.
Okružní 1144
Hradec Králové

Abb. 7.6.21

Die Stadt Prag hat 1947 ihrem verdienten Bürger Petržílka eine Straße im Stadtteil 5 – Stodůlky-Butovice – benannt in « **Petržílkova** »

SCHWINGQUARZE

FÜR DIE NACHRICHTENTECHNIK



PIEZO-WERK HEINZ EVERTZ STOCKDORF BEI MÜNCHEN

7.7 Piezo-Werk, Heinz Evertz; Stockdorf/München

Heinz Evertz wurde am 4. Januar 1907 in Köln geboren. Schon als Jugendlicher zeigte er ein großes Interesse für die Naturwissenschaften.

Seine Schulbildung genoß er an einem humanistischen Gymnasium seiner Vaterstadt, das er 1925 mit dem Reifezeugnis verließ.

Während seiner Gymnasialzeit zog in insbesondere die Physik in ihren Bann.

Er war der geborene Experimentator. So betätigte er sich auch schon sehr früh auf dem Gebiet der drahtlosen Telegraphie.

Mit dem Physiklehrer seiner Schule hatte er das große Glück, daß dieser seine außergewöhnliche Begabung für dieses Fach erkannte und sie auch nach Maßen förderte. Die Empfehlung seines Physiklehrers, dann aber gleich nach der Schule mit einem Studium zu beginnen, schlug er in den Wind. – Heinz Evertz hatte etwas ganz anderes im Sinn. Er wollte „Handfestes“ schaffen, wie er sich ausdrückte. Er wollte damals schon Geräte für die Nachrichtentechnik bauen – und so kam es dann auch. In einem Nebenraum seiner väterlichen Firma begann er mit allerlei drahtlosen Versuchen und mit dem Bau von Meßgeräten für die Hoch- und Niederfrequenztechnik.

Heinz Evertz, ein „Self made Man“. Seine einzige Weiterbildung waren damals die Abendkurse in der Nachrichtentechnik.

Durch ein Zusammentreffen mit dem Altmeister des Amateurfunks, Rolf Wigand, in Berlin ergaben sich richtungsweisende Ansätze für seinen weiteren Berufsweg.

Rolf Wigand schrieb im Jahr 1931 seinen damals viel beachteten Artikel in der Zeitschrift „Rafa“ (Radio für alle): „*Das Schleifen von Quarzoszillatoren*“.

Einleitend schrieb Wigand:

... in einer Zeit, in der man den Kurzwellenamateuren zugestandene Wellenbänder auf ein Mindestmaß herabgesetzt hat, nimmt es nicht Wunder, daß immer mehr Amateure zur Quarzsteuerung ihrer Sender übergehen, weil sie damit die Gewähr haben, dauernd über eine konstante, gleichbleibende Frequenz und einen sauberen Ton zu verfügen ...

In der Anwendung der Piezoelektrizität auf den verschiedensten Gebieten sah Evertz seine Aufgaben für die Zukunft, und dies ließ ihn fast sein ganzes Leben nicht mehr los. Die Ultraschalltechnik hatte es ihm besonders angetan. Vor allem die Veröffentlichungen des französischen Physikers Paul Langevin hatten ihn sehr beeindruckt.

Wie erwähnt, war Heinz Evertz schon früh mit dem Amateurfunk in Berührung gekommen. Eine Aufnahme aus dieser Zeit zeigt seine Kölner Kurzwellenstation mit dem Rufzeichen EK 4 RE.

Bemerkenswert ist hierbei besonders der grundsätzliche mechanische Aufbau aller seiner Geräte. Die folgenden historischen Fotos vermitteln einen Eindruck von den Konstruktionen seiner Amateurfunkgeräte. Er fertigte diese in eigener Werkstatt auch für andere Kollegen aus dem Amateur-Kurzwellenverband (DASD) an.

Für die damalige Zeit waren die gebauten Geräte sicher ein Novum, und einen „Hannes Bauer in Bamberg“ gab es damals noch nicht!

Die Landesgruppe 5 des DASD – Köln-Aachen – war flächenmäßig und nach Einwohnern die größte Landesgruppe jener Zeit.

Georg Freiherr von Allizar wurde 1927 zum ersten Leiter dieser LG 5 berufen.

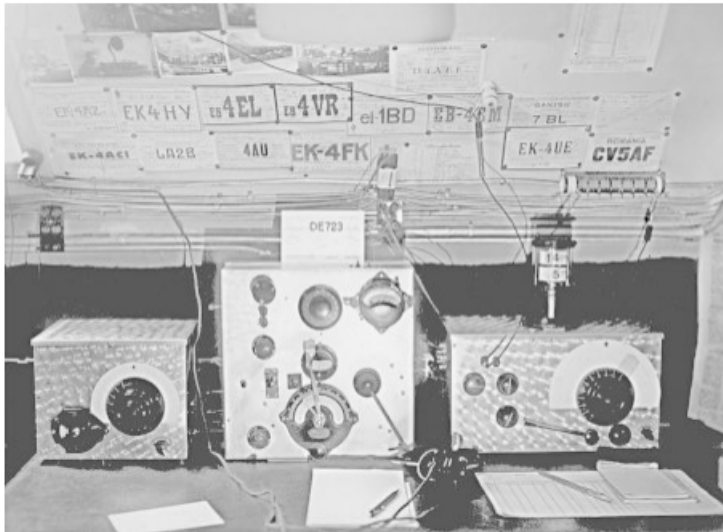


Abb. 7.7.1
Amateur-
Kurzwellenstation von
Heinz Evertz
DE 0723
EK 4 RE

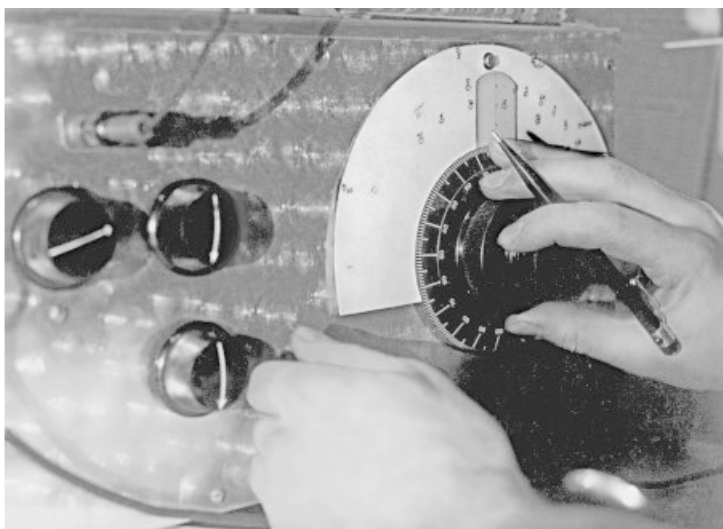


Abb. 7.7.2
Geräteausschnitt
der Station
mit Kurzwellen-
empfänger

Am 1.1.1930 trat v. Allizar zurück und Heinz Evertz wurde damals sein Nachfolger. Evertz war ein geschätzter OM, nicht nur wegen seiner Funktion. Er unterhielt damals schon in der Landesgruppe einen Eichdienst. Zu dieser Zeit war es für die OMs nicht so einfach, die Frequenzen ihrer Sender zu bestimmen (siehe auch Kapitel 5, Seite 210).

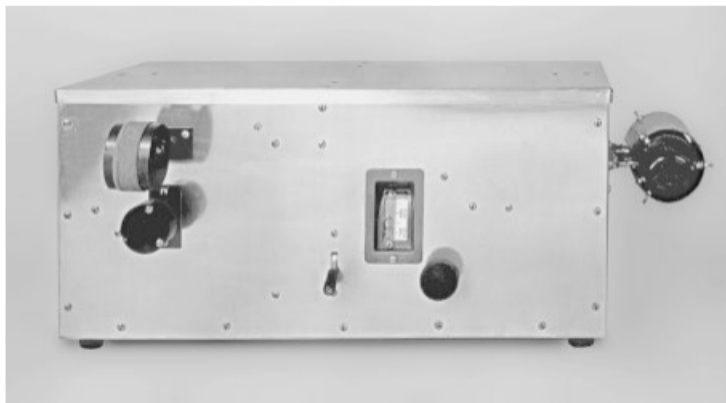


Abb. 7.7.3
Röhren-
frequenzmesser
der LG 5 Köln

Normalgerät
mit Kristallkontrolle
für $\pm 0,1 \%$

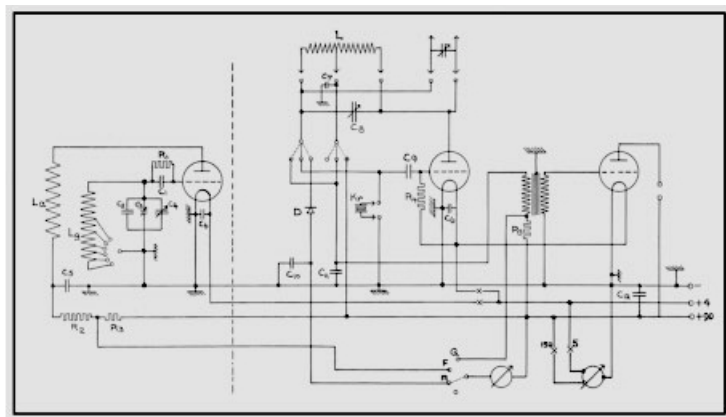


Abb. 7.7.4
Schaltung
des Röhren-
frequenzmessers

Dieser Eichdienst mit einer Genauigkeit von $1 \cdot 10^4$ war für die Amateure sehr wertvoll.

Der Ablauf war folgendermaßen: In einer Verbindung mit Evertz gab man QMF (messen Sie meine Frequenz). Nach kurzer Zeit erhielt man dann von ihm eine Karte. Auf dieser war außer weiteren Daten die genaue Frequenz verzeichnet.

Dieser Eichdienst wurde auch gerne von vielen ausländischen OMs in Anspruch genommen. Zu dem hierfür verwendeten Röhrenfrequenzmesser schrieb Evertz in der CQ im Jahr 1932 einen Artikel.

Ein kleiner Auszug daraus:

... die erschreckende Anhäufung von Stationen in der Mitte der Amateurbänder, die jeder Amateur schon beobachtet, ist eine Folge unzuverlässiger Wellenmesser. Erfüllt der Röhrenfrequenzmesser die Bedingung, daß sich die maximale Ungenauigkeit innerhalb der Grenzen des Hörbereichs bewegt nicht, so ist er nicht mehr wert als ein gewöhnlicher Absorptionskreis. Bei diesem ist man sich der Ungenauigkeit einer Messung von vornherein bewußt, wogegen man beim Röhrenfrequenzmesser geneigt ist, eine Frequenz vier- oder fünfstellig genau anzugeben, wenn auch die Genauigkeit hinter der zweiten oder dritten Stelle schon aufhört. Der Röhrenfrequenzmesser ist ein Präzisionsinstrument, das richtig gebaut und behandelt, einen unschätzbaren Wert in sich birgt ...

Wir schreiben das Jahr 1933 ...

Unmittelbar nach seiner Berufung setzte der neue Präsident des DASD, G. Leithäuser, einen neuen Landesgruppenleiter für Köln-Aachen ein. – Heinz Evertz war offensichtlich nicht nach dem Geschmack der neuen politischen Führung gewesen!

Auf seinem weiteren Berufsweg befaßte sich Evertz in verstärktem Maß mit der Herstellung und dem Vertrieb von Schwingquarzen für die Kurzwellen-Amateure. Sehr früh warben damals schon britische Unternehmen im T & R-Bulletin (damals Zeitschrift der Radio Society of Great Britain) für ihre Quarzkristalle zur Verwendung bei den Amateur-Frequenzbändern.

Eines der ersten Unternehmen in Europa war die Firma „Brookes Measuring Tools“ in Greenwich. Zur gleichen Zeit gab es auch noch die „Quartz Crystal Company“ in New Malden, welche von den Amateuren G 2 NH und G 5 MA geleitet wurde und bereits schon früher eine Produktion aufgenommen hatte.

Hierbei wurden von Evertz damals auch schon erste Kontakte mit diesen Firmen geknüpft.

Wie aus einer Kurznotiz von 1930 in einem Fachorgan hervorging, begann 1928 die Firma Dr. Steeg & Reuter eine erfolgreich verlaufende Entwicklung und Fertigung von Schwingquarzen für Sender und Empfänger.

Die ersten Kunden waren Kurzwellenamateure.

Man kann nur vermuten, daß die Gedankengänge von Dr. Reuter damals in die Richtung gingen, daß er in seiner Firma außer den angestammten optischen Elementen ein zweites Standbein schaffen wollte. Erst im Sommer 1932 begann S & R, kleine Serien von Quarzoszillatoren herzustellen.

Bis Ende 1932 konnten im ganzen nur 76 Quarzoszillatoren verkauft werden.

Bekanntlich war ja in dieser Zeit in Deutschland auch ein allgemeiner Tiefstand im Gesellschaftsleben vorhanden.

In diese Zeit fiel auch das Kennenlernen von Evertz und Reuter durch den DASD, und so wurde Evertz zu einem Besuch nach Bad Homburg eingeladen. Reuter war bei diesem ersten Zusammentreffen von dem Ideenreichtum des H. Evertz ganz begeistert. Bei einem weiteren Zusammentreffen im November 1932 bot ihm S & R die Generalvertriebsstelle piezoelektrischer Kristalle und Halter für Deutschland an. Diese wurde später für Österreich und Jugoslawien erweitert.

Evertz nahm die ihm angebotene Vertriebsstelle an, und in den folgenden Jahren setzte eine große Nachfrage an Steuerquarzen ein, da bekannt wurde, daß es jetzt dieses Bauteil auch in Deutschland zu kaufen gab.

Bei S & R gab es aber ab und zu Lieferschwierigkeiten, und so hatte Evertz das Recht, bei besonders eiligem Bedarf auch Kristalle von seinem früheren englischen Lieferanten zu beziehen.

Bei einer dieser Lieferungen fiel Evertz eine Besonderheit auf, als er die Kristalle auf ihre Eigenschaften, insbesondere in Bezug auf Mehrwelligkeit bei Luftspaltveränderung, einer kritischen Prüfung unterzog.

Evertz schrieb an S & R:

Heute erhielt ich die englische Lieferung. Anbei übersende ich Ihnen zwei Kristalle für 3650 und 3750 kHz. Diese Kristalle sind von der Firma B. M. T. und sind qualitativ ausgezeichnet, vollkommen einwellig. Bei den englischen Kristallen geht die durch Druckveränderung hervorgerufene Frequenzänderung vollkommen linear vor sich, so daß eine durch Temperatur z. B. hervorgerufenen Veränderung des Druckes lediglich eine ganz geringe Frequenzschwankung um einige kaum hörbare Hertz bewirkt. Ich bitte Sie nun nicht locker zu lassen, bis Sie den Unterschied zu Ihren Kristallen gefunden haben! –

Die Firma Steeg & Reuter schrieb zurück:

Die beiden zur Ansicht gesandten Kristalle fügen wir der heutigen Sendung wieder bei. Die Prüfung in der Optik ergab in Bezug auf Planheit bzw. Planparallelität ein schlechtes Resultat. Die Platte ist sogar konvex geschliffen. Die Feinheit des Schliffs ist bei beiden Platten grundsätzlich verschieden. Es kann also gar kein Anhaltspunkt gewonnen werden. Wir glauben beinahe, daß tatsächlich eine andere Orientierung gewählt wurde ...

Ich möchte hier nun zum weiteren Fortgang in dieser Sache auf das Kapitel 7.12. – Dr. Steeg & Reuter – verweisen und mit einer Anmerkung zum eigentlichen Thema Piezo-Werk Heinz Evertz überleiten.

Nachdem damals Reuter ein ausgedehntes Arbeitsprogramm bei der Herstellung der sogenannten TK-Nullplatten erblickte, wurden jetzt Verhandlungen mit Evertz in die Wege geleitet.

Das Ziel war, den Genannten zur baldigen Aufgabe seines Handlungsgeschäftes in Köln zu bewegen und ihn als Angestellten bei Steeg & Reuter in Bad Homburg zu beschäftigen.

Im April 1933 trat dann schließlich Evertz in die Firma ein.

In Bad Homburg wartete schon ein großes Aufgabengebiet auf ihn. Er konnte damals eine Vielzahl der anstehenden Probleme lösen, und mit seinen ideenreichen Arbeiten brachte er dem Schwingquarz-Sektor viele Aufträge. Erwähnenswert als Beispiel ist hier der Varioquarz. Dieser „Vario“, wie er auch genannt wurde, fand Verwendung in der Sendersteuerung bei den Kurzwellenamateur-Stationen, wenn die Möglichkeit einer Frequenzverschiebung während des Betriebs erwünscht war, um entweder vor Störsendern ausweichen zu können oder mehrere Stationen für Gleichwellenverkehr auf eine gemeinsame Frequenz zu bringen.

Der Variohalter (siehe Abb. 7.7.5) ist mit einer Skala versehen, wodurch im allgemeinen eine Frequenzverschiebung von etwa 3,5 % möglich ist.

Dazu gab es auch eine Eichkurve.

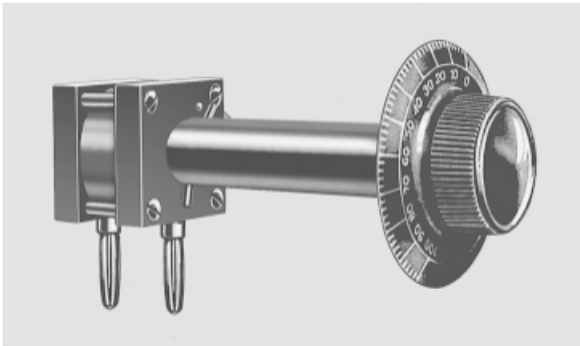


Abb. 7.7.5
Quarzoszillator
in Variohalter

Diese Kristallanordnungen (Variokristalle) wurden damals im Frequenzbereich von 500 kHz bis 4 000 kHz verwendet.

Zum Aufbau ein paar Details:

Der piezoelektrische Kristall, wie er für diesen Fall in Betrachtung kommt, besteht aus einer runden, planparallelen Quarzscheibe, der im geringen Abstand zwei Metallplatten als Elektroden gegenüber stehen.

Die Quarzplatte wird in der Dickenschwingung erregt und wird in der Mittelebene, die gleichzeitig Knotenebene ist, also während des Schwingungsvorganges in Ruhe bleibt, an drei Punkten, wovon einer federnd ausgebildet ist, gehalten. Dadurch wird

eine zusätzliche Dämpfung durch die Halterung vermieden. Durch Veränderung des Abstandes einer der beiden Elektroden gegenüber der Oberfläche des Kristalls läßt sich eine Änderung der Frequenz erzielen.

Damals wurde auch das nebenstehende Schaltsymbol für den „Vario“ vorgeschlagen.

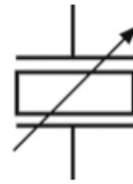


Abb. 7.7.6

Zu den Eigenschaften der „Variokristalle“ noch ein paar Angaben.

Wie bereits erwähnt wurde, ist die maximal erreichbare Frequenzänderung abhängig von der Absolutfrequenz des Quarzes und dem Kristallschnitt.

Als der Varioquarz in der Zeit der 1930er und 1940er Jahre hergestellt wurde, ergab die größte überhaupt mögliche Frequenzvariation im Y-Schnitt ($\vartheta = 90^\circ$) mit etwa $5,2 \cdot 10^{-3}$ in der Serienresonanz und etwa $3,3 \cdot 10^{-3}$ in der Parallelresonanz, die jedoch gleichzeitig mit dem Höchstwert des Temperaturkoeffizienten (ca. $80 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) zusammenfällt.

Von den temperaturabhängigen Schnitten $Y\vartheta = 125^\circ$ und $Y\vartheta = 141^\circ$ eignete sich nur der erstere für das Varioprinzip. Man erhielt Frequenzvariationen, die bei gleichem Luftspalt etwa um 50 % niedriger waren, als beim Y-Schnitt.

Platten der 41° -Orientierung fielen wegen der geringen Frequenzvariation außerhalb der Betrachtung. Neben diesen zu Dickenschwingungen angeregten Platten in der YZ-Ebene ließen sich auch eine Reihe weiterer Schnittrichtungen verwenden, die jedoch keinerlei Vorteile gegenüber dem Y- bzw. 125° -Schnitt boten.

Soviel zum „Vario“, aber dies ist nun auch schon Geschichte.

Im März 1937 verließ Heinz Evertz die Firma Dr. Steeg & Reuter und ging nach München zu seinem Vetter Dr. Lothar Rohde in der Firma Rohde & Schwarz.

Er sollte in der dortigen Firma eine Schwingquarzfertigung aufbauen.

Die Firma Rohde & Schwarz benötigte für das sich ausweitende Meßprogramm immer mehr hochstabile Quarzoszillatoren (siehe auch Seite 352).

Gleich nach Kriegsende 1945 verließ Evertz die Firma seines Veters um sich jetzt selbständig zu machen. Dies war schon früher sein Traum gewesen – die eigene Firma –, und so gründete er in Stockdorf das

Piezo-Werk Heinz Evertz

vorerst noch in der Gautiger Straße 2 und 3. (Das genaue Gründungsdatum ist leider nicht mehr bekannt.)

Doch aller Anfang war schwer – insbesondere der Rohquarz war ein gesuchter Rohstoff und schwer zu beschaffen (Abb. 7.7.7).

Trotz aller dieser Anfangsschwierigkeiten erschien schon in der Funkschau in der ersten Ausgabe ihres Wiedererscheinens, Nr. 1/1946, die nachstehende Anzeige (Abb. 7.7.8).

Ich suche

Rohquarze

für meine Fabrikation
zu kaufen
oder gegen Erzeugnisse
meines Betriebes oder
sonstige Erzeugnisse
der Elektro-Industrie
zu tauschen

Angebote mit Musterstücken zur
Prüfung auf piezoelektrische Eigen-
nung erbittet



Heinz Evertz
Piezoelektr. Werkstätte
STOCKDORF
bei München, Gautinger Straße 3

Abb. 7.7.7

Suchanzeige in einer
Fachzeitschrift für die Elektro-
und Radiowirtschaft

Piezoelektrische Quarzkristalle

für Wissenschaft u. Technik

Normalquarze für Meßgeräte und Laborzwecke
von 10 kHz aufwärts

Steuerquarze für Sender

Ultraschallquarze für Therapie und Chemie

Filterquarze für alle einschlägigen Zwecke. Neue
Spezialausführung: Type FQRQ für
hochwert. Telegraphie-Empfänger,
Frequenzen v. 450 - 490 kHz in Steck-
u. Einbau-Ausführung, geringe Maße,
absolute Einwelligkeit, Preis DM. 30.-

Universalkupplung Type 207 f. Gerätebau u. Labor
Bitte Listen u. Zahlungsbedingungen
anfordern. Sämtliche Preise sind
zeitgemäß herabgesetzt worden



HEINZ EVERTZ
Piezoelektrische Werkstätte
Stockdorf b. München, Gautingerstraße 3
Fernsprecher: Nummer 8 94 77

Abb. 7.7.8

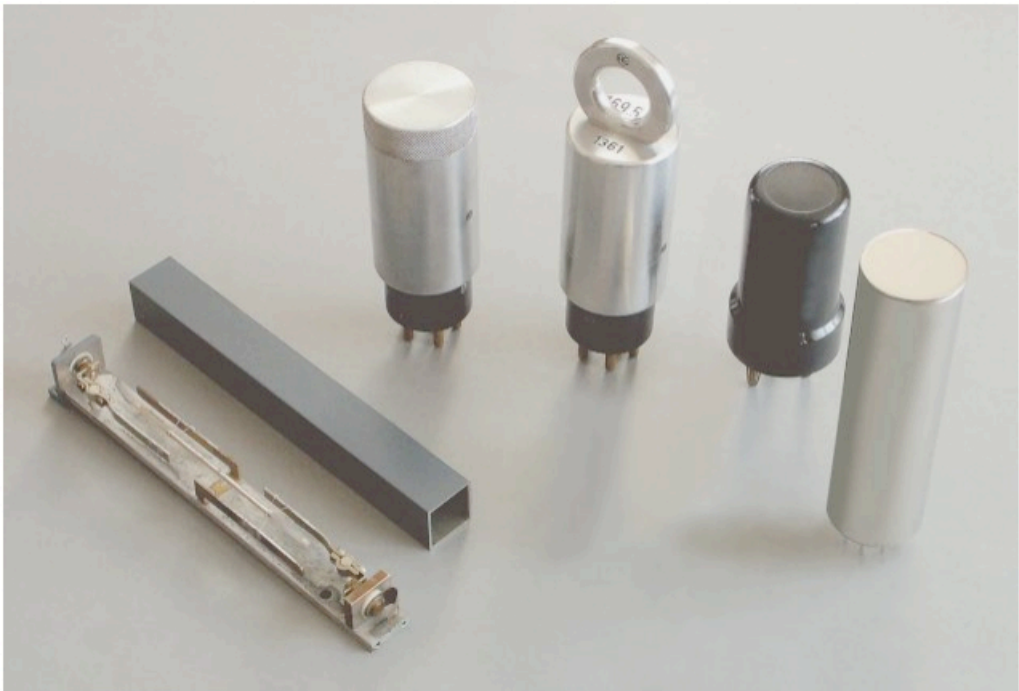
Werbung in der Funkschau

In Abb. 7.7.9 a, b ein kleiner Querschnitt aus den ersten gefertigten Steuerquarzen. Beachtenswert, von links gesehen, der zweite und der dritte Schwingquarz – das Exemplar Nr. 2, ein Quarz für eine Trägerfrequenz-Anlage der Post, und das Exemplar Nr. 3 (mit Bügel) war für das Frequenznormal eines Hochfrequenz-Laboratoriums bestimmt.

Alle gezeigten Quarze sind in solider „Evertz-Bauweise“ gefertigt (übrigens sind die Präzisionsquarze noch mit dem robusten Postsockel ausgerüstet!).

Die nächsten Ankündigungen in der Fachpresse waren Fertiggeräte wie z. B. der Universal-Empfänger-Eichprüfer UEP und der Audion-Resonanzfrequenzmesser RFM 100.

Es gab verschiedene Typen aus der UEP-Serie. Die Verschiedenheit ergab sich aus dem speziellen Verwendungszweck.



HEINZ EVERTZ Piezoelektrische Werkstätte
Stockdorf bei München, Gautinger Straße 3 / Fernruf 89350

Steuer- und Filterquarze

Meine Steuer- und Filterquarze werden in eigener Werkstätte aus ausgesucht homogenem Quarzmaterial fachmännisch und nach modernsten Verfahren hergestellt. Sie unterliegen einer gewissenhaften Kontrolle und Endprüfung, sodaß ihre Zuverlässigkeit in jedem Falle garantiert ist.

Das für die Anregung der Steuerquarze erforderliche Schaltschema wird bei Lieferung angegeben (siehe Rückseite!) bzw. auf den Typenschildern vermerkt. Soweit die angegebenen Werte der Schaltmittel eingehalten werden und der Aufbau fachmännisch durchgeführt ist, treffen auch die garantierten Genauigkeiten zu. Sind jedoch die erforderlichen Erfahrungen und die hierzu notwendigen Hilfsmittel nicht vorhanden, so ist die Anschaffung kompletter, gebrauchsfertiger Geräte meiner UEP-Serie empfehlenswerter und billiger.

Normalerweise sind die metallisch ganz abgeschirmten und zu erdenden Quarzhalterungen - die Niederfrequenz-Typen ausgenommen - mit 2 Steckern mit 20 mm Abstand ausgerüstet.

Zur Erzielung höchster Zuverlässigkeit und aus herstellungstechnischen Gründen werden die mit einem * versehenen Quarze entsprechend der Bezeichnung je nach meiner Wahl mit der Hälfte oder einem Drittel der Grundfrequenz geliefert. Bei diesen Quarzen ist also deren 2. oder 3. Harmonische zu verwenden.

Bei Bestellung bitte ich um Angabe, ob der betr. Quarz als Steuerquarz oder Filterquarz Verwendung finden soll. Ferner bitte ich jeweils zu prüfen, ob - zumal für Eichzwecke - meine serienmäßig hergestellten Quarze mit **genormten** Frequenzen (Normalquarze) gewählt werden können.

Diese sind: Filterquarze 468 kHz,
Steuerquarze 10 kHz, 100 kHz, 156,00/468 kHz, 1000 kHz.

Steuerquarze 2-polig kHz	Filterquarze 2-polig kHz	Steuer-u. Filterquarze 3-polig kHz	TK in 10 ⁻⁶ bei 20° C	Genauigkeit		
				10 ⁻³ RM	10 ⁻⁴ RM	2·10 ⁻⁵ RM
—	—	1 ... 3,5	—5 ... —10	160.—	170.—	185.—
—	—	3,5 ... 50	—5 ... —10	130.—	140.—	155.—
50 ... 90	50 ... 90	—	0,1 ... 1	80.—	90.—	105.—
90,1 ... 250	90,1 ... 500	—	0,1 ... 1	60.—	70.—	85.—
—	—	100 ... 500	0,1 ... 1	80.—	90.—	105.—
*250 ... 750	—	—	0,1 ... 1	60.—	70.—	85.—
750 ... 10000	750 ... 6000	—	0,1 ... 1	80.—	90.—	105.—
*10000 ... 20000	—	—	0,1 ... 1	80.—	90.—	105.—

Lieferzeiten z. Zt. etwa **7-10** Monate für Normalquarze
Monate für andere Quarze

Liste Q - 11/46 3000

Abb. 7.7.9 a

Abb. 7.7.9 b

Erste Schwingquarze
aus dem Piezo-Werk
Heinz Evertz

Abb. 7.7.10
Werbung
für den Universal-
Eichprüfer

Universal-Empfänger-Eichprüfer

Type «UEP» mit eingebauten Quarzen zur Eichung u. Prüfung
von Rundfunkgeräten und zum Zwischenfrequenzabgleich

Listen anfordern!



HEINZ EVERTZ, Piezoelekt. Werkstätte
Stockdorf bei München, Gautinger Straße 3
Fernsprecher 89 4 77



Abb. 7.7.11
Quarz-Meßsender
Type UEP 156.468.100.1000 W

Dieser hier vorgestellte „UEP“ ist ein Universalgerät und vereinigt die Typen UEP, UEP 100 und UEP 1000. Ein wesentlicher Unterschied war hier auch durch ein eingebautes Netzteil zum direkten Anschluß an 200-V-Wechselspannung.

Das Gerät lieferte 3 Normalfrequenzen hoher Präzision. Die Eichfrequenzen, ganzzahlige Vielfache von 156, 100 und 1000 kHz, konnten bei der Empfängereichung im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich verwendet werden.

Zu diesem Quarz-Meßsender gab es noch das Zusatzgerät MZF, ein kombiniertes Modulations- und Zwischenfrequenz-Abgleichgerät.

Bisher mußte man sich in den einzelnen Bereichen zumeist eines Orientierungspunktes bedienen. Das neue Zusatzgerät MZF in Verbindung mit dem Quarz-Meßsender UEP 468/100/1000 modulierte die einzelnen Eichpunkte mit *verschiedenen*

Tonfrequenzen, welche für die Eichpunkte charakteristisch sind. Wenn man unter Anwendung dieses Meßverfahrens einen Empfänger durchdrehte, gleich, ob im Lang-, Mittel- oder Kurzwellenbereich, dann erschienen die verschiedenen Eichpunkte jeweils mit einer anderen Tonfrequenz moduliert. Die verschiedenen Tonfrequenzen waren also für jeden Eichpunkt bezeichnend. Mit diesem Gerät war man ebenfalls im Stande, alle normalerweise vorkommenden Zwischenfrequenzen abzugleichen, und zwar mit einer Genauigkeit von besser als 0,1%.

Zur Vervollständigung möchte ich noch die Einzeltypen der UEP-Reihe aufzählen:

- UEP 100 – für Prüfung und Abgleich der Lang- und Mittelwellenbereiche von Rundfunkempfängern
- UEP 468 – für Zwischenfrequenzabgleich an Rundfunkempfängern
- 470
- 473
- UEP 1000 – für Prüfung und Eichung der Kurzwellenbereiche von Rundfunkempfängern

Für die Eichung der höherfrequenten Kurzwellenbereiche gab es noch die Typen UEP 3000 und UEP 6000. Sie erleichterten wegen ihrer weiter auseinander liegenden Eichpunkte (Abstand 3 MHz bzw. 6 MHz) – besonders mit Rücksicht auf störende Spiegelfrequenzen – das sichere Auffinden und Abzählen der Eichpunkte.

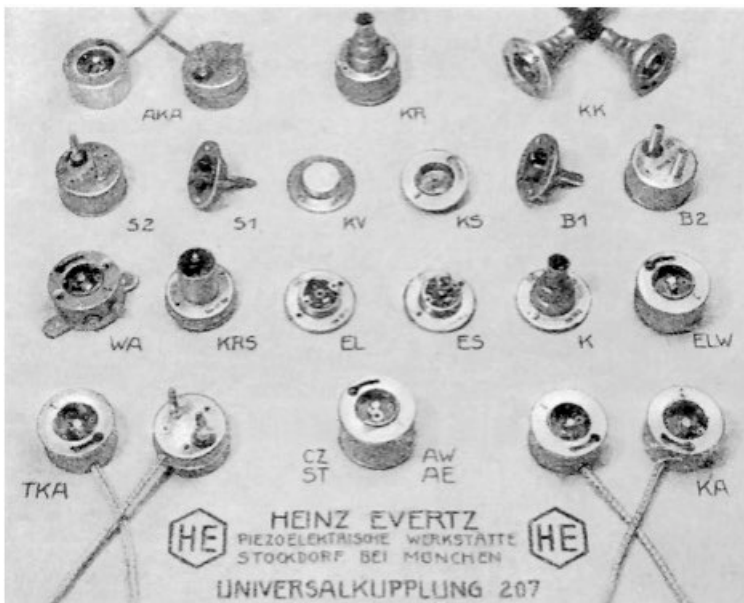


Abb. 7.7.12
Universalkupplungen
für die Evertzschen
Meßgeräte –
Übersicht

Für die Verwendung der UEP-Meßgeräte in Werkstatt und Betrieb hatte Evertz auch schon an zweckmäßige, abgeschirmte Verbindungsleitungen mit passenden Kupplungen gedacht. Dazu brachte er die neue „Universalkupplung Type 207“ heraus.

Im Gegensatz zu den bisher üblichen Kupplungen waren die neuen Universalkupplungen symmetrisch ausgeführt. Als Kupplung und Gegenstück wurden stets die gleichen Teile verwendet und mittels eines gut schließenden Bajonettverschlusses miteinander verbunden. Die Kontaktgabe des Mittelleiters geschah dabei durch Federkontakte und die des geerdeten Außenleiters durch den Bajonettverschluß selbst.

Die zweckmäßige Ausführung, elektrische Sicherheit und universelle Verwendbarkeit machten die Universalkupplung zu einem wertvollen Zubehör (*siehe auch Abb. 7.7.12*).

1948 – Jahr der Währungsreform – Heinz Evertz hatte für dieses Jahr viele Pläne, zudem bestand jetzt auch die Hoffnung, daß es in der Beschaffung von Material und Rohstoffen wohl keine großen Probleme mehr geben würde. Die Verwirklichung eines lang gehegten Wunsches, die Fertigung von Ultraschallgeräten aufzunehmen, war für die nächste Zeit auch geplant.

Ich möchte aber jetzt nicht vorgreifen, denn als wichtigstes stand in diesem Jahr ein Umzug in ein neues Fabrikationsgebäude im Vordergrund.

Der neue Standort war ebenfalls in Stockdorf, aber jetzt in der Bahnstraße 29, heute bekannt als Bennostraße 1. Die neue Lokalität bot jetzt viel Platz, und so konnte sich die Firma auch nach ihren Ansprüchen besser einrichten.

Abb. 7.7.13
Fabrikgebäude
Stockdorf,
Bahnstraße 29
(rechts und unten)



Abb. 7.7.14
Heinz Evertz



Abb. 7.7.15 Bildbericht über das Piezo-Werk Heinz Evertz

Legende zum Bildbericht (Abb. 7.7.15):

Brasilianische Naturquarze **1** zerlegt eine mit hoher Tourenzahl rotierende diamantbesetzte Trennscheibe **2**. – Die gesägten Platten werden unter Verwendung von Carborundum **3** auf genau voraus-berechnete Dicken planparallel geschliffen. – Beim Feinschliff **4** geht es um Toleranzen von $1/1000$ mm und weniger. – Letzte Korrekturen **5** und schließlich die Endprüfung mittels Vergleichsnormalien **6** müssen laufend durchgeführt werden. – Verdrahtung **7** von Universal-Empfänger-Eichprüfern, Steuerstufen und Normalfrequenzgeräten, in die man die fertigen Quarze einbaut.

Einen schwingenden Quarzstab für 1000 Hz zeigt die Abbildung **8** deutlich sind die Bewegungsamplituden durch die Unschärfen in der Mitte und an den Enden zu erkennen. Kristalle werden in einen Quarzsender **9** eingebaut und damit ein Rundfunkempfänger **10** geprüft und geeicht. Die Firma stellt auch viele Zubehörteile selbst her, so in der Stanzerei Universalkupplungen **11** und mit einer Tiefziehpresse **12** verschiedene andere Gegenstände für die Fertigung.

Aus diesem Anlaß gab Evertz wahrscheinlich damals diesen vorstehenden Bildbericht für Werbezwecke und zur Veröffentlichung in der Fachpresse in Auftrag, um einmal auch die Arbeiten in einer „Piezo-Firma“ darzustellen (Abb. 7.7.15).

Inzwischen gab es in seinem Schwingquarzprogramm einen neuen Quarz. Bei dieser Fertigung ging Evertz auch hier neue Wege. Es war ein Schwingquarz der Type St/Sch. 2 in einem Ganzmetall-(Blech)-Gehäuse. (Abb. 7.7.16).

Für die Schwingquarzeinhausung wurde damals aus der Produktion seiner Stecker- und Kupplungsreihe 207 die Gehäuseform AKA oder TKA. verwendet. Dies hatte sicher etwas mit einer Fertigungsverfahrenvereinfachung zu tun.

Auf Seite 344 wurde schon angedeutet, daß Evertz eine Fertigung von Ultraschallgeräten aufnehmen wollte – geplant war zuerst einmal für medizinische Zwecke. Schon vor längerer Zeit hatte er ein Standardmodell, den PUG 150, konzipiert. Auf Anregung namhafter Kliniken und Ärzte wurde der „Piezo-Vibrator Typ PUG 143“, ein Koffergerät, entwickelt (Abb. 7.7.17).

Zu den technischen Daten des Vibrators ein paar Angaben:

Schall-Leistung	0,25 bis 5 Watt regelbar
Schallintensität (Energiedichte)	1 W/ cm ²
Behandlungsfrequenz	1 MHz

Dieser „Piezo-Vibrator“ bildete den Abschluß langer Forschung, Entwicklung und Erprobung. – Als Präzisionserzeugnis ersten Ranges, sowie durch seine solide Ausführung, konnte das Gerät mit Recht als ein ideales Gerät unter den Ultraschallgeräten bezeichnet werden. Eine auffallend starke Verbreitung dieses Gerätes, welche bezeichnender Weise besonders seit dem Zeitpunkt der Erlanger Ultraschalltagung im Mai 1949 einsetzte, war offenbar dem Umstande zu verdanken, daß die bemerkenswerten guten therapeutischen und technisch-physikalischen Eigenschaften schnell bekannt wurden. Mit einer erstmaligen sinnvollen Leistungsbegrenzung bei einer ausreichenden Leistungsreserve konnte man auch diejenigen Ärzte gewinnen, die sich bis dahin noch zurückhaltend verhalten hatten.



Abb. 7.7.16
Schwingquarz Type ST/ Sch. 2

Der Piezo-Vibrator ist in einer großen Stückzahl verkauft worden (sogar in einigen tausend Exemplaren, wie von einigen Leuten behauptet wurde, die noch eine bessere Kenntnis hatten).

Für Ärzte und Interessenten gab Evertz auch ein Mitteilungsblatt heraus,

„Die Ultraschall-Praxis“, welches in zwangloser Folge erschien. –

In einer Spezial-Sammlung, welche besonders Literatur über Ultraschall-Technik archivierte, sind zahlreiche Ultraschallstatistiken (Rundschreiben an die Ärzte) über das Ultraschall-gerät der Firma Evertz erhalten geblieben. In 90 % der Statistiken gab es für Evertz eine gute Beurteilung!

Zum Piezo-Vibrator einige Bilder:



Abb. 7.7.17
Piezo-Vibrator – Koffermodell



Abb. 7.7.18
Piezo-Vibrator PUG 143



Abb. 7.7.19
Vibrator mit Behandlungskopf

Abb. 7.7.20
Behandlungskopf, gewinkelte Form mit aufgesetztem Kegeltubus (links)
Behandlungskopf, gesteckte Form mit aufgesetztem Konvextubus (rechts)



Das Geschäft mit den Ultraschallgeräten, inzwischen wurden auch Geräte für technische Zwecke hergestellt, weitete sich enorm aus – es „boomte“.

Über längere Zeit ist von der Firma über die Schwingquarzfertigung kaum etwas berichtet worden. Ob nun damals im Piezo-Werk die Entwicklung und Fertigung von Schwingquarzen zu Gunsten der Herstellung und des Vertriebs von Fertiggeräten zurücktreten mußte, läßt sich heute nicht mehr nachvollziehen. Erst im Jahr 1952 etwa erschien wieder ein neuer Quarzprospekt.

Ein kleiner Auszug daraus in den *Abb. 7.7.21 bis 7.7.23*.

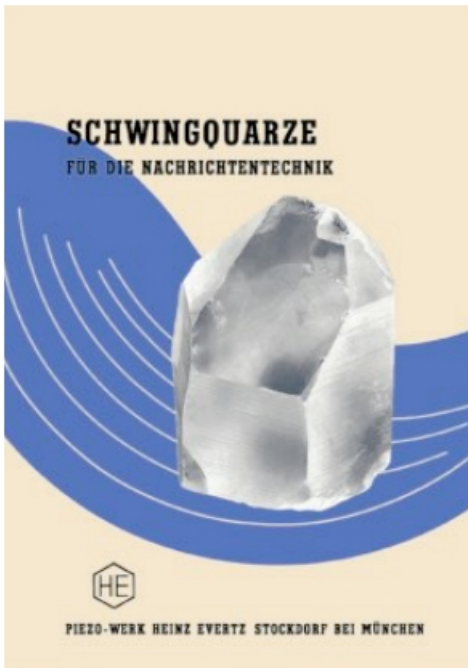


Abb. 7.7.21
Titelblatt

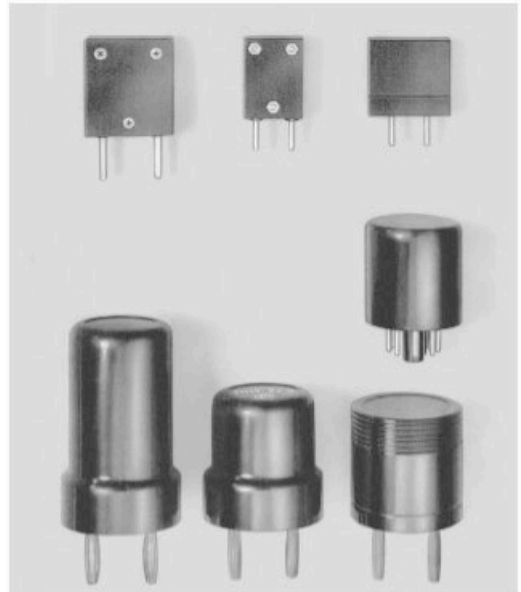


Abb. 7.7.22 (rechts)
Haltertypen aus Bakelit

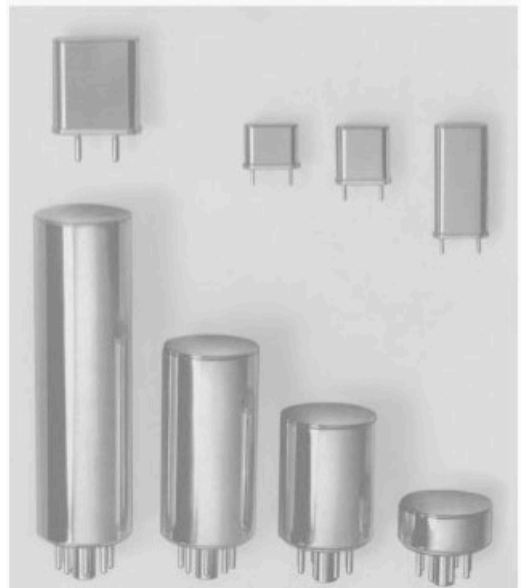


Abb. 7.7.23 (rechts unten)
Haltertypen aus luftdicht verlöteter
Metallausführung

Es waren – die letzten – Schwingquarze aus dem Hause Evertz.

1954 mußte Heinz Evertz Konkurs anmelden. – Ein kaufmännischer Mitarbeiter wirtschaftete längere Zeit mit einer unwahrscheinlichen Raffinesse in seine eigene Tasche. –

Ich habe leider Heinz Evertz erst im Jahre 1985 kennengelernt.
Mein Eindruck war damals, diesen Schock hat er nie verwunden und die ganze Tragik hat ihn still gemacht.

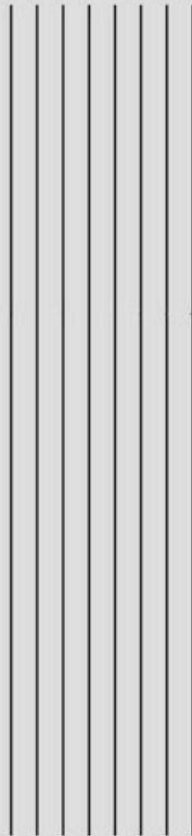
Ehemalige Mitarbeiter und Freunde kannten Heinz Evertz nur als liebenswerten, herzlichen Menschen, und er war auch früher nach seiner Vaterstadt Köln kein Mensch von Traurigkeit. – Im Jahre 1992 starb Heinz Evertz in Ottobeuren.



QUARZKERAMIK

G. M. B. H.

STOCKDORF BEI MÜNCHEN



QUARZKRISTALLE - SCHWINGQUARZE - QUARZOSZILLATOREN UND FILTER
FÜR NACHRICHTEN UND MESSTECHNIK - KERAMISCHE KONDENSATOREN

7.8 Quarzkeramik; Stockdorf/München

Die Firmengeschichte von Rohde & Schwarz beginnt, um es genau zu sagen, eigentlich in Jena. –

Dort trafen im Spätjahr 1929 die beiden Physikstudenten Lothar Rohde und Hermann Schwarz bei experimentellen Versuchen von Prof. A. Esau mit Ultrakurzwellen auf einer Wiese im Saaletal zusammen.

Der Leser wird sich nun fragen: was hat dies eigentlich mit der Firma Quarzkeramik zu tun? –

Dazu muß ich aber etwas weiter ausholen ...

Die beiden angehenden Physiker trafen sich dann noch öfter im Freundeskreis der Studenten um Professor Esau.

Im Jahre 1931 promovierten die beiden Physiker.

Durch die schlechten wirtschaftlichen Verhältnisse jener Zeit verblieben sie aber noch zwei Jahre als Assistenten an der Universität Jena.

Durch ein Meßproblem, welches von der Firma Hescho (Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft) an sie herangetragen wurde, trafen sie mit dem Oberingenieur Hans Handrek von dieser Firma zusammen.

Auf diesem Weg wurden die ersten Industriekontakte geknüpft, die schließlich 1933 zum Entschluß der Selbständigkeit und zum Umzug nach München führten.

In der Münchner Thierschstraße 36 wurde im Parterre eine 120 qm große Wohnung gemietet.

Dies geschah am 11. November 1933 und war somit die Gründungsstätte des

Physikalisch-Technischen Entwicklungslabors (PTE)
Dr. Rohde & Dr. Schwarz

Die Wohnung in der Thierschstraße wurde in ein Labor umfunktioniert und mit dem mitgebrachten Auftrag für drei Kondensator-Sortiergeräte und ein Verlustfaktor-meßgerät ging es ans Werk.

Das Geschäft bei Hescho entwickelte sich mit den keramischen Isoliermaterialien so gut, daß ein laufender Bedarf an Meßgeräten bestand.

Die Aufträge aus dem In- und Ausland mehrten sich ebenfalls, so daß die Räume in der Thierschstraße bald zu klein wurden.

Mit den zunehmenden Aufträgen wuchs aber auch die Zahl der Mitarbeiter, und als die Zahl 40 überschritten war, mußten unbedingt neue Räume gefunden werden.

Es war Zufall, daß am Münchner Tassiloplatz Nr. 7 ein Anwesen (eine ehemalige Großbäckerei) gerade frei wurde.

Damit war die Firma für ein weiteres Wachstum gerüstet.



Abb. 7.8.1 Firmengebäude Tassiloplatz 7

**Meßgeräte und Hilfsmittel
für die Hochfrequenztechnik**

Frequenzmesser
in allen Bereichen von 5 Hz ... 3000 MHz

**Kapazitäts-, Selbstinduktions- und
Verlustfaktormesser**
mit direkter Eichung für Laboratorium und
Betrieb

Frequenzunabhängige Röhrenvoltmeter
bis 600 MHz von 0,03 ... 50000 Volt

Feldstärke-Meßgeräte
von 100 kHz ... 100 MHz

Meßsender und Empfänger-Prüfsender
von 20 Hz ... 1000 MHz

Steuer- und Filterquarze

Regelbare Hochspannungsgleichrichter

Regeltransformatoren

Physikal.-techn. Entwicklungslabor
Dr. Rohde & Dr. Schwarz, München 9
Tassiloplatz 7

Abb. 7.8.2

Im Firmenprofil Steeg & Reuter erwähnte ich schon den Wechsel von Heinz Evertz zur Firma Rohde & Schwarz im Jahre 1937.

Dem Wechsel waren viele Gespräche und auch ein reger Briefwechsel vorausgegangen, bis Evertz zu dieser Veränderung bereit war.

Als Eintrittsdatum kann man den 1. September 1937 verzeichnen.

Rohde & Schwarz benötigte für das sich ausweitende Meßgeräte-Programm zunehmend maßgeschneiderte Quarzoszillatoren.

Evertz sollte dafür im Hause eine piezo-elektrische Werkstätte aufbauen.

Diese Aufgabe war für ihn so richtig nach seinen Vorstellungen und Wünschen.

In einer ersten Anzeige in der Zeitschrift für Hochfrequenz und Elektroakustik wurde das Fertigungsprogramm für Meßgeräte, **Steuer- und Filterquarze** vorgestellt (Abb. 7.8.2).

Mit zu den ersten gefertigten Schwingquarzen gehörten in der Hauptsache Niederfrequenzquarze von 800 Hz bis 50 kHz (*Abb. 7.8.3 und 7.8.4*). Für diese Frequenzen kamen im wesentlichen Biegeschwinger in Frage. H. Evertz widmete sich nach seinem Eintritt bei Rohde & Schwarz mit großem Einsatz diesen Biegeschwingern für Ton- und Mittelfrequenz. Er entwickelte die in den unten stehenden Abbildungen 7.8.3 und 7.8.4 gezeigten Halterungsformen.

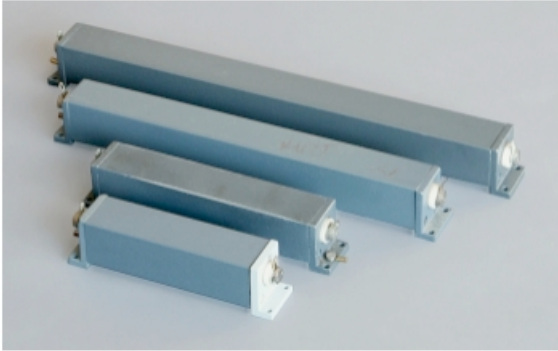
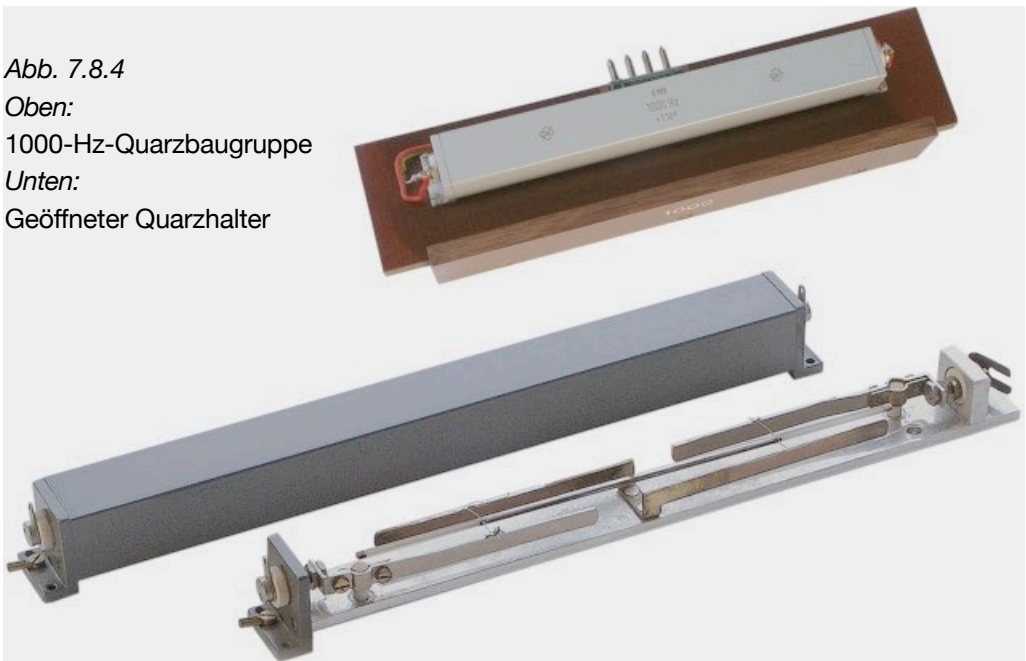


Abb. 7.8.3
Die vier Halterungsgrößen
für den Frequenzbereich von
800 Hz bis 50 000 Hz

Abb. 7.8.4

Oben:
1000-Hz-Quarzbaugruppe
Unten:
Geöffneter Quarzhalter



In der *Abb. 7.8.4* erkennt man das Innere des Quarzhalters mit dahinter liegender Schirmhülle. Weiter sind im Innern gut die Stützpunkte für die Anlötung der quarztragenden Drähte zu sehen. Die Befestigung der Quarze erfolgt also durch Anlötung

von Drähten in zwei Knotenstellen. Die Dämpfung der Quarze wird durch die Aufhängung stark beeinflusst. Praktisch kommt deshalb nur das Anlöten an Drähten in Frage, da nur so die Eigenschaften des Quarzes über lange Zeit konstant bleiben. Die oben vorgestellte Ausführung hat sich als technisch zweckmäßig erwiesen und zeichnet sich auch durch einen geringen Platzbedarf aus.

Dr. Rohde hatte schon während seines Studiums Überlegungen angestellt, Geräte für Frequenzmessungen und Normalfrequenz zu entwickeln und zu bauen. Für ihn galt stets das Wort des Physikers Max Planck: „In der Physik existiert nur, was gemessen ist.“

Er erweiterte dieses Planck-Wort jetzt auch für die Technik!

Übrigens, noch während der Tätigkeit der beiden Physiker an der Universität Jena entstand als gemeinsame Entwicklung ein „Interferenzwellenmesser mit großem Wellenbereich für das Laboratorium“ (damals noch mit Loewe- Quarzen bestückt) –

Abb. 7.8.6.

Dieser Präzisionsfrequenzmesser war der Prototyp des später bekannten Allwellenfrequenzmessers WIP.

Die ständig steigende Anwendung von drahtlosen und drahtgebunden Verbindungen zwang dazu, die vorhandenen Frequenzbänder besser auszunutzen. Um gegenseitige Störungen zu vermeiden, müssen deshalb die verwendeten Trägerfrequenzen sehr genau auf ihrem Sollwert gehalten werden.

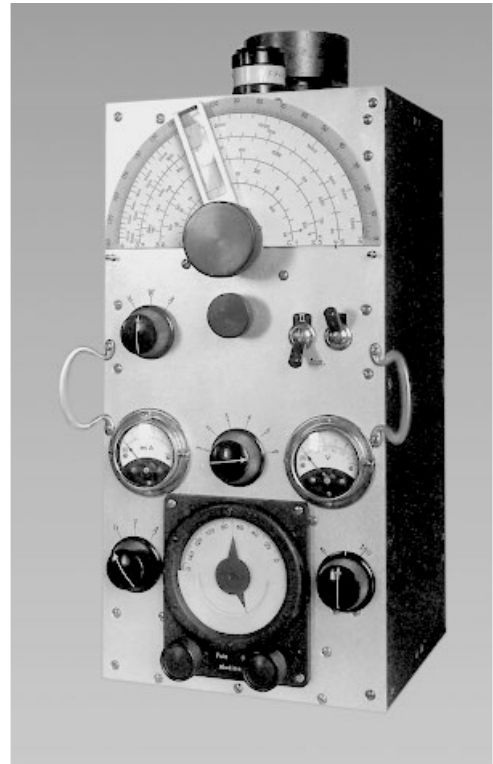
Abb. 7.8.6

Präzisionsfrequenzmesser
für 6 bis 3600 m
von 1932



Abb. 7.8.5

Filterquarze in zwei verschiedenen Ausführungen



Im transatlantischen Kurzwellenbetrieb ebenso wie im Gleichwellenbetrieb und bei den Trägerfrequenzanlagen der Post ergaben sich hohe Anforderungen an die Frequenzkonstanz.

Aber auch Entwicklung, Fertigung und Prüffeld von Firmen der Nachrichtengeräte-industrie setzten das Vorhandensein genauer Normalfrequenzen voraus.

Nicht zu vergessen ist auch die Uhrenindustrie. Sie benötigt zum Abgleich sowie zur Regulierung und Beobachtung ihrer Uhren eine Versorgung mit einer Normalfrequenz von 50 Hz.

Das Haus Rohde & Schwarz hatte es sich zur Aufgabe gemacht, eine allgemeine Grundlage für die Frequenzmessung und die Erzeugung von Normalfrequenzen zu schaffen (*siehe auch Seite 354*). Die Entwicklung ging dahin, verschiedene Generatoren und die dazugehörigen Verfahren und Hilfsmittel zu erstellen.

Ein offensichtliches Bedürfnis nach einem hochwertigen Frequenznormal führte im Jahr 1937 zum Entschluß, eine „Quarzuhr“ zu entwickeln.

Quarzuhren gab es wohl damals schon, wie z. B. die Quarzuhren der Physikalisch- Technischen Reichsanstalt Berlin, und auch die Deutsche Seewarte in Hamburg und ein paar Sternwarten hatten solche Uhren. Rohde vertrat dabei die Meinung, es sollte kein Einzelgerät zur Zeitbewahrung sein, sondern er wollte den dortigen *physikalischen* Anlagen eine *technische* Anlage gegenüber stellen.

1938 erschien die erste tragbare Quarzuhr der Welt auf dem Markt (und trotz 36 kg Gewicht noch recht handlich!).

Die wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung der Quarzuhr war das Patent Nr. 691848 vom 7. Juli 1937: Dr. Lothar Rohde – Piezoelektrisch gesteuertes Zeitnormal (*Abb. 7.8.7*).

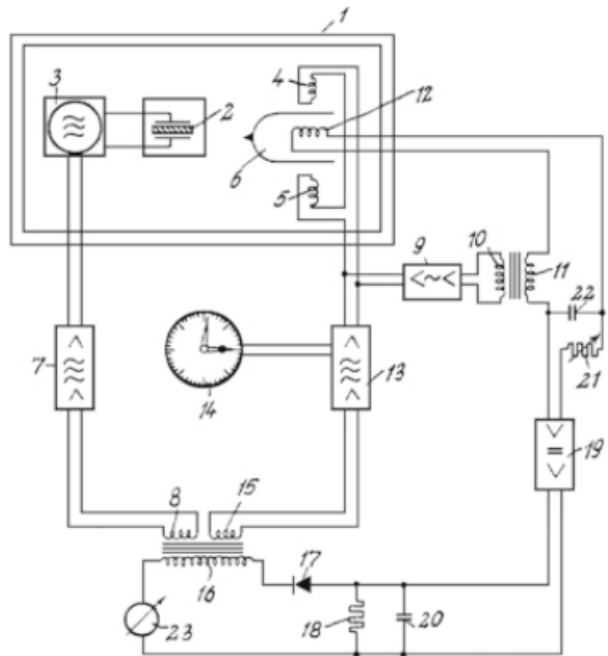


Abb. 7.8.7 Auszug aus der Patentschrift

In einer englischen Veröffentlichung über Quarzuhren konnte man damals lesen:
– Lothar Rohde’s revolutionary “portable” quartz clock. –

Der wichtigste Teil einer Quarzuhr ist letztendlich der Quarz. Von ihm hängt doch entscheidend die Genauigkeit ab. Bei den allerersten Quarzuhren waren es noch Schwingquarze, hergestellt von der Firma D. S. Loewe, Berlin (*siehe auch Kapitel 7.3 – Loewe-Opta*).

Der 100-kHz-Quarz arbeitet hier in einem Vakuum von 0,1 mm Quecksilbersäule und ist auf $\pm 0,0005$ % seines Sollwertes geschliffen. Daß man den Quarz sehr genau auf seine wahre Frequenz schleift, ist für die Anwendung in einer Quarzuhr von wesentlicher Bedeutung. Die Herstellung dieser genauen Quarze bereitete in damaliger Zeit große Schwierigkeiten und erforderte ein mehrfaches Aussuchen und ein öfteres Ein- und Ausschmelzen in dem Glasgefäß.

Da die Quarzuhr zur Zeitanzeige und ebenfalls zur Entnahme von Normalfrequenzen gedacht war, mußte eine Quarzfrequenz von 100,000 000 Hz verlangt werden. Die natürliche Frequenz des Quarzes konnte man nur um den Betrag von von einigen Millionstel ziehen.

Probleme gab es da zuerst bei der Alterung der Quarze.

Umfangreiche Untersuchungen über das Einlaufen des Schwingers mußten durchgeführt werden. Von großem Einfluß war hier die Halterung des Quarzes, sowie seine Amplitude.

In diesem Zusammenhang wurde auch eine neue Quarzhalterung untersucht, bei der der Quarz jetzt feuerversilbert und durch angelötete Stifte getragen wurde.

Darüber zu berichten, würde ein besonderes Kapitel ergeben, aber wie ja der Fortschritt zeigte, war diese Halterung besonders konstant.

Die Firma **Quarzkeramik GmbH** wurde im Jahr 1939 von den Physikern Dr. Rohde und Dr. Schwarz zusammen mit dem Oberingenieur Hans Handrek in München gegründet. Herr Handrek von der Firma Hescho/Hermsdorf war in der Zwischenzeit zu Rohde & Schwarz übergewechselt. Der Firmenstart der Quarzkeramik fand damals noch in gemieteten Räumen am Münchner Tassiloplatz statt. Wegen des zunehmenden Platzbedarfs übersiedelte dann die Firma 1941 nach Gauting-Stockdorf, etwa 15 km südlich der bayerischen Landeshauptstadt. Die Firma erwarb dort ein 23000 qm großes Gesamtareal mit einer ehemaligen Hufnagelschmiede. Die nachstehende Aufnahme (*Abb. 7.8.8*) zeigt hier die neuen Firmengebäude. Das mittlere, ziegelgedeckte Haus (die Hufnagelschmiede) ist die eigentliche Keimzelle der Firma.

Im Jahre 1949 wurde zusätzlich zur Quarzherstellung die von Anfang an geplante Fertigung von keramischen Kondensatoren und Trimmern aufgenommen. Daher auch der Name QUARZKERAMIK.

Die Fertigung keramischer Kondensatoren wurde aber 1960 wieder aufgegeben, da sich die Firma in der Folgezeit immer mehr auf die Entwicklung und Herstellung von hochwertigen Schwingquarzen, Quarzfiltern und Quarzthermostaten konzentrieren wollte.

In dieser Zeit entstanden auch die ersten Vergrößerungen bei den Firmengebäuden (*Abb. 7.8.9*).



Abb. 7.8.8 Die ersten Firmengebäude



Abb. 7.8.9 Eingangsgebäude aus der Gründerzeit –
im Hintergrund Erweiterungsbauten

In den Jahren 1939 und 1940 erschienen in der Zeitschrift für technische Physik die ersten Veröffentlichungen von Dr. Rohde wie z. B. folgende Artikel:

„*Neuartige Steuer- und Filterquarze*“ und „*Tonfrequente Steuer- und Filterquarze*“.

Er schrieb sehr anschaulich über die im Labor der Firma entwickelten Steuerquarze und stellte hier für einen Längsschwinger eine neue Halterung vor, wie in Abb. 7.8.10 gezeigt.

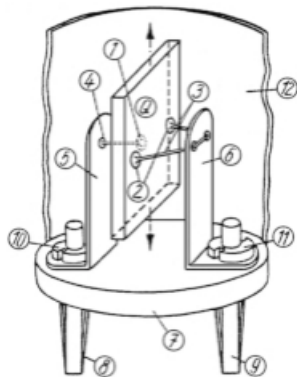
Als weitere Neuheit wurde der Thermostat-Quarz Type QNT vorgestellt.

Er wurde für die Quarze im Frequenzbereich von 90–250 kHz angeboten.

Die vorstehende Ausführung stellt einen langwelligen als Längsschwinger ausgebildeten Quarz dar (siehe Datenblatt in Abb. 7.8.11).

Der Thermostat beinhaltet den nach Abb. 7.8.10 gehaltenen Quarz.

Abb. 7.8.10
Schematische Darstellung
des neuen Quarzhalters



Der Quarz ist an den Positionen 1 bis 3 an Drähten angelötet. Diese dienen gleichzeitig als Zuführung und Halterung und sind an die Zuführungen 5 und 6 angelötet. Der Sockel 7 besteht aus einem hochwertigen Isolierstoff (Calit) und die Metallkappe 12 schirmt den Quarz gegen äußere Einflüsse ab.

Abb. 7.8.11
Datenblatt Thermostatquarz Typ QNT

Thermostat-Quarz

Type QNT

Eigenschaften:	
Frequenz	100 kHz
Frequenzkonstanz	$5 \times 10^{-6} (-10^\circ \dots + 30^\circ \text{C})$
Kapazität	16 ... 20 pF
Eigendämpfung	ca. 0,0004
Absolutgenauigkeit der Frequenzangabe	100,00 kHz $\pm 0,002\%$
Anheizzeit des Thermostaten	ca. 2 1/2 min. bei 20° C Außentemperatur
Stromverbrauch	ca. 400 mA
Betriebsspannung	4 Volt =
Abmessungen:	
	Höhe des Gehäuses 55 mm
	Durchmesser 40 mm
Gewicht:	
	120 g

Der vorgestellte Quarz war besonders für bewegliche Anlagen und Geräte gedacht. Er mußte hier, bei Einhaltung einer bestimmten Konstanz, zusätzlich eine möglichst kurze Anheizzeit, geringen Heizleistungsverbrauch und eine kleine räumliche Abmessung besitzen. Ein dritter Punkt in den Veröffentlichungen betraf die Filterquarze.

Eingangs führte er aus:

„Wenn zur Aussiebung eines sehr schmalen Frequenzbandes einfache Kreise oder Bandfilteranordnungen nicht mehr ausreichen, werden Quarze als Filter angewendet. Der Quarz in Stromresonanz bildet einen frequenzabhängigen Widerstand, dessen

Filtergüte um so größer ist, je höhere Widerstandswerte er neben seiner Eigenfrequenz erreicht. Durch die unvermeidliche Parallelkapazität gewöhnlicher Quarze ist der höchste erreichbare Sperrwiderstand jedoch begrenzt, so daß das Verhältnis von Durchlaß- zu Sperrbereich nicht ideal gestaltet werden kann. Zur Vermeidung dieser schädlichen Parallelkapazität besitzt der neue Filterquarz QFL entsprechend dem abgebildeten Prinzipschema drei Elektrodenbeläge, deren mittlerer zusammen mit der geerdeten Gegenseite (0) als kapazitiver Schirm zwischen den Elektroden 1 und 2 wirkt. Die eine äußere Elektrode dient zur Anregung des Quarzes, während von der anderen die gefilterte Frequenz abgenommen wird. Da die Übertragung der Resonanzspannung von Elektrode 1 auf Elektrode 2 oder umgekehrt über die Eigenschwingung des ganzen Quarzstückes erfolgt, wird nur die Eigenfrequenz durchgelassen. In der Nähe liegende Nebenfrequenzen oder störende Resonanzen treten nicht auf. Die Halbwertsbreite der vollkommen symmetrischen Resonanzkurve liegt bei normalen Ausführungen unter $1 \cdot 10^{-4}$. Das Verhältnis von Durchlaß- zu Sperrwiderstand kann dabei bis zu Werten von über $1 : 5000$ ausgenutzt werden.

In Sonderausführungen können unsere Filterquarze als Längsschwinger auch bereits ab 30 kHz geliefert werden. Das dreipolige Schaltelement, welches der Filterquarz QFL darstellt, ermöglicht eine Reihe neuartiger Schaltungen. Unter anderem kann z. B. eine Steuerschaltung ausgeführt werden, außer dem Quarz nur ohmsche Widerstände enthält. Die Frequenzbeeinflussung durch äußere Schaltelemente innerhalb gewisser Grenzen (z. B. Röhrenkapazitäten) liegt dabei unter 10^{-6} .

Abb. 7.8.12 zeigt einen Auszug aus dem Filter-Datenblatt.

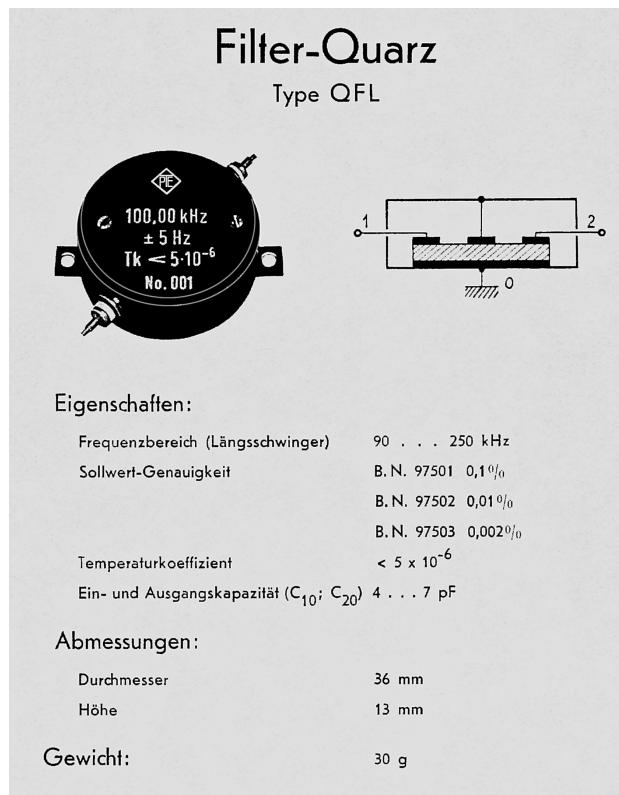


Abb. 7.8.12 Filterquarz QFL

In den aufgezeigten Arbeiten wurden kurz die neu entwickelten Steuer- und Filterquarze vorgestellt, welche geeignet sind, die hohen Anforderungen, die zu dieser Zeit gestellt wurden, zu erfüllen. Bei der neuen Art von Filterquarzen wurde besonders gezeigt, daß es gelang, die Eigenschaften des Quarzes noch weitgehender auszunutzen, als es bisher möglich war.

In den folgenden Jahren expandierte die Quarzkeramik trotz unvorhergesehener Rückschläge enorm. Neu war damals bei dieser Firma: sie bot neben ihrem Kundendienst außerdem technische Beratung und Unterstützung an.

Abb. 7.8.13 Ein Querschnitt der Fertigung aus dem Jahr 1941

Steuer- und Filterquarze

Steuer- quarze 2polig kHz	Filter- quarze 2polig kHz	Steuer- u. Filterquarze 3polig kHz	Thermo- stataus- führungen kHz	TK in 10 ⁻⁶ Einh. bei 20° C	Max. Δ f in ± 10 ⁻⁶ Einh.	Bestell-Nummern Sollwert-Genauigkeit		
						0,1 ‰	0,01 ‰	0,002 ‰
		1 ... <15		-5 ... -12		97504	97505	97506
		15 ... 50		-5 ... -15		97507	97508	97509
50 ... 75	50 ... 75			-3 ... -6		97103	97104	97105
75 ... 90	75 ... 90			-3 ... -6		97106	97107	97108
		75 ... 90		-3 ... -6		97513	97514	97515
90 ... 150	90 ... 150			-3 ... -6		97109	97110	97111
		90 ... 200		-3 ... -6		97501	97502	97503
90 ... 150	90 ... 150		90 ... 150		1	9780	9781	97803
	150 ... 500			-3 ... -6		97130	97131	97132
500 ... 10000				± 0,1 ... 2		97115	97116	97117
	500 ... 10000			± 0,1 ... 2		97133	97134	97135
10000 ... 20000	10000 ... 20000			± 0,1 ... 2		97118	97119	97120
100				-3 ... -6				9700
100			100		1			9782
100				± 0,1 ... 0,2				9701
		100		± 0,1 ... 0,2				9750

In der Zeit des Zweiten Weltkrieges war die Firma, wie auch die anderen Schwingquarzhersteller, vom Rüstungsministerium in die Fertigung von Quarzen für die Wehrmacht eingebunden. Über die Wehrmachts-Quarzfertigung ist allerdings heute nicht mehr viel bekannt. Laut Statistik von Dr. Bechmann fertigte die Firma im Dezember 1944 mit 37 Mitarbeitern noch 200 Quarze. Über die Verwendung eines Spezialquarzes von 29,5 kHz ist noch etwas überliefert.

Dieser Quarz war für den Impuls-Höhenmesser Fug. 102 a vorgesehen. Diese Version diente vornehmlich zur Bestimmung der Flughöhe über Grund für den Bombenabwurf und war bei den Bombern der Typen JU 188 und He 177 zu finden.



In Abb. 7.8.14 sind auch ein paar Schwingquarzexemplare aus dem Jahr 1945 zu sehen.

Wahrscheinlich sind sie noch in den letzten Kriegstagen gefertigt worden – Verwendung und Einsatz unbekannt.

Abb. 7.8.14

Schwingquarze aus Kriegsfertigung

Heinz Evertz verließ 1945 die Quarzkeramik und gründete in Stockdorf eine eigene Firma, das

PIEZO-WERK
Heinz Evertz

In *Kapitel 4* wurde schon erwähnt, wie die Firma Quarzkeramik zu ihrem ersten großen Nachkriegsauftrag kam. Damals ließ die US-Luftwaffe ihre gesamten Quarzbestände von den im Krieg verwendeten Frequenzen auf neue Kanäle umschleifen. Nebenbei wurden auch noch neue FT-243-Quarze gefertigt.

Die ersten Kundenanfragen an die Quarzkeramik kamen schon Ende 1945, nachdem bekannt geworden war, daß die Firma schon Quarze gefertigt hatte (Lieferung an die US-Luftwaffe!).

Mitte des Jahres 1946 konnte, wenn auch sehr spärlich, die Neuproduktion aufgenommen werden. Dies war in der Hauptsache nur möglich, da aus der Wehrmachtsfertigung noch Preßstoffhalter in kleinen Mengen vorhanden waren.

Die folgende kleine Zusammenstellung (Abb. 7.8.15) dokumentiert am besten den Neuanfang.

Abb. 7.8.15

Erste Nachkriegs-Aktivitäten
bei „QK“ (1945/1946)

links: ein umgeschliffener
„CHANNEL-Quarz“

rechts oben: QL1 – einer der
ersten Schwingquarze für

zivilen Bedarf noch in einem
Telefunken-Preßstoffgehäuse

darunter: FT-243-Quarze
aus der Neufertigung

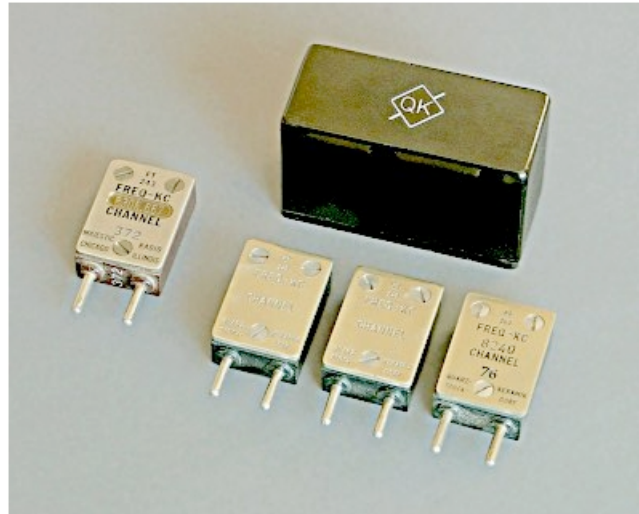


Abb. 7.8.16 Hans Handrek



Abb. 7.8.17 Normalfrequenzoszillator 240 kHz

Auf Seite 356 wurde schon darauf hingewiesen, daß die Firma 1949 die Fertigung von keramischen Kondensatoren aufgenommen hatte.

Hans Handrek war Spezialist in dieser keramischen Fertigungstechnologie, und so wurde mit großem Elan diese Fertigung intensiviert.

Die Produktion wurde aber etwa 10 Jahren eingestellt, da sich die Firma vermehrt der modernen Schwingquarzfertigung widmen wollte.

In der Zwischenzeit erreichten aber auch viele Anfragen und Bestellungen über komplette Quarzoszillatoren die Firma.

Einen der ersten ausgelieferten Normalfrequenzgeneratoren $f : 240 \text{ kHz}$ für die Firma TEKADE zeigt die Aufnahme (Abb. 7.8.17).

In Kapitel 4 – Wie Schwingquarze entstehen – wurde auch kurz berichtet, daß sich das Handling in der Schwingquarzfertigung gänzlich gewandelt hat.

Bei der Quarzkeramik gab es ebenfalls Probleme in der Umstellung, wie z. B. bei den Arbeitsgängen: Reinigung – Ätzen – Aufdampfen.

Fachspezialisten wurden damals noch zur Unterstützung der Fertigung eingestellt.

Der neue Fertigungsleiter Dr. Neldel befaßte sich auch mit großem Engagement mit der speziellen Dünnschichttechnik.

Die folgenden Aufnahmen zeigen die neuen modernen Arbeitsplätze der Quarzfertigung aus den 1950er Jahren (Abb. 7.8.18 bis 7.8.23).

Abb. 7.8.18
Röntgenmeßtisch
zur Bestimmung der
Schnittebene



Abb. 7.8.19
Quarzsäge



Abb. 7.8.20
Spezialschleifmaschinen. – Beide Parallelfächen
werden hier gleichzeitig geschliffen.
Links eine geöffnete Maschine.



Abb. 7.8.21 Metallisierung der Quarze durch Bedampfung im Hochvakuum



Abb. 7.8.22 Einzelaufdampfung zum Feinabgleich. Auf dem kleinen Pulttisch ein geschlossener und ein geöffneter Rezipient. Darüber die Kontroll- und Meßeinrichtung



Abb. 7.8.23 Meß- und Prüffeld

Seit der Gründung der Firma war es immer das Geschäftsprinzip, Qualität zu produzieren. „Jedes Erzeugnis“ unterliegt strengsten Kontrollen während der gesamten Fertigung. Eine individuelle Identifikationsnummer gibt Auskunft über Herstellungsablauf, Fertigungsverfahren und die in der Endkontrolle gemessenen Daten.

Diese werden archiviert. So ist es auch noch nach vielen Jahren möglich, Aussagen über das Langzeitverhalten der hergestellten Produkte zu machen.

Die Quarzherstellung ebenso wie die Fertigung von Quarzfiltern und Thermostaten weitete sich in den folgenden Jahren enorm aus.

Die untenstehende Produktübersicht zeigt bildlich die Fortschritte in der Entwicklung in den verschiedenen Zeitabschnitten auf (Abb. 7.8.24 bis 7.8.31).



Abb. 7.8.24
Fertigung bis \approx 1970



Abb. 7.8.25
Fertigung bis 1995



Abb. 7.8.26
Präzisionsquarz, 1 MHz
Uhrenquarz) – über der
Keramikplatte ist die dünne
Quarzscheibe federnd
aufgehängt – 1963/1965



Abb. 7.8.27

Fertigung: NF-Quarze bis 1995, HF-Quarze bis 1997 – dann KVG

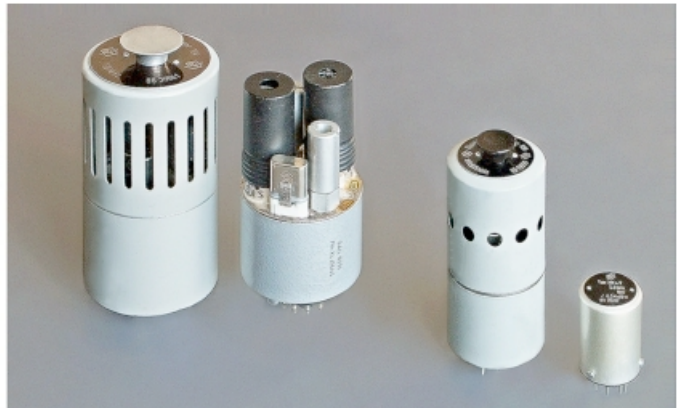


Abb. 7.8.28

links: einer der ersten Quarzoszillatoren mit Thermostat und Miniaturröhren
rechts: Quarzoszillatoren ohne Thermostat Fertigung bis 1997 – dann KVG

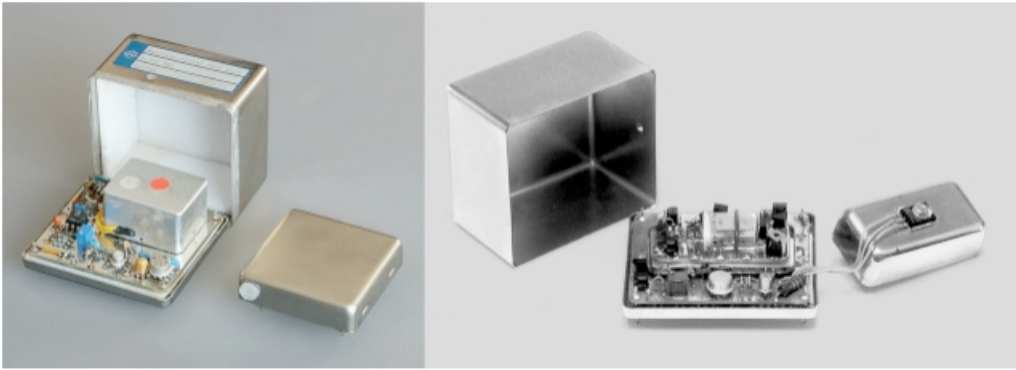
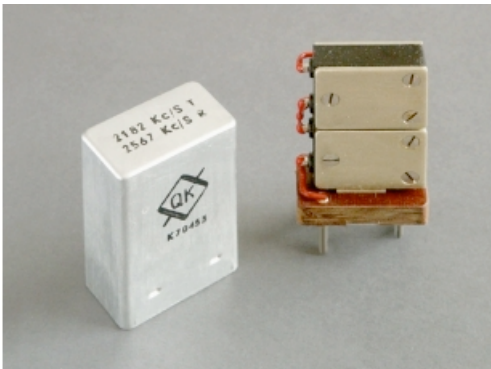
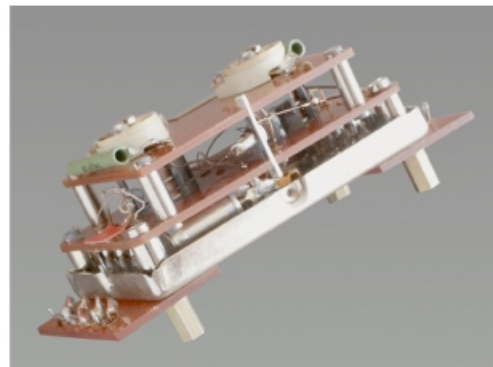
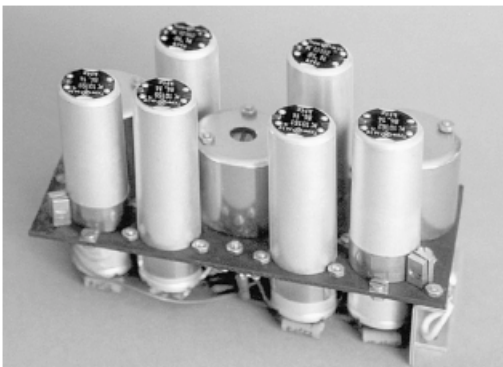


Abb. 7.8.29 Transistor-Quarzoszillatoren mit Thermostat

Abb. 7.8.30 Diverse Quarzfilter



Eine erste Ausführung noch mit FT-243-Quarzen



Fertigung \approx 1960 für Trägerfrequenzgeräte



Abb. 7.8.31 Diverse Quarzthermostate
links: Spezialausführungen für Niederfrequenzquarze
rechts: Diese Ausführungen sind teilweise auch für die Aufnahme von
 zwei Quarzen geeignet

Quarzkeramik produzierte Quarztypen, die von vielen anderen Quarzfirmen nicht hergestellt werden konnten. Hierzu zählen besonders auch die Niederfrequenzquarze ab 0,8 kHz in Spezialausführung.

Eine besondere Herausforderung ergab sich in den Jahren 1987/1988, als die Firma Wissenschaftlich-Technische Werkstätten Dr. Slevogt in Weilheim an die Firma Quarzkeramik mit einer Anfrage über die Herstellung von Leuchtquarzen herantrat. Die Firma WTW fertigte elektronische Meßgeräte für chemisch-physikalische Untersuchungen. Dazu gehörte im besonderen ein Meßgerät zur Schnellbestimmung des Wassergehaltes in Massengütern wie Getreide.

Mit dem Gerät „Hygrofix“ konnte der Gehalt von H₂O im Bereich von 0 % bis 40 % bestimmt werden.

Zur Abstimmung diente als Indikator ein 1800-kHz-Leuchtquarz.

Da die Firma Loewe die Fertigung von Quarzen aufgegeben hatte, suchte die WTW nun einen neuen Lieferanten. Die Quarzkeramik nahm damals den Auftrag an, vielleicht auch mit etwas gemischten Gefühlen, könnte ich mir vorstellen, mußte doch die nicht ganz einfache Fertigungstechnologie für Leuchtquarze erst erarbeitet werden! Abb. 7.8.32 zeigt den ersten von der Quarzkeramik gefertigten Leuchtquarz, darunter das „Hygrofix-Gerät“. Im Detailausschnitt links ist der Leuchtquarz in der Schaltung gut zu erkennen.

Mit dem Eingehen auf Sonderwünsche fand die Quarzkeramik auch immer Nischen für neue Produktionsmöglichkeiten.

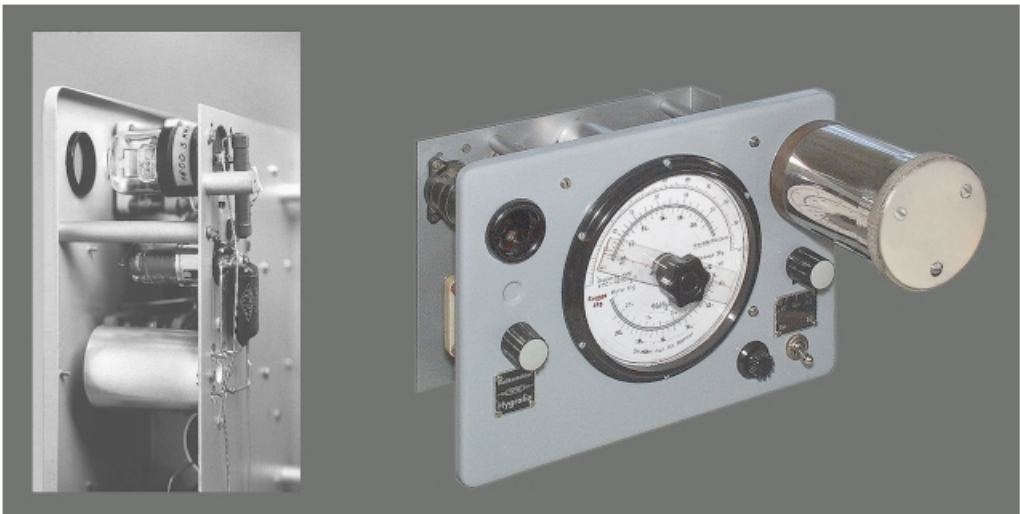


Abb. 7.8.32 a

Muster-Leuchtquarz 1800 kHz in Oktalhalter

Abb. 7.8.32 b

Hygrofix Type Hy 05



Im Mai 1977 verstarb der langjährige Geschäftsführer und Teilhaber Hans Handrek im 79. Lebensjahr.

An seine Stelle trat sein Sohn Dipl.-Kaufmann Horst Handrek.

1979 konnte die Firma auf ein 40-jähriges Bestehen zurück blicken.

Anlässlich dieses Jubiläums gab es einige Interviews mit verschiedenen Zeitungen.

Ich möchte in Kurzform daraus zitieren:

Die Zeitschrift „Markt und Technik“ schrieb:

Die Quarzkeramik ist ein „Maßschneider für Schwingquarze der Nachrichtentechnik“, sie fertigt keine Massenware sondern „Maßanzüge“. Damit umriß der Geschäftsführer Horst Handrek, Sohn des Mitbegründers, die Politik des auf Präzisionsquarze spezialisierten Unternehmens. Die Abnehmer die Bundespost, Raumfahrtindustrie und militärischer Bereich verlangen noch eine individuelle Fertigung.

Unser Geschäft ist Qualität (dies ist auch das Markenzeichen der Quarzkeramik), wir führen sie mit Hilfe von erfahrenem Personal, hochwertigem Material und kontrollierter Produktion seit 40 Jahren aus.

1984 wurde eine Tochterfirma die Q. K. PIEZOELECTRONIC in Villeneuve La Garenne/ Frankreich gegründet. Für die Gründung des Tochterunternehmens ist wahrscheinlich eine bessere Vermarktung der QK-Produkte in Frankreich maßgebend gewesen.

Ferner war dort auch eine spezifische Entwicklung und Herstellung von piezoelektrischen Schallwandlern für Körperschallwellen geplant und sollte unter dem Markenzeichen Q. K. P. vermarktet werden.

Die Aktivitäten der französischen Tochter umfaßten die Anwendung von modernsten Technologien wie:

- Ionenätzen
- Ausnutzung von verschiedenen piezoelektrischen Materialien wie Quarz und Lithiumtantalat

Die Anwendung dieser modernen Technologien führte zu einem Konzept von Spezialresonatoren aller Art, von monolithischen Filtern und Quarzoszillatoren im Bereich von 50 kHz bis zu 1,5 GHz.

1996 konnte man in der Süddeutschen Zeitung lesen:

Standort Stockdorf soll erhalten bleiben

Quarzkeramik baut Stellen ab

45 Beschäftigte werden ihre Arbeit verlieren / Stimmung ist angespannt

Von Roswitha Loibl

Die Stockdorfer Firma Quarzkeramik baut 45 Arbeitsplätze ab. Diese Maßnahme sei eine unvermeidliche „Anpassung nach unten“, um den Standort in Stockdorf zu sichern, heißt es aus der Geschäftsführung. Die Kündigungen würden „in nächster Zeit“ eingeleitet.

Stockdorf – Die Stimmung im Betrieb ist angespannt. Noch wissen die 120 deutschen und ausländischen Mitarbeiter in Entwicklung, Fertigung und Verwaltung nicht, wen es treffen wird. Nach Aussagen von Geschäftsführer Manfred Fleischmann müssen in allen Berei-

chen Stellen abgebaut werden. Um auf ihre Sorgen aufmerksam zu machen und ihre Solidarität mit dem Betriebsrat zu zeigen, trafen sich die Arbeitnehmer kürzlich zu einer spontanen Zusammenkunft am Stockdorfer Betriebssitz.

Die Quarzkeramik GmbH stellt in Stockdorf Schwingquarze und Oszillatoren her, also Bauteile für die Telekommunikation und die Nachrichtentechnik. Der Betrieb besitzt auch eine Entwicklungsabteilung. Er gehört zum Münchner Rohde & Schwarz-Konzern. Der Markt im Bereich Telekommunikation befindet sich in einer Phase der Stagnation. Das bedeutet, daß sich die

Preise für Bauteile nach unten bewegen.

In der Stockdorfer Gerüchteküche brodelt es heftig. Geschäftsführer Manfred Fleischmann legt daher Wert auf die Feststellung: „Wir denken über ein Zukunftskonzept nach, doch es gibt noch nichts Konkretes“. Er versichert, daß der Betrieb weiterbestehen wird. Zu näheren Angaben war er nicht bereit. 75 Arbeitsplätze sollen in Stockdorf erhalten werden.

Die offenbar unvermeidlichen Kündigungen werden mit dem Betriebsrat abgestimmt. Über einen Sozialplan wird dem Vernehmen nach noch verhandelt.

Abb. 7.8.33 Ende und Verkauf an KVG im Jahr 1997.

Nach **58 Jahren Spitzentechnologie** wurde die Firma Quarzkeramik im Jahr 1997 an die Firma *Kristallverarbeitung Neckarbischofsheim* verkauft.

Ein Entschluß, welcher mir unverständlich ist.



Schwing-Quarze

**Quarz-Technik
Willy Müller**

D-5568 DAUN (Eifel)

7.9 Quarztechnik Willy Müller, Daun/Eifel

Daun, ein reizendes altes Vulkaneifel-Städtchen, vor allem bekannt durch seine Maare und sein Erholungsgebiet. Was mag da wohl die Gründer der Quarztechnik – so eines High-Tech-Unternehmens – dazu kann man doch einen Hersteller von Schwingquarzen auch zählen, bewogen haben, diesen Ort als ihren Firmensitz zu wählen. War es wohl diese bezaubernde Landschaft oder war es der „Eifelsekt“, den es dort fast umsonst gibt?

Doch ich möchte in der Chronik nicht vorgreifen und etwas in die Vergangenheit zurückgehen. Dies alles begann in Berlin ...

Ein junger Mann aus dem Schwabenland, von Eßlingen am Neckar, bewarb sich 1935 im Kabelwerk Oberspree der AEG. Als Elektrotechniker hatte er natürlich gute Chancen, und so stellte ihn die Firma auch sofort ein.

In jenen Jahren gab es in Deutschland in der Elektrotechnik einen großen Aufschwung und so war jeder Fachmann gesucht.

Bei seinen Arbeiten auf elektrotechnischem Gebiet zeigte Willy Müller großes Engagement und durch viele neue Ideen, welche er in seine Arbeiten mit einbrachte, wurde die technische Leitung schon früh auf ihn aufmerksam. Bald ergab sich eine Änderung in seiner Tätigkeit; das Tochterunternehmen Telefunken bat die Mutterfirma AEG um Unterstützung bei der Überstellung von guten Arbeitskräften. Die Planungen für die laufenden Rüstungsaufträge erforderten eine größere Ausweitung in der nachrichtentechnischen Fertigung.

Ein Zeitzeuge aus jenen Jahren erinnert sich daran: In den Jahren vor 1937 hielten die deutschen Streitkräfte nicht viel von einer Frequenzstabilisierung durch Schwingquarze. Diese Ansichten änderten sich dann aber sehr schnell. Telefunken hatte für diese Änderung rechtzeitig vorgesorgt und für eine Erweiterung der Schwingquarz-Produktion frühzeitig mit einer Spezialausbildung der hierfür vorgesehenen Mitarbeiter begonnen. Unter diesen ausgewählten Mitarbeitern war auch Willy Müller.

Die Ausbildung erfolgte damals im Quarzlabor von Dr. Bechmann im damaligen Laborgebäude Tempelhofer Ufer Nr. 9. Inzwischen war auch von Telefunken in Berlin-Zehlendorf eine ganz moderne Fabrik entstanden, wobei natürlich eine großzügige Quarzfertigung mit eingeplant war.

Nach der Inbetriebnahme im Jahre 1938/39 wurde Telefunken gleich mit überhöhten Bestellungen von Schwingquarz-Einheiten eingedeckt, so daß sich – nebenbei bemerkt –, der gesamte Rohquarz-Vorrat damals erschöpfte.

Die Fertigung von Schwingquarzen umfaßte in jenen Jahren in der Hauptsache die Frequenzen 60, 75, 130, 3000 und 7000 kHz. Bald darauf mußte auch eine Fertigung von Steuerquarzen für die V1- und V2-Raketen aufgenommen werden.

Die Geschäftsleitung sah dann vor für diese Fertigung eine Verlagerung vorzunehmen. Als Verlagerungsort wurde Sommerfeld/Niederlausitz, zwischen Guben und Sagan gelegen, gewählt.

Willy Müller, inzwischen zum technischen Leiter der Quarzfertigung ernannt, wurde mit der Verlagerung und dem Aufbau dieser neuen Fertigung betraut.

Mit ungefähr 60 Mitarbeitern lief dann diese Fertigung bis zum 13. Februar 1945.

Ein überraschender Vorstoß der russischen Streitkräfte brachte diese Fertigung zum Erliegen. Mit einem Handwagen als einziges Gepäck mußten die Mitarbeiter innerhalb von 2 Stunden in Richtung Guben die Flucht antreten.

Die ganzen geheimen Unterlagen und Meßgeräte blieben zurück. Dies ließ W. Müller als verantwortlichem Leiter keine Ruhe, und so versuchte er über den örtlichen Kampfkommandanten eine Funkverbindung mit der obersten Heeresleitung aufzunehmen. Die Heeresleitung genehmigte für diesen Rückholeinsatz zwei Panzerspähwagen und einen Lastwagen. Die Fertigung war inzwischen von den Russen noch nicht entdeckt worden und so gelang es in der Nacht auf Schleichwegen wieder nach Sommerfeld zu kommen. Das gewagte Unternehmen war erfolgreich, und so konnten die geheimen Unterlagen, Meßgeräte, sowie Fertigteile gerettet werden.

Nach 4 Tagen erreichte die Kolonne völlig verdreckt, aber gesund, Berlin.

Mit diesen geretteten Geräten wurde dann von Berlin aus eine zweite Verlagerung ins Erzgebirge durchgeführt. Zum Arbeiten kam es an diesem Ort nicht mehr, da vom Osten die Russen und vom Westen die Amerikaner mit Artillerie die Gegend beschossen. Eine amerikanische Granate setzte 14 Tage vor Kriegsende H. Müller außer Gefecht. Nach Krankenhausaufenthalt und Flucht nach Süddeutschland endete die Odyssee in Göppingen/Württemberg.

Mit Reparaturen an Radio- und elektrischen Geräten hielt sich in dieser Zeit H. Müller über Wasser. 1946 erreichte ihn eine Nachricht von Dr. Bechmann mit der Anfrage, ob er nicht wieder nach Berlin kommen möchte.

Die Russen hatten in der Zwischenzeit wieder in Berlin-Oberschöneweide das frühere AEG-Werk eröffnet. Sie nannten es jetzt Oberspreewerk. Dort sammelten sich alle Wissenschaftler und Spezialisten, die mit der Rüstung zu tun hatten, um nun weiterhin, aber jetzt für die Russen, zu arbeiten. Da es in Süddeutschland keine adäquate Arbeit gab, willigte H. Müller gern auf dieses Angebot ein und so holte ihn Dr. Bechmann aus dem Westen wieder nach Berlin. Dr. Bechmann, inzwischen von den Russen zum Leiter für Forschung und Entwicklung ernannt, regte dann sofort den Aufbau einer Schwingquarzfertigung an. Die Zusammenarbeit mit den russischen Ingenieuren war sehr gut, alle Mitarbeiter wurden gut behandelt und auch die Wohnungsfrage war optimal gelöst.



Abb. 7.9.1 Oberspreewerk Berlin

Warum man alle Fachleute dorthin zusammengeholt hatte, erfuhren sie erst nach ca. 1 Jahr. Eines Nachts wurde das Wohnviertel von russischen Soldaten abgeriegelt und alle Spezialisten mit ihren Familien aus den Betten geholt; sie mußten dann einen 5jährigen Arbeitsvertrag für Rußland unterschreiben. Alles was zur Familie gehörte wurde auf Lastwagen geladen und in einem bereitgestellten Zug ging die Fahrt nach Moskau. Nur durch einen Schreibfehler auf der Verladeliste blieb H. Müller von dieser Aktion verschont.

Die Firma Siemens in Westberlin wollte nun auch eine Quarzfertigung aufbauen. Da auch dort die Fachleute fehlten, wurde H. Müller gefragt, ob er das übernehmen wollte. 1951 ging H. Müller mit der Familie schwarz über die Grenze nach Westberlin. Im Berliner Werk Siemensstadt baute er dann in zwei Jahren diese Quarzfertigung auf.

Das war nun die 4. Quarzfertigung, welche H. Müller aufgebaut hatte, 2x bei Telefunken, 1x Oberspreewerk und 1x bei Siemens. Der Wunschgedanke war als Letztes, auch eine eigene Firma zu haben.

Als H. Müller bei Siemens kündigte, um sich selbständig zu machen, wurde er gefragt, wie er denn die verlangten Schleifgenauigkeiten der Quarze von weniger als 1/1000 mm erreichen wollte, die bei Siemens von Feinoptikern geschliffen wurden? –

H. Müller konstruierte nun hierfür eine Läppmaschine, um Fachleute nicht mehr zu benötigen. Diese kleine Läppmaschine wurde gebaut. Mit ihr konnte dann eine angelernte Frau die verlangte Quarzgenauigkeit schleifen. Diese Läppmaschine hat sich so gut bewährt, daß sie bei einer Berliner Firma in größeren Stückzahlen gebaut und an andere Quarzhersteller verkauft wurde.

(Auch heute ist diese Maschine noch in Betrieb!)

In einer 6-Zimmer-Mietwohnung in Berlin-Schöneberg, Innsbrucker Straße 25, wurde im Mai 1953 die Firma – Quarz-Technik – aus der Taufe gehoben.

Schwingquarze
kurzfristig lieferbar

Quarz - Eichgeneratoren

Quarz -
Läpp-
maschinen

Quarz - Technik
Willy Müller - Kurt Schlichter
Berlin - Schöneberg
Innsbrucker Straße 25

Abb. 7.9.2
Anzeige in der Fachzeitschrift
Funktechnik

QUARZ-TECHNIK
WILLY MÜLLER
Berlin-Schöneberg - Innsbrucker Str. 25
Telefon 71 85 47

Schwingquarze
von 700 Hz bis 60 MHz
mit technischen Daten und Schaltungen

Bei Bestellung bitten wir um folgende Angaben:

1. Frequenz mit Toleranz	a = 1 · 10 · 4
2. Halter Type	b = 5 · 10 · 5
3. Steuer- oder Filterquarz	c = 1 · 10 · 5
4. Betriebstemperatur	
5. Schaltung	

Die Auslieferung erfolgt ca. 2-3 Wochen nach Auftragseingang.

Abb. 7.9.3
Werbeanzeige in einer Fachzeitschrift



Abb. 7.9.4 Entwicklungslabor

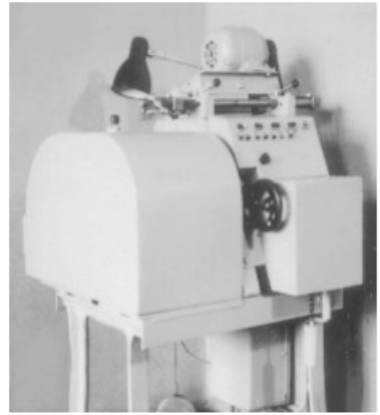


Abb. 7.9.5
Eigenbau-Diamantsäge



Abb. 7.9.6
Schleifarbeitsplatz



Abb. 7.9.7
Montage der
Vibratoren



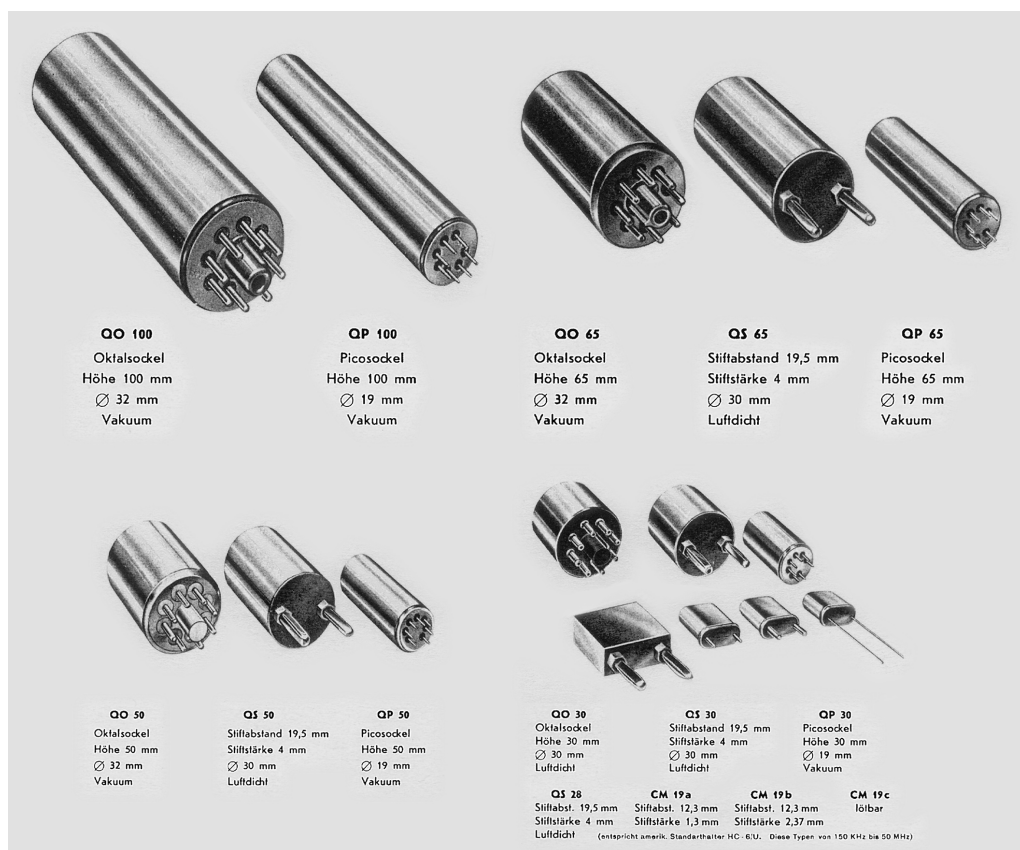
Abb. 7.9.8 Im Prüffeld

Die Kunden waren vorwiegend die Firmen: Telefunken, Siemens, Bosch, Grundig, Nora und Pan American.

Der Vertrieb erfolgte auch außer eigenem Vertrieb vorwiegend über die Firma Metrofunk Gesellschaft für Funk- und Fernmeldeteile Berlin, Kurfürstenstraße 133.

Die anschließenden Bilder zeigen die Fertigungspalette der damaligen Zeit.

Abb. 7.9.9 Fertigungsprogramm der Schwingquarze aus den 50er Jahren in verschiedenen Gehäusegrößen.



Durch die vielen eingehenden Bestellungen wurde die Mietwohnung bald zu klein und so suchte die Firma eine neue Fertigungsstätte. Im Geburtsort von Frau Müller in **Daun/Eifel** ergab sich die Möglichkeit, ein Grundstück zu erwerben, auf welchem die Firma Quarztechnik einen neuen Betrieb aufbauen konnte.

Am 1.4.1960 zog die Firma von Berlin nach Daun um.

Nach kurzer Zeit beschäftigte die Firma schon 20 Mitarbeiter.

Der Kundenkreis wurde immer größer und nach 5 Jahren entstand ein Anbau, so daß die Belegschaft auf ca. 50 Leute gesteigert wurde. Die folgenden Aufnahmen zeigen die neue Fertigungsstätte in Daun.



Abb. 7.9.10
Teilansicht des
Firmengebäudes in Daun,
Alte Darscheider
Straße 15



Abb. 7.9.11
Fertigungslinie für
Hochfrequenzquarze

Abb. 7.9.12
Blick in die Fertigung von
Niederfrequenzquarzen



Herr Müller führte zusammen mit seiner Frau den Betrieb 25 Jahre. Im Jahre 1978 übergaben sie den Betrieb ihrer Tochter Ilse und Schwiegersohn Franz Lenzenhuber. Sie führen den Betrieb bis zum heutigen Tag erfolgreich fort.

Die Firma Quarztechnik ist meines Wissens die letzte Firma in Deutschland, welche sich noch in Familienbesitz befindet.

Durch die Rezession sind viele Firmen ins Ausland abgewandert oder wurden von anderen ausländischen Großfirmen aufgekauft.

Quarztechnik ist auch die letzte Firma, welche noch auf Bestellung Niederfrequenzquarze liefert!

Wenn auch die Art kaum noch verlangt wird, so ist es schön zu wissen, wo diese Spezies noch gefertigt wird.

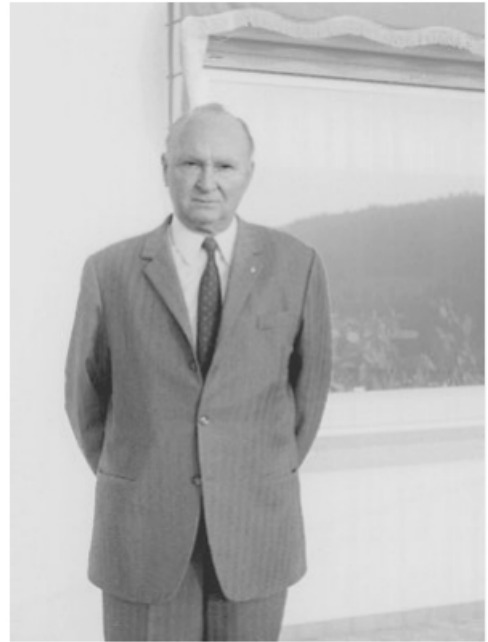


Abb. 7.9.13 Willy Müller

Zum Schluß sei mir diese kurze persönliche „Vita“ von H. Müller gestattet:

Es ist schade, daß ich H. Müller erst so spät kennengelernt habe.

In meiner beruflichen Tätigkeit, und bei den vielen Recherchen zu diesem Buch, habe ich viele Menschen kennengelernt, aber nie so ein Universal-Genie wie H. Müller!

Ob es Fragen in der Fertigung von Schwingquarzen waren, oder auf allgemeinem elektrotechnischen Gebiet, selbst in dem ganz speziellen Gebiet der Elektromedizin, überall zeigte sich der Könnner, und nicht zu vergessen seine mechanischen Konstruktionen.

Seit 1978 ist Willy Müller im wohlverdienten Ruhestand und so beschäftigt er sich als Hobby-Künstler nebenbei mit der Anfertigung von allerlei Figuren aus Guß.

Die Themen hierzu sind aus der Märchenwelt und aus dem Alltagsleben entnommen. Die Figuren haben ein sehr hohes künstlerisches Niveau und dies ist dann seine andere Stärke.

Vieles gäbe es da noch zu erzählen und so will der Chronist es mit dieser kurzen Hommage an den „Hobby-Künstler“ Willy Müller bewenden lassen.



Schwingquarze



VEB WERK FÜR FERNSEHELEKTRONIK
Berlin-Oberschöneweide, Ostendstraße 1-5



7.10 RFT – VEB Werk für Fernsehelektronik; Berlin-Oberschöneweide

Einführend zur Geschichte der „Industrieregion Oberschöneweide“ ein paar Daten: Vor der Jahrhundertwende 1900 begann die Industrialisierung der östlich, außerhalb von Berlin befindlichen Ortslage Schöneweide.

Entlang den Ufern der Oberspree entstanden verschiedene Großbetriebe, so das Kabelwerk von DeTeWe, die Akkumulatorenfabrik Varta und als größtes Industrieunternehmen das Kabelwerk Oberspree (KWO) von der AEG. Hier bei der AEG wurde damals schon Geschichte geschrieben, und eine ganze Anzahl von Pionierleistungen und grundlegende Arbeiten sind aus dem KWO hierbei hervorgegangen. Dort wurde die Liebenröhre weiterentwickelt und fabrikreif durchgebildet, aus der ja das wichtigste Bauelement der Nachrichtentechnik, die Vakuumröhre, entstand. Auch die ersten drahtlosen Versuche des Grafen von Arco fanden im Kabelwerk Oberspree statt.

Mitte der 30er Jahre entstand hier auch das Magnetophon.

Die Liste weiterer bemerkenswerter Aktivitäten ließe sich noch beliebig fortsetzen, doch mit diesen Daten möchte ich die Einführung abschließen.

Kurz vor Ende des Zweiten Weltkrieges nahmen die Russen Besitz vom Kabelwerk Oberspree und die sowjetische Militäradministration in Deutschland (SMAD) veranlaßte in ihrem Machtbereich die Gründung wissenschaftlich-technischer Laboratorien und Büros. Sie wurden von einer sowjetisch-deutschen Betriebsleitung geführt.

Die Hauptaufgabe dieser Einrichtungen war es, den technologischen und wissenschaftlichen Stand der deutschen Industrie, insbesondere aber der ehemaligen Rüstungsindustrie, zu erfassen, auszuwerten und zu dokumentieren. Es sollten aber auch weitere Forschungs- und Konstruktionsaufgaben auf den jeweiligen Gebieten durch die bisherigen Fachleute durchgeführt und Kleinserien produziert werden.

Die überwiegend aus Physikern bestehende Arbeitsgruppe war eine einzigartige Konzentration von Wissenschaftlern der Berliner Elektroindustrie. Die Belegschaft dieser Arbeitsgruppe wuchs innerhalb kurzer Zeit bis auf 2 000 (!) Mitarbeiter an. Der Sitz dieser Einrichtung war in der früheren AEG-Röhrenfabrik Oberspree (RFO). In diesen Gebäudeteilen war früher die „Nationale Automobil-Gesellschaft“ (NAG), ein Tochterunternehmen der AEG, untergebracht.

Hier etablierte sich nun das

Laboratorium, Konstruktions- und Versuchswerk Oberspree (LKVO)

Daraus entstand dann später das „Oberspreewerk“ (OSW), dessen Nachfolger das „Werk für Fernsehelektronik“ (WF) wurde.



Abb. 7.10.1 Das erste Firmenlogo

Ein Großteil der Wissenschaftler, welche hier zusammengefaßt wurden, stammte aus der Firma Telefunken. Ein Gruppenfoto zeigt eine Teil der Spezialisten aus dieser Firma (Abb. 7.10.2). In dieser Gruppe ist auch der Schwingquarz-Spezialist Dr. Bechmann zu finden (hintere Reihe, vierter von rechts), ebenso der Spezialist für Quarzsteuerstufen E. Kettel (hintere Reihe, zweiter von rechts).

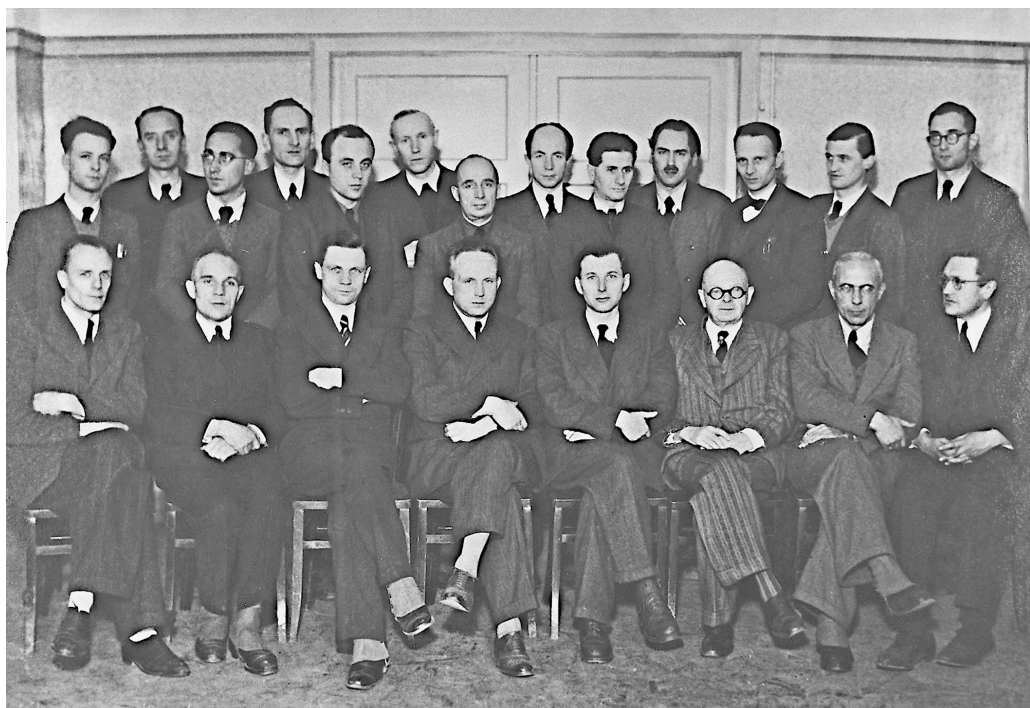


Abb. 7.10.2 Wissenschaftler von Telefunken – Oberspreewerk 1946



Abb. 7.10.3



Abb. 7.10.4

Von 1938 bis 1945 befand sich in diesem Gebäudekomplex die AEG-Röhrenfabrik Oberspreewerk (RFO)

Dr. Bechmann hatte damals dann auch den ehemaligen Leiter der Schwingquarzfertigung von Telefunken, Willy Müller, aus dem Westen wieder nach Berlin zurück geholt (siehe auch Kapitel 7.9).

Unter der Federführung von Dr. Bechmann wurde dann im Oberspreewerk eine neue Schwingquarzfertigung aufgebaut.

Fertigung und Vertrieb von Schwingquarzen liefen unter dem Begriff „Baulemente“. Die Leitung wurde damals dem ehemaligen Telefunken-Mitarbeiter Ch. Gruner übertragen. Für Forschung und Entwicklung war Dr. Bechmann zuständig.

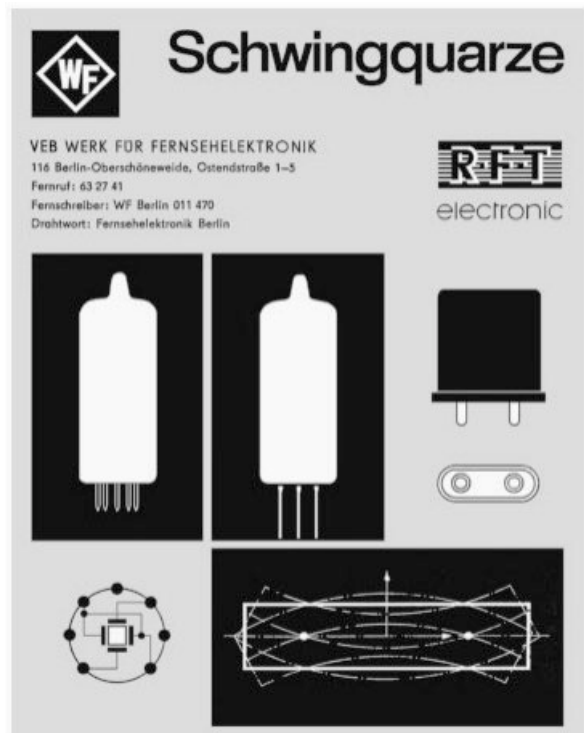


Abb. 7.10.5

Das Oberspreewerk sucht zu sofortigem Eintritt bei günstigen Bedingungen:

**Physiker
Ingenieure
Techniker**

mit Kenntnissen der Vakuumröhrentechnik oder Herren, die sich auf diesem Gebiet einarbeiten wollen

Radiotechniker
für die Entwicklung elektr. Prüfgeräte

Facharbeiter: Werkzeugmacher
Dreher für Uhrmacherdrehstuhl
Universalfräser, Schlosser, Klempner
Gerätemechaniker für elektr.
Schaltmechaniker Apparate
Labormechaniker
Technische Zeichnerinnen
Ungelernte Männer für Transportarbeiten und zur Anlernung für gut bezahlte spezielle Arbeiten in der Werkstatt

WERKKÜCHE VORHANDEN!
Schriftl. Bewerbungen mit entsprechenden Unterlagen bzw. persönliche Vorstellung in der Zeit von 10-12 Uhr erleben

OBERSPREWERK
PERSONALABTEILUNG
Berlin-Oberschöneweide, Ostendstr. 1-5
Fahrverb.: S-Bahn Schöneweide, Strb. 87 u. 95

**Das
Oberspreewerk**
sucht zu sofortigem Eintritt bei günstigen Bedingungen

**Physiker
Labor-Ingenieure
Konstrukteure**
auf dem Gebiet elektrischer Meßgeräte, Fernsehgeräte, Vakuumröhren und Röntgenröhren

literarisch befähigte Fachkräfte der Funktechnik
zur Anfertigung von Beschreibungen und Fertigungsvorschriften

Maschinen-Konstrukteure
Außerdem werden eingestellt:
Werkzeugmacher, Werkzeugdreher, Glasbläser, Klempner, Mechaniker, Schlosser, Tischler, Rohrleger, Elektriker, Transportarbeiter

Werkküche vorhanden!
Schriftliche Bewerbungen mit den entsprechenden Unterlagen bzw. persönliche Vorstellungen in der Zeit von 10—12 Uhr erleben

OBERSPREWERK
PERSONAL-ABTEILUNG
Bln.-Oberschöneweide, Ostendstr. 1-5
Fahrtverbindung:
S-Bahn Oberschöneweide
Straßenbahn: Linien 87 und 95

Abb. 7.10.6

Wie aus den nebenstehenden Suchanzeigen in der damals neu erschienenen Fachzeitschrift „Funktechnik“ zu ersehen ist, war ein großer Bedarf an Fachkräften für die neu aufzubauende Fertigung vorhanden (Abb. 7.10.6).

Das Personal in der Schwingquarzfertigung setzte sich in der Hauptsache aus Feinoptikern und Uhrmachern zusammen.

Die erste gefertigte Schwingquarztype war eine Oktalglashaltertype (Abb. 7.10.7).

In der DDR hatte sich als Schwingquarztype der „Oktalglashalter“ eingebürgert. Er ist damals im WF-Werk entstanden, da dort auch Teile, die einige Jahre zuvor für Oktalempfängerröhren benötigt wurden, noch vorhanden waren.

Mit Rücksichtnahme auf die Erfordernisse in der Anwendung bei Nachrichtengeräten mußten jedoch verschiedenen Abstufungen in der Kappenhöhe gewählt werden. Niederfrequente Schwingquarze, wie z. B. der 1-kHz-Quarz, mußten in dieser Halterung untergebracht werden (Abb. 7.10.8).



Abb. 7.10.7
Erster Musterquarz
aus der Oberspreewerk-
Fertigung



Abb.7.10.8 Aus der Oktalserie verschiedene Ausführungen

von links: Type QLS 23 64 kHz, Längsschwinger
 Type QDS 22 L 999,64 kHz Dickenscherschwinger
 Type QDS 20 a 65056 kHz Dickenscherschwinger, AT

Insgesamt gab es im Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 000 kHz sieben verschiedene Ausführungen in der Höhe (siehe auch Abb. 7.10.8). Quarzhalter als Oktaltype waren hauptsächlich in der UdSSR und auch in den USA gebräuchlich.

In Westdeutschland benutzten die Firmen Lorenz und Siemens teilweise die Loktal-type für größere Quarze.

Die Fertigung dieser Haltertype lief in einem Zeitraum von 1948 bis 1959. Lediglich für Ersatzbestückungen mußte dann noch eine kleine Stückzahl gefertigt werden.

Etwa ab 1960 wurde die Fertigung der 7-stiftigen Miniaturglashalter aufgenommen (wahrscheinlich aber schon etwas früher). Vorgesehen waren aber auch Ganzmetallhalter mit zwei Stiften und Ganzmetallhalter mit zwei Lötdrähten.

Mitte 1959 kam es zu einer Zusammenarbeit mit Zeiss in Jena. Bei einer Arbeitsgemeinschaft wurde auch an eine Fertigung von gemeinsamen Typen von Zeiss und WF gedacht und vorgesehen. Ein wichtiger Punkt bei diesen Arbeitsbesprechungen war, daß Quarzhalter, die nicht der internationalen Norm entsprechen, vermieden wurden.

Die folgende Bildübersicht zeigt das Programm der Schwingquarzfertigung von WF (Abb. 7.10.9).



Abb. 7.10.9 Fertigungsprogramm bei WF

Zu der Abb. 7.10.9 eine Erläuterung:

1. Schwingquarz ganz links – Preßstoffhalter mit 2 Stiften, WF-Type QDS 12, entspricht dem USA-Typ FT 243
2. Schwingquarz zweiter von links – Preßstoffhalter rund mit 2 Stiften, WF-Type QDS 1, entspricht „Telefunken-Type“

Diese beiden Quarztypen wurden im Jahre 1959 vollständig zum VEB Carl Zeiss übergeleitet und wurden bei WF nicht mehr gefertigt.

Bei letzterem ist vielleicht folgendes interessant: Ich habe in meinem Museumsbestand zwei äußerlich gleiche Typen der Serie QDS 1 mit gestempeltem WF-Prüffeld-Aufdruck – aber wie in Abb. 7.10.10 ersichtlich, ist der Quarz links abgeleitet aus der „Telefunkenfertigung“, also Nachbau bei WF. Der Quarz rechts ist eine Ausführung mit einem HC 6/U-Exemplar auf Zwischensockel im selben Preßstoffgehäuse! Die Frage wäre hier, ist dieser Quarz nun schon bei Zeiss oder noch im WF-Werk gefertigt worden? –

Abb. 7.10.10
Quarztype QDS 1
– 1,25 MHz –
in verschiedenen
Ausführungen



Schon im Jahre 1948 verließ Dr. Rudolf Bechmann, Leiter für Forschung und Entwicklung – Schwingquarze, das Oberspree-Werk. Ihm wurde eine Stelle im englischen Postforschungsinstitut in Dollis Hill, London, angeboten.

Nachfolger von Dr. Bechmann wurde Dr. H. Bauer.

Im Werk WF wurden unter anderem seit 1945 die folgenden Entwicklungsaufgaben durch Dr. Bechmann bearbeitet:

Februar 1946 – Quarzoszillatoren und Resonatoren im Bereich von 500 kHz bis 60 000 kHz

März 1947 – Schwingquarze im Bereich von 500 kHz bis 60 000 kHz

Inzwischen wurde auch ganz offiziell 1964 mit der Bildung einer Entwicklungsabteilung begonnen. Die Anfänge einer Forschungs- und Entwicklungsabteilung waren schon im Mai 1962 eingeleitet worden.

Das erste Thema war: Untersuchungen der Eigenschaften von Schwingquarzen 4 kHz und 100 kHz aus synthetischem Quarz.

Aufgabenstellung dieser Arbeit: Eigenschaften von synthetischem Quarz aus dem Kristall-Labor der Firma Carl Zeiss Jena bei der Verwendung als Ausgangsmaterial für Längs- und Biegeschwinger waren zu untersuchen.

Die Notwendigkeit zum Aufbau und zur Beherrschung der Quarzsynthese bei Zeiss ergab und bestätigte sich später durch die Embargopolitik, durch die der Zugang zum brasilianischen Markt für Bergkristall für die Firma Zeiss unterbunden wurde.

Die wachsende Bedeutung des Einsatzes piezoelektrischer Bauelemente bedingte eine gesicherte Produktion von Steuer- und Filterquarzen. Daher war die Versorgung mit Quarzkristallen aus eigenem Aufkommen auf synthetischer Basis damals von erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Aus damaligen zugänglichen Quellen über die Verwendung künstlicher Quarzkristalle für die Herstellung von piezoelektrischen Bauelementen ging hervor, daß einige Unterschiede gegenüber Bauelementen aus Naturquarz auftraten.

Über die Untersuchungen in dieser Studie ist mir wenig bekannt – nur, daß die hergestellten

4-kHz-Biegeschwinger und
100-kHz-Längsschwinger

gut den diesbezüglichen Untersuchungsmethoden genügten.

Eine Verwendung von synthetischen Material für diese Quarztypen ist unter Einhaltung der Ersatzgrößen möglich, wenn man von den bisher nicht ermittelbaren Änderungen durch Alterung absieht.

Zum Abschluß des Firmenprofils „RFT – Werk für Fernsehelektronik“ eine kurze Zusammenfassung:

Die Technologie im WF-Werk war eingerichtet für eine Einzelfertigung von ca. 27 verschiedenen Quarztypen im Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 MHz.

Diese Quarze hatten wechselnde Schwierigkeitsgrade. Daraus resultierte eine handwerkliche Fertigung. Diese Fertigung war mit wenigen maschinellen Vorrichtungen durchzuführen. Da z. B. die niederfrequenten Quarze, bei denen der Quarzstab eine Länge bis zu 92 mm hat, auch gefertigt werden mußten, war für die Verarbeitung schon ein großer und teurer Rohquarzblock bis zu 6 kg erforderlich!

Die Arbeitsverfahren entsprachen im Prinzip den international üblichen.

Für eine damalige rationellere Fertigung war auch der Einsatz von speziellen Schleifmaschinen und Sägen erforderlich. Eine weitere Erhöhung der Kapazität hätte nur erreicht werden können, wenn der erforderliche Bedarf an Raum, Personal und Fertigungsequipment sowohl für die Fertigung als auch für die Entwicklung vorhanden gewesen wäre. Diese Voraussetzungen waren jedoch bei WF nicht gegeben. Durch die Hauptaufgaben des WF-Betriebes, wie z. B. eine Transistorfertigung neu einzurichten, waren in Bezug auf Raum bereits alle Möglichkeiten erschöpft. Aus Verhandlungen mit dem VEB-Betrieb Carl Zeiss ergab sich, daß Zeiss damals eine größere freie Kapazität pro Jahr hatte. Aus diesem Grunde wurde Zeiss die Übernahme der Fertigung von WF-Schwingquarzen angeboten.

Die Entscheidung, warum die Fertigung von WF-Schwingquarzen nicht von Zeiss übernommen wurde, ist nach meiner Vermutung in der Fertigungstechnologie zu suchen. Der Schwerpunkt der Quarzfertigung bei Zeiss lag bei den Kurzwellenquarzen, die nach optischen Herstellungsverfahren gefertigt wurden.

Die Fertigungsmethode dieser Quarze war mit der Herstellung der bei WF gefertigten Schwingquarze deshalb nicht vergleichbar, weil die weitaus schwierigeren technischen Bedingungen im Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 MHz von Zeiss nicht erreicht werden konnten und deshalb wäre da für WF-Quarze ein wesentlich höherer Material- und Arbeitsaufwand erforderlich gewesen!

Am 1. Januar 1969 fand die komplette Übernahme der WF-Quarzfertigung und der Entwicklungsabteilung durch das Berliner Glühlampenwerk „BGW“ – später NARVA – statt.



SCHWINGQUARZE

für die Nachrichtentechnik

7.11 Siemens & Halske; Berlin-Siemensstadt und München

Die Firma Siemens & Halske ist hervorgegangen aus der im Jahre 1847 von dem Artillerieleutnant Werner Siemens und dem Mechaniker Georg Halske gegründeten „Telegraphenbauanstalt Siemens & Halske“; sie war übrigens die erste ihrer Art auf der Welt und bearbeitete das gesamte Gebiet der *Nachrichten-* und Meßtechnik.

Diese Aufgaben waren auf verschiedene Werke verteilt, die nach dem Gründer des Hauses „Wernerwerke“ genannt wurden. Forschung und Entwicklung für die Meßtechnik und die Bauelemente lagen in den Händen der Werke.

Für den Nachrichtensektor waren die Konstruktion und die Laboratorien wegen innerer vielfältiger Beziehungen in einem Zentrallaboratorium zusammengefaßt.

Die Telegraphentechnik war, wie schon aus dem ursprünglichen Firmennamen hervor geht, das älteste Arbeitsgebiet von Siemens & Halske. Der Schritt von den Telegraphenapparaten alter Bauart zu den modernen Übertragungs- und Vermittlungstechniken auf Draht- und Funksystemen stellte diese Technik vor ständig neue Probleme.

Um ein Gebiet einmal herauszugreifen: Die „Weitverkehrstechnik“ – sie befaßte sich mit der Übertragung von Nachrichten in Form elektrischer Signale auf große Entfernungen.

Nachdem in den 1920er Jahren die Verstärkerröhre und die Kurzwellentechnik den Aufbau eines weltumspannenden Nachrichtennetzes ermöglichten, war in den folgenden Jahren der Bedarf an Weitverkehrsverbindungen so immens gestiegen, daß nur mit den Mitteln der „*Trägerfrequenztechnik*“ die erforderliche Zahl von Kanälen verwirklicht werden konnte.

Den Begriff „*Trägerfrequenztechnik*“, dieses Teilgebietes der Nachrichtentechnik, nannte man früher „*leitungsgerechte Hochfrequenztelephonie*“. Die neuere Bezeichnung ist also weniger glücklich, da die Trägerfrequenz nur zur Frequenzverschiebung der Nachricht in den Endstellen dient, aber nicht als „Träger“ der Nachricht über die Leitung gegeben wird.

Was sagt das Lexikon zum Begriff „*Trägerfrequenztechnik*“:

Verfahren, um Nachrichten in einem anderen als dem ursprünglichen Frequenzbereich zu übermitteln, benutzt zur Mehrfachausnutzung von Übertragungswegen, das etwa ab 20 km Entfernung wirtschaftlich ist, wird in Systemen bis zu einigen Tausend Kanälen realisiert. Die Nachrichten werden im Sender mit Hilfe einer Trägerschwingung in einen anderen Frequenzbereich umgesetzt (Modulation) und im Empfänger aus dem für die Übertragung gewählten trägerfrequenten Bereich zurückverlagert.

Wie kam es nun zu dieser *trägerfrequenten Mehrfachausnutzung*?

Bei der Neuordnung des Nachrichtenwesens in Deutschland schien durch die stürmische Entwicklung des Fernsprechwesens die Bedeutung der Telegraphie zurückgedrängt zu werden.

Es ging um die Frage, was angesichts dieser zunächst für den Fernsprechtbetrieb gedachten Kabel aus der Telegraphie werden sollte. Das schon über 40 Jahre alte Telegraphenkabelnetz war unzulänglich geworden. Neben dem Fernkabelnetz ein getrenntes Telegraphennetz zu verlegen war ausgeschlossen.

Aber konnte man nicht mit der Telegraphie in die Fernkabel hineingehen? –

Natürlich hätte man von den damals üblichen 98 Doppeladern der Fernkabel eine Anzahl für Telegraphenzwecke auswählen können. So wären aber die über das selbe Kabel geführten Gespräche durch Induktionswirkung gestört worden.

In dieser Form war also das Problem nicht zu lösen. – Es sieht aber anders aus, wenn man als Träger der Telegraphenzeichen auf der Leitung Wechselströme ähnlicher Stärke und Frequenz einführt, wie sie die Telephonströme darstellen.

In Deutschland wurde gleich nach dem Ende des Ersten Weltkrieges eine Planung für das neue Fernkabelnetz begonnen. Dabei erinnerte man sich eines Vorschlages, welchen der Franzose Mercadier in den 1880er Jahre auf der Strecke Paris–Lyon auszuführen gedacht hatte.

Mercadier wollte Wechselströme verschiedener Frequenz mit Stimmgabeln erzeugen, auf die selbe Leitung geben und am anderen Ende durch Telephone aufnehmen, die jeweils nur bei einer bestimmten Frequenz ansprechen sollten.

Er gab dieser Ausführung den Namen „Monotelephone“.

Die Versuche führten zu keinem befriedigenden Ergebnis, weil sich die genaue Abstimmung der „Monotelephone“ auf eine bestimmte Frequenz nicht erreichen ließ. Die damalige Technik war noch zu unvollkommen.

Es war das große Verdienst von K. W. Wagner, einem Mitarbeiter des Telegraphentechnischen Reichsamts, daß er sich mit zwei altbekannten elektrotechnischen Bauelementen – Spule und Kondensator – als die Träger gegensätzlicher physikalischer Wirkungen beschäftigte. Besonders interessant waren dabei die Erscheinungen, wenn man eine Anzahl von Spulen und Kondensatoren in verschiedener Weise miteinander kombiniert. Die Verhältnisse dieser „Kettenleiter“ wurden von Wagner in einer gründlichen mathematischen Arbeit dargestellt.

Jetzt hatte man durch die Entdeckung der Filtereigenschaften der Kettenleiter und die Möglichkeit ihrer genauen Berechnung ein Mittel in der Hand, die Ströme verschiedener Frequenz am Ende der Leitung sauber voneinander zu trennen, und man konnte den alten Gedanken von Mercadier mit Aussicht auf Erfolg wieder aufgreifen.

Hier setzten nun die Versuche der Firma Siemens ein. In Verbindung mit dem Reichspostzentralamt entwickelte das Zentrallaboratorium des Wernerwerkes unter

Führung von F. Lüschen und Karl Küpfmüller ein System der Wechselstrom-telegraphie, bei dem durch Röhrensender sechs verschiedene Frequenzen, die lagen damals zwischen 400 und 1590 Hertz, erzeugt wurden. Diese Frequenzenlagen dazu in dem Bereich, welcher auch der Sprachübertragung diene, so daß anstelle eines Gesprächs sechs verschiedene Telegramme über eine Leitung gesendet werden konnten. Am Ende der Leitung wurde das Frequenzgemisch zunächst verstärkt, dann durch sechs parallel geschaltete Siebketten in seine Einzelbestandteile, also die sechs Telegramme, zerlegt und jeder Teil durch einen Röhrengleichrichter wieder in Gleichstromimpulse verwandelt, die dann die Empfangsrelais der einzelnen Telegraphenapparate beaufschlagten.

Später wurden dann noch andere Systeme geschaffen, auf die ich aber nicht näher eingehen möchte.

An der Vervollkommnung dieser neuen Technik wurde stetig weitergearbeitet. Durch Schaffung eines neuen Fernmeldekabels, welches im Vergleich zu den bisherigen Ausführungen eine äußerst kleine natürliche Dämpfung besaß, war die Übertragung von etwa zweihundert Ferngesprächen auf der gleichen Leitung (!) möglich geworden. Dies war aber nur möglich durch eine aufs Äußerste getriebene Vervollkommnung der dabei benutzten technischen Mittel. Die Anforderungen die an die Genauigkeit der *Filter*, die *Konstanz der Trägerfrequenzen*, gestellt wurden, wären wenige Jahre vorher nicht möglich gewesen – sie konnten nur durch eine systematische Entwicklungsarbeit geleistet werden. Den Hauptteil an dieser Gemeinschaftsarbeit, der sich auch das Reichspostzentralamt und die Firmen Felten & Guilleaume und AEG widmeten, steuerte das Zentrallaboratorium von Siemens & Halske bei.

Nach dieser etwas längeren Einführung möchte ich nun zu dem eigentlichen Thema „*Die Fertigung von Schwingquarzen im Hause Siemens*“ überleiten.

Bevor ich aber jetzt auf die Fertigung von Schwingquarzen bei der Firma Siemens eingehe, möchte ich noch kurz vorab die Abgrenzung in der Fertigung zwischen den beiden Firmen Siemens und Telefunken aufzeigen. Wie ja vielfach bekannt ist, wurde Telefunken als Entwicklungs- und Vertriebsfirma von der AEG und Siemens gegründet. – Die Stammfirmen hatten damals eine paritätische Fertigung beschlossen. Die immer größer werdende Ausweitung in der drahtlosen Nachrichtentechnik – Trägerfrequenztechnik, Überseefunk, Richtfunk – führte zu einer Entwicklung, bei der es zwischen Siemens & Halske und Telefunken zu erheblichen Interessenskonflikten kam, da die AEG als Starkstromfirma über Telefunken zunehmend in das Stammgeschäft von Siemens & Halske, die Nachrichtentechnik, eindrang!

Des weiteren reichte den Wehrmachtsbehörden die Fertigungskapazität bei den Stammfirmen nicht aus. Da die Konflikte zwischen AEG und Siemens einer reibungslosen Fertigung nicht gerade dienlich waren, übten die Behörden Druck auf beide Firmen aus, damit Telefunken eigene Fertigungsstätten erhielt.

Letzten Endes erklärte Geheimrat Hermann Bücher, Chef der AEG, seine Zustimmung zum Ausstieg von Siemens & Halske aus dem „Telefunken-Vertrag“, und damit zur eigenständigen Betätigung von S & H in der Nachrichtentechnik, wenn Siemens seinen 50%-Anteil an Telefunken der AEG überlassen würde. Siemens stimmte zu, und so wurde am 24. September 1941 zwischen den Vorständen von S & H und der AEG das denkwürdige Vertragswerk zur so genannten „Telefunken-Transaktion“ unterzeichnet.

Siemens beabsichtigte dann, auf dem bisherigen Geschäftsgebiet von Telefunken – Drahtlose Nachrichtentechnik – ein *eigenes Geschäft* mit Entwicklung und Vertrieb bei Siemens & Halske – Draht-Nachrichtentechnik – neu aufzubauen.

Die Fertigung von Schwingquarzen, insbesondere die Fertigung für Trägerfrequenzgeräte, wurde bei S & H relativ spät begonnen. Wahrscheinlich ist auch, wie oben schon angedeutet, die Situation zwischen den beiden Firmen eine Erklärung für den späten Beginn.

1938 wurde im Zentrallabor der Firma durch H. v. Beckerath mit den ersten Aktivitäten begonnen. Eine erste Publikation darüber erschien in der Zeitschrift „Elektrische Nachrichtentechnik“ im Jahr 1942. Im ersten Teil dieses Artikels mit dem Titel „Der Schwingquarz in der Nachrichtentechnik“ wurden vorwiegend die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Schwingquarze behandelt. Im zweiten Teil schrieb W. Arens über Schaltungen mit Schwingquarzen und ihre Anwendung in der Nachrichtentechnik.

In Teil 1, Abschnitt 8 – Gesichtspunkte zur praktischen Ausführung von Schwingquarzen – beschrieb v. Beckerath kurz einen Längsschwinger, sicher eine erste von S & H gefertigte Ausführung.

Die Verwendung dieses Schwingquarzes war in einer Trägerfrequenzanlage, wahrscheinlich für die damalige „MG-15-Gerätegeneration“. Für die zentrale Trägerversorgung dieser Anlage war ein 60-kHz-Quarzgenerator vorgesehen. Die Abb. 7.11.1 zeigt eine für alle Formen von Längsschwingern und auch Flächenschwängern geeignete Fassung. Der Stab oder die Platte (siehe auch Abb. 7.11.3) wird in der Schwerachse zwischen zwei kleinen Stahlkugeln, die gleichzeitig zur Stromzuführung dienen, federnd eingespannt. Durch die nahezu punktförmige Berührung in der Knotenachse werden Reibungsverluste und Übertragung von Schwingungsenergie auf die Fassung vermieden.



Abb. 7.11.1
Fassung für Längsschwinger



Abb. 7.11.2
60-kHz-Längsschwinger
für eine zentrale Trägerversorgung
mit dazugehörigem Thermostat



Abb. 7.11.3
Flächenschwinger 233,080 kHz

Eine der Kugeln drückt sich in eine flach eingeschliffene Kugelkalotte ein als Sicherung gegen ein Verrutschen des Quarzes bei Stoßbeanspruchung. Resonanzwiderstand und Frequenz erwiesen sich bei genauer Erfassung des Knotens als genügend unabhängig vom Einspanndruck.

Eine weitere Ausführung aus dieser Zeit ist ein Flächenschwinger mit einer Frequenz von 233,080 kHz. Dieses Exponat stammt aus meiner Quarzsammlung. Wahrscheinlich wurde dieser Quarz in einer Filterschaltung verwendet.

Zu der Quarzfertigung während der Kriegszeit ist nichts bekannt, nur wie üblich wurde auch diese Fertigung in die Rüstungsproduktion mit einbezogen. Die Fiat-Berichte sagen nur aus, daß Siemens noch im Dezember 1944 mit 13 Mitarbeitern 250 Schwingquarze gefertigt hat.

Anfang des Jahres 1951 suchte Siemens einen Fachmann für eine neu aufzubauende Schwingquarzfertigung. Willy Müller, früher Leiter der Quarzfertigung bei Telefunken, bewarb sich um diese Stelle. Innerhalb von zwei Jahren baute Müller die neue moderne Schwingquarzfertigung im Werk Berlin-Siemensstadt auf. Nachdem mit dem Aufbau alles zur Zufriedenheit abgeschlossen war, veränderte sich W. Müller wieder. Diesmal war sein Plan, eine eigene Firma zu gründen (*siehe auch Kapitel 7.9.*).



Abb. 7.11.4 Berlin Siemensstadt

Die neue Fertigung und der Vertrieb von Schwingquarzen und Oszillatoren wurden dem Geschäftsbereich „Weitverkehrstechnik und Kabel“ zugeordnet.

...

Anmerkung des Herausgebers:

Die weitere Entwicklung sollte anhand der folgenden Abbildungen (Abb. 7.11.5–17) beschrieben werden. Dazu kam es nicht mehr, weil der Autor nach kurzer schwerer Krankheit am 3. April 2004 verstarb.



Abb. 7.11.5



Abb. 7.11.6

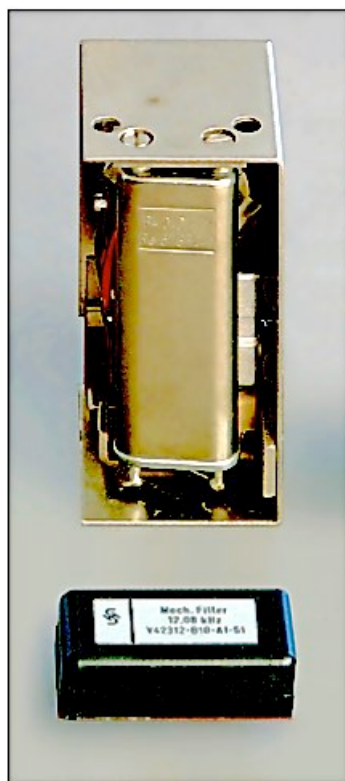


Abb. 7.11.7 ►

Abb. 7.11.8



Abb. 7.11.9

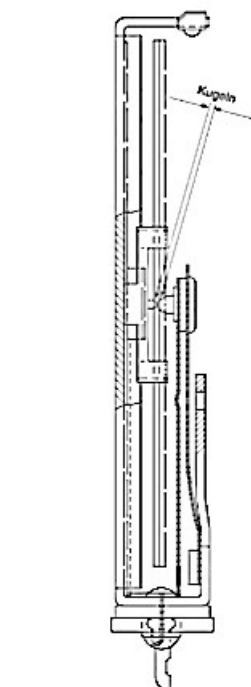


Abb. 7.11.10 ►

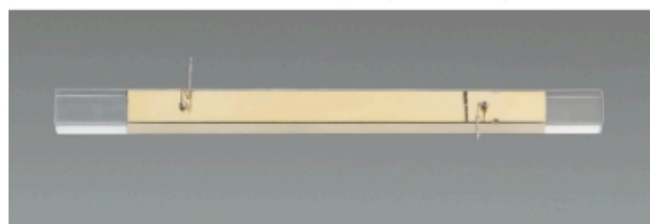




Abb. 7.11.11



Abb. 7.11.12

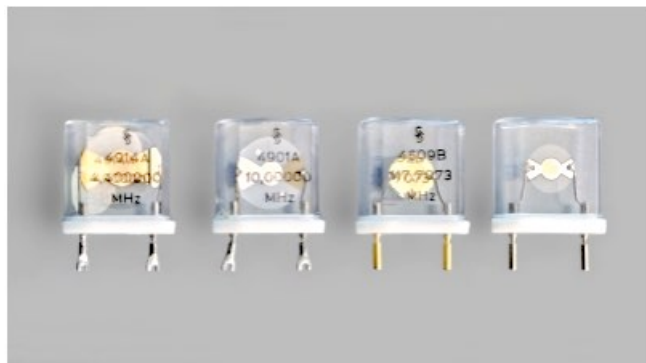


Abb. 7.11.13



Abb. 7.11.14



Abb. 7.11.15

Abb. 7.11.16

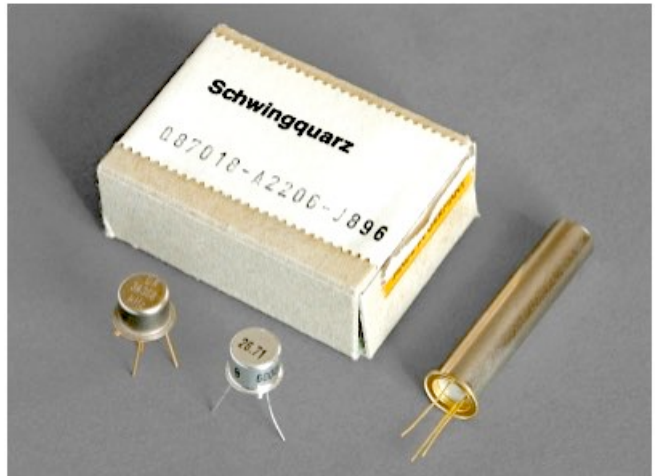


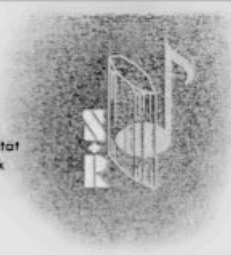


Abb. 7.11.17 Oszillatoren

Dr. Steeg & Reuter
Gegründet 1855

GmbH

Geräte für
Ultraschall
Piezo-Elektrizität
Elektro-Akustik
Mess-Optik
Kristall-Optik



Quarz-Technologie

Berner Straße 109
D-6000 Frankfurt 56

Tel. (06 11) 5 07 10 24
Telex 4 16 649 optik d

Dr. Steeg & Reuter
GEGRÜNDET 1855

GMBH

Dr. Steeg & Reuter Quarz Electronic GmbH
Benzstr. 3 · W-6380 Bad Homburg v.d.H.



Dr. STEEG & REUTER
QUARZ ELECTRONIC
qualitätsbewußt und flexibel

Benzstraße 3 · W-6380 Bad Homburg v.d.H.
Tel. 0 61 72 - 18 08 - 0
fax 0 61 72 - 2 59 11 - tlx 4 15 611 srqe d

7.12 Dr. Steeg & Reuter, Bad Homburg v. d. Höhe

Es war eine geruhssame, noch von romantischen Ideen erfüllte Zeit, als in dem kleinen Städtchen Homburg vor den Toren Frankfurts, 1854 Wilhelm Steeg eine kleine Werkstätte für Kristalloptik eröffnete. Steeg lebte von 1843–1845 als „Handelsgehülfe“, also Verkäufer, in Paris, wo er in der Freizeit seine Neigung zu optischen Versuchen wissenschaftlich fundieren und erweitern konnte. Nach der Rückkehr nach Deutschland befaßte er sich vorwiegend mit der Herstellung von Polarisationspräparaten und der Anfertigung von künstlichen Kristallen.

Er arbeitete überwiegend für die Firma J. V. Albert Spielwaren, die nebenher eine kleine Werkstätte für physikalische Apparate betrieb und später für den Telefonerfinder Philipp Reis die Apparate Teile baute. Seine für J. V. Albert angefertigten Linsen, Prismen und künstlichen Kristalle gingen meist nach Frankreich, das in Europa auf dem Gebiet der Optik führende Land.

Das mag Steeg bewogen haben, sich selbständig zu machen.

Da er keinen finanziellen Rückhalt hatte, begann er auf ungewöhnliche Weise: Er eröffnete ein Spezialitätengeschäft mit erlesenen ausländischen getrockneten Früchten, Gewürzen, Weinen, Likören, Tees und Schokolade.

Ein Auszug aus seinem „Preis-Courant“ (Abb. 7.12.1) zeigt sein Angebot, das in der Kurstadt viele Käufer fand. In der Freizeit arbeitete er an seiner geliebten Optik.

Abb. 7.12.1
Preis-Courant 1854
von W. Steeg

PREIS-COURANT									
Colonial-, Ital., franz., levant. und span. Esswaaren									
Wilhelm Steeg.									
Homburg v. d. H., im Monat									
Zahlbar pr. Comptant. Ohne Verbindlichkeit. In kleinstem Maas und Gewicht.									
Caffee.					Trockene				
Java, best. sträcker pr. Pfd.	48	Zinnel, französischer pr. Pfd.	48	Tafel-Süßfrüchte.	48	Sultan-Holzen pr. Pfd.	32		
Java, brauner "	36	Seller, holländische "	1	Sultan-Holzen "	32	Wägen-Traschen-Reinere "	32		
Java, sehr grüner "	38	Pfeffer, weißer "	1	Wägen-Traschen-Reinere "	32	frische "	32		
Sultra, feinst klein "	36	" brauner "	24	Sultra-Reinere "	18	Caribben, zandische "	32		
Caribba, grüne "	24	Ceylone pr. Pfd.	40	Tafel-Folgen "	32	Konst-Folgen "	34		
Java, grüner Barchinen "	32	Picment, englischer pr. Pfd.	24	Konst-Folgen "	34	Butterb., neue Abz. "	36		
Caribba, weißt. Barch. "	28	" gelber "	24	Butterb., spanische "	36	Brunnen, Hamburger "	36		
Citronen, roth braunsch. "	12	" sandiger "	16	Fransen de You in Kist. "	36	Cashutan - Pflanzen "	36		
" grün Trampel "	10	Asi, Erbsen "	12	Kirsch "	36	Mischel "	36		
" orange "	10	Kraut "	12	Sultra, Hamburger "	8	Handel, süsse Prun. "	36		
viereckig "	10	Coriander "	12	Kirsch, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Erdel, gemahlte "	12	Lorbeerblätter "	24	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Cacao, Virginien "	26	Chocolade	37	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" Surinam "	26	de Saint Nr. 0. "	48	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Zucker.					Candide Früchte.				
Raffinade, feinste Brand.	36	de Saint Nr. 1. "	48	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Kaff, 100. "	24	à la Vanille "	1	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" 24s gut "	22	" dunkel "	1	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" 24s ordinär "	20	de Turin "	12	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" weißer u. geistl. "	20	à Caraque "	1	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Candide, weißer "	20	de Turin, extrafeiner "	1	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" hellgelber "	24	à Milano "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" mittelbrauner "	22	Mittern ohne Zucker "	1	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" dunkelbrauner "	20	Candide Früchte.	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Farrs, hellgelber "	16	Portugiesische Melisse pr. Pfd.	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Gewürze.					Candide Früchte.				
Vanille, extraf. crystal, 4 Loh.	2	Fransz. vanille, alte:	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" feine "	2	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Sultra, raitin feiner "	1	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" feiner "	48	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Unsest-Milche, beste pr. Pfd.	3	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" Nüsse, gerunde "	2	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
Zinnel, feiner Chineser "	7	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		
" chinesisches "	1	Albion "	2	Handel, süsse Prun. "	36	Handel, süsse Prun. "	36		

Doch schon bald ergaben sich Kontakte mit vielen Wissenschaftlern und Universitäten, die seine Fähigkeiten und Erzeugnisse anerkannten. Ab 1855 konnte er sich dann ganz der Kristallographie widmen, ermutigt durch die vielen Bestellungen von Fachgelehrten, und so hieß die Firma ab 1855 „Optisches Institut Wilhelm Steeg“. Anhaltende Erfolge führten zur Veröffentlichung einer ersten Preisliste. Auf 36 Seiten bot er seine Kristalle und diverse optische Linsen und Instrumente an. Auf der Gewerbe-Ausstellung des Obertaunuskreises zeigte er im Juli 1867 im jetzt preußischen Homburg der Öffentlichkeit zum ersten Mal seine Apparate und Präparate.

Der Eintritt eines Lehrlings gehört wohl nicht zu den wichtigsten Ereignissen in einer Firmengeschichte. Im Falle des Optischen Instituts Wilhelm Steeg war dies aber anders. Mit dem Eintritt des 14 Jahre alten Kirdorfer Wollwebersohnes Peter Reuter am 22. Mai 1866 begann nicht nur eine vier Jahre dauernde Lehrzeit, sondern für ihn und seine Nachkommen wurde dieser Tag von entscheidender Bedeutung. Der junge Peter Reuter zeigte viel handwerkliche und geschäftliche Begabung und hatte an der Aufwärtsentwicklung des kleinen Betriebes entscheidenden Anteil.



Mit seinem Lehrmeister zog er 1872 in das neuerbaute Haus an der Kirdorfer Landstraße 188. Es ist das durch An- und Neubauten erweiterte Stammhaus mit der späteren Anschrift Kirdorfer Straße 16.

Abb. 7.12.2
Optisches Institut
W. Steeg 1872

Das große Engagement, das Peter Reuter zeigte, wußte Herr Steeg zu würdigen und so bot er ihm im Jahre 1877 die Partnerschaft an. Das Jahr 1877 brachte auch sonstige weitreichende Veränderungen. Die Universität Tübingen verlieh auf Veranlassung von Professor Reusch die Ehrendoktorwürde an Herrn Steeg und begründete dies auf der Urkunde:

... Seine Forschungen und Entdeckungen auf dem Gebiet der Polarisierung des Lichtes und seine Erfindungen zur Herstellung diesbezüglicher Apparate und Präparate haben seinen Namen über den ganzen Erdball verbreitet. Steeg nimmt für optische Präparate die erste Stelle in der Welt ein. ...



Abb. 7.12.3 Dr. h. c. Wilhelm Steeg



Abb. 7.12.4 Peter Reuter

Ebenso bedeutsam wie diese Ehrung war, wie schon erwähnt, für die Firma der Eintritt Peter Reuters als Gesellschafter und so hieß von nun an die Firma:

– Dr. Steeg & Reuter –

Der Name „Optisches Institut Dr. Steeg & Reuter“ blieb über 100 Jahre erhalten. 1882 konnte Reuter das Geschäftshaus kaufen und am 25. Juni 1888 das ganze Unternehmen. Dr. h. c. Steeg blieb als Mitarbeiter mit einer Geschäftsbeteiligung bis ins hohe Alter tätig. 1901 zog er sich mit 82 Jahren zurück.

Es folgten Jahre, in denen die Firma weltweit Beachtung fand, zahlreiche Medaillen und Ehrendiplome (*siehe Abb. 7.12.5*) zeigten die Würdigung der Leistungen. Als persönliche Ehrung für W. Steeg war 1902 die Verleihung mit dem *Orden des Roten Adlers* durch Kaiser Wilhelm II, dazu mit einem staatlichen Ehrensold für seine Verdienste. Reichtümer brachte ihm sein Optisches Institut nicht, aber der am Ende seines Lebens 84-jährige erlebte das stetige Wachstum seiner Gründung und die Anerkennung durch die Fachwelt.

Er erlebte aber auch 1898 den plötzlichen Tod des ihm ans Herz gewachsenen lang-jährigen Weggefährten Peter Reuter, als dieser mit 48 Jahren an Herzversagen starb.



Abb. 7.12.5
Ehrenpreise der Firma



Abb. 7.12.6
Dr. August Reuter

Dr. phil. August Reuter

In der Stammhalterwiege mag schon sein Vater in ihm den Nachfolger gesehen haben, was auch dann durch den Besuch des Homburger Realgymnasiums zum Ausdruck kam. Seine Lehrer nahmen lebhaften Anteil an seiner beruflichen Fortbildung, da sie die Fähigkeiten erkannten, die nicht zuletzt ständig durch den Kontakt mit der Optik im Elternhaus herausgefordert wurden.

Nach dem Schulabschluß 1891 folgte eine 4-jährige praktische Ausbildung in der väterlichen Werkstatt.

Nun konnte der Wunsch des Vaters und sein eigener in Erfüllung gehen: der 20-jährige fuhr nach Berlin, um in sechs Semestern an der Friedrich-Wilhelm-Universität Mineralogie, Physik und Chemie zu studieren. Um praktische Versuche durchzuführen, fuhr er mit der Pferdebahn nach Berlin-Steglitz zur Firma Fuess.

Ebenfalls in Steglitz entstand ein freundschaftliches Verhältnis zur Firma Bernhard Halle Nachf.; der Seniorchef Dr. h. c. Ritter war daher anfangs des Jahres 1904 in Bad Homburg auch zur Erweiterung seiner Ausbildung tätig.

Der Mineraloge Prof. Klein veranlaßte A. Reuter 1898 zur Dissertation über das Thema: „Kristalloptische Untersuchungen einiger organischer Verbindungen“.

Am Tage des Studienabschlusses mit dem Doktorexamen kam ein Telegramm aus Bad Homburg „Vater schwer erkrankt“. In Wirklichkeit war der erst 48-jährige Vater plötzlich und unerwartet einem Herzschlag erlegen.

Das Schicksal bestimmte so den jungen Doktor zur Geschäftsübernahme.

Neben seiner Mutter trat August Reuter 1900 als Gesellschafter in die Firma ein. Später teilte er mit seinem Bruder Wilhelm die Firmenleitung. Mit viel Fleiß und Ausdauer ging er an die neuen Aufgaben und rechtfertigte so das in ihn gesetzte Vertrauen. Im selben Jahr erschien der Katalog 1900, welcher außer den bereits bekannten Artikeln auch Röntgenapparate mit Zubehör anbot.

Die Röntgentechnik hatte inzwischen auch auf andere Gebiete übergegriffen.

Prof. M. v. Laue veröffentlichte seine grundlegenden Arbeiten über die Raumgitter der Kristalle. W. Friedrich und P. Knipping gelangen mittels Röntgenstrahlen die ersten sogenannten „Laue-Diagramme“, und es entstand ein steigender Bedarf an orientierten Kristallen; ähnliche Präparate mit bestimmten Schnittwinkeln, jedoch für einen anderen Zweck, benötigen die Gebrüder Curie, um den Piezoeffekt zu studieren.



Abb. 7.12.7 Prof. W. Voigt

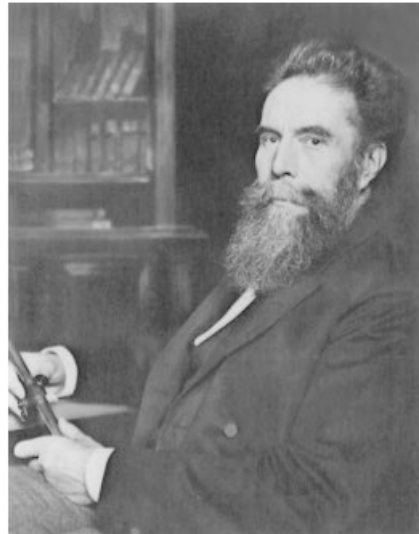


Abb. 7.12.8 Prof. W. C. Röntgen

Viele namhafte Gelehrte und Wissenschaftler standen mit Dr. Reuter in Verbindung, da er durch seine universellen Kenntnisse, besonders aber auf dem Gebiet der Kristall-Orientierung, ein gesuchter Partner war, so die Professoren W. Voigt in Göttingen und W. C. Röntgen in München. Ihr Forschungsthema war in jenen Jahren auch die Piezoelektrizität, wie die folgenden Ausschnitte aus den Arbeiten und die noch erhalten gebliebenen Briefe zeigen (Abb. 7.12.9/10).


X J.-No.

3 Klausur in der Physik 8.50

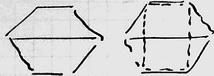
per. 19.

Herrn Dr. Steeg u. Reuter

Bad Homburg.

Sehr geehrte Herren, das mir aus Ihrer und
Ihren beiliegenden Briefen zu erfahren, das die
Zustellungsgewinnung zu einer Runde  das mir
dann in der nächsten Runde zu kommen.

Es ist mir sehr angenehm, dass die beiliegenden Briefe (siehe
bei den letzten) mir nun zu den letzten zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.

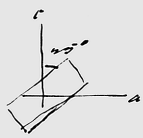


Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.

mit der Bitte folgen

na. Hoch

Ihre Briefe sind mir sehr angenehm zu kommen. Ich bin
sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen sind. Ich
bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen sind.



Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.



Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.

Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.



Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind. Ich bin sehr dankbar, dass Sie mir die Briefe zu kommen
sind.

Sehr geehrte Herren

Prof. W. Voigt

Abb. 7.12.9 Brief von Prof. Voigt an Dr. Steeg & Reuter

ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN UND VERWALTET DURCH
F. A. C. GREY, L. W. GILBERT, J. C. FOGGENDORFF.

NEUE FOLGE.

BAND 66.

DER DARTMOUTH COLLEGE LIBRARY

UNTER MITWIRKUNG

DES PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT ZU BERLIN

UND VERWALTET VON

M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON

G. UND E. WIEDEMANN.

MIT NEUN FIGURENTAFELN



LEIPZIG, 1898.

VERLAG VON JOHANN AMEROSIUS BARTIL.

11. Lässt sich die Pyroelectricität der Krystalle vollständig auf piezoelectricische Wirkungen zurückführen? Von W. Voigt.

(Mittheilung aus den Göttinger Nachrichten, Heft 2. 1898.)

I. Einleitung.

Es ist eine bereits von den Entdeckern der Erscheinungen der Piezoelectricität, den Herren J. und P. Curie¹⁾, ausgesprochene Vermuthung, dass die sogenannte Pyroelectricität in Wahrheit auf piezoelectricischen Erregungen beruhen möchte, d. h., dass die Temperaturänderung eines Krystalles nur deshalb electricitäts-erregend wirkt, weil sie ihn deformirt. Diese Vermuthung hat später besonders Hr. Röntgen²⁾ auf Grund seiner Beobachtungen mit grossem Nachdruck vertreten.

Ihre exacte Prüfung erfordert ausser quantitativen Bestimmungen der bezüglichen Erscheinungen eine vollständige Entwicklung der Theorie der Piezoelectricität, da nur mit Hilfe einer solchen die erregende Wirkung einer thermischen Deformation zu derjenigen einer mechanischen Deformation in Beziehung gebracht werden kann. Diese allgemeine Theorie habe ich vor nunmehr acht Jahren veröffentlicht.³⁾ Für eine grosse Zahl von Krystallgruppen ergibt sich indessen die Richtigkeit der oben dargestellten Vermuthung ohne die Hülfe von Beobachtungen schon aus den ersten Grundannahmen jener Theorie mittelst einer einfachen Symmetriebetrachtung. Nennt man nämlich wahre pyroelectricische Erregung diejenige, welche in einem Krystalle durch eine gleichförmige Erwärmung bei aufgehobener Deformation hervorgerufen wird, dann ist von vornherein klar, dass eine solche nur bei Krystallen auftreten kann, die eine einzelne krystallographisch ausgezeichnete Richtung besitzen, z. B. eine einzigartige polare Symmetriachse.

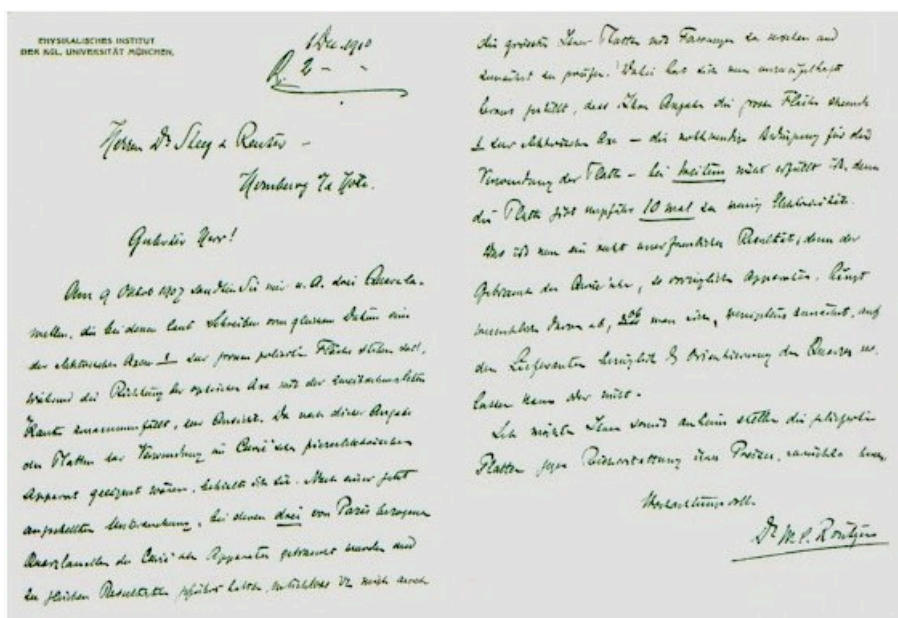
1) J. u. P. Curie, Compt. rend. 91, p. 295. 1880.

2) W. C. Röntgen, Wied. Ann. 19, p. 513. 1885.

3) W. Voigt, Göttinger Abhandl. 56, Nr. 2. 1890.

Abb. 7.12.10 Auszug aus den Annalen der Physik und Chemie

Abb. 7.12.11 Brief von Prof. Röntgen an Dr. Reuter



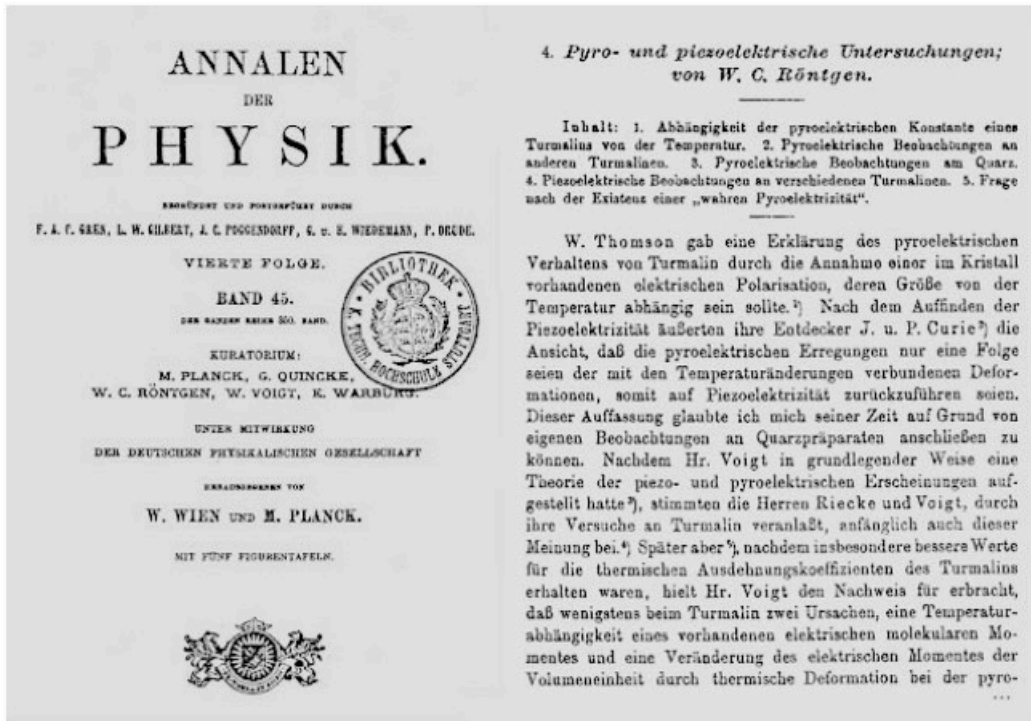


Abb. 7.12.12 Auszug aus einer Arbeit über pyro- und piezoelektrische Untersuchungen von Prof. Röntgen

In diesem Zusammenhang ist vielleicht auch zu wenig bekannt:

über die Strahlen hat Röntgen nach seiner Berufung an die Universität München nicht mehr gearbeitet. Er wandte sich, wie er selbst sagte, seinen „Lieblingskindern“ den Kristallen zu; bis in die letzten Jahre arbeitete er an diesem Themenbereich. An erster Stelle standen wie früher schon seine Forschungen zur Kristallphysik. Quarz, Turmalin und Kalkspat waren die besonderen Lieblinge.

Nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu der Firma S & R. Zur Erweiterung der Fertigung wurde die mechanische Werkstatt der Firma Voigt und Hochgesang erworben. Mit Prof. Stöber versuchte Reuter die Kristallsynthese, zunächst für optische Zwecke. Später gelang ihm erstmals in Europa die Fabrikation synthetischer, piezoelektrischer Kristalle aus Seignettesalz, die für Tonabnehmer und Mikrophone verwendet wurden.

Diese neuen Aufgaben führten zur zeitweisen Zusammenarbeit mit den Professoren Schäfer und Bergmann von der Universität Breslau. 1926 fragte Telefunken an, ob

Steeg & Reuter orientierte Quarzplatten für Schwingquarze liefern könnte. So kam es bald zur Zusammenarbeit mit dem Quarzentwickler von Telefunken Dr. Bechmann. Diese fruchtbare Beziehung dauerte bis nach dem Zweiten Weltkrieg an, und selbst als Bechmann schon lange in den USA weilte, gab es noch Kontakte nach Bad Homburg.

Ab dem Jahr 1928 begann dann bei Steeg & Reuter auch eine Entwicklung und Einzelfertigung von Schwingquarzen für Sender.

Die ersten Kunden waren Kurzwellenamateure.

Erst im Sommer 1932 begann man dann kleine Serien von Quarzoszillatoren herzustellen. Bekanntlich war ja in jener Zeit in Deutschland ein allgemeiner Tiefstand im Geschäftsleben vorhanden.

Dr. Reuter stand auch schon seit längerer Zeit mit Heinz Evertz aus Köln über Quarzprobleme in Verbindung. Evertz war begeisterter Amateurfunker und in dieser Eigenschaft bekleidete er das Amt eines Landesgruppenleiters für Rheinland und Westfalen des Deutschen-Amateur-Sende- und Empfangsdienstes (DASD).

Als freier Mitarbeiter übernahm Evertz damals auch die ihm angebotene „General-Vertriebsstelle Piezoelektrischer Kristalle und Halter“ von Steeg & Reuter.



Abb. 7.12.13 Generalvertriebsstelle von S & R in Köln

In jenen Jahren gab es eine große Nachfrage an Steuerquarzen, nachdem bekannt wurde, daß es jetzt dieses Bauelement in Deutschland zu kaufen gab, und so mußte Evertz ab und zu bei englischen Quarzfirmen zusätzliche Bestellungen tätigen.

(Bei S & R traten noch einige Anfangsschwierigkeiten auf, und dies war schließlich der Grund, warum Evertz mehr und mehr gedrängt wurde, bald nach Bad Homburg zu kommen.)

Bei Messungen an den in England gekauften Schwingquarzen fiel Evertz ein interessanter Effekt auf. Bei einer dieser Lieferungen, es waren drei Kristalle von der Firma B. M. T. (Brookes Measuring Tools), schrieb er an S & R:

... wollte ich diese Quarze, ich handhabe dies bei jedem neuen Lieferanten so, die selben auf ihre Mehrwelligkeit und Frequenzverschiebung bei Luftspaltveränderung prüfen. Dabei stellte ich fest, daß einer wie der andere vollkommen die gleichen Eigenschaften besaß, nämlich die allerbesten, d. h. ihre Frequenzverschiebung ging absolut gleichmäßig vor sich, ohne auch nur die geringsten Unebenheiten zu zeigen. Ich sende Ihnen anbei einen Kristall mit der Bitte nicht locker zu lassen, bis Sie den Unterschied zu Ihren Kristallen festgestellt haben. ...

Steeg & Reuter bat jetzt Evertz um Übersendung von zwei weiteren Quarzen aus neueren Sendungen. Diese wurden im Kristall-Labor eingehend untersucht. Die Prüfung ergab in Bezug auf Planheit bzw. Planparallelität ein schlechtes Resultat. Die eine Platte war sogar konvex geschliffen. Die Feinheit des Schliffes war bei beiden Platten grundsätzlich verschieden. Es konnte also kein Anhaltspunkt gewonnen werden.

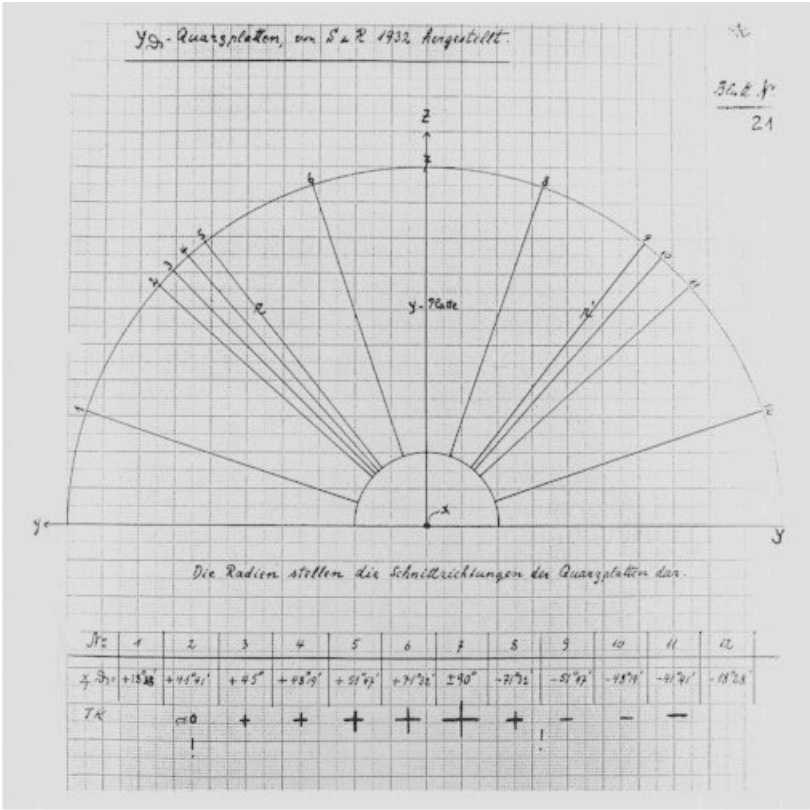


Abb. 7.12.14
Neue
Orientierung bei
S & R

Quarzplatten, zur Z-Achse geneigt,
1932 hergestellt von Dr. Steeg & Reuter
nach Angaben des Geschäftsleiters Dr. August Reuter.

No.	Bezeichnung		Nach Skizze v.17.11.32:	TK	f	Schwingungs- notizen:
	S&R Schnitt mit der y-Achse:	Rot mit der z-Achse:				
1	+ 18° 28'	+ 18° 28'	G rechts	—	—	—
2	+ 41° 41'	+ 41° 41'	A "	0	—	—
3	+ 45°	+ 45°	Nr.115!	klein	3773	nicht ganz gut
4	+ 48° 19'	+ 48° 19'	B rechts	positiv	2525,7	gut
5	+ 51° 47'	+ 51° 47'	Z "	positiv	2502,38	gut
6	+ 71° 32'	+ 71° 32'	D "	positiv	2274,5	gut
7	± 90°	± 90°	"y-Platte"	positiv	1960	gut
8	- 71° 32'	- 71° 32'	D links	positiv	1743	gut
9	- 51° 47'	- 51° 47'	E links	negativ	1696,04	gut
10	- 48° 19'	- 48° 19'	B links	—	—	—
11	- 41° 41'	- 41° 41'	A links	negativ	1766,4	nicht be- sonnens gut
12	- 18° 28'	- 18° 28'	G links	—	—	—

Abb. 7.12.15 Meßprotokoll der Quarzplatten

Dr. Reuter schrieb an Evertz „... wir glauben beinahe, daß tatsächlich eine andere Orientierung gewählt wurde...“. Dr. Reuter ließ dann sogleich im Labor mehrere Quarzplatten mit verschiedenen Schnittwinkeln anfertigen und dokumentierte die Ergebnisse. Die Bilder 7.12.14 und 7.12.15 zeigen eine Orientierungszeichnung und ein Meßprotokoll.

S & R lieferte dann schon im November 1932 an Evertz die Quarze mit den Nummern 114–118, die unter 45° orientiert waren ($\vartheta = +45^\circ$), also wie die englischen Fabrikate. (Die Nr. 115 spielte bei dem Patentstreit S & R–Zeiss noch eine besondere Rolle, doch davon später.) Zunächst genügte es Dr. Reuter, bestätigt gefunden zu haben, daß die nach seinen Angaben hergestellten Quarzplatten aus der Zone der X-Achse, die auch als Y ϑ -Platten bezeichnet werden, nicht nur einen mit der Größe des Neigungswinkels ϑ veränderlichen Schwingungsfaktor, sondern auch Temperaturkoeffizienten zeigten, die sich in jedem der beiden Winkelquadranten von positiven nach negativen Werten bewegten, mithin in jedem Quadranten auf eine

Nullstelle hinwiesen. In dem einen Quadranten war Dr. Reuter schon bei der ersten Plattenserie mit der Richtung Nr. 2 (*siehe Abb. 17.12.14*) herangekommen. In dem anderen Quadranten lag die Platte Nr. 9 ebenfalls schon ziemlich nahe bei einer Nullstelle, wenn auch nicht so gut wie die Platte Nr. 2.

Auf die genaue Bestimmung des besten Winkels in diesem Quadranten mußte damals – es war kurz vor Jahresende 1932 – aus Zeitmangel vorläufig verzichtet werden. Es war ja auch im Augenblick gleichgültig, ob als bester Neigungswinkel für TK-Nullplatten im negativen Quadranten ca. -54° oder ca. -56° erkannt worden wäre, denn der Schwerpunkt für die weitere Verfolgung und Nutzbarmachung der schräg orientierten Quarzplatten lag jetzt bei einer geeigneten Meßapparatur zur genauen, ziffernmäßigen Bestimmung der kleinen TK-Werte. Ferner waren noch andere Einflüsse auf den TK, so namentlich die Beeinflussung durch die Formgebung des Plattenrandes zu untersuchen. Denn es hatte sich gezeigt, daß zwei gleich orientierte Platten nur dann den gleichen TK hatten, wenn die Gestaltung des Randes übereinstimmte. Und es zeigten sich auch sonst Einflüsse, die nicht so leicht zu ergründen waren, so daß Dr. Reuter ein ausgedehntes Arbeitsprogramm erblickte für die Klärung einer ganzen Reihe von Nebenfragen bei der Herstellung von verschieden geformten und verschieden dicken Quarzplatten.



Abb. 7.12.16
Heinz Evertz

Es wurden jetzt Verhandlungen mit Herrn Evertz in die Wege geleitet, mit dem Ziel, den genannten zur baldigen Aufgabe seines Handlungsgeschäftes in Köln zu bewegen und ihn als Angestellten bei Steeg & Reuter in Bad Homburg zu beschäftigen. Im April 1933 trat dann schließlich Evertz in die Firma ein.

Für das „in die Wege leiten“ serienmäßiger Herstellung von Quarzoszillatoren waren dauernd Hindernisse zu überwinden. Fachleute, welche in dieser Fertigung bewandert waren, gab es zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Es war damals recht schwer, überhaupt jemand zu finden, der sich eignete. So hatte Dr. Reuter in Heinz Evertz eine gute Wahl getroffen. Einer seiner ersten Arbeiten in der Firma war die Weiterentwicklung des TK-0-Schnittes und die Vervollkommnung des Variorhalters (Varioquarz) zu forcieren.

Die Idee und erste Muster wurden noch in Köln geboren.

In der Zwischenzeit war auch in Deutschland eine Abhandlung von dem amerikanischen Physiker August Hund bekannt geworden. Die Abhandlung erschien in den *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* im Jahre 1926 mit dem Titel

Uses and possibilities of piezoelectric oscillators. Es handelte sich um eine Besprechung von Quarzplatten, die um die optische Achse des Quarzes gedreht waren.

Hund schrieb:

... Schnitte von diesem Typus geben einen größten piezoelektrischen Effekt mit einem kleinen Temperaturkoeffizienten, welcher entweder positiv oder negativ ist. Obgleich es solche Schnitte gibt, für welche der Temperaturkoeffizient Null ist, wurde es doch als praktischer gefunden, so nahe als möglich entlang den OX-, OY- oder OZ-Richtungen zu schneiden. ...

Die oben erwähnte Literaturstelle zeigt, daß wenn bei verschiedenen Quarzplatten, die mehr oder weniger um eine Achsenrichtung gedreht werden, positive und negative TKs auftreten, dazwischen auch eine TK-Nullrichtung vorhanden ist. Durch die vorgenommenen Untersuchungen und die Abhandlung von Hund war es vollkommen klar, daß durch geeignet schräge Orientierung der Kristalle verschwindend kleine Temperaturkoeffizienten zu erreichen waren.

Ende 1933 lieferte S & R dann schon die ersten serienmäßig hergestellten Kristalle, welche schief zur Z-Achse, aber mit in der Plattenebene liegender X-Achse geschnitten waren, an die Kunden aus; es geschah in Weiterverfolgung der im Herbst 1932 begonnenen Versuche ohne weitere Anregung von außen.

Aber wie es so oft ist im Leben, die Freude über den Erfolg wurde getrübt, als bekannt wurde, daß die Firma C. Zeiss unter dem Aktenzeichen Z 20 589 ein Patent angemeldet hatte:

Eingereicht am 04.11.1932

Ausgelegt 15.11.1934

Bezeichnung: „Scheibenförmiger, piezoelektrischer Oszillator aus Quarz“.

Patentanspruch: *Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator oder Resonator aus Quarz, dadurch gekennzeichnet, daß seine Dickenabmessung senkrecht zu einer der elektrischen Achsen liegt und gegen die optische Achse unter einem Winkel von +25° bis +55° oder von -45° bis -70° geneigt ist.*

Es erfolgte dann noch eine Zusatz-Anmeldung Z 20 589 – Akt. Zeichen Z 20 704

Eingereicht am 24.12.1932

Ausgelegt 15.11.1934

Bezeichnung: „Scheibenförmiger, piezoelektrischer Oszillator aus Quarz; Zusatz zur Anmeldung Z 20 589“

- Patentansprüche:
1. Scheibenförmiger, piezoelektrischer Oszillator oder Resonator aus Quarz nach Patent (Anmeldung / 20 559 VIII a 21a 4) dadurch gekennzeichnet, daß für den Fall gleichzeitiger Vermeidung einer Temperaturabhängigkeit des Oszillators der Neigungswinkel seiner Dickenabmessung gegen die optische Achse nur zwischen $+36^\circ$ und 47° oder 48° und -60° liegt.
 2. Oszillator oder Resonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Winkel $+41^\circ$ oder -54° beträgt.

Am 10 Januar 1935 erhob Dr. A. Reuter fristgemäß Einspruch. Am 27. März 1935 folgte eine ausführliche Begründung des Einspruchs gegen die beiden Anmeldungen Z 20 589 und Z 20 704. Im April 1935 machte Dr. A. Reuter unmittelbar an Zeiss den brieflichen Vorschlag einer Verständigung.

Am 26. April 1935 lehnte Zeiss den Verständigungsvorschlag ab. Am 24. März 1936 erhielt Dr. A. Reuter vom Patentamt die von Zeiss formulierte neue selbständige Fassung zu Z 20 704 unter dem Zeichen P. A. 577561 – 29.8.1935 mit folgenden Patentansprüchen:

1. Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator aus Quarz, dessen Dickenabmessung senkrecht zu einer der elektrischen Achsen liegt, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel der Dickenabmessung gegen die optische Achse zwischen $+36^\circ$ und $+47^\circ$ oder -48° und -60° liegt.
2. Oszillator oder Resonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Winkel ungefähr $+41^\circ$ oder -54° beträgt.

Abweichend von der Fassung der ursprünglichen Zusatz-Patentanmeldung ist jetzt die Angabe über die Lage der Dickenmessung senkrecht zu einer der elektrischen Achsen über das Wort „gekennzeichnet“ gesetzt worden!

In seinem Einspruch vorn 4.9.1936 an das Patentamt machte Dr. A. Reuter zum ersten Mal die Angabe, daß in seinem Optischen Institut am 17.11.1932 – also schon vor dem Tage der ursprünglichen Zusatzanmeldung Z 20 704 – solche Quarzoszillatoren hergestellt wurden. Er fügte zur Einsichtnahme des Patentamtes die Photokopie des betreffenden Werkstattzettels vom 17.11.1932 bei.

Daß Dr. Reuter nicht gleich von vornherein bei seinem ersten Einspruch die Vorbenutzung erwähnte, hängt damit zusammen, daß genannter Werkstattzettel nach der Einreichung des Hauptpatentes Z 20 589 ausgegeben wurde.

Als diese Anmeldung zurückgezogen wurde, und die Zusatzanmeldung vom 24.12.1932 als selbständig übrig blieb, lag aber das Datum besagten Werkstattzettels vor der Anmeldung.


 Reichspatentamt
des Reichs-Landwirtschaftsministeriums
STUTT GART

 REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr 727 468

KLASSE 21a⁴ GRUPPE 10Z 20704 VIIIa/21a⁴

Firma Carl Zeiss in Jena

Scheibenförmiger, piezoelektrischer Oszillator aus Quarz

Patentiert im Deutschen Reich vom 25. Dezember 1932 an

Patenterteilung bekanntgemacht am 1. Oktober 1942

Eine Hauptschwierigkeit für die Konstanthaltung der Frequenz piezoelektrischer Oszillatoren oder Resonatoren liegt in deren verhältnismäßig großem Temperaturkoeffizienten. Insbesondere für Rundfunksender werden zur Erreichung einer größtmöglichen Frequenzkonstanz sehr verwickelte und dementsprechend teure Thermostaten verwendet. Für ortsbewegliche Stationen muß man aus Gewichtsgründen von einem Thermostaten absehen. Hier macht sich ganz besonders die Temperaturabhängigkeit der Frequenz bemerkbar, da solche Stationen meist mit kürzeren Wellen arbeiten und sich der Überlagerungston dementsprechend stärker ändert. Es ist bekannt, daß sich ganz besonders in den ersten Minuten nach der Inbetriebnahme die Frequenz des Oszillators in unerwünscht starker Weise ändert, bis sich ein Temperaturgleichgewicht einstellt. Besonders unangenehm wirkt diese Erscheinung, wenn die Sendestation sowohl wie die Empfangsstation mit einem Kristalloszillator gesteuert werden, da die örtlichen Temperaturverhältnisse stets verschieden sein werden.

Die Erfindung betrifft einen scheibenförmigen, piezoelektrischen Oszillator oder Resonator aus Quarz, dessen Dickenabmessung senkrecht zu einer der elektrischen Achsen liegt, und bezweckt die Beseitigung der Tem-

peraturabhängigkeit. Maßgebend für die Achsenorientierung in dem Kristallsystem, dem der Quarz angehört, ist dabei die folgende, in dem »Lehrbuch der Kristallphysik« von W. Voigt dargelegte Bestimmung. Die gewöhnlichste Form, in der die betreffenden Kristalle auftreten, ist die einer sechsseitigen Säule, auf welche beiderseitig gleiche sechsseitige Pyramiden aufgesetzt sind. Aussehen und Ausbildung dieser Pyramidenflächen zeigen, daß sie abwechselnd verschieden sind, und zwar entsprechen dabei drei gleichwertige Flächen der einen Pyramide, die am einen Ende der Z-Achse (optischen Achse) liegt, je den drei um 60° gegen diese versetzten Flächen der anderen Pyramide. Die drei gleichwertigen Flächen jeder Pyramide, die sich durch ihr besonders physikalisches und chemisches Verhalten vor den drei anderen Flächen derselben Pyramide auszeichnen und zumeist auch besonders gut ausgebildet sind, werden allgemein als positive R-Flächen oder R-Flächen schlechthin, die übrigen als negative R-Flächen oder R'-Flächen bezeichnet. Das Achsenkreuz wird nun so gelegt, daß die positive Y-Achse (mechanische Achse) aus der Mitte einer der um die positive Z-Achse gruppierten positiven R-Flächen austritt. Das Vorzeichen der Z-Achse kann beliebig angenommen werden. Die X-Achse (elektrische

Achse) steht senkrecht auf den beiden anderen Achsen, und ihre positive Richtung bildet mit denen der Y- und der Z-Achse in dieser Reihenfolge eine Rechtsschraube für rechtsdrehenden Quarz, dagegen eine Linksschraube für linksdrehenden Quarz.

Es sind nun Verfahren bekannt, die Frequenz eines Oszillators in geringen Grenzen zu ändern; dies setzt aber stets eine weitere Erschwerung der Bedienung des Sende- oder Empfangsgerätes voraus. Man hat weiterhin versucht, eine Kombination zweier Eigenschwingungen eines einzigen Kristalls zu bilden. Der Vorgang besteht darin, daß eine Harmonische der von der Breitendimension einer solchen Platte abhängigen Querschwingung auf die durch die Dicke der Platte bestimmte Schwingung abgestimmt wird, wobei dann miteinander gekoppelte Schwingungen entstehen. Da nun bei Platten, deren Dickenabmessung mit der Y-Richtung zusammenfällt, der Temperaturkoeffizient der Dicken-schwingung positiv, der der Querschwingung und ihrer Harmonischen dagegen negativ ist, so läßt sich durch geeignete Abstimmung einer Harmonischen der Querschwingung auf die Dicken-schwingung innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls ein sehr kleiner Temperaturkoeffizient der entstehenden Kopplungsschwingungen erzielen.

In ähnlicher Weise, ebenfalls durch das Zusammenwirken zweier Eigenschwingungen mit entgegengesetzten Temperaturkoeffizienten kann man bei kleinen Quarzstäben geeigneter Orientierung einen Oszillator mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls erzeugen.

Diesen bekannten Verfahren haftet aber der Nachteil an, daß ein kleiner Temperaturkoeffizient nur innerhalb eines kleinen Temperaturintervalls auftritt, das in den meisten Fällen nur einige Grad beträgt. Bei Überschreitung der Grenzen dieses Intervalls tritt plötzliche sprunghafte Frequenzänderung auf.

Bei der vorliegenden Erfindung ist ein grundsätzlich anderer Weg eingeschlagen. Es handelt sich hier um ein Verfahren zur unmittelbaren Verringerung der Temperaturkoeffizienten bei Quarzoszillatoren. Nach der Erfindung ergeben sich plattenförmige Oszillatoren und Resonatoren der oben angegebenen Art mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten über einen sehr großen Temperaturbereich, wenn die Richtung der Dickenabmessung der Platten gegen die optische Achse in bestimmter Weise geneigt ist. Während man bisher fast ausschließlich Quarzplatten verwendete, in deren Hauptebene die optische Achse (Z-Achse) enthalten war, schließt bei den erfindungsgemäßen Quarz-

platten die Normale der Platte mit der optischen Achse einen Winkel ein, der zwischen den Grenzen $+36^\circ$ und $+47^\circ$, gemessen von der optischen Achse gegen die positive Richtung der Y-Achse, oder -53° und -58° , gemessen von der optischen Achse gegen die negative Richtung der Y-Achse, liegt. Solche Platten ergeben Oszillatoren mit einem Temperaturkoeffizienten, welcher verschwindend klein ist. Insbesondere läßt sich für jede Arbeitstemperatur ein positiver und ein negativer Winkel angeben, bei dem der Temperaturkoeffizient praktisch Null ist. Für Zimmertemperatur liegt dieser Winkel etwa bei $+41^\circ$ und -54° . Soll der Temperaturkoeffizient für eine andere Arbeitstemperatur verschwinden, so muß die Neigung etwas von $+41^\circ$ oder -54° abweichen. Jedoch ändert sich bei einer Abweichung der Temperatur von der jeweilig gewählten Arbeitstemperatur um $\pm 30^\circ$ der Temperaturkoeffizient so wenig, daß der Temperaturkoeffizient immer noch klein gegenüber den bisher üblichen ist.

Es ist ferner bekannt, longitudinal schwingende stabförmige Quarzkristalle derart aus dem Mutterkristall zu schneiden, daß die Richtung der mechanischen Schwingungen in ihnen nicht senkrecht zur optischen Achse steht, sondern unter einem Winkel von annähernd 70° bzw. annähernd 48° zur optischen Achse steht. Diese Maßnahme wurde getroffen, weil diese Ebenen in jeder Beziehung bevorzugte Ebenen sind, wodurch sich besonders eindeutige und saubere Schwingungsverhältnisse ergeben sollen. Derartige stabförmige Schwingkristalle, deren Längsachse in der Y-Z-Ebene liegt, werden zu Longitudinalschwingungen durch ein elektrisches Feld angeregt, dessen Feldvektor in Richtung der X-Achse liegt. Maßgebend für die Wahl des Schnittwinkels gegen die optische Achse ist bei derartigen stabförmigen, Longitudinalschwingungen ausführenden Stäben der Verlauf des Dehnungsmoduls in der Y-Z-Ebene, der bei den bekannten Winkeln ausgezeichnete Werte aufweist. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der vorliegenden Erfindung um plattenförmige Schwingkristalle vom Typus des Y-Schnittes, welche zu Scherschwingungen angeregt werden durch ein elektrisches Feld, dessen Feldvektor etwa in der Y-Z-Ebene liegt.

Die in einer noch bekanntgewordenen Untersuchung aufgestellten Bewegungsgleichungen für kristalline Medien sowie die numerische Frequenzberechnung für den R- und R'-Schnitt, die wohl eine Abweichung von der optischen Achse aufweisen, lassen keine Schlüsse auf die erfindungsgemäße Lösung des Problems, temperaturunabhängige Quarzplatten herzustellen, zu, wenngleich in

einer anderen mit dieser Untersuchung zusammenhängenden Arbeit eine Verkleinerung des Temperaturkoeffizienten beim R- und beim R'-Schnitt festgestellt werden konnte, die jedoch zu der Annahme führte, daß man nur auf dem hier eingangs genannten bekannten Wege der Verkopplung von Schwingungen weiterkommen könne, um den Temperaturkoeffizienten noch weiter herabzudrücken.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Oszillatoren nach der vorliegenden Erfindung für die Anwendung der ultrakurzen Wellen von ganz besonderer Bedeutung sind.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Scheibenförmiger, piezoelektrischer 15
Oszillator oder Resonator aus Quarz, dessen Dickenabmessung senkrecht zu einer der elektrischen Achsen liegt, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel der Dickenabmessung gegen die 20
optische Achse zwischen $+36^\circ$ und $+47^\circ$ oder -53° und -58° liegt.

2. Oszillator oder Resonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der 25
genannte Winkel ungefähr $+41^\circ$ oder -54° beträgt.

Welche Bedeutung hatte nun dieser Werkstattzettel? Wie ich schon auf Seite 413 erwähnte, ließ Dr. Reuter nach besagtem Werkstattzettel die Quarzplatten mit den Nummern 114–120 herstellen. Davon war die Nr. 115 am besten und zeigte einen kleinen Temperaturkoeffizienten (TK). Diese Platte wurde am 27.10.1932 an Herrn Evertz verkauft.

Die Platte war unter einem Winkel von $+45^\circ$ zur optischen Achse schief geschnitten. Herr Evertz konnte aber damals diese Platte nicht verkaufen und als er im April 1933 sein Handelsgeschäft in Köln aufgab und Angestellter der Firma Steeg & Reuter wurde, brachte er diese Platte zur Firma zurück.

Von dieser offenkundigen Vorbenutzungshandlung wurde im Beschwerdeverfahren Gebrauch gemacht.

Am 5. Dezember 1936 beantragte Zeiss infolge der Einsprüche Dr. Reuters den negativen Winkelbezirk, der bisher von -48° bis -60° ging, zu ersetzen durch die Grenzwerte -53° bis -58° . In dem Beschluß des Reichs-Patentamtes in Berlin vom 30. November 1938 wurde der Firma Zeiss das nachgesuchte Patent zugesprochen. Erwähnt ist darin auch, daß die Offenkundigkeit der von Dr. A. Reuter beantragten Vorbenutzung nicht anerkannt werden könne (!).

Am 10. Januar 1939 reichte Dr. Reuter fristgemäß beim Reichs-Patentamt eine Beschwerde gegen den Beschluß vom 30. November 1938 ein, und am 14. Februar 1939 wurde eine Fortsetzung seiner Begründung eingereicht.

Am 9. März 1939 wurde nach vorausgegangenem Briefwechsel seitens Dr. Reuters, der von seinem Mitarbeiter Dr. Zobel begleitet war, der Versuch unternommen, in Jena bei Zeiss, die Vorbenutzung geltend zu machen.

Der Versuch mißlang, da die richtige Bereitschaft in Jena nicht vorhanden war.

In der Darstellung des Patentstreites bin ich in der Zeit etwas vorausgeeilt und möchte daher den Fortgang für eine kurze Zeitspanne unterbrechen.

Wie ging es nun weiter bei Steeg & Reuter ...?

Die ideenreichen Arbeiten von H. Evertz brachten dem Schwingquarz-Sektor viele Aufträge. Die Arbeiten am Varioquarz wurden inzwischen ganz abgeschlossen und in einer Anzeige in der Amateurfunk-Zeitschrift „CQ“ wurde er das erste Mal anfangs des Jahres 1933 angeboten.

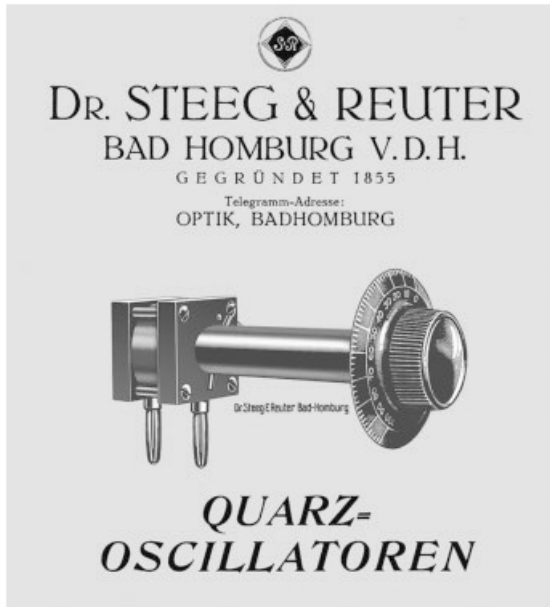


Abb. 7.12.19
Varioquarz – Ausführung 1



Abb. 7.12.21
Werbeprospekt über den
Varioquarz von H. Evertz

Abb. 7.12.20
Anzeige in der Amateurfunk-Zeitschrift CQ

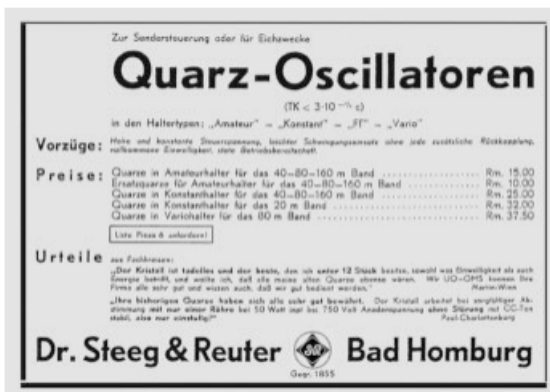


Abb. 7.12.22
Varioquarz – Ausführung 2

Quarzoscillatoren in Variohaltern.

Verwendungszweck:

Sendersteuerung, wenn die Möglichkeit einer Frequenzverschiebung während des Betriebes erwünscht ist, um entweder *vor Störsendern ausweichen* zu können oder mehrere Stationen für *Gleichwellenverkehr auf eine gemeinsame Frequenz* zu bringen.

Technische Daten:

Frequenzgebiet: ca. 1400 — 6000 kHz (andere Gebiete auf Anfrage).

Frequenzverschiebungsmöglichkeit etwa 3,5 %₁₀₀.

Temperaturkoeffizient: ca. $80 \cdot 10^{-6}$ pro 1° C.

Maximale Anodenspannung des Steuersenders: 250 Volt.

Maximale HF-Leistung des Steuersenders: 10 Watt.

Empfehlenswerte Dauerbetriebs-Anodenspannung: 150 Volt.

Empfehlenswerte Dauerbetriebs-HF-Leistung: 5 Watt.

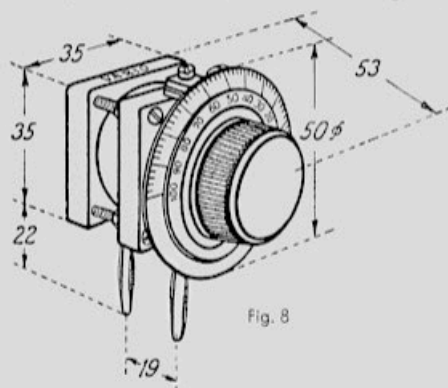


Fig. 8

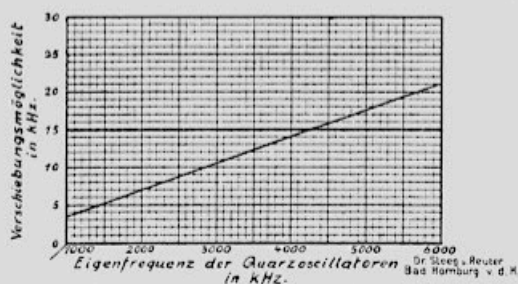


Fig. 9

Temperatur-Eichung:

Zum Einbau in Thermostaten kann die *Eichung* auch hier bei einer bestimmten Temperatur zwischen 30 und 50° C erfolgen. Der Aufschlag beträgt RM. 15.—.

Maximale Abweichung der angegebenen Frequenz vom Absolutwerte unter Berücksichtigung der Eichtemperatur: $\pm 0,03\%$.

Gewicht: Type M ca. 180 gr. Type A (für Export) ca. 110 gr.

Fehlt bei Bestellung die Angabe der Type, so behalten wir uns deren Wahl vor.

Abmessungen: (siehe Figur 8).

Preise einschließlich Eichkurve:

1 % maximale Abweichung von der verlangten Frequenz von dem obersten oder untersten Ende des Variationsbereiches RM. 50.—

Verlangte Frequenz etwa in der Mitte des Variationsbereiches RM. 80.—

Allgemeines:

Die Verschiebung der Frequenz erfolgt durch Drehen eines Skalendrehknopfes. Aus der graphischen Darstellung in Figur 9 kann man die ungefähre Frequenzverschiebungsmöglichkeit innerhalb des Gebietes von 1400 — 6000 kHz ablesen.

Spezialanfrage ist erbeten, wenn Varioquarze für andere Frequenzgebiete mit kleineren Variationsbereichen oder niedrigerem Temperaturkoeffizienten gewünscht werden.

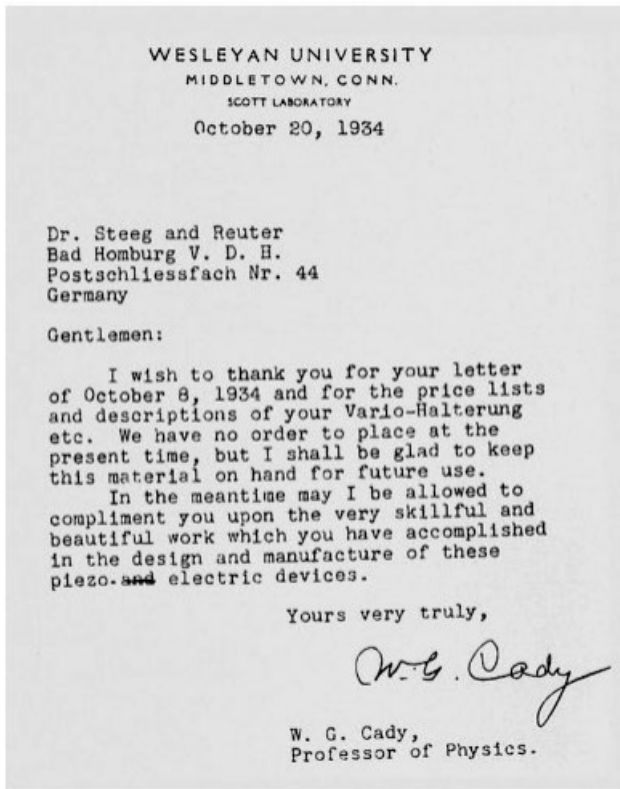


Abb. 7.12.24

In einem Brief
an Steeg & Reuter
äußerte sich Prof. Cady
lobend über den
Varioquarz

Im März 1937 verließ Heinz Evertz die Firma und ging nach München zu seinem Vetter Dr. Lothar Rohde in der Firma Rohde & Schwarz. Er baute in der dortigen Firma eine Schwingquarzfertigung auf.

Für das sich ausweitende Meßgeräteprogramm der Firma wurden immer mehr hochstabile Quarzoszillatoren benötigt.

Im Jahre 1937 erreichte die Firma S & R dank der eigenen Züchtungsanlage von Seignettesalzkrystallen eine Spitzenstellung in der Tonabnehmerfertigung für den europäischen Markt.

Bald nachdem Dr. Reuter das 50. Lebensjahr überschritten hatte, zeichnete sich in seiner Tätigkeit eine Tendenz zur Spezialisierung ab: die Verbindung von Kristalloptik und Elektrizität erforderte eine Serienarbeit.

In diese Zeit fiel auch die Erweiterung des Produktionsprogramms durch seine Söhne Hermann – kaufmännische Leitung, und Julius – Entwickler und technischer Leiter. Dazu wurde noch der Physiker Dr. Alfred Zobel eingestellt.

Außer der Fertigung von Schwingquarzen und Tonabnehmern entstanden auch solche von Druckindikatoren, Frequenzmessern und Mikrofonen.



Abb. 7.12.25
Kristall-Kapsel für Tonabnehmer



Abb. 7.12.26
Resonanzfrequenzmesser mit umschaltbarem Meßbereich

Am 1. Mai 1937 fusionierte das Laboratorium für Piezoelektrizität und Hochfrequenztechnik

– Wolfgang Assmann –

in Burscheid bei Köln mit der Firma Steeg & Reuter. – Herr Assmann war ein bedeutender Hersteller von Schwingquarzen für Funkamateure.



Abb. 7.12.27 Anzeigen in der Amateurfunk-Zeitschrift CQ, über die Fusion

1938 begann Steeg & Reuter auch mit der Entwicklung und Fertigung von Ultraschallquarzen und betriebsfertigen Geräten (einschließlich Sendern) nach Dr. Claus für die Herstellung von Emulsionen und hochdispersen Stoffen.

Die Universität Halle/Saale führte damals umfangreiche Versuche darüber durch; ein Kurz-Zitat aus obiger Veröffentlichung:

...Versuche von Wood und Loomis mit Ultraschallwellen haben ergeben, daß sich durch hoch- frequente mechanische Schwingungen verschiedene Stoffe, wie z. B. Quecksilber oder Öl in Wasser dispergieren lassen. Diese Versuche sind wiederholt und erweitert worden. Bei allen diesen Versuchen handelte es sich immer um eine unmittelbare Zerstäubung. Dem gegenüber wurde von Claus eine Methode angegeben, bei der die hochfrequenten mechanischen Schwingungen mittelbar wirkten. Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, beide Methoden näher zu untersuchen und besonders festzustellen, für welche speziellen Zwecke die eine oder die andere am besten geeignet ist. ...

Bei den vorstehenden Ultraschall-Versuchen gab es am Anfang große Schwierigkeiten mit der Quarzhalterung. Bei den bisher verwendeten Halterungen ging ein Teil der Schwingungsenergie durch Ausstrahlung nach unten, bzw. nach der nicht für die Schallversuche benutzten Seite verloren. J. Gruetzmacher entwickelte hierzu bei S & R eine neue Quarzhalterung. Den oben genannten Nachteil löste Gruetzmacher so,



Abb. 7.12.28 Anzeige in den Kolloid-Beiheften

Abb. 7.12.29 Ultraschallapparatur US1



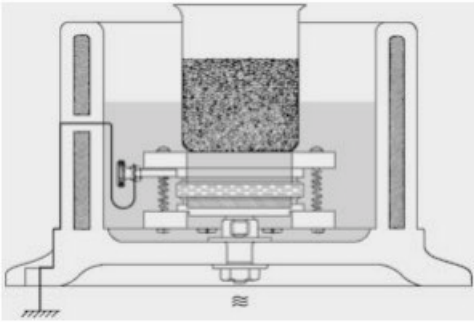
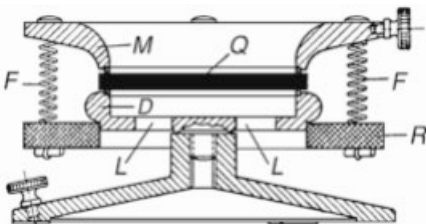


Abb. 7.12.30 Ultraschall-Generator
Quarzhalterung für einseitige
Schallabstrahl



Abb. 7.12.31 Technische
Ausführung

Abb. 7.12.32 Querschnitt



daß man nur eine Oberfläche des Quarzes mit dem schallführenden Medium (Öl) in Berührung brachte und die andere Oberfläche an ein Medium mit sehr kleinem akustischem Widerstand (Luft) angrenzen ließ, dies wirkte praktisch so, als ob kein Schallträger vorhanden wäre. Die Abb. 7.12.31 stellt die neue Konstruktion dar.

Der Quarzkristall **Q** liegt auf einer oben offenen Metalldose **D** gut abgedichtet so eng auf, daß kein Öl eindringen kann. So entsteht an der Unterseite der Quarzplatte eine fast vollkommene Reflexion der Schallwellen, welche in die richtige Phase mit den nach oben abgestrahlten Schallwellen kommen. Das so erzielte Ergebnis ist, daß die an Öl angrenzende Quarzfläche mit einer doppelt so großen Amplitude schwingt, wie wenn die Quarzplatte auf einer festen Unterlage aufliegt. Die Schallenergie, welche nach oben in das Öl abgestrahlt wird, bewirkt unter Verwendung des Luftgehäuses als Unterlage annähernd eine Vervielfachung. Die obige Abb. 7.12.32 zeigt die im Querschnitt dargestellte Halterung. Dabei wird die Dichtung Quarz **Q** und Metalldose **D** dadurch erreicht, daß der Quarz fest gegen den Rand der Dose unter Zwischenschaltung eines 1 mm dicken Bleiringes angedrückt wird. Zu diesem Zweck liegt **D** auf einem Ring **R** aus Isolierstoff (wie Calit oder Pertinax) auf. Der kräftige Metallring **M** wird von oben mittels der Federn **B** gegen den Quarz unter Zwischenlage eines dünnen Bleirings angedrückt. Die Luftdose hat auf ihrer Unterseite einige Löcher **L**, durch welche ein Druckausgleich der Luft bei Erwärmung ermöglicht wird.

Die Betriebssicherheit, die Energieausbeute – oder ganz allgemein die Schwingfähigkeit eines Ultraschallquarzes ist weitgehend von seiner Halterung abhängig. Bei der Wahl einer geeigneten Ultraschallfassung wird man immer vom Verwendungszweck ausgehen, da hierdurch die in elektrischer und mechanischer Hinsicht zu stellenden Anforderungen gegeben sind. Steeg & Reuter entwickelte hierfür verschiedene, *US-Fassungen*, welche sich im praktischen Betrieb bestens bewährt haben. Es waren einmal Fassungen für Unterrichtszwecke und zum zweiten Fassungen für technische Zwecke. Die Fassungen für technische Zwecke gab es in vier verschiedenen Ausführungen für Quarze mit einem Durchmesser von 25, 40, 60 und 80 mm. Zur Erzeugung besonders großer Schalleistungen wurde auch noch eine Hochleistungsfassung hergestellt.

Die folgenden Abb. 7.12.33 und 7.12.34 zeigen die US-Fassung für technische Zwecke im Schnitt und die vier verschiedenen Fassungen als Fertigteile.

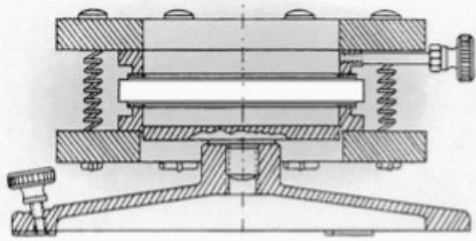


Abb. 7.12.33
Hochleistungsfassung
im Schnitt

7.12.34
US-Fassungen in verschiedenen
Größen



Wie schon erwähnt, war auch in der Zwischenzeit der Physiker Alfred Zobel zur Firma gekommen. Zu seinen ersten Aufgaben gehörte die Weiterentwicklung von Ultraschall-Therapiegeräten.

Die ersten Untersuchungen zur Nutzbarmachung des Ultraschalls für medizinische Zwecke sind mit Quarzplatten, welche aus dem Hause Steeg & Reuter geliefert wurden, durchgeführt worden.

Die Firma hat als erstes Industrieunternehmen wissenschaftlichen und technischen Laboratorien Ultraschallgeräte zur Verfügung gestellt, so daß S & R auf eine lange praktische Erfahrung zurück blicken konnte.

Das hier entwickelte Ultraschall-Therapiegerät „Ultravox“ sollte den Wissenschaftler darin unterstützen, neue Heilverfahren zu erforschen. Darüber hinaus sollte mit diesem Gerät dem praktisch arbeitenden Arzt die Möglichkeit gegeben werden, den Ultraschall als jüngstes Glied in der Reihe der physikalischen Therapieverfahren anzuwenden. Einen breiten Raum nahmen in der Firma auch die Sonderanfertigungen für Untersuchungen ein.

Prof. Ludwig Bergmann von der Universität Breslau arbeitete „Eine neue Methode zum Nachweis der Piezoelektrizität von Kristallen“ aus. Die bisherigen angewendeten Methoden wie die von Curie angegebene statische Methode, das Bestäubungsverfahren von Kundt und die Kristallpulvermethode von Giebe und Scheibe hatten irgendwelche Nachteile.

Die neue dynamische Methode zeichnete sich besonders durch ihre Einfachheit aus und war außerdem außerordentlich empfindlich. Sie war sowohl bei kleinsten Kristallpulvermengen, als auch bei sehr großen Kristallstücken anwendbar.

Das Prinzip der angewandten Methode war folgendes:

Der Kristall befand sich zwischen zwei Metallelektroden und wurde periodischen Druckänderungen unterworfen. Dadurch entstanden an den Elektroden periodische Ladungsschwankungen, welche sich mit Hilfe eines Röhrenverstärkers beliebig verstärken ließen. Mittels an dem Verstärkerausgang angeschlossenem Telefon oder Lautsprecher hörte man einen Ton, dessen Frequenz mit der Frequenz der Druckschwankungen am Kristall übereinstimmte.

In der bequemen Verstärkungsmöglichkeit der periodisch auftretenden Ladungen lag der Hauptunterschied dieser Methode gegenüber der **statischen** mit einem Gleichspannungsverstärker arbeitenden Methode.

Die Abb. 7.12.36 zeigt eine Schaltskizze der Apparatur und die Abb. 7.12.37 die Druckapparatur des ersten Versuchsgerätes mit Verstärker.



7.12.35 Ultravox-Therapiegerät

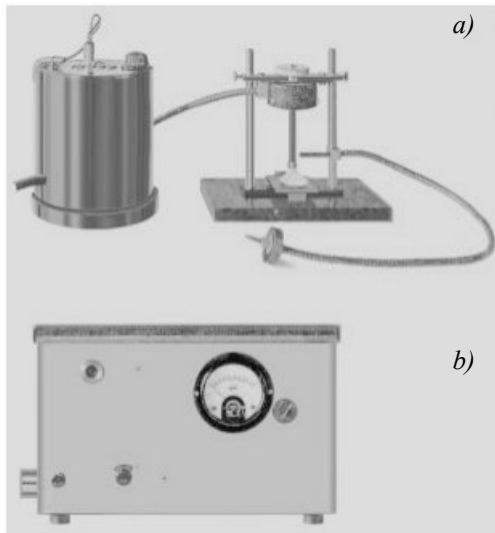
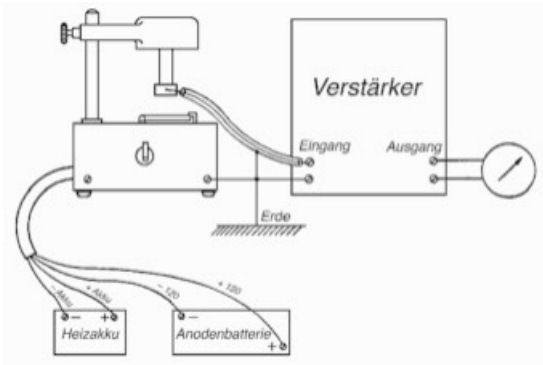


Abb. 7.12.36 oben links
Prinzip-Schaltskizze

Abb. 7.12.37 links
a) Druckapparatur
b) Verstärker

Abb. 7.12.38 oben rechts
Ausführung S & R Druckapparat ohne
Verstärker nach Prof. Bergmann

Abb. 7.12.39 unten
Ausstellungsstand auf der
DECHEMA

Im Jahre 1938 war S & R auch wieder einmal auf einer Messe vertreten; es war auf der DECHEMA (heuteACHEMA) in Frankfurt/Main. Das Angebot und Thema war vorwiegend dem „Ultraschall“ gewidmet, aber auch Frequenzmesser sowie Quarzgeneratoren zur Eichung von Sendern und Empfängern waren ausgestellt.



Der Bedarf an Schwingquarzen jeder Art wuchs von Jahr zu Jahr. Die Firma erreichte auf diesem Sektor eine Monopolstellung. 75 % des deutschen Bedarfs wurden hier erzeugt. Beträchtliche Mengen gingen in den Export.

1939 – Beginn des Zweiten Weltkrieges. Die Schlüsselposition, welche die Firma Steeg & Reuter auf dem Schwingquarzsektor einnahm, veranlaßte das Rüstungskommando, diese in einen Rüstungsbetrieb umzuwandeln. Schließlich arbeiteten bis zu 400 Mitarbeiter in der kriegswichtigen Quarzfertigung. Räumlich platzte die Firma aus allen Nähten, selbst in den Kellerräumen des Wohnhauses von Dr. Reuter standen Maschinen. Als erste Erweiterung entstand 1940 der Anbau in der Kirdorfer Straße 16. Die folgenden Aufnahmen zeigen einen Teil der Fertigungsstätten von S & R.

Abb. 7.12.40

Stammhaus von 1861 –
Kirdorfer Straße 16 –
im Hintergrund das
Wohnhaus
Dr. A. Reuters



Abb. 7.12.41

Auf der linken Seite
Wohnhaus in der
Brendelstraße
von vorne

Vorne rechts:
Anbau 1940

Viele Lokalitäten wie Neue Mauerstraße 4, Höhestraße 35 und Höhestraße 37 mußten zusätzlich angemietet werden. Für eine eventuelle Bombardierung Bad Homburgs war Vorsorge getroffen worden; die kriegswichtige Fertigung wurde in den Gartensaal des Saalburg-Restaurants in der wieder aufgebauten römischen Festung Saalburg ausgelagert.

Zwischendurch möchte ich nun wieder über den Fortgang des Patentstreites berichten. Der letzte Stand war der Beschluß des Reichspatentamtes vom 30. November 1938, der Firma Zeiss wurde das nachgesuchte Patent zugesprochen. Die von Dr. Reuter beantragte Vorbenutzung konnte nicht anerkannt werden! Gegen diesen Beschluß wurde von Steeg & Reuter durch Dr. Reuter Beschwerde mit verstärkter Begründung eingereicht.

Die Firma Telefunken, ein Großkunde von Steeg & Reuter, mochte aber die Entscheidung des Patentamtes nicht abwarten, sondern das Vorbenutzungsrecht von Steeg & Reuter durch eine Verständigung mit Zeiss bewiesen und anerkannt wissen, ehe weiterhin Quarzplatten fraglicher Orientierung bei Steeg & Reuter bestellt wurden.

Schon im Juli 1939, schrieb die Firma Telefunken:

„Wir wären nicht mehr in der Lage, weitere Lieferungen von Quarzen, die unter das Zeiss-Schutzrecht fallen, als ordnungsgemäß entgegenzunehmen!“

Steeg & Reuter nahm einen abwartenden Standpunkt ein und rechnete mit der Einleitung eines Prozesses durch Zeiss, welcher aber unterblieb.

Telefunken rührte mit ihrem Schreiben vom 18. April 1941 die Patentfrage erneut auf und schlug eine Konferenz vor, die am 28. April 1941 in Bad Homburg stattfand.

Die Teilnehmer von Telefunken waren: die Patentanwälte Dr. Johannesson und Dr. Hagen sowie Dr. Bechmann vom Quarzlabor.

Von Seiten Steeg & Reuter: Dr. A. Reuter, Dr. Zobel und Prof. Seddig vom Institut für angewandte Physik der Universität Frankfurt/Main.

Aus dieser Beteiligung war schon die Wichtigkeit und Tragweite der Angelegenheit zu erkennen.

Es ergab sich, daß Telefunken ihre Bestellungen an Steeg & Reuter nur aufrecht erhalten konnte, wenn es der Firma nachweislich gelingen würde, daß ihr das behauptete Vorbenutzungsrecht wirklich zustände.

Steeg & Reuter konnte jetzt nicht mehr umhin, eine Klage einzureichen!

Am 24. Mai 1941 reichte dann Steeg & Reuter eine Feststellungsklage über das Vorbenutzungsrecht beim Patentamt ein.

Von der Konferenz Steeg & Reuter–Telefunken ist aus jenem Jahr ein Bild erhalten geblieben. Es zeigt die Teilnehmer bei einem Spaziergang im Kurpark.



Abb. 7.12.42 Konferenzteilnehmer im Jahr 1941
 von links: Dr. A. Reuter, Dr. Bechmann, Dr. Johannesson, W. Reuter,
 Hermann Reuter, Prof. Seddig, Dr. A. Zobel

Für den **27. April 1942** wurde ein Zeugenvernehmungstermin mit anschließender Verhandlung vor dem 5. Beschwerdesenat des Patentamtes anberaumt. Als einziger Zeuge war Heinz Evertz geladen und bei der Vernehmung legte er den Sachverhalt dar, wie er schon weiter oben als bekannt vorauszusetzen ist. H. Evertz betonte ganz besonders, daß er über die von Steeg & Reuter an ihn gelieferten Platten vertraglich nicht zur Geheimhaltung ihrer Eigenschaften bzw. Herstellungsweise verpflichtet gewesen sei. Er sei auch durch seine Generalvertretung nicht an Steeg & Reuter gebunden gewesen, er bezog weder festes Gehalt, noch war es ihm verboten, mit anderen Quarzfirmen in Verbindung zu treten. Bei der anschließenden Verhandlung wurde in der „Entscheidung“ dargestellt:

Darin, daß vorn Zeugen Evertz am 7. November 1932 erfolgten Übernahme der Generalvertretung an die Firma Steeg & Reuter und umgekehrt gegen Berechnung der Kosten einige Kristalle geliefert wurden, die wie beide Beteiligten auf Grund der Untersuchung wußten, unter 45° geschnitten waren, kann keine offenkundige Vorbenutzung (in Verkehr bringen) gesehen werden, da auch ohne besondere vertragliche Festlegung zwischen einer Firma und ihrem Vertreter ein Vertragsverhältnis besteht, das beiden Teilen ohne weiteres die Geheimhaltung aller den Geschäftsverkehr betreffenden Fragen auferlegt. Daher erfüllen die von dem

Einsprechenden Reuter und später von der einsprechenden Telefunken zum Nachweis der vorbehaltlosen Lieferung angegebenen Vorgänge, die nunmehr durch die Zeugenvernehmung geklärt worden ist, nicht dem Tatbestand der offenkundigen Vorbenutzung (des Inverkehrbringens).

Auch für den Nachweis der offenkundigen Vorbenutzung der wesentlichen Merkmale des Anmeldungsgegenstandes durch Verträge und Gespräche des Zeugen Evertz ergab die Vernehmung keine die Neuheit des Anmeldungsgegenstandes gefährdenden Tatsachen. Auch der Einwand des Einsprechenden Reuter, daß der Fachmann im Hinblick auf den ihm geläufigen Stand der Technik ohne weiteres zum Anmeldungsgegenstand gelange, ist nicht durchschlagend, denn die von Reuter durchgeführten Arbeiten können nicht ohne weiteres als Maßstab für die Leistungen des Durchschnittsfachmannes angesehen werden! – Erst der im folgenden betrachtete Stand der Technik gibt ein Bild von dem Können der Fachwelt zur Zeit der Anmeldung.

...

Im Schlußsatz heißt es dann:

Da somit der Anmeldungsgegenstand neu ist und seine Erfindungshöhe sowie der mit ihm erzielte Fortschritt außer Frage steht, sind die Ansprüche 1 und 2 (siehe Patentschrift), in denen auch aus den von der Anmelderin in ihrer Beschwerdeerwidern vorgebrachten Gründen keine unzulässige Erweiterung gegenüber der ursprünglichen Fassung durch angebliche Einbeziehung früher nicht beanspruchter Schwingquarzen zu erblicken ist, gewährbar. Daher war nach Vornahme der in der Entscheidungsformel angegebenen Änderungen in den Unterlagen ein Patent zu erteilen.

Infolge der Kriegereignisse wurde weder von Steeg & Reuter, noch von der Firma Zeiss die Angelegenheit etwa ab dem Jahr 1943 weiter verfolgt.

Von Seiten verschiedener Wehrmachtsdienststellen beziehungsweise des seinerzeitigen Leiters der „Arbeitsgemeinschaft Schwingquarze“ wurde erklärt, eine Behinderung der Fabrikation durch irgendwelche Patente sei infolge des Krieges gegenstandslos.

Das Kapitel „Der offenkundigen Vorbenutzung“ war aber immer noch nicht aus der Welt geschaffen.

Zum Abschluß dazu noch ein paar Worte zum weiteren Verlauf der Chronik.

Erwähnenswert ist hier noch, daß auch in jenen Kriegsjahren an der Weiterentwicklung des Evertzschen Varioquarzes durch Dr. Zobel gearbeitet wurde.

Die folgende Abb. 7.12.43 zeigt den Varioquarz in neuer Form.

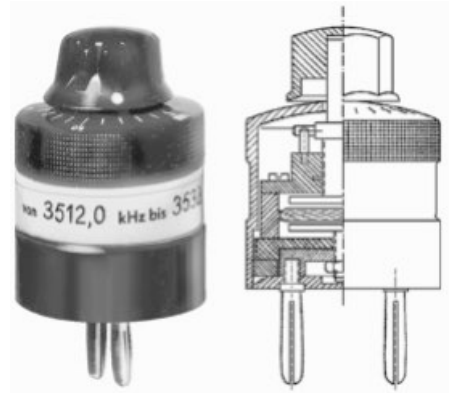
1945 nach Kriegsende wurde in den Räumen der Firma auf Anordnung der US-Besatzungsmacht das „Rundfunk Technische Institut“ untergebracht. Die Aufgabe des Instituts war, die Neuordnung und Entwicklung des Rundfunks in West-Deutschland einzuleiten. Durch die Nachkriegswirren konnte Steeg & Reuter erst 1948, im Jahr der Währungsreform, ihre Arbeit wieder aufnehmen.

Abb. 7.12.43

Varioquarz – Frequenzvariation 0,1–0,35 %
der verlangten Sollfrequenz

rechts:

schematischer Schnitt
durch einen Variorhalter



Von den 400 Mitarbeitern waren 60 übrig geblieben. Mit diesen 60 Mitarbeitern begann der eigentliche Wiederaufbau der Abteilungen:

– Optik – Elektroakustik – Schwingquarzfertigung –

Die Aufträge der Besatzungsmächte ermöglichten eine gute Auftragslage in der Schwingquarzfertigung.

Auch der Bedarf an Kristall-Mikrofonen und Tonabnehmern war in den Nachkriegsjahren enorm. Ein neues „High-Fidelity“ Tonabnehmersystem brachte die Firma auf den Markt.

Bald stellte sich wieder das Problem der zu kleinen Kapazität der Betriebsräume ein. So entschloß sich die Firma, 1954 einen großzügigen Neubau zu erstellen.

Es entstand in der Kirdorfer Straße 9–11 ein vierstöckiges Fabrikgebäude mit 9000 Kubikmeter umbautem Raum. Es war seinerzeit mit seinen vier Stockwerken der höchste Industriebau im Stadtteil Kirdorf.



Abb. 7.12.44

Der 1955 in Betrieb
genommene Neubau
Kirdorfer Straße 9–11



Abb. 7.12.45

Verleihung der Ehrenplakette durch Oberbürgermeister K. Horn

Im Jahre 1955 beging das Unternehmen sowohl das Jubiläum seines **100-jährigen Bestehens**, als auch den 80. Geburtstag seines Seniorchefs Dr. August Reuter, dem in Würdigung seiner Verdienste um die Wirtschaft Bad Homburgs die Ehrenplakette der Stadt verliehen wurde.

Im November 1955 starb sein Bruder, langjähriger Mitarbeiter und Leiter der optischen Abteilung, Wilhelm Reuter.

Die Mitarbeiterzahl stieg in jenen Jahren auf über 200. Viele Mitarbeiter gehörten mehr als 40 Jahre dem Betrieb an.

Seit 1952 war der Physiker Dr. Alfred Zobel in der Geschäftsführung tätig; er gehörte dem Unternehmen ebenfalls seit über 25 Jahren an.

Die Schwingquarzfertigung weitete sich auch in den folgenden Jahren enorm aus. Das folgende Bild zeigt die Produktpalette von Schwingquarzen und Oszillatoren aus den 1950er Jahren.

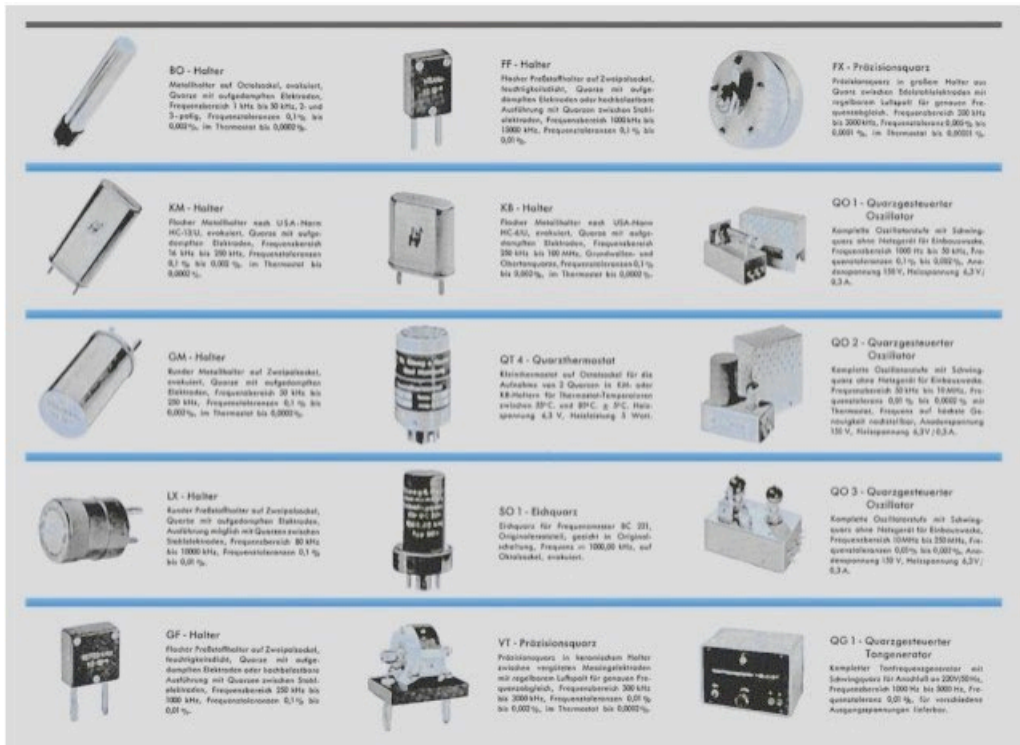


Abb. 7.12.46

Querschnitt des Lieferprogramms von Schwingquarzen und Oszillatoren

Wie weiter vorne angekündigt – das Schlußkapitel des Patentstreites:

Der Seniorchef Dr. Reuter arbeitete weit über sein 65. Lebensjahr immer noch in seinem Büro in der Firma bei der Aufarbeitung und Aktualisierung von Fertigungsunterlagen (er war immer noch ein gesuchter Partner, wenn es um Fragen über Kristallorientierung ging). Auch ließen ihm die noch offenen Fragen zum Patentstreit über den AT-Schnitt keine Ruhe und so wandte er sich mit einem Brief nochmals an die Firma Zeiss:

*... bei dieser Gelegenheit konnten sie aber gewiß aus den Aussagen des Zeugen Evertz im Zusammenhang mit unseren Darlegungen in den Akten unseres Einspruchs **die einfache Vorbenutzung** nach § 7 PG seitens der vom Unterzeichneten vertretenen Firma als gegeben ansehen. Da wir in der Zwischenzeit nichts mehr in dieser Sache von Ihnen hörten, nahmen wir an, daß Sie seitdem unser einfaches Vorbenutzungsrecht anerkennen.*

Wir würden es aber begrüßen, wenn Sie uns möglichst innerhalb 4 Wochen Ihre darauf bezügliche schriftliche Zustimmung zukommen ließen, da der Unterzeichnete veranlaßt durch sein Alter dabei ist, seine Angelegenheiten für die Zukunft der jetzt noch von ihm geleiteten Firma so zu regeln, daß seine Nachfolger möglichst von irgendwie vermeidbaren Auseinandersetzungen befreit bleiben. Unter anderem gehört dazu auch der richtige Abschluß vorliegender Vorbenutzungsangelegenheit ...

Der Patentanwalt der Firma Zeiss, Dr. F. Riedinger erwiderte darauf:

Unser Patent Nr. 727 468:

Auf Ihren oben angegebenen Brief erwidern wir Ihnen höflichst, daß die Voraussetzung, von der Sie ausgehen, irrtümlich ist. Unser Stillschweigen in der Angelegenheit kann Sie nicht berechtigen anzunehmen, daß wir unsere Ansicht über das von Ihnen in Anspruch genommene Vorbenutzungsrecht aufgegeben hätten. Wir wollen jedoch Ihrem Wunsche, die Angelegenheit nochmals zu prüfen, gern nachkommen und die Akten im einzelnen durchsehen. Wir hätten dies alsbald nach dem Empfang ihres Briefs getan, wenn es uns nicht aus Zeitmangel bis jetzt unmöglich gewesen wäre ...

Wahrscheinlich durch das Ende des Zweiten Weltkrieges und die Nachkriegswirren gab es dann keine Kontakte mehr. Aber im Jahre 1950 schrieb der Bevollmächtigte der Carl-Zeiss-Stiftung V. Sandmann:

Da Sie, wie wir glauben annehmen zu können, nach wie vor auch in der Zeit nach der Kapitulation piezoelektrische Quarze herstellen und vertreiben, die in den Schutzbereich des DRP 724 468 fallen, zu dessen Benutzung Sie jedoch mangels eines mit Ihnen abgeschlossenen Lizenzvertrages nicht berechtigt sind, soll die Angelegenheit hiermit nochmals höflichst in Erinnerung gebracht werden. Da Sie seit Mitte 1944 nichts unternommen haben, um Ihre Quarzfertigung unter einem das DRP 724 468 betreffenden Lizenzvertrag fortzuführen, möchten wir Ihnen nochmals mitteilen, daß Sie auf eigene Gefahr handeln würden, wenn Sie im Vertrauen auf die Richtigkeit Ihrer Auffassung bezgl. eines Ihnen etwa zustehenden Vorbenutzungsrechtes von dem Patent Gebrauch machen oder gemacht haben ...

Von hier ab verliert sich der weitere Fortgang über den Patentstreit im Dunkeln! Zeitzeugen bestätigten mir noch, daß Dr. Reuter mit der befreundeten Firma Ernst Leitz in Wetzlar noch weitere Aktivitäten unternommen habe, aber wie gesagt, genaueres weiß man nicht mehr. Die Akten der Firma S & R sind wahrscheinlich vernichtet worden (?). Bei der Firma Zeiss in Jena konnte ich auch nichts darüber finden. Wie mir dort die Archivleiterin gesagt hat, haben die Amerikaner im April 1945 beim Einmarsch die ganzen Patentunterlagen mitgenommen. Wie sich der letzte Geschäftsführer Siegfried Reuter glaubt erinnern zu können, es sei damals ein Vergleich geschlossen worden (?).



Abb. 7.12.47

Der im 80. Lebensjahr noch immer unermüdlich arbeitende Dr. Reuter in seinem Büro



Abb. 7.12.48

Ein großer Tag für Dr. Reuter

Im Alter von 90 Jahren wurde Dr. Reuter mit der Verleihung des Bundesverdienstkreuzes 1. Klasse geehrt. Ein Ausschnitt aus dem Festakt, die Verleihung durch Landrat Herr (links). Rechts von Dr. Reuter als Gratulant Dr. Zobel. Dr. August Reuter starb am 27. September 1965 im Alter von fast 91 Jahren. Sein Tod war ein Einschnitt von großer Tragweite.

Mit seinem Tod ging man von der Gesellschaftsform eines Familienunternehmens ab. Nachfolger und Geschäftsführer wurde der Sohn Hermann Reuter. Julius Reuter war schon 1964 verstorben.



Abb. 7.12.49

Neuer Standort von Steeg & Reuter Frankfurt-Niedereschbach, Bernerstraße 19

Im Jahr 1971 entschied man sich für einen Umzug nach Frankfurt-Niedereschbach. Die Betriebsgebäude in Bad Homburg wurden an die Firma Wolfgang Assmann veräußert. Diese Firma übernahm auch die Fertigung des „Proki-Schreibers“, des ersten Overhead-Projektors der Welt, eine Erfindung von S & R. 1972 verstarb plötzlich Hermann Reuter.

Dipl.-Kfm. Siegfried Reuter (Sohn von Hermann Reuter) übernahm jetzt die kaufmännische Leitung.

Die nun folgenden Jahre waren überschattet von unglückseligen Phasen in der Schwingquarzfertigung. Noch 1974 hatte Steeg & Reuter mit seinen angestammten Produkten, kristalloptischen Einbau- und Fertigteilen, leidlich verdient. Das traditionelle Arbeitsgebiet, die Kristalloptik, war aber ohne gute Auslandsvertretungen wenig erweiterungsfähig und so sah Siegfried Reuter eine größere Chance in der Weiterentwicklung der bereits bestehenden Produktion von Schwingquarzen.

Als erstes Unternehmen in Deutschland wollte die Firma Kleinuhren und CB-Quarze weitgehend automatisch fertigen. Dies konnte aber nur durch kräftige Investitionen in Maschinen und „Know How“ gelingen. Und so fuhr Siegfried Reuter in die USA und kaufte bei dem Spezialmaschinen-Hersteller Dr. William D. Beaver Maschinen zur Fertigung von Quarzen, das notwendige Equipment.

Die Fertigung begann hoffnungsvoll, eklatant aber wurden bald die Probleme bei der Fertigung von Stimmgabelquarzen für Kleinuhren. Die extrem niedrigen Fertigungstoleranzen brachten das ganze Projekt zum Scheitern, weil der entscheidende Verfahrensschritt fehlte. Mitte des Jahres 1976 spitzte sich dann die Lage dramatisch zu. Die Japaner warfen Billigstprodukte auf den Weltmarkt. Der Preissturz für Massenquarze war durchschnittlich 70 %!

Die Kasse war nun endgültig leer, fast eine Million DM hatte das Experiment gekostet. Der Gesellschafter Hans Götz handelte dann sofort, und am 1.1.1978 übernahm er zusammen mit der „Innovation und Technologie, Dr. Leopold Dieck KG“ die Firma. Dieses Unternehmen hatte sich darauf spezialisiert, Firmen, die an der Einführung einer neuen Technologie zu scheitern drohten, Unterstützung zu geben. 1985 ging dann die Firma an die Globe Trade-Finanz AG, eine Schweizer Holding, über.

Im Jahre 1990 wurde die Firma Steeg & Reuter GmbH von Dr. Helmut Pirot übernommen. Der optische Sektor wurde an die Firma Franke Optik in Gießen verkauft. Es folgte eine Umbenennung in Steeg & Reuter Quarzelektronik GmbH. Der neue Firmensitz war wieder in Bad Homburg – jetzt Benzstraße 3.



Abb. 7.12.50

Steeg & Reuter Quarzelektronik GmbH – Gebäude ganz rechts

Im Sommer 1991 ging der Bad Homburger Betrieb in Konkurs.

Dienstag, 24. September 1991

BAD HOMBURG Taunus-Zeitung HOCHTAUNUSKREIS

Traditions-Unternehmen Dr. Steeg & Reuter endete im Konkurs – 30 Mitarbeiter verloren Arbeitsplatz

Industrie-Auktionator Thomas Marquart aus dem plätzischen Fußgängerheim versteigerte 520 Einzelpositionen aus dem Firmen-Inventar, vom Cheloneel über Büroklammer bis hin zu dieser Befähigungs- und Abgleich-Anlage zur Herstellung von Quarzen. Heiner Orth zeigt einen Meßplatz, an dem hochqualifizierte Fachkräfte ihre Arbeit verrichten. Fotos: Bender

Nach 136 Jahren: Firma starb unter dem Hammer

Bad Homburg (H). – In der Bensstraße im Industriegebiet war kein Parkplatz mehr zu haben. Firmeninhaber und Reuter waren ungenügend, um die „Bestenstücke“ zu sichern. Die Reuter-Unternehmen und die Reuter-Unternehmen waren ungenügend voll. Wo sonst coole Herren ihren Champagner schlürfen und mit hübschen Mädchen flirten, kam nun ein bedauerndes Stück Homburger Industriegeschichte unter den Hammer. Auf der Bühne, auf der des anderen Weltstars auftraten, bestimte nun ein Auktionator die Musik. Die Firma Dr. Steeg & Reuter war 1855 gegründet worden und jetzt in Konkurs gegangen. 30 Mitarbeiter wurden arbeitslos. Was vom Inventar übrig war, wurde meistbietend versteigert.

In Kirdorf gegründet

Anfang dieses Jahres hatte Stadthausbesitzerin Gerta Walsch die Geschichte dieses Unternehmens in einem Vortrag im Götischen Haus vorgestellt. Die Entwicklung des 1855 in der Kirdorfer Straße 18 gegründeten Optischen Instituts Dr. Steeg & Reuter verlief stetig aufwärts. Produkte wie Brillen, Barometer und Präzisionsmikroskope entstanden hier. Der legendäre Professor Röntgen hatte bei der Entdeckung der Röntgenstrahlen einen mit Kristallen dieser Firma beschichteten Schirm verwendet. Das erste Röntgenkabinett Homburgs befand sich vor dem 1. Weltkrieg in der Kirdorfer Straße. Das Röntgenkabinett hatte es also ohne die Homburger Firma Steeg & Reuter nie gegeben. Seit 1938 standen Schwingquarze auf dem Programm, die für Radioempfang und -empfangern unentbehrlich sind. Im 2. Weltkrieg hatte die Firma 620 Beschäftigte, die für die Rüstung Schwingquarze herstellten. Nach Kriegsende fand sich in der Kirdorfer Straße das „Rundfunktechnische Institut“, in dem alle Sendeanlagen der britischen und amerikanischen Zone gewartet wurden. Mikrophone oder Tonabnehmer erleben einen nie gekannten Boom. Teile für Fernschall-Mikrophone und Behandlungsgestelle mit Ultraschall kamen ins Programm. Das Jahr 1955 war das absolute Erfolgsjahr von Dr. August Reuter. Er wurde 80 Jahre alt. Seine Firma wurde 100 Jahre alt und die neuartige, bahnbrechende Erfindung war der Prokisch-Scheitel, ein „Overhead-Projektor“, der etwa Buchstaben in Großformat auf eine Glaswand wirft. Die Rechte an dieser „Sensation“ wurden 1955 an die Firma Aumann-Otis (Industrie) verkauft. Im Alter von 90 Jahren verstarb Dr. August Reuter. Zuvor hatte ihn die Stadt Bad Homburg mit der Ehrenplakette geehrt und der Bundespräsident mit dem Bundesverdienstkreuz erste Klasse. 1970 beschloß die Firma Dr. Steeg & Reuter eine Kooperation mit der Firma Aumann, die Teile in Kirdorfer Haus übernahm, in dem heute Freemove residiert. 1972 zog Steeg & Reuter nach Nieder-Eschbach. Sechs Jahre später verkaufte die Familie ihre Anteile. Im vergangenen Jahr erfolgte die Teilung der Firma. Die Optikalabor wurde nach Gießen verkauft, die Abteilung Quarztechnologie kam nach Bad Homburg zurück in die Bensstraße, wo sie ein Jahr später starb.

Abb. 7.12.51

Zeitungsartikel der örtlichen Presse über den Konkurs

Abb. 7.12.52

Einladung zur Versteigerung

In der Tennisbar, „... wo sonst coole Herren ihren Champagner schlürfen und mit hübschen Mädchen flirten ...“, wie der Redakteur so cool bemerkte, endete ein Stück Technikgeschichte. Wie lautete doch der Wahlspruch von Dr. August Reuter (er war im Eingangsbereich seines Wohnhauses angebracht), es war das Goethe-Wort:

*Draußen zu wenig oder zu viel
Zu Hause nur ist Maß und Ziel. –*

marquart
INDUSTRIE-AUKTIONEN

Im Auftrag und für Rechnung des Konkursverwalters, Herrn Rechtsanwalt Hans-Joachim Casan, Landgraf-Philipp-Str. 3, 6000 Frankfurt 50 versteigere wir die sehr gute Betriebs- und Geschäftsausstattung der

Firma
Dr. Steeg & Reuter
Quarz Electronic GmbH
Bensstraße 3
6350 Bad Homburg

ca. 520 Positionen
Büro-, Betriebs- und Lageranrichtungen, elektronische Meßgeräte und Bauteile, Maß-, Prüf- und Fertigungsanlagen aus der Quarzzeugindustrie, Computer uvm.

Am Samstag, dem 21. September 1991
ab ca. 11.00 Uhr

Besichtigung: Am Samstag, dem 21. September 1991
– vor der Versteigerung –
ab 8.00 Uhr bis 10.45 Uhr (vor Ort)

Thomas Marquart Schlichter sowie vereidigter und öffentlich bestellter Versteigerer

Leininger Ring 8 · D-6701 Fußgängerheim · Telefon (0 62 37) 20 14 · Fax (0 62 37) 15 94

Zum Schluß: Steeg & Reuter ist doch noch nicht ganz tot ...

Pirot hatte bald nach Übernahme der Firma die Maschinen und Fertigungsanlagen für Schwingquarze nach Polen an die Firma OMIG SA in Warschau abgegeben.

Sicher waren die Fertigungs- kosten in einem Billiglohn-Land ein wichtiger Punkt bei den Überlegungen zu dieser Maßnahme.

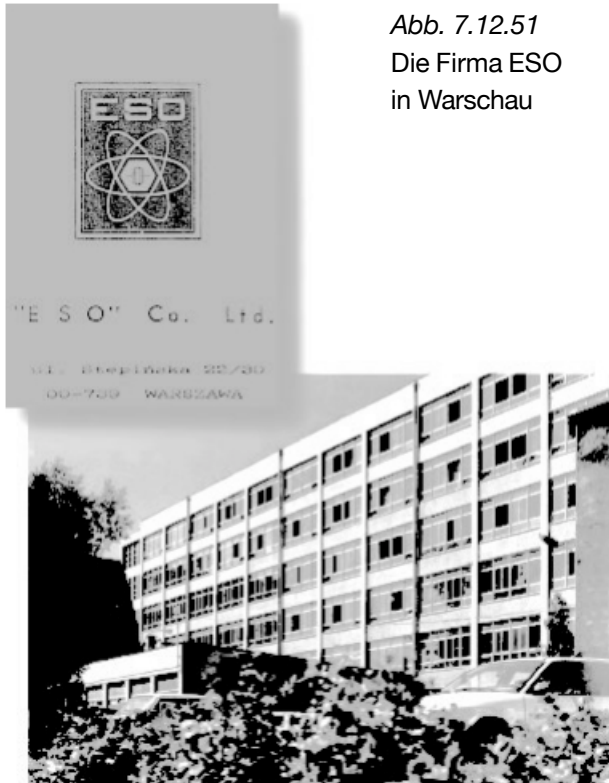


Abb. 7.12.51
Die Firma ESO
in Warschau

So entstand unter dem
Dach von OMIG eine zweite
Firma

ESO

mit den Partnern:

E – Elektro-Vac.
S – Steeg & Reuter
O – Dr. Ogrodzky

Die Firma ESO fertigt heute
noch Schwingquarze.

Wir schreiben das Jahr 1999. Im Mai führte mich der Weg nach Frankfurt/Main. Ich hatte noch genügend Zeit zur Rückfahrt, und so machte ich einen Abstecher nach Bad Homburg.

Ich wollte dort sehen: was ist aus den ehemaligen Steeg & Reuter-Fertigungsstätten geworden? –

Das Wohnhaus von Dr. A. Reuter in der Brendelstraße 46 war erhalten geblieben.

Das älteste Gebäude mit Anbau in der Kirdorfer Straße 16 beherbergte ein Lokal der gehobenen Klasse.

Die Gebäudeteile Kirdorfer Straße 9–11 existierten nicht mehr, sie wurden zuletzt noch von der Firma Fresenius, Medizin-Technik, genutzt.



Abb. 7.12.54 und 55

Das traurige Ende eines weltbedeutenden Unternehmens.
Fabrikgebäude Kirdorfer Straße 9–11 beim Abriß.



Telefunken
Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.
Berlin, Hallesches Ufer 12

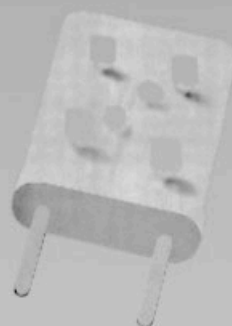


PIEZOELEKTRISCHE
OSZILLATOREN

QUARZSTÄBE
(TELEFUNKEN D. R. P. 467593)

Schwingquarze

TELEFUNKEN



7.13 *Telefunken; Berlin-Zehlendorf*

Siehe Anmerkung auf Seite 397.

Für dieses Kapitel stehen lediglich die folgenden Abbildungen zur Verfügung.

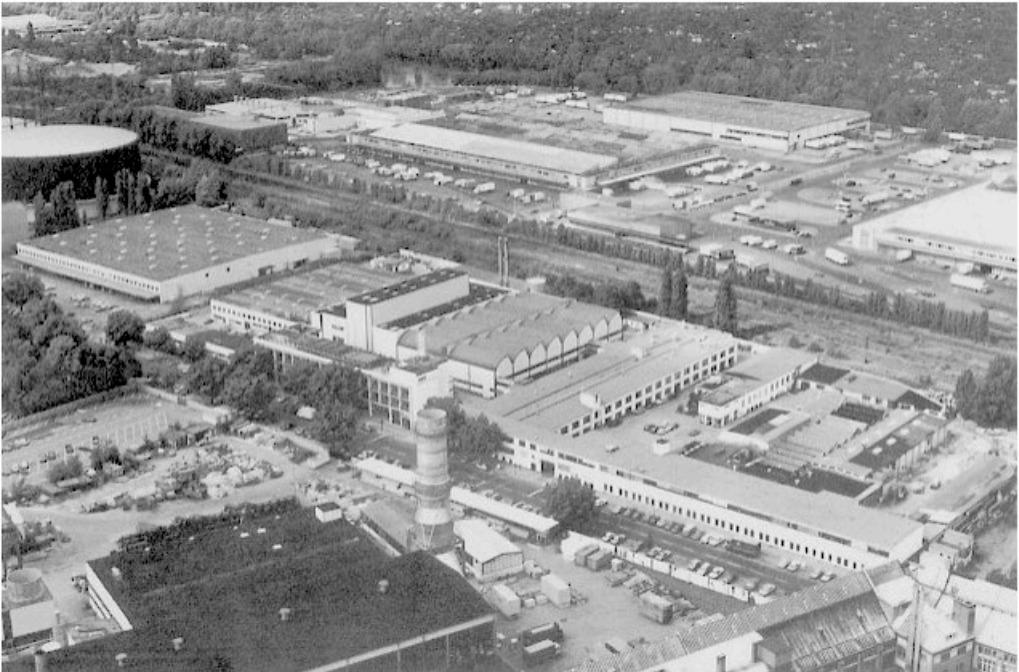


Abb. 7.13.1 Werkansicht

Abb. 7.13.2 Montagehalle



Abb. 7.13.3 Aufdampfpanlage



Abb. 7.13.4 DJ1QC

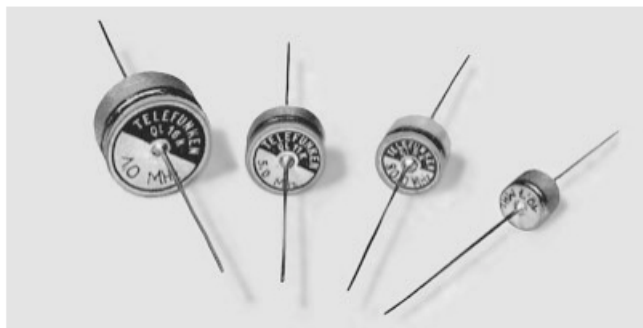
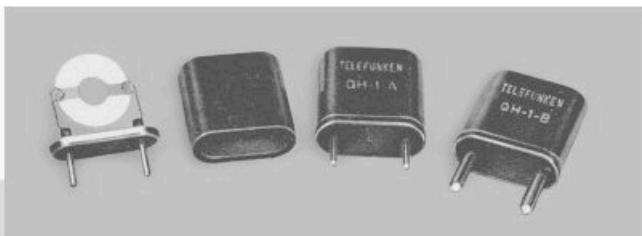
Abb. 7.13.5 ▶

Abb. 7.13.6 ▼

Abb. 7.13.7 ▼ ▶

Abb. 7.13.8 ▼ ▼

Abb. 7.13.9 ▼ ▼ ▶



TELE QUARZ



TELE QUARZ GMBH

Schwingquarze
im Frequenzbereich
von 600 kHz ... 360 MHz
Mikroprozessoren-Quarze
Quarzfilter
Quarzoszillatoren
(VCXO's, VTCXO's, OCXO's)
Quarzbaugruppen nach
Kundenspezifikationen
D-6824 Neckartschallheim 2
Telefon: 0 72 69/10 07 - Telex 792 399 tq d

Nach einem Studium der Physik in Lübeck führte den jungen Physiker Knut Krüger aus Rendsburg der Weg nach Heidelberg. In dieser Stadt am Neckar begann seine erste industrielle Tätigkeit in einer Firma auf dem Gebiet der Infrarot-Technik.

Hier in Heidelberg begegnete ihm auch seine spätere Frau und hier setzte er dann auch weiter seine Karriere fort.

Die nächste Station war für den Techniker allerdings berufsfremd, es hatte nämlich etwas mit der Familie zu tun. Durch den Tod des Schwiegervaters ging es nun um die Auflösung des familieneigenen Bauunternehmens. Dabei wollte er seiner Ehefrau zur Seite stehen und so gab er seine erste Stelle auf.

Die am praktischen Beispiel hier erworbenen Kenntnisse in der Betriebswirtschaft waren hier für Knut Krüger sehr lehrreich.

Nachdem die Abwicklung erledigt war, suchte sich Krüger nun in der näheren und weiteren Umgebung eine neue Stelle. Er fand sie gleich beim Schwingquarzhersteller KVG in Neckarbischofsheim. Auf Grund seiner umfassenden technischen und betriebswirtschaftlichen Kenntnisse stieg er dort schnell auf und avancierte bald zum alleinigen Geschäftsführer.

Unleidliche Probleme, welche es damals aber innerhalb der Familie gab, der die Firma Kristallverarbeitung gehörte, mögen Krüger bewogen haben, sich dann selbständig zu machen.

So gründete Knut Krüger 1974 in Untergimperm, einem Nachbarort von Neckarbischofsheim, die Firma: – **TELE QUARZ** –

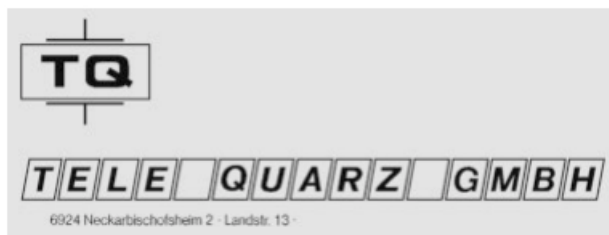


Abb. 7.14.1 Firmenlogo

Die Landschaft um Neckarbischofsheim hat übrigens heute schon in Elektronikreisen den Spitznamen: „Crystal Valley“. Mit weiteren fünf Partnern begann die Produktion, zuerst von Schwingquarzen, in dem alten Schulhaus in Untergimperm.

Abb. 7.14.2
Erste Produktionsstätte 1974



Abb. 7.14.3
Neuer Fertigungsstandort



Abb. 7.14.4
Der neue Standort
auch einmal von oben
gesehen



Seit der Gründung wuchs das Unternehmen stetig und überholte irgendwann die KVG.

Die Unternehmensphilosophie von Krüger war:

Schwingquarze in hoher Qualität auch in einer kleinen Stückzahl zu fertigen und vor allem schnell zu liefern.

Die stürmische Entwicklung in den folgenden Jahren bewies, daß diese Philosophie genau einer Marktlücke entsprach. Gleich von Anfang an war es auch ein Schwerpunkt der Firmenpolitik, Exportmärkte zu erschließen. So konnten konjunkturbedingte Schwankungen in verschiedenen Absatzgebieten besser ausgeglichen werden.

Durch das große Wachstum der Firma wurden die ursprünglichen Fertigungsstätten bald zu klein.

Ein nach modernsten Gesichtspunkten ausgerichteter Neubau am Rande von Untergimpeln konnte im Frühjahr 1980 in Betrieb genommen werden, somit waren die Voraussetzungen für einen optimalen Fertigungsablauf und für eine weitere Expansion geschaffen.

Die Firma TELE QUARZ zählte schon 1984 – zehn Jahre nach ihrer Gründung – zu den internationalen Marktführern.

1985 wurde auch mit dem Aufbau einer Abteilung zur Entwicklung und Produktion von Quarzoszillatoren, Quarzfiltern und Quarzdiskriminatoren begonnen.

Das Jahr 1985 war auch das Jahr der großen Erweiterungen, wie die Übernahme des französischen Quarzherstellers

LPE - Laboratoires de piézo-électricité

in Paris, ferner der Aufbau eines Werkes zu Fertigung von Großserienquarzen in Ternitz bei Wien.

In diesem Zeitraum wurde auch mit der Firma **TELEDEC Corp. Japan** ein Joint-Venture gegründet.

1986 fand eine Vergrößerung der Quarzfertigung um weitere 1800 qm in Untergimpeln statt.

1989 beschloß die Geschäftsleitung, alle Gesellschaften, Vertretungen und Aktivitäten unter dem Namen TELE QUARZ GROUP zu zentralisieren, um den Kunden vollständigen Service aus einer Hand zu bieten.

In den 1990er Jahren standen die Zeichen weiter auf Expansion:

1990 Gründung eines Joint-Venture mit **TELE QUARZ Taiwan** – und so ist jetzt die TELE QUARZ GROUP auch international tätig.

Mit dem Aufbau einer Pilotfertigung für Dickschichthybridschaltungen wurde **1993** begonnen, ebenso **1994** mit der Erweiterung der Baugruppenfertigung von 2200 qm, vorwiegend mit EHG-gerechter Reinraumtechnik.

1996 beschloß die Firma aus Kostengründen eine Produktionsverlagerung des Tochterunternehmens **EURO QUARZ** in Tarnitz zu **DELIPRO** in Piestany Slowakei.

Im Jahre **1998** wurde die TELE QUARZ durch das amerikanische Unternehmen **OAK Industries Incorporated** übernommen.

Januar 1999 – TELE QUARZ feierte ihr 25-jähriges Bestehen. Auch in diesem Jahr wurde eine Umfirmierung der TELE QUARZ GmbH vorgenommen, in die

TELE QUARZ GmbH & Co. KG.

Am **28.01.2000** Übernahme der OAK Industries Inc. durch das amerikanische Unternehmen **Corning Incorporated**.

Das Produktspektrum der TELE QUARZ

Die Firma liefert Schwingquarze im Frequenzbereich von 800 kHz bis 360 MHz.

Es handelt sich hier um vorwiegend kundenspezifische Quarze, hauptsächlich für die Telekommunikation. Sie finden dort insbesondere Anwendung in Mobilfunkgeräten, schnurlosen Telefonen, Pagern und auch in GPS-Systemen.

Das Werk für Großserien-Quarze in der Slowakei fertigt Quarze für die Automobil-elektronik, Unternehmenselektronik und für die übrige Industrie.

Die Produktpalette der Quarzoszillatoren mit der Fertigung im Stammwerk umfaßt:

PXOs	(Packaged crystal oscillator) - einfache Quarzoszillatoren
VCXOs	(Voltage controlled crystal oscillator) - spannungsgesteuerte Quarzoszillatoren
OCXOs	(Ovenized crystal oscillator) - temperaturstabilisierte Quarzoszillatoren mit Frequenzen bis zu 1,3 GHz

Auch hier gibt es Standard- und kundenspezifische Ausführungen.

Haupteinsatzgebiete der gefertigten Quarzoszillatoren sind öffentliche Kommunikationssysteme wie Vermittlungs- und Übertragungssysteme.

Quarzproduktion

70% aller in Europa gefertigten Quarze kommen heute entweder von TELE QUARZ oder EURO QUARZ.

Bei TELE QUARZ in Neckarbischofsheim erfolgt eine reine Auftragsfertigung im Drei-Schichten-Betrieb.

Durch die Vielzahl der zu fertigenden Frequenzen ist ein außerordentlich hoher Organisationsaufwand erforderlich, welcher optimal gelöst ist. Das Besondere besteht darin, daß bei jedem Auftrag ca. 20 % mehr Quarzscheiben fertig bearbeitet werden, als zunächst verkauft werden können. Die überzähligen Exemplare gehen an ein riesiges Lager. Dadurch ist die Firma in der Lage, kurze Termine realisieren zu können.

Es besteht ein besonderer Eilservice, der es ermöglicht, innerhalb von 5 bis 10 Tagen Quarze zu liefern (die übliche Durchlaufzeit beträgt 3 Wochen).

Zu einer Kurzbeschreibung von einigen wichtigen Produktionsschritten möchte ich vorausschicken, daß bei TELE QUARZ schon sehr früh an eine Rationalisierung und Automatisierung gedacht wurde. „Die Automatisierung als Schlüssel in der Quarzfertigung“, so könnte ein Kapitel in der Firmengeschichte heißen.

Mit den Jahren hat sich bei TELE QUARZ ein hoher produktspezifischer und fertigungstechnischer Wissensstandard gebildet, der es erlaubt, spezielle Maschinen und Einrichtungen selbst zu bauen. So hatte man zum Beispiel schon bei der Entwicklung des ersten Meß- und Steuergerätes in der Firma eine Schnittstelle zur späteren Verbindung mit einem Kleincomputer vorgesehen, damals eine in die Zukunft weisende Maßnahme.

Für die Herstellung dieser speziellen Maschinen und Einrichtungen stehen eine eigene Konstruktionsabteilung und hervorragende mechanische und elektronische Werkstätten zur Verfügung.

Wo eine meßtechnische Regelung und Steuerung einer Anlage erfolgen muß, übernimmt diese Aufgabe in der Firma ein Computer.

Die hauseigene Programmierabteilung erstellt und pflegt hierfür die Software – sowohl für die Großrechneranlage, als auch für die zahlreichen Prozeßrechner, die in der Fertigung eingesetzt sind.

Im Gegensatz zu vielen anderen Quarzherstellern werden bei TELE QUARZ die synthetischen Rohquarze nicht selbst geschnitten, sondern die Wafer fertig gekauft. Ein Kostenvergleich soll zu dieser Entscheidung geführt haben.

Die folgende Fertigungsstufe ist, aus den Wafern mittels Bohrverfahren Blanks (runde Quarzscheiben) herauszuarbeiten.

Bekanntlich weisen ja die Trends weiterhin in Richtung kleinere und leistungsfähigere Quarze. TELE QUARZ ist jetzt auch in der Lage, auf der Basis ihres selbst entwickelten Ultraschall-Bohrverfahren ovale Quarzscheiben zu fertigen, so daß die Gesamtbauhöhe der Quarze nur 5,1 mm (!) beträgt.



Abb. 7.14.5
Läppen der Quarzscheiben

Bei der anschließenden Oberflächenbehandlung wie Schleifen und Läppen hatte die Firma auch früh hier eine automatische Bearbeitung eingesetzt. Während der Bearbeitung der Quarzscheiben in den Maschinen wurde ihre Frequenz gemessen und mit den vorgegebenen Werten in den Arbeitsplänen verglichen. Dadurch wurde eine Mehrmaschinenbedienung und eine rationelle Bearbeitung der Quarzscheiben bei gleichzeitiger Qualitätskontrolle möglich. Das vorstehende Bild (*Abb. 7.14.5*) zeigt als Beispiel eine automatische „Läpp-Linie“.

Zu dem anschließenden Aufbau der Quarze in Halter hatte sich auch schon in den frühen 1990er Jahren die Fertigung mit der Eigenproduktion von Maschinen beschäftigt, welche auf der Basis eines zugekauften Roboters arbeiten und die Quarzplättchen vollautomatisch in ihre Halterungen setzen. Dieser Arbeitsgang ist eine äußerst diffizile Aufgabe, die bisher nur von Menschenhand ausgeführt werden konnte. Der richtige Sitz der Scheiben wird dabei mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems zu 100% überwacht.

Mit Hilfe dieser Maschinen, die hauptsächlich bei der Tochterfirma EURO QUARZ ihren Einsatz finden, steigerte TELE QUARZ die Effizienz der Fertigung enorm. In Österreich kann so die Firma billiger fertigen, als es in Japan möglich wäre !

Einen interessanten Einblick in zwei Fertigungsschritte in der Firma möchte ich noch aufzeigen – es sind dies die Elektroden-Bedampfung und der Frequenzabgleich. Die Silberelektroden werden in einer Einzelbedampfungsanlage auf die Quarze aufgebracht. Gleichzeitig wird die Frequenz gemessen. Ein Prozeßcomputer regelt den Aufdampfungsvorgang vollautomatisch, so daß der Quarz genau die gewünschte Sollfrequenz erreicht.

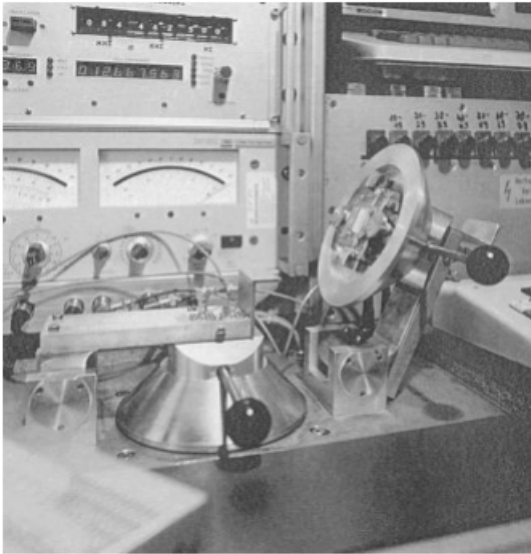


Abb. 7.14.6
Automatische
Einzelbedampfungsanlage

Die Abbildung zeigt einen Bedampfungsverfahren auf der linken Seite im Betrieb. Während jetzt dort der Vorgang abläuft, kann die Vorrichtung auf der rechten Seite mit einem unbedampften Quarz bestückt werden.

Wie schon angedeutet, verfügt die Firma über ein umfangreiches know-how in der Entwicklung von Fertigungsmaschinen, und so führte TELE QUARZ in ihrer Quarzproduktion auch die Magazinierungstechnik ein. Ein weiterer Schritt also, um auch erhebliche Kosten einzusparen.

Neben einer absoluten Termintreue zwischen Lieferant und Abnehmer kommt natürlich der Qualitätssicherung und der Einhaltung der geforderten Spezifikationsdaten des Produkts höchste Priorität zu. Die letzte Forderung kann auf Dauer nur über eine vollautomatische Kontrolle garantiert werden.

Hierfür wurde ein Linear-Endmeßautomat entwickelt. Mit diesem Automaten werden folgende Parameter automatisch gemessen:

- Frequenz in Serienresonanz oder mit Lastkapazität
- Resonanzwiderstand
- Nebenwellen
- Dynamische Kapazität C_1
- Dynamische Induktivität L_1
- Statische Kapazität C_0
- C_0 -zu- C_1 -Verhältnis
- Anschwingverhalten
- Ziehfähigkeit
- Kurzschluß der Elektroden zueinander oder zum Gehäuse

Alle diese zu prüfenden Parameter sind in einer Spezifikationsdatei in der firmeneigenen Groß-EDV-Anlage gespeichert und werden auf die Disk des Betriebsauftrages übertragen.

Alle Produktionsmaschinen und auch der Endmeßautomat werden über diese Disk gesteuert, so daß es ausgeschlossen ist, daß ein vereinbarter und zu prüfender Parameter nicht kontrolliert wird.

Mit den Lieferungen können dann – wenn es gewünscht wird – Meßprotokolle mitgeliefert werden.

Der Meßautomat hat 6 Meßstationen, um der technischen Vielfaltigkeit der angeführten Parameter gerecht werden zu können. Die Messung der elektrischen Parameter der Quarze erfolgt nach der Passiv-Meßmethode.

Zum Schluß noch ein paar Zahlen:

Die Leistung des Meßautomaten liegt je nach Umfang der zu vermessenden Parameter zwischen 400 und 1600 Stück pro Stunde. Der Positionswechsel, d. h. die Einstellung des Automaten auf die neuen Positionswerte, erfolgt in weniger als 0,5 Sekunden. In einem Fertigungslos können bis zu 100 verschiedene Positionen automatisch verarbeitet werden.

Die folgenden Aufnahmen *Abb. 7.14.7* und *7.14.8* zeigen einen Gesamteinblick in die Meßanlage und eine Aufnahme von den 6 Meßstationen im Ausschnitt.

Abb. 7.14.7
Endmeßautomat für Schwingquarze

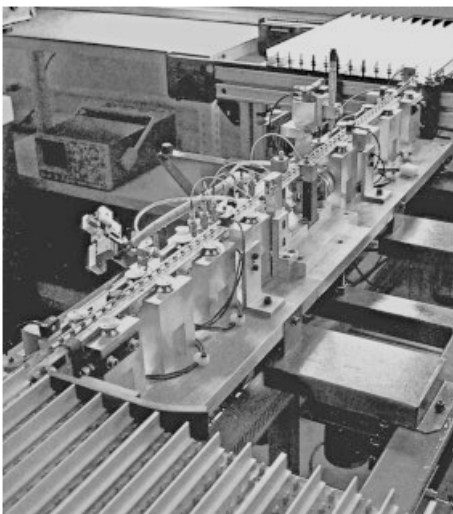


Abb. 7.14.8
Meßstation – Ausschnitt



Zum Abschluß des Firmenprofils noch ein paar Daten zu der Oszillatorproduktion.

Die Quarzbaugruppen sind als Ergänzung zum Schwingquarz das zweite Standbein der Firma.

Die rasche Fortentwicklung der Technik eröffnete dem Quarz ständig neue Einsatzgebiete. Ein Gebiet sind die Quarzbaugruppen wie – Quarzoszillatoren und Quarzfilter.

Sie sind als Ergänzung zum Schwingquarz eine komplette Systemlösung, welche dem Kunden Schaltungsdesign und -aufbau erspart.

Eine Produktion wird erst auf einen Kundenauftrag hin veranlaßt. Die Oszillator- und Filterspezifikationen, vom Kunden vorgegeben, werden dann in der Entwicklungsabteilung auf Realisierbarkeit geprüft, anschließend wird eine Stückliste für die Produktion erstellt. Mittels CAD wird die erstellte Schaltung zur Produktion an den Leiterplattenhersteller geschickt. Nach Eintreffen der Leiterplatten vom Hersteller werden diese bei TELE QUARZ mit dem SMD-Automaten bestückt.

Die Oszillatoren werden nach dem Aufbau abgeglichen (teilweise per Laserabgleich) und dann verschiedenen Prüfungen unterzogen. Temperaturstabilisierte Oszillatoren (OCXOs) werden über mehrere Wochen in Alterungsmeßplätzen künstlich gealtert.

In TK-Meßkammern werden innerhalb von 4 bis 8 Stunden mit einer anschließenden Auswertung die Kompensationsbauelemente für die Quarzoszillatoren berechnet.

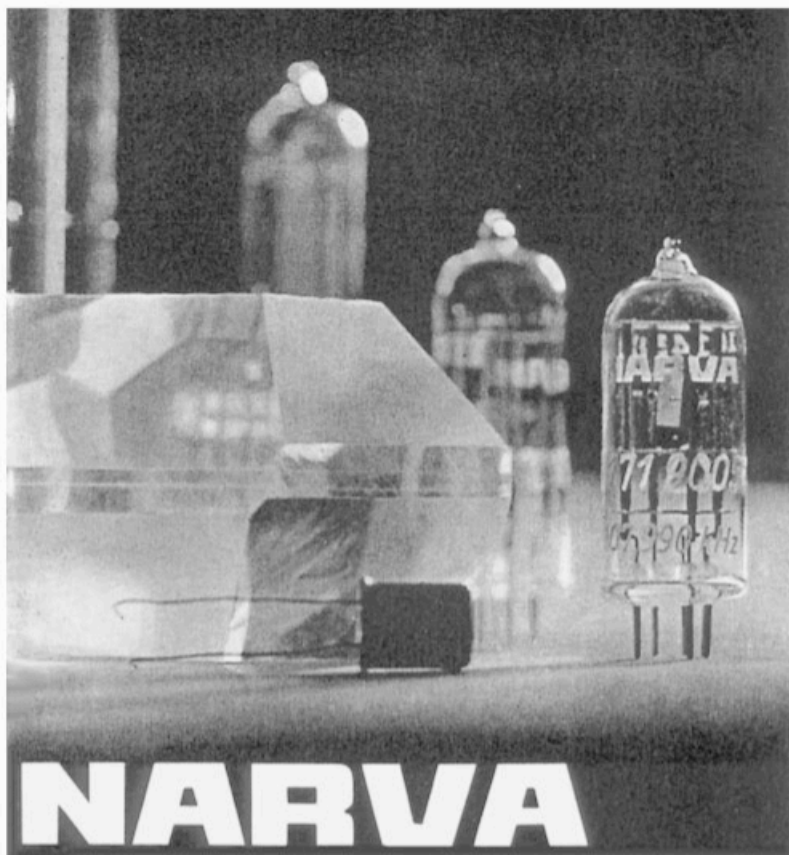
Je nach Gehäuse erfolgt der Verschluß durch Verschweißen oder Löten.

Die in der Endkontrolle erfaßten Daten werden dann an halbautomatischen Prüfplätzen in einer Datenbank gespeichert

Jahre später können noch die Daten des Fertigungsablaufs eines Oszillators anhand seines Barcodes abgefragt werden.

Das Leitmotiv von TELE QUARZ:

*Wir wollen zufriedene Kunden –
deshalb ist die hohe Qualität unserer Erzeugnisse und Dienstleistungen
eines der obersten Unternehmensziele.*



NARVA

SCHWINGQUARZE



BERLINER GLUHLAMPENWERK

DDR - 1017 Berlin,

Ehrenbergstraße 11-14

Telefon: 58 60, Telex: 011-2738

VEB NARVA

7.15 VEB – Narva; Berlin, Ehrenbergstraße 11–14

Wenn ein Grundstück erzählen könnte ...

*Vom Wasserwerk zu OSRAM, von **NARVA** zu Oberbaum City – Symbiose aus Tradition und Zukunft.*

Im Spannungsfeld zwischen Kreuzberg, Penzlauer Berg und Berlin Mitte liegt Friedrichshain.

Hier entstand auf dem ehemaligen Gelände der Narva-Glühlampenwerke die „Oberbaum City“ ...

So war es in einer Pressenotiz zur Einweihung des Medienzentrums *Oberbaum City* zu lesen.

Doch bleiben wir noch einen Augenblick beim Erzählen der Geschichte dieser ehemaligen „Lampenstadt“.

Ich glaube auch nur wenige Leser haben eine Kenntnis über diese geschichtsträchtige Ecke Berlins – (wo es doch auch noch eine Menge solcher ähnlichen Ecken in Berlin gibt!). Deshalb mögen mir jetzt die Leser eine kleine Abschweifung in der Schwingquarzgeschichte gestatten.

Also ...

Am Spreeufer nahe der Oberbaumbrücke erwarben die Engländer C. Fox und T. R. Crampton 1853 ein ca. 10 Hektar großes Grundstück und errichteten darauf als „Waterworks Company“ ein Maschinen- und Kesselhaus.

1856 ging das erste Berliner „Wasserwerk vor dem Stralauer Thor“ in Betrieb.

Die Wasserentnahme erfolgte aus der Spree und nach Reinigung über Filter wurde das Wasser in einen Behälter geleitet, von wo aus es dann in die Haushalte strömte.

Die industrielle Entwicklung und die Zunahme des Schiffsverkehrs auf der Spree verschmutzten aber das Wasser so sehr, daß eine Reinigung immer aufwendiger wurde.

1893 wurde das Wasserwerk stillgelegt. Ein Teil der Gebäude wurde abgerissen.

Das Gelände des Wasserwerkes wurde jetzt für eine Müllverbrennungsanlage genutzt. Der erste großtechnische Versuch der Müllverbrennung in Berlin fand hier statt. Nachdem die Versuche aber kein befriedigendes Ergebnis brachten, wurden sie abgebrochen.

Das Gelände wurde an die „Industriestätte Warschauer Brücke G.m.b.H“ verkauft. Doch zuvor faßte die Stadtverordneten-Versammlung den Beschluß, das Gelände durch Anlegen von Querstraßen aufzuteilen.

So entstanden die Rudolf- und Rotherstraße sowie die Nagler-, Ehrenberg- und Lehmbruckstraße.

Ein neues Kapitel der Industriegeschichte begann ...

Im Jahre 1906 gelang Hermann Remané und Fritz Blau bei der Deutschen Gasglühlicht AG (Auer-Gesellschaft) die Herstellung von Glühfäden aus Wolfram. Wegen der großen Nachfrage nach dieser neuen Wolframlampe war die 1898 errichtete Glühlampenfabrik von Auer in der alten Jakobstraße (Auerhof) zu eng geworden.

Im selben Jahr (1906) begann die Auer-Gesellschaft, große Teile des ehemaligen Wasserwerkgeländes zu bebauen. Zwischen den Jahren 1906 bis 1914 entstanden hier große 5- bis 7-stöckige Fabrik- und Verwaltungskomplexe.

Das Gebäude 3, 1909 fertiggestellt, war das erste Hochhaus Berlins – 11 Stockwerke über und 3 unter der Erde.

1932 ging es in den Besitz von OSRAM über.

Die Auer-Gesellschaft gliederte am 28. Oktober 1918 ihre Glühlampenfabrik aus der Firma aus und gründete eine neue Gesellschaft für die Produktion von Glühlampen, die „OSRAM-Werke GmbH“.

Dieser Gesellschaft trat auch die Auer-Gesellschaft am 9. November 1918 als Kommanditist bei. Nach schwierigen Verhandlungen schlossen sich auch die AEG und Siemens mit ihren Glühlampenwerken am 5. Februar 1920 an.

Das Gebäude 1 in der Ehrenbergstraße 11–14 wurde die Firmenzentrale.

Die AEG-Fabrik in Moabit, Sickingenstraße, wurde von nun an als Werk **A**, die Siemensfabrik in der Charlottenburger Helmholzstraße als Werk **S**, die Fabrik der Auer-Gesellschaft an der Warschauer Brücke als Werk **D** und die Vereinigten Glashüttenwerke in Weißwasser als Werk **W** im Konzern geführt.

Als Gründungsdatum des OSRAM-Konzerns wurde der 1. Juli 1919 festgesetzt.

Anfangs der 1920er Jahre waren dort etwa 4000 Arbeiter und Angestellte beschäftigt.

Das Ende des Zweiten Weltkrieges – vom Werk D ist nur noch ein Trümmerhaufen übrig geblieben.

Auf Grund des Befehls Nr. 124 der sowjetischen Militäradministration (SMAD) beschlagnahmte das Bezirksamt Friedrichshain den Firmensitz und das OSRAM-Werk D.

Im August 1946 erteilte die Industrieverwaltung der SMAD die Genehmigung zum Aufbau eines Glühlampenwerkes; damit ist das Glühlampenwerk (BGW), vormals OSRAM-Werk D, gegründet.

Anfang der 1950er Jahre wurden die durch den Krieg geschädigten Bauten weitgehend wieder hergestellt. Die Produktion von Glühlampen lief auf vollen Touren. Inzwischen zählte das Werk schon wieder 2000 Beschäftigte.

Mitte der 1960er Jahre wurden das Berliner-, das Plauener- und das Oberweißbacher Glühlampenwerk mit verschiedenen Subunternehmen zum Kombinat **VEB NARVA** zusammengeschlossen.

Der Name des Kombinats wurde aus dem 1966 eingetragenen Warenzeichen abgeleitet, ein Kunstwort, gebildet aus den Bestandteilen:

N	–	N itrogen (Stickstoff)
AR	–	AR gon
VA	–	VA kuum

Inzwischen zählte das BGW schon wieder über 5000 Beschäftigte, davon mehr als die Hälfte Frauen.

Nun zum eigentlichen Thema – **Die Schwingquarzfertigung bei NARVA.**

Durch Umstrukturierungsmaßnahmen im Werk für Fernsehelektronik WF (Oberspree) benötigte das Werk weitere Räume für neue Produkte wie für die Fertigung von Transistoren. So wurde beschlossen, ab Januar 1969 die dort beheimatete Schwingquarzfertigung auszugliedern. Um nun bei NARVA an der Warschauer Brücke Platz für die Quarzfertigung zu schaffen, mußte die Fertigung der *Leuchtstofflampen* nach Brand-Erbisdorf ausgelagert werden. Die für die neue Schwingquarzfertigung vorgesehenen Mitarbeiter aus der Lampenproduktion wurden inzwischen schon für die neue Fertigung umgeschult.

Ab dem 1. Januar 1969 erfolgte dann die komplette Übernahme der Entwicklungsabteilung und der Quarzfertigung vom Oberspreewerk.

Die folgenden Aufnahmen zeigen in der Übersicht die neue Heimat, jetzt bei der Firma NARVA.

Die markanten Wahrzeichen hier im Bezirk Friedrichshain sind die „Oberbaumbrücke“, sie führt über die Spree, und das Gebäude (3), das Turmgebäude mit dem beleuchteten „NARVA-Würfel“.

Für das neue Produkt – Schwingquarze – waren die Gebäude (1) und (3) vorgesehen, in Gebäude (1) Leitung und Verwaltung, in Gebäude (3) Entwicklung und Fertigung. Der Betriebsteil – Schwingquarzerzeugnisse – wurde an Personal um einiges aufgestockt. In Fertigung und Entwicklung waren es jetzt etwa 230 Arbeitskräfte unter der Leitung von

Karl Jauch, Betriebsleiter

und

H. Grote, Diplomphysiker, wissenschaftlicher Berater.



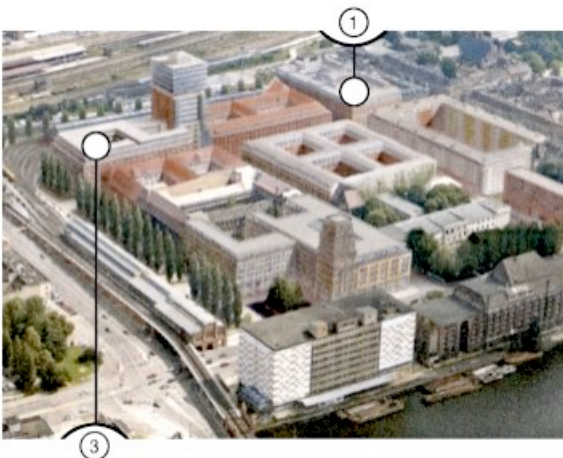
Abb. 7.15.1
Oberbaumbrücke



Abb. 7.15.2
Lageplan vom ehemaligen
NARVA-Glühlampenwerk

Abb. 7.15.3 ▼ ◀
Gesamtkomplex
NARVA-Glühlampenwerk

Abb. 7.15.4 ▼ ▶
Gebäude Quarzfertigung
(Dieses Gebäude stellte sich
im Jahr 2000 nach
abgeschlossener Sanierung
im neuen Glanz dar)



Die folgenden Abbildungen
geben einen kleinen Quer-
schnitt aus dem NARVA-
Fertigungsprogramm.

Abb. 7.15.5 ►

Titelseite eines NARVA-
Werbeprospektes

Abb. 7.15.6 ▼►

Diverse Schwingquarze in
Lötausführung und in einem
7-poligen Miniaturröhren-
halter für Biege- und Längs-
schwingungen

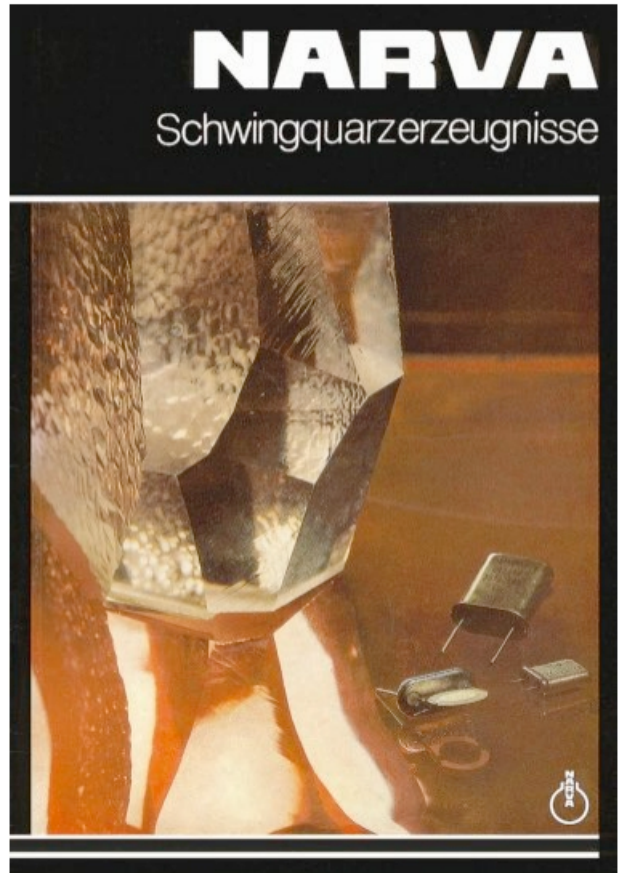


Abb. 7.15.7 ▼

Der untenstehende
1 000 000-kHz-Eichquarz
– ein Spitzenerzeugnis der
Firma NARVA



Abb.7.15.8

Schwingquarze in hermetisch verschlossenem Metallgehäuse als Dicken- und Flächenschwinger der Baureihen Q 31–37; Q 41–47; Q 51–54

Ob der nachstehende temperaturkompensierte Quarzoszillator der Type TCXO/2, für eine Nennfrequenz von 10 MHz zu einer Produktion vorgesehen war, läßt sich heute nicht mehr so richtig nachvollziehen.



Abb.7.15.9

TCXO, 10 MHz

Zur Produktion von Schwingquarzen ist vielleicht noch zu bemerken, daß es sich in der DDR weitgehendst um eine reine Auftragsproduktion und nicht um eine Serienproduktion handelte.

Die Hauptabnehmer für Schwingquarze waren:

die Funkwerke Köpenick, Erfurt und Dabendorf
ferner die Post für ihre Rundfunk-, UKW- und Fernsehsender
und die Trägerfrequenzsysteme, ebenfalls für die Post

Weitere Abnehmer waren die Luftfahrt, die Kraftwerke für ihre Fernwirkanlagen und natürlich die Nationalen Streitkräfte für ihre Sprechfunkgeräte.

Der Export ging hauptsächlich in die Länder

China, CSR, Polen, Rumänien und Ungarn

Als Exportfirma zeichnete die Firma:

HEIMELECTRIC

Deutsche Export- und Importgesellschaft m.b.H.

Berlin C 2, Liebknechtstraße 14

Die Firma NARVA war ein sehr gut durchorganisierter Betrieb.

Durch weitere Mechanisierung bzw. Automatisierung bis zu weit über 60 % gehörte dieses Schwingquarz- Unternehmen zur Spitzengruppe dieser Sparte.

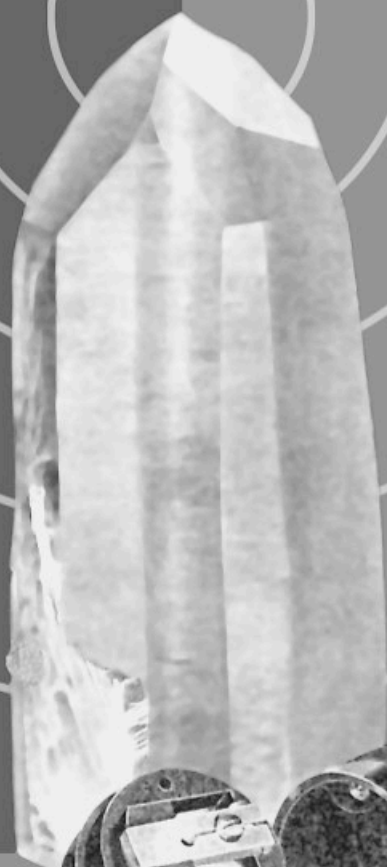
Im Januar 1990 begann die totale Abwicklung, und am 1. Januar 1991 wurde der letzte Schlüssel gedreht.

Ich fand es sehr schade, daß diese Firma im Westen keine Eigenständigkeit finden konnte, aber Gefühle sind hier nicht gefragt.

Der Ankauf der recht modernen Technik durch BRD-Firmen war sehr gefragt – Arbeitskräfte waren dagegen zu 95 % nicht gefragt!

ZEISS

PIEZOELEKTRISCHE OSZILLATOREN



CARL ZEISS
JENA

Oszillo 3/II

7.16 *Carl Zeiss; Jena*

Mit der Firma Carl Zeiss und Jena verbindet man hauptsächlich die Herstellung von optischen Bauteilen und Geräten wie Linsen, Objektive, Brillengläser, Mikroskope und Fernrohre.

Am 17. November 1846 gründete der Universitätsmechanikus Carl Zeiss nach Wanderjahren ein „Atelier für Mechanik“ mit angeschlossenem Ladengeschäft in der Jenaer Neugasse 17. Die Werkstätte entwickelte sich bald zu einer kleinen Firma.

Mit dem Firmeneintritt Ernst Abbés 1866, der sich intensiv mit der mathematischen Theorie des Mikroskops befaßte, begann eine neue Ära für die zwar schon bekannte, aber kleine Firma.

Die Firma expandierte auf dem Gebiet der Feinmechanik und Optik. Es entstanden hervorragend ausgestattete Laboratorien und Werkstätten. Viele kritische Stoffe wie z. B. Quarz und auch der Turmalin waren ihnen daher in der Bearbeitung und den Eigenschaften absolut bekannt.

Die Abteilung für optische Meßinstrumente (MESS) stellte eine große Anzahl verschiedenster Instrumente für Untersuchungen und Messungen von Stoffen und Medien her (ein guter Ausgangspunkt also für die Herstellung von Schwingquarzen).

Um gleich noch einen Grundgedanken in den Zeisschen Werkstätten hervor zu heben: Es handelt sich um die wissenschaftliche Einstellung der Werkstätte. Ernst Abbé hat entschieden den Grundsatz vertreten, daß bei der Anfertigung der optischen Instrumente in allen Fällen die richtigen Vorschriften durch die Wissenschaft, durch Theorie und Berechnung, festzustellen seien; daran sei ebenso festzuhalten wie an der genauen mechanischen Ausführung. Diese Forderung, die ja auch für Betriebe anderer Art, beispielsweise chemische und elektrotechnische Fabriken gilt, führt zu einer engen Verbindung zwischen Industrie und Wissenschaft:

Die Industrie, die sich der Wissenschaft bedient, stattet ihr durch Förderung ihrer Bestrebungen den Dank ab. Dem entspricht es denn auch, daß Vertreter der reinen Wissenschaft der Geschäftsleitung angehören außer Ingenieuren und Kaufleuten.

Diese seine Grundsätze mögen E. Abbé wohl bewogen haben, Rudolf Straubel 1901, 37 Jahre alt, als „wissenschaftlichen Berater der Geschäftsleitung“ in die Firma zu holen.

Es lag schon eine lange Zeit wissenschaftlicher Tätigkeit hinter R. Straubel. 1888 Doktorexamen, seit 1897 Professor an der Jenaer Universität. Seine Arbeiten hatten seinen Ruf schon in weite Kreise getragen. Abbé sah in ihm den kongenialen Wissenschaftler, dessen geistiger Führung er insbesondere die wissenschaftlich-technischen

Aufgaben des Zeisswerkes anvertrauen wollte. Als Prof. Abbé am 1.4.1903 infolge seiner stark angegriffenen Gesundheit von der Leitung der Firma Zeiss zurücktrat, wurde die Geschäftsleitung durch Prof. Straubel ergänzt. Nach dem Tod von Siegfried Czapsky 1907 übernahm Rudolf Straubel die gesamte wissenschaftliche Leitung der Firma.

Abb. 7.16.1

Das Zeisswerk
in den 1930er Jahren



Carl Zeiss in Jena, als Spezialist in Optik und Feinmechanik greift in die „Schwingquarz-Forschung“ ein – so könnte man einen Abschnitt in der Firmengeschichte des Zeisswerkes überschreiben.

Was war geschehen? –

Im Sommer 1928 reiste von der Firma C. Lorenz der technische Leiter der Abteilung für drahtlose Telegraphie Walter Hahnemann nach Jena zu Zeiss und bat um Unterstützung für ein Problem, welches in der drahtlosen Abteilung ziemlich viel Kopfzerbrechen bereitete. Lorenz hatte bei den Quarz-Steuerstufen seiner Funkgeräte zunehmend Probleme mit der Frequenzkonstanz und dem hohen Temperaturkoeffizienten (TK).

R. Straubels Sohn Harald hatte zu dieser Zeit gerade sein Physikstudium in Jena beendet, und so gab der Vater Straubel die Problemstellung von Lorenz an seinen Sohn als angehenden technischen Physiker weiter. Harald Straubel fuhr sogleich nach Berlin zu Lorenz und sprach dort mit Direktor Hahnemann und Dr. H. Rochow die Probleme durch. Er nahm das Lorenzproblem als Ausgangsbasis für seine Promotion. Ende 1928 begann er mit der Arbeit und promovierte damit am 16.12.1930 am Technisch-Physikalischen Institut der Universität Jena unter Prof. A. Esau. Der Titel seiner Dissertation lautete:

„Schwingungsform und Temperaturkoeffizient von Oszillatoren“.

Harald Straubel war sehr erfolgreich und konnte noch vor seiner Promotion am 3.12.1930 ein Patent über den „berandeten Quarz mit einheitlicher Querschwingung“ anmelden (Abb. 7.16.3).

Das Ziel seiner Arbeit war:

1. Untersuchung der Schwingungsform
2. Maßnahmen für die Konstanzhaltung der Frequenz
3. Eigenschaften des Temperaturkoeffizienten und seine künstliche Beeinflussung

In der Einleitung wies H. Straubel besonders auf die große Bedeutung hin, welche die piezoelektrischen Oszillatoren in dieser ersten Zeit für die drahtlose Telegraphie und Telefonie gewonnen hatten.

Weiter schrieb er: *Über die wirklich auftretenden Schwingungsformen und ihre physikalischen Ursachen erschienen in der Literatur Angaben, die mit dem Aufbau der Kristalle nicht in Einklang stehen konnten. Auch zeigten die Untersuchungen über die erreichbare **Frequenzkonstanz** und namentlich ihre Beeinflussung durch die **Temperatur** weit von einander abweichende Ergebnisse.*

Die zahlreichen praktischen Versuche für diese Arbeit wurden am Institut für Technische Physik der Universität Jena durchgeführt. Die hierfür benötigten Quarzstäbe und -scheiben wurden speziell von der Abteilung „Z-Prüf“ in der Firma Zeiss hergestellt und H. Straubel zur Verfügung gestellt. Ebenso überließ ihm die Firma leihweise auch besondere Meßgeräte für die Versuche.

Als Grundlage für seine Arbeiten berechnete H. Straubel zuerst einmal die Eigenfrequenz eines Quarzoszillators. Wie bekannt lassen sich die Eigenfrequenzen von Oszillatoren aus ihren Abmessungen und aus ihren Elastizitätsmodulen berechnen. Als nächstes befaßte sich Straubel mit der Schwingungsform und den Schwingungsrichtungen.

Der erste Versuchsquarz war ein X-Schnitt, er wurde so in der Weise aus dem Naturquarz herausgeschnitten, daß seine Endflächen senkrecht zu einer elektrischen Achse orientiert sind.

Ein solcher Oszillator besitzt drei verschiedene Eigenfrequenzen!

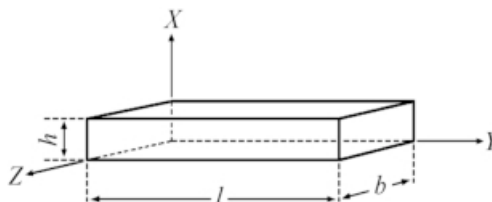


Abb. 7.16.2 X-Schnitt



AUSGEGEBEN AM
30. JULI 1931

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 530582

KLASSE 21a⁴ GRUPPE 8

21a⁴ St 841. 30

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 16. Juli 1931

Harald Straubel in Jena

Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator (bzw. Resonator)

Patentiert im Deutschen Reiche vom 3. Dezember 1930 ab

Die üblicherweise in der Technik verwendeten piezoelektrischen Oszillatoren (bzw. Resonatoren) sind Scheiben von kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt.

5 Die Frequenzen solcher Oszillatoren in der Ebene der Scheibe (Durchmesserschwingungen) sind infolge der Richtungsabhängigkeit des Elastizitätsmoduls nicht einheitlich. Dies zeigt sich u. a. an der Unregelmäßigkeit
10 des Schwingungszustandes der Oberflächen solcher Scheiben.

Da für manche Verwendungszwecke eine Vergleichmäßigung der Frequenzen von Vorteil ist, so soll ein neues Mittel für diesen
15 Zweck angegeben werden.

Nach der vorliegenden Erfindung besteht das Mittel darin, daß man die Form des Oszillators derart wählt, daß die Richtungsverschiedenheit des Elastizitätsmoduls durch
20 die Formgebung kompensiert wird.

Da die Frequenzen in den verschiedenen Durchmesserrichtungen den Wurzeln aus den Elastizitätsmoduln direkt und den Längen der Durchmesser umgekehrt proportional
25 sind, so läßt sich die Frequenz dadurch weitgehend unabhängig von der Richtung machen, daß man die Längen dieser Durchmesser proportional den Wurzeln aus den Elastizitätsmoduln bemißt.

30 Die dabei entstehende Form der Scheibe stellt dann eine Mittelpunktfigur dar, d. h. eine solche Figur, bei der ein Punkt existiert, der alle durch ihn gezogenen Geraden, die ihre

Endpunkte auf dem Rande der Scheibe haben, halbiert.

Experimentell läßt sich feststellen, daß die gewünschte Wirkung in weitgehendem Maße eintritt.

Für den beschriebenen scheibenförmigen Oszillator werden die Schwingungsverhältnisse dann besonders günstig, wenn die Frequenz der Schwingungen in den Durchmesserrichtungen und die Frequenzen der Schwingungen senkrecht hierzu (Dickenschwingungen) entweder einander gleich oder
45 höhere Harmonische voneinander sind.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator (bzw. Resonator), dadurch gekennzeichnet, daß die ebenen Begrenzungsflächen eine Mittelpunktfigur bilden, deren Radien proportional den Wurzeln aus den Elastizitätsmoduln der betreffenden Richtungen sind.

2. Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessungen der Scheibe derart bemessen sind, daß die Frequenzen der Schwingungen in den Durchmesserrichtungen und die Frequenzen der Schwingungen senkrecht hierzu (Dickenschwingungen) einander gleich oder höhere Harmonische voneinander
65 sind.

Diese Untersuchungen gehen auf den Physiker F. W. Kohlrausch zurück.
Er schrieb darüber in seinem Lehrbuch der praktischen Physik:

*... kreisförmige Quarzplatten haben bei geeigneten Dimensionsverhältnissen
z. B. Durchmesser = 3 cm, Dicke = 0,5 cm drei für Oszillatoren ausnutzbare Grund-
Eigenfrequenzen, die man nach den Formeln*

$$F_1 = 2,7 \cdot 10^5/D, \quad F_2 = 3,8 \cdot 10^5/D \quad \text{bzw.} \quad F_3 = 2,9 \cdot 10^5/D \text{ sec.}^{-1}$$

vorausberechnen kann ...

Die eine Schwingung erfolgt in Richtung der elektrischen Achse, während die beiden anderen senkrecht dazu verlaufen. Sie bilden jeweils mit der optischen Z-Achse einen Winkel von $-48^\circ 19'$ bzw. $+71^\circ 32'$. Diese Richtungen gehen auf Arbeiten von Alexander Meißner bei Telefunken im Jahr 1927 zurück.

Meißner beschäftigte sich in dieser Zeit intensiv mit dieser Materie und so fiel ihm auf, daß diese Richtungen denen des Elastizitätsmoduls entsprachen.

Nach dieser Auswertung berechnete Straubel nach den Formeln von W. Voigt diese Moduln für den Quarzkristall. Aus den Berechnungen ergab sich (Schnitt senkrecht zur elektrischen Achse), daß in dieser Ebene je **2 Maxima** und **2 Minima** des Elastizitätsmoduls auftraten und zwar für:

Maxima: $-48^\circ 19'$ und $+11^\circ 7'$, $E_1 = 13,5$, $E_2 = 10,33$

Minima: $0^\circ 0'$ und $+71^\circ 32'$, $E_1 = 10,2$, $E_2 = 7,06$

Der nächste Schritt war die Berechnung der piezoelektrischen Konstanten, darunter versteht man die Verbindung zwischen elektrischer und mechanischer Schwingung. Hierbei stellte sich dann heraus, daß jedenfalls für die Richtung $-48^\circ 19'$ die Konstante einen erheblich kleineren Wert besaß als für die der anderen Richtungen.

Ein weiterer Schritt war, Schnitte der so genannten Elastizitätsfläche einmal graphisch darzustellen.

Die Abb. 7.16.4 zeigt die Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls von der Richtung innerhalb der Y-Z-Ebene.

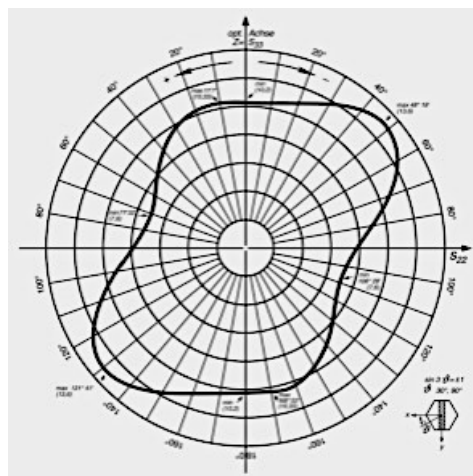


Abb. 7.16.4

Die stark ausgezeichnete Kurve wird dadurch erhalten, daß man vom Mittelpunkt aus die Elastizitätsmoduln, die man rechnerisch erhält, als Vektoren aufzeichnet und deren Endpunkte miteinander verbindet.

Nach diesen Teiluntersuchungen stellte nun Straubel fest, daß die normalen scheibenförmigen Quarzplatten auf Grund ihrer Kristallstruktur in bestimmten Richtungen schwingen und es stellte sich heraus, daß die Schwingungsformen von scheibenförmigen Quarzplatten doch erheblich komplizierter sind – es entstehen ungleichmäßige punktförmige Belastungen. Die Unregelmäßigkeit des Schwingungsvorgangs bei Dickenschwingungen führt häufig zu einer Zerstörung der Platte, da bei besonders stark schwingenden Stellen die Elastizitätsgrenze leicht überschritten wird, obwohl die Gesamtbelastung der ganzen Platte noch relativ klein bleibt. Hinzu kommt noch, daß der Elastizitätsmodul E des Quarzes in der Y-Z-Ebene keine Konstante ist, so daß die Eigenfrequenzen der Längsschwingungen einer Platte in den verschiedenen Richtungen sich stark ändern. Es kommen dadurch bei geringfügiger Verstimmung plötzlich ganz andere Plattenstellen in kräftiges Mitschwingen. In Abb. 7.16.4 sind in Polarkoordinaten für die Y-Z-Ebene die Werte des Elastizitätsmoduls des Quarzes dargestellt. Unter einem Winkel von $-48^\circ 19'$ nimmt der Elastizitätsmodul einen größten und unter $+71^\circ 32'$ einen kleinsten Wert an, und zwar ist $E_{\max} = 13050 \text{ kp/mm}^2$ und $E_{\min} = 7060 \text{ kp/mm}^2$.

Die Versuche ergaben nun, daß eine runde, senkrecht zur X-Achse geschnittene Quarzplatte eben in diesen beiden Richtungen, in denen der Elastizitätsmodul Extremwerte annimmt, bevorzugt zu elastischen Schwingungen angeregt wird.

Bei weiteren Versuchen experimentierte Straubel jetzt auch mit Quarzstäben. Hierbei stellte er fest: Quarzstäbe, die so nach der Orientierung wie in Abb. 7.16.5

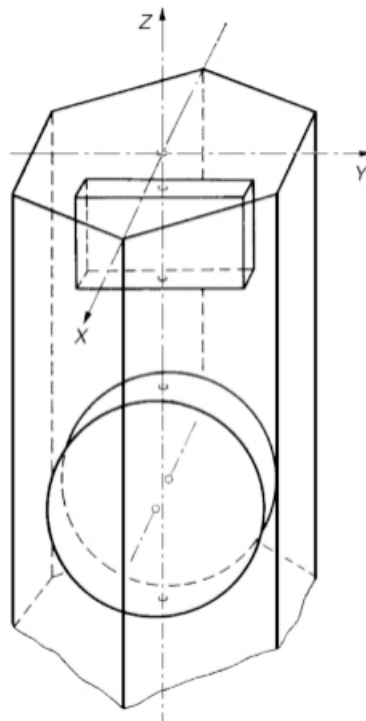
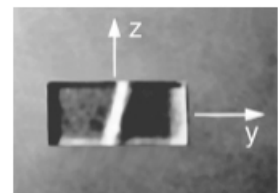


Abb. 7.16.5
Schnittlänge von
Piezoquarzplatten und
-stäben

Abb. 7.16.6
Knotenlinie von
Quarzstäben –
 90° -Schnitt



geschnitten sind und zu Längsschwingungen angeregt werden, schwingen niemals genau in der Richtung der Y-Achse. In Abb. 7.16.6 ist für einen so orientierten Quarzstab (sogenannter 90°-Schnitt) die Knotenlinie der Bewegung durch aufgestreuten Bärlappsamen (Lycopodium) sichtbar gemacht.

Wie man daraus ersehen kann, verläuft diese Knotenlinie schräg unter einem Winkel von etwa 130° gegen die Z-Achse und zeigt damit an, daß der Stab in der Richtung des kleinsten Elastizitätsmoduls schwingt. Läßt man aber die Längsrichtung des Quarzstabes mit dem Minimum des Elastizitätsmoduls zusammenfallen (sogenannter 71°-Schnitt), so folgen die Schwingungen genau der geometrischen Form des Stabes, wie man aus der Knotenlinie in der Abb. 7.16.8 ersehen kann.

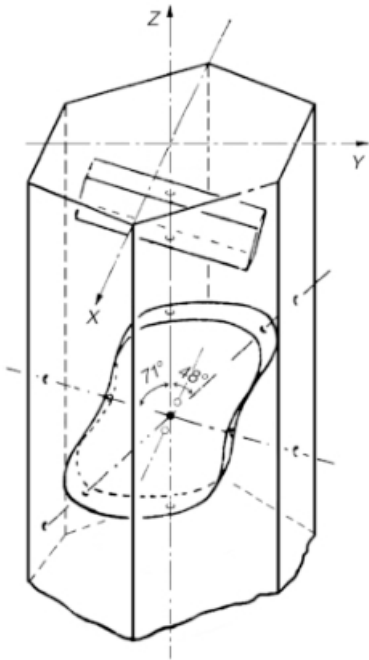
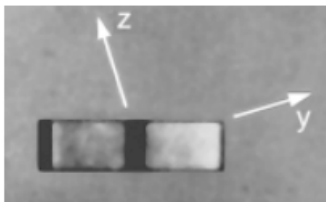


Abb. 7.16.7
Schnittlage der Straubel-Quarze –
71°-Orientierung



Die Abb. 7.16.8 zeigt, daß die Knotenlinie eines 71°-Quarzes parallel zu der Stirnfläche ist.

Karl Bücks und Hans Müller vom Physikalischen Institut der Technischen Hochschule in Breslau haben im Jahr 1933 die Amplitudenverteilung über die Stirnfläche von 90°- und von 71°-Quarzen gemessen und ihre Ergebnisse beweisen die Richtigkeit der obigen Überlegungen.

Die Messungen erfolgten mittels eines Mikroskops mit 1200-facher Vergrößerung.

Bei der Beobachtung der versilberten Elektrodenflächen der Quarzstäbe in der 90°- und 71°-Orientierung wurde die Amplitudenverteilung über die Stirnfläche der Quarze gemessen. Die wiedergegebenen Ergebnisse sind in Abb. 7.16.9 a und b Schnittlage der Straubel-Quarze -71°-Orientierung aufgezeichnet.

Diese Ergebnisse haben gezeigt, wenn es auf eine gleichmäßige Amplitudenverteilung ankommt, so sind **71°-Stäbe** zu wählen, da sie infolge ihrer einfachen Schwingungsform eine geringe Dämpfung haben.

Abb. 7.16.8

Knotenlinie eines schwingenden Quarzstabes bei der 71°-Orientierung

Von R. Bechmann und V. Petržilka erschien eine Arbeit in der Zeitschrift für Physik im Oktober 1943 mit dem Titel: „Axiale Längsschwingungen eines geraden Stabes aus kristallinem Material“.

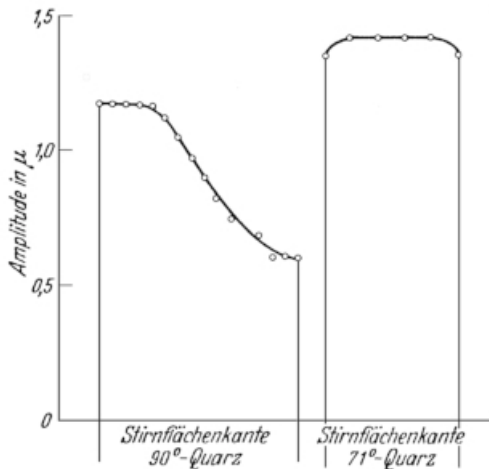


Abb. 7.16.9 a
Amplitudenverteilung an der Stirnfläche
von 90°- und 71°-Quarzen

(Abb. 7.16.9 a, b nach Karl Bücks
und Hans Müller)

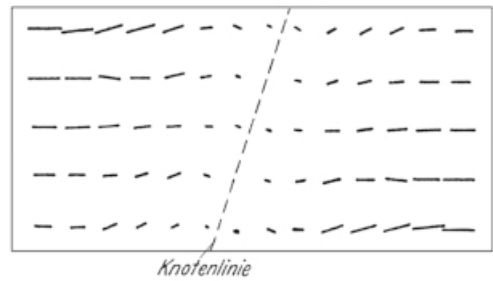
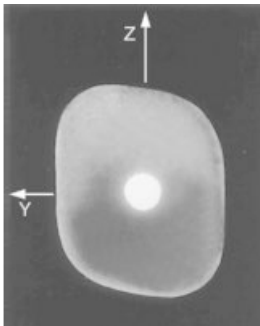


Abb. 7.16.9 b
Amplitudenverteilung auf der
Elektrodenfläche eines 90°-Quarzes

Von beiden Autoren wurde mittels der Theorie elastisch gekoppelter Freiheitsgrade diese von Straubel zuerst gefundene Neigung der Schwingungsrichtung gegen die Stabrichtung erklärt und berechnet, sowie durch Serienmessungen experimentell an verschieden orientierten Quarzstäben bestätigt.



Abschließend noch zu Punkt 1 – *Schwingungsrichtungen und Schnittrichtungen*:

Straubel hat ferner Quarzplatten, deren Oberfläche senkrecht zur Achse liegen mit Berandungen versehen, deren Abstände von der Plattenmitte in jeder Richtung proportional der Wurzel aus dem Elastizitätsmodul in der betreffenden Richtung sind. Die Form derartiger Quarzplatten ist in Abb. 7.16.10 dargestellt; die Orientierung zum Quarzkristall ist aus Abb. 7.16.7 zu ersehen.

Abb. 7.16.10
Scheibenförmiger Quarzoszillator, dessen Umrandung den Wurzeln
aus dem Elastizitätsmodul entspricht (nach Straubel)

Berechnung der in Abb. 7.16.10 gezeigten Platte erhält man, wenn man in dem Polardiagramm von Abb. 7.16.4 statt E die Werte \sqrt{E} aufträgt. Dadurch wird erreicht, daß eine einheitliche Frequenz sämtlicher Querschwingungen zustande kommt und, daß die Platte bei Erregung in der Dickenschwingung wesentlich einheitlichere Bewegungen ihrer Oberfläche ausführt. Obige Abbildung zeigt, daß dieser Fortschritt eintritt. Der Bärlappsamen wird jetzt von allen Seiten gleichmäßig in den Mittelpunkt der Scheibe zusammengeschüttelt und erfährt hier eine starke aufwärts gerichtete Bewegung.

Weiter führte Straubel in seiner Arbeit aus:

... eine Untersuchung der Längsschwingung (X-Richtung) zeigte, daß der Idealfall noch nicht ganz erreicht ist. Wohl aber hat die Zahl der Resonanzstellen wesentlich abgenommen, während ihre Ausdehnung erheblich größer wurde. Damit ist man dem Ziel einer gleichmäßigeren Belastung der Oszillatorfläche näher gekommen ...

Dieses so geformte Quarzkristall meldete Straubel als Erfindung an und stellte sie Zeiss zur Verfügung (siehe Patentschrift vom 3. Dezember 1930; auch Abb. 7.16.2). Als letzten Punkt in seiner Dissertation behandelte Straubel den

Temperaturkoeffizienten

Er schrieb in seiner Arbeit:

... die Hauptsache für eine inkonstante Frequenz der Oszillatoren liegt im Temperaturkoeffizienten. Sein Einfluß läßt sich aber auch mit den einfachsten Mitteln durch Einsatz von geeigneten Thermostaten kompensieren. Trotzdem ist es physikalisch interessant, die Frequenzänderung mit der Temperatur zu kennen, weil sich auf diese Weise der Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls genauer als mit der statischen Methode bestimmen läßt ...

Straubel führte zu diesem Themenkreis umfangreiche Meßreihen in den Bereichen +20 °C bis +60 °C durch.

Ich möchte auf diese Thematik nicht näher eingehen und stelle besser eine Tabelle vor, aus der die in diesen Versuchsreihen – errechneten und gemessenen – Temperaturkoeffizienten hervorgehen (Abb. 7.16.11).

Zum Schluß eine Zusammenfassung zum Thema Temperaturkoeffizient:

... Der Temperaturkoeffizient von Oszillatoren ist zum Teil bestimmt durch die thermischen Ausdehnungskoeffizienten und die Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls. Eine Vorausberechnung des Koeffizienten ist aber unmöglich, da er nicht nur von Naturkonstanten, sondern auch von den Abmessungen des Oszillators abhängt.

Form des Oszillators	Abmessungen cm			Frequenz in Hz		Temperatur-Koeff. \sqrt{E} 20°–60° C		Temp.-Koeff. gem.-berech. %	$\frac{1}{E} \cdot \frac{dE}{dt}$ nach Perrier u. Mandrot 20°–60° C
	x	y	z	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet		
Stab in x-Richtung	0,505	2,7	1,18	567 000	538 200	– 29,5 · 10 ^{–6}	– 20,32 · 10 ^{–6}	+ 45	– 48,2 · 10 ^{–6}
Stab in x-Richtung	0,55	2,53	1,18	513 000	495 000	– 24,15 · 10 ^{–6}	„	+ 18,8	„
Stab in y-Richtung	0,505	2,7	1,18	96 800	94 000	– 7,5 · 10 ^{–6}	„	– 63,2	„
Stab	0,5 × 3,5 × 1,10 – 48° 19'			100 000	100 250	– 84,5 · 10 ^{–6}	– 94,94 · 10 ^{–6}	– 11	– 50° 0' 203 · 10 ^{–6}
	0,5 × 3,5 × 1,0 + 71° 32'			73 350	73 735	– 28,5 · 10 ^{–6}	–	–	–
Scheibe	Durchm. 3,5 Dicke 0,1568			108 890	100 250	– 64,87 · 10 ^{–6}	– 94,94 · 10 ^{–6}	– 31,7	– 50° 0' 203 · 10 ^{–6}
				79 670	73 735	– 39,25 · 10 ^{–6}	–	–	–
Scheibe	Durchm. 3,5 Dicke 1,0			108 900	100 250	– 64,5 · 10 ^{–6}	– 94,94 · 10 ^{–6}	– 32,1	– 50° 0' 203 · 10 ^{–6}
				79 690	73 735	– 29,0 · 10 ^{–6}	–	–	–
Berandete Scheibe	x – x = 0,505 y – y = 3,6 z – z = 4,4			85,370	75 140	58,5 · 10 ^{–6}	–	–	–

Abb. 7.16.11
Tabelle der Temperaturkoeffizienten

Diese letztere Eigenschaft ermöglicht es, ihm durch geeignete **Dimensionierung** für bestimmte Temperaturen beliebige Werte zu geben, u. a. auch **den Wert Null**. Ein Vergleich zwischen den statischen und dynamischen Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls ist unmöglich, da infolge von Resonanzerscheinungen zwischen Quer- und Längsschwingungen ganz verschiedenartige Beanspruchungen auftreten ...

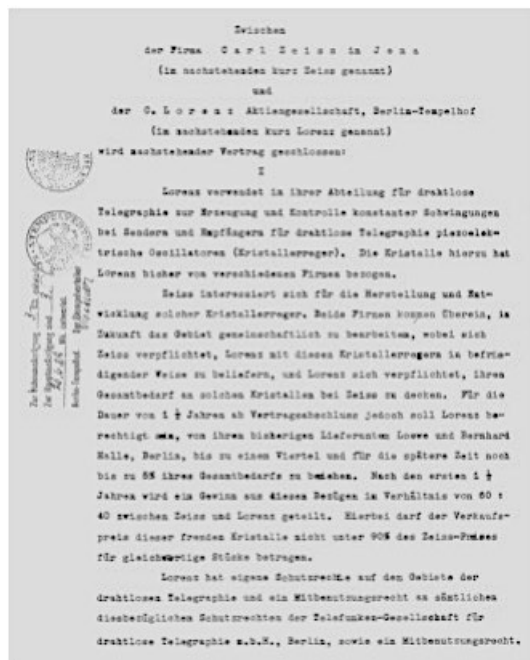


Abb. 7.16.12
Vertrag über Schwingquarzlieferungen

Die Firma Zeiss übernahm dann das Straubelsche Patent und fertigte jetzt für die Firma Lorenz Schwingquarze. Nachstehend als Auszug noch ein seltenes Dokument, der Vertrag zwischen beiden Firmen über die Schwingquarzlieferungen; er hatte aber nur eine kurze Zeit bis März 1931 Bestand! –

Die folgende historische Aufnahme von damals dokumentiert die Erprobung der neuen Steuerquarze auf dem Lorenz-Versuchsfeld Eberswalde bei Berlin.

Abb. 7.16.13

Lorenz-Versuchsfeld mit
Dr. Haupt, Dr. Straubel
und Versuchsmechaniker
Müller (von links)



Ab 1931 folgten weiter Veröffentlichungen von Straubel über Quarzoszillatoren, und zwischenzeitlich befaßte er sich auch mit der Kristallsteuerung von ultrakurzen Wellen. Dazu noch weiteres auf den nachfolgenden Seiten.

Nach der Promotion arbeitete Straubel vorwiegend im eigenen Labor zu Hause, da ihm dies einen größeren Freiraum für eigene Arbeiten ließ. Mit der Firma Zeiss wurde lediglich am 21.12.1933 ein Lizenzvertrag geschlossen und eine Zusatzvereinbarung:

... für bestimmte Versuche im Interesse der Fortentwicklung der Oszillatoren seine volle Arbeitskraft zur Verfügung zu stellen ...

Auf Grund der jetzt besser funktionierenden Quarze gründete Zeiss nun eine eigene Abteilung:

– OSZILLO –

die vorläufig noch bei der Abteilung “Z-Prüf” von Dr. Kessler integriert war. Wie schon erwähnt, befaßte sich Straubel auch intensiv und in Eigeninitiative mit der Kristallsteuerung ultrakurzer Wellen. Auf der Berliner Funkausstellung 1931 stellte Straubel auf Veranlassung von Prof. Leithäuser Sender und Empfänger mit 8-m-Turmalinsteuerung aus. Eine Grammophonplatte modulierte über einen Anpassungstrafo ohne Verstärkung das Gitter einer Senderöhre.

Ein erster von ihm verfaßter Artikel erschien in der Physikalischen Zeitschrift Nr. 32 im Jahr 1931 mit dem Titel:

„Direkte Kristallsteuerung für ultrakurze Wellen“.

Zu dieser Zeit gab es kaum noch eine Veröffentlichung zu diesem Thema. Die einzige mir bekannte Veröffentlichung stammt aus dem Jahre 1928. Der Verfasser, ein John T. Henderson von der McGill Universität Montreal, dürfte der erste gewesen sein, welcher auch praktisch gearbeitet hat. In seiner Abhandlung mit dem Titel: „Über die Eigenschaften von Turmalinkristallen bei ihrer Verwendung als piezoelektrische Resonatoren“ führte er aus:

... seit dem wurden viele Abhandlungen zum Thema Schwing- und Resonanzfrequenzen bei Quarzkristallen verfaßt. Turmalin wird zwar von einigen Verfassern dieser Abhandlungen erwähnt (so P. P. Koch, Annalen der Physik 1906; D. A. Keys, Philosophical Magazin 1921), doch Resonanzfrequenzen in Turmalin scheinen noch nicht untersucht worden zu sein ...

Bei seinen Versuchen verwendete Henderson einen Röhrensender mit einem abgestimmten Gitterkreis.

Die dabei benutzten Turmalinkristalle waren für verschiedene Frequenzen geschliffen. Die Versuche fanden ausschließlich im Labor statt.

Straubel wählte bei seinen ersten Versuchen einen anderen Weg. Er ging mit seinem turmalingesteuerten Versuchssender auf die Berge seiner Thüringischen Heimat. Der Sender stand da vollständig unbeaufsichtigt und ungeschützt im Freien. Erstens wollte er dabei die Turmalinkristalle erproben und zweitens auch Reichweitenversuche durchführen. – Die ganze Familie Straubel einschließlich Straubel Senior wirkte bei diesen Versuchen mit.

Die ersten Versuche fanden auf der Sichtstrecke Inselsberg–Brocken mit Wellen von 8,5 m statt. Auf den Bildern ist sehr gut auch die Teamarbeit der Straubels dokumentiert.

Durch ein Brett wurde der Sender etwa 1,5 m von der holzverkleideten Hauswand abgehalten. Der Sender war mit der Röhre RS 241, Ua 210V, Ia 70 mA, bestückt, Zur Steuerung wurde ein Turmalinkristall verwendet, dessen Frequenz durch ein besonderes Verfahren vollkommen temperaturunabhängig blieb.

Eine Tastmaschine unterbrach den Anodenstrom und lieferte damit die Zeichengebung. Die Antenne bildete als Dipol von 2,4 m Länge direkt einen Teil des Schwingkreises. Die an sich ungünstige Anordnung wurde aus Gründen des einfachen Aufbaues gewählt. Von der Antenne wurden etwa 2 Watt abgestrahlt.

Die Abb.7.16.16 zeigt die Schaltung, Abb.7.16.17 den Sender.



Abb. 7.16.14
Aufbau des Senders auf
dem Inselsberg südlich von
Eisenach, 916 m über dem
Meer



Abb. 7.16.15 a, b
Sender mit Stromversorgung
im Unterkunftshaus
Inselsberg

Abb. 7.16.16
Senderschaltung

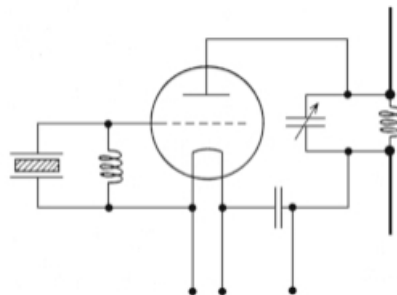
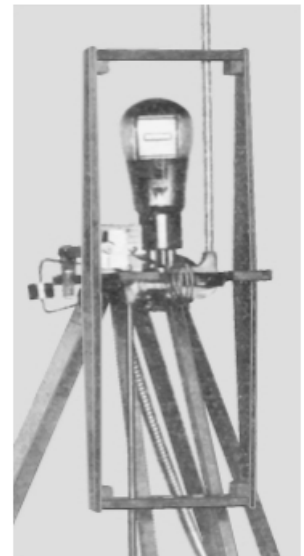


Abb. 7.16.17
Der Sender
(sehr gut ist links der Turmalinkristall zu erkennen)



Der Empfänger auf dem Brocken bestand aus einem Audion und zwei Niederfrequenzstufen. Die auf dem Brocken erzielte Lautstärke war R9.

(R9 ist nach dem WRT-System eine Lautstärkeangabe.

Die Skala umfaßt in neun Stufen alle praktisch vorkommenden Lautstärkewerte.

Der Wert R9: sehr gute Lautsprecherstärke)



Abb. 7.16.18

UKW-Empfänger auf
dem Brocken mit
Prof. Straubel,
Dr. Werner Straubel



Abb. 7.16.19

Prof. Straubel am
UKW-Empfänger



In Fortsetzung der Versuche Inselsberg–Brocken (110 km) wurde jetzt eine längere Strecke gewählt. Vorgesehen war die Strecke Zugspitze–Arber. Da aber das Schneefernerhaus auf der Zugspitze keine Stromversorgung hatte, wurde als günstiger Standort das Kreuzeck bei Garmisch-Partenkirchen gewählt. Sender und Empfänger waren wie bei den vorangegangenen Versuchen dieselben. Der Sender wurde vor einem Fenster des Kreuzeck-Unterkunftshauses befestigt. Auf dem Arber (Höhe über dem Meer 1450 m, Entfernung 238 km) wurde die Lautstärke R7-R8 erreicht. Die Empfangsstation auf dem Arber zeigt *Abb. 7.16.21*.

Abb. 7.16.20 (oben)
Sender auf dem
Kreuzeck



Abb. 7.16.21
Empfänger
auf dem Arber mit
Dr. Harald Straubel,
Prof. Straubel
(von links – im
Hintergrund
Zaungäste)

Weitere Versuche und Veröffentlichungen folgten in den nächsten Jahren. Hierbei war ein Versuchssender für 66 cm Wellenlänge mit einem 2-m-Turmalinkristall sehr interessant. Für diese Versuche wurde die amerikanische Röhre RCA 955 “acorn tube” verwendet.

Da die Herstellung dünner Turmalinscheiben zur damaligen Zeit noch Schwierigkeiten bereitete, wurde mit einem 2-m-Turmalin die Welle 66,6 cm gesteuert. Den Aufbau des Senders zeigt die Abb. 7.16.22.

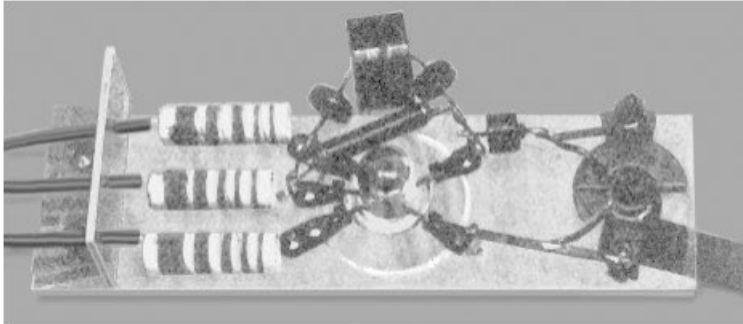


Abb. 7.16.22
Sender für
66 cm Wellen-
länge

In seinem abschließenden Bericht heißt es:

... die im Protokoll geschilderten Eigenschaften des Turmalins dürften sowohl für die experimentelle Forschung wie für den praktischen Nachrichtendienst mit ultrakurzen Wellen von Bedeutung sein ...

Es ist vielleicht in diesem Zusammenhang noch interessant, wie Prof. Felix Jentsch von der Universität Jena bei einer Laudatio auf Prof. R. Straubel ausführte, daß es Straubels Idee gewesen sei, den piezoelektrischen Quarz in Schwingkreisen durch Turmalin zu ersetzen.

Der Oszillator wird zum Geschäft

– ein neuer Verkaufsschlager in der Firma –

Ab 1931 begannen also die Fertigung und der Verkauf der von Straubel und Zeiss entwickelten Oszillatoren. In der ersten Zeit wurde vorwiegend der „berandete Quarz“ hergestellt.

Bei der industriellen Fertigung entstanden jedoch insofern ziemliche Schwierigkeiten, als es sehr schwer und nur unter hohen Kosten möglich war, die genau berechnete Form tatsächlich herzustellen. Schließlich müssen hierzu auch die Werte für die Elastizitätsmoduln der verschiedenen Richtungen bekannt sein, die bei nicht ganz homogenen Materialien sehr schwer zu bestimmen sind.

Einen guten Geschäftsgang versprach sich die Firma jetzt auch bei der Herstellung von Turmalin Oszillatoren. Durch die aufkommende Wehrtechnik war sicher eine größere Stückzahl zu erwarten. Die Zeiss'schen Turmalin-Oszillatoren wurden im Verkaufskatalog in den Jahren 1931 und 1934 zur direkten Steuerung von Wellenlängen zwischen 2 m und 15 m angeboten.

Die folgenden Seiten geben einen Überblick über das

– Oszillo-Programm –.

Wie aus dem Verkaufs-Katalogblatt von 1931 ersichtlich ist, führten die Untersuchungen von Straubel über Turmalin-Oszillatoren auch zur Erteilung eines weiteren Patents mit der Nr.: 612997.

Über seine Quarz- und Turmalinschwinger hielt übrigens Harald Straubel auch in der Berliner Physikalischen Gesellschaft Vorträge.

Ein paar Namen aus einer damaligen Anwesenheitsliste dokumentieren das große Interesse an diesem Thema:

A. Meissner, R. Bechmann, W. Nernst, M. von Laue, M. Wien, A. Berliner u. a.

In dieser Zeit erhielt er auch in Jena Besuch von Dr. Giebe und Dr. Scheibe von der PTR und von Telefunken durch Prof. Rukop und Dr. JIberg.

PIEZOELEKTRISCHE OSZILLATOREN

QUARZSCHEIBEN

(D. R. P. 530582)



Quelle 418



Die steigende Bedeutung der Piezoelektrizität für Zwecke der Hochfrequenz hat uns veranlaßt, die Herstellung von Piezo-Oszillatoren und insbesondere solcher für die direkte Steuerung von Ultrakurzwellen-Sendern und Empfängern aufzunehmen.

Wir liefern 3 Typen von Oszillatoren:

1. Turmalin-Oszillatoren (D.R.P. a.) für Wellenlängen von 2–100 m. Höchste Einwelligkeit und Belastbarkeit. Für sehr kurze Wellen besitzt der Turmalin bei gleichem Durchmesser eine wesentlich höhere Steuerleistung als Quarz.

Bis herab zu 20 m sind die Elektroden als Versilberung und nachfolgende Vergoldung direkt auf die Kristallplatte aufgebracht.

Da bei kleineren Wellen eine Belegung der Oszillatoren die Eigenfrequenz zu stark verändern würde, liegen hier plangeschliffene Elektroden direkt auf. Im Interesse eines einwandfreien Arbeitens werden für Wellen unter 20 m die Kristalle nur fertig in Fassungen geliefert. Alle Oszillatoren sind vor dem Versand geprüft.

Serienmäßig werden Oszillatoren für folgende Wellen hergestellt: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 m sowie für die Amateurbänder von 5–80 m.

Die Oszillatoren werden mit verschiedenem Durchmesser ausgeführt. Für die Steuerung kleiner Röhren (z. B. RE 134) genügt die kleinste Type mit 8 mm Durchmesser vollkommen. Für längere Wellen, ab 5 m, können auch größere Röhren verwendet werden (z. B. RS 241), jedoch sind dann mit wachsender Kapazität Gitter-Kathode größere Turmalin-Durchmesser erforderlich. Für das genannte Rohr genügt



Quarzscheiben

(D. R. P. 530582)

Wellenbereich:

Quarzscheiben werden für einen Wellenlängenbereich von 70 m bis 3000 m, einem Frequenzbereich von 4286 KHz bis 100 KHz entsprechend, hergestellt.

Einwelligkeit:

Im allgemeinen sind die Frequenzen größerer scheibenförmiger Oszillatoren in der Ebene der Scheibe infolge der Richtungsabhängigkeit des Elastizitätsmoduls nicht einheitlich. Das zeigt sich an dem Auftreten von Mehrwelligkeit und an der Unregelmäßigkeit der Belastung der Oberfläche. Diese Nachteile vermeiden wir, indem wir die Umrandung des Oszillators derart wählen, daß die Richtungsverschiedenheit des Elastizitätsmoduls durch die Formgebung kompensiert wird. Da die Frequenzen in den verschiedenen Durchmesserrichtungen den Wurzeln aus den Elastizitätsmoduln direkt und den Längen der Durchmesser umgekehrt proportional sind, läßt sich die Frequenz dadurch weitgehend von der Richtung unabhängig machen, daß man die Längen dieser Durchmesser proportional den Wurzeln aus den Elastizitätsmoduln bemißt. Daraus ergibt sich die Form, wie sie Abb. 1 zeigt.

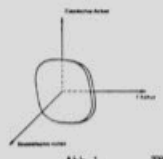


Abb. 1



die mittlere Type mit 12 mm Durchmesser, die kürzeste erzeugbare Welle ist dabei 5 m. Für noch größere Röhren und Wellen von 7 m an aufwärts empfehlen wir größere Typen bis 20 mm Durchmesser. Wir garantieren, daß die für einen Oszillator angegebene Röhrentype angesteuert wird. Bei Wellen unter 4 m ist dies nur bei kapazitätsarmem Aufbau des Senders möglich.

2. Quarz-Scheiben (D.R.P.)

- Kleinere Scheiben zur Sendersteuerung für Wellen von 100–1000 m. Größtmögliche Einwelligkeit durch eine besondere Form, die auch für die Durchmesserschwingung eine einheitliche Frequenz ermöglicht. Bei diesen Oszillatoren fällt das Umspringen auf benachbarte Frequenzen bei einer Verstimmung des Anodenkreises fort.
- Dieselben Scheiben als Resonatoren mit größerem Durchmesser und größerer Leistungsaufnahme (bis 1 KW Hochfrequenz) für physikalische und chemische Zwecke, z. B. zur Herstellung von Emulsionen. Die Scheiben sind entweder poliert oder zwecks größerer Haltbarkeit der aufgetragenen Elektroden feingeschliffen.

3. für wissenschaftliche und Lehranstalten (Lizenz Telefunken): Quarz-Stäbe, insbesondere für lange Wellen und für Versuche mit Ultraschall. Die kleinste Stablänge beträgt 2 cm. Sämtliche Oszillatoren werden nur aus absolut einwandfreiem Material und mit hoher Präzision hergestellt. Die Stäbe sind einwellig, die mechanische Schwingung folgt infolge besonderer Schnittrichtung genau der Stabachse.

Abb. 7.16.23

Erster Werbeprospekt über das neue Produkt – Piezoelektrische Oszillatoren – 1931

Turmalin-Oszillatoren

D.R.P. 612 997

Wellenbereich:

Turmalin-Oszillatoren werden hergestellt zur direkten Sendersteuerung für Wellenlängen von 70 cm bis 15 m, einem Frequenzbereich von 428,6 MHz bis 20 MHz entsprechend.

Belastung und Betriebsart:

Die Turmalin-Oszillatoren werden mit verschiedenen Durchmessern hergestellt, die sich nach der Wellenlänge und der verwendeten Röhre richten. In der Tabelle 1 sind als Anhaltspunkt für eine Reihe von Röhren Wellenlänge (Frequenz) und Durchmesser angegeben. Für die Verwendung anderer Röhren vergleiche man die in der Tabelle angegebene Anodenverlustleistung und Anodenspannung; die letztere soll dabei den von der Herstellerfirma angegebenen Wert nicht überschreiten. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Huth-Kühn-Schaltung^{*)} benutzt wird, bei der die Rückkopplung nur durch die innere Röhrenkapazität zwischen Gitter und Anode erfolgt (Abb. 1).

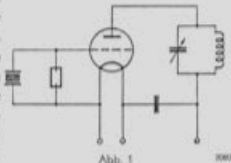


Abb. 1

^{*)} Die Huth-Kühn-Schaltung ist der Dr. Erich F. Huth O.S.M.H., Berlin, in Deutschland und in mehreren ausländischen Staaten patentiert und darf daher in den betreffenden Staaten nur mit Genehmigung der Patentbehörden gewerblich benutzt werden.

Für Wellen über 2 m (150 MHz) kann auf Wunsch die Bernsteinfassung in ein Bakelitgehäuse mit zwei Steckerstiften von 20 mm Abstand eingebaut werden (Abb. 4).



Bakelitgehäuse mit Gravur:

Abb. 4
ohne 1/2 natürl. Größe

Temperaturkoeffizient:

Der Temperaturkoeffizient der Frequenz beträgt für Turmalin-Oszillatoren $-46,6 \times 10^{-6}$ pro °C im Bereich von 20 bis 60 °C.

Genauigkeit:

Die Genauigkeit der Turmalin-Oszillatoren, d. h. die zulässige Abweichung der gelieferten von der bestellten Frequenz, zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2

Wellenlänge (Frequenz)	Genauigkeit			
	I	II	III	IV
70 cm bis 1 m (428,6 bis 300 MHz)	$\pm 5\%$	$\pm 2,5\%$	—	—
1 m bis 2 m (300 bis 150 MHz)	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$	—	—
2 m bis 4 m (150 bis 75 MHz)	$\pm 5\%$	$\pm 1\%$	—	—
4 m bis 7 m (75 bis 42,86 MHz)	$\pm 5\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,25\%$	—
7 m bis 15 m (42,86 bis 20 MHz)	$\pm 5\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,05\%$

Gegenseitige Übereinstimmung:

Die gegenseitige Übereinstimmung der Oszillatoren gleicher Wellenlänge (Frequenz) liegt stets innerhalb der betreffenden Genauigkeit von Tabelle 2.

Für Wellen unter 4 m ist eine andere Schaltung mit einer geringen zusätzlichen Rückkopplung notwendig (Abb. 2).

Solange der Anodenkreis noch auf maximale Energie abgestimmt wird, sind die in Tabelle 1 mit X bezeichneten Röhren nur mit halber Anodenspannung zu betreiben. Die volle Spannung darf erst dann angelegt werden, wenn die Abstimmung auf maximale Hochfrequenzleistung erfolgt ist. Diese Abstimmung muß unverändert bleiben; andernfalls könnte der Kristall sofort zerstört werden.

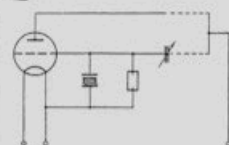


Abb. 2

Tabelle 1

Röhre (Telefunken)	Anodenverlustleistung (Watt)	Anodenspannung (Volt)	Minstdurchmesser (mm) des Turmalin-Oszillators für Wellenlängen (Frequenzen) von			
			70 cm bis 2 m (428,6 bis 150 MHz)	2 bis 4 m (150 bis 75 MHz)	4 bis 7 m (75 bis 42,86 MHz)	7 bis 15 m (42,86 bis 20 MHz)
SD 1	1	150	8	10	—	—
RE 084	2	200	—	8	10	12
RE 134	3	200	—	8	10	12
REN 904	4	200	—	12	12	12
RE 304 X	5	250	—	—	12	15
RE 604 X	10	250	—	—	—	15
RS 241 X	15	300	—	—	—	15
RS 245 X	10	400	—	12	15	20

Fassung:

Die Kristalle werden nur gefaßt geliefert, da nur durch sachgemäßes Fassen ein einwandfreies Arbeiten gewährleistet werden kann. Die Fassung besteht aus Bernstein (Abb. 3).



Bernsteinfassungen mit Gravur:

Abb. 3
natürl. Größe

Preise

1. Turmalin-Oszillatoren:

Für den mm-Durchmesser und für je 1 MHz RM 8.— } einschließlich Fassung
„ 0,30 }

Beispiel:

Oszillator mit 10 mm Durchmesser und für eine Welle von 10 m (30 MHz)

$10 \cdot 8 + 30 \cdot 0,30 = \text{RM } 89.—$

Die vorstehenden Preise gelten für eine zulässige Abweichung von der geforderten Wellenlänge von 5%. Sie erhöhen sich für eine Genauigkeit von 1% um 10%, 0,1% um 30%.

Für Gleichwellenoszillatoren tritt je nach der geforderten Übereinstimmung ein Zuschlag in Kraft.

Oszillatoren für abweichende Wellen auf Anfrage.

2. Für Quarz-Oszillatoren jeder Größe Preise auf Anfrage.

Anfragen sind zu richten an

Carl Zeiss, Jena
Abt. Oszillo

CARL ZEISS JENA
Telegramm-Adresse: ZEISSWERK JENA

Gegründet im Jahre 1846

BERLIN W 9, Datschewer Straße 13/III / HAMBURG, Alsterhaus, Alsterdamm 13/13 / KÖLN, Appellstr. 27 / WITEN 142, Parabelgasse 1 / LONDON W 1, Mortimer House, 37-41, Mortimer Street / NEW YORK, 485 Fifth Avenue / LOS ANGELES, Cal., 728 So. Hill Street / RIO DE JANEIRO, Praça Floriano 55 / SÃO PAULO, Rua Barão Itapetins 18 / BUENOS AIRES, Bernardo de Irigoyen 332 / TOKIO, Yusei Building 7th floor, Marunouchi / MADRID, PARIS, BRUSSEL, MILANO



REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

Nr 612997

KLASSE 21a⁴ GRUPPE 10

St 47415 VIIIa/21a⁴

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 11. April 1935

Firma Carl Zeiss in Jena
Piezoelektrischer Oscillator oder Resonator aus Turmalin
Patentiert im Deutschen Reiche vom 2. April 1931 ab

Bei der Verwendung piezoelektrischer Oscillatoren oder Resonatoren aus Quarz zum Anzeigen bzw. Steuern elektrischer Wellen ergeben sich Schwierigkeiten, wenn es sich um Wellen von besonders kurzer Länge, also um besonders dünne Quarzscheiben handelt. Es treten dann Nebenschwingungen auf (das sogenannte Flattern der Scheibe), so daß sich keine einheitliche Frequenz mehr ergibt. Wie sich gezeigt hat, läßt sich diese Störung dadurch beseitigen, daß man Turmalin statt Quarz verwendet. Daß Turmalin ein piezoelektrischer Körper ist, war schon bekannt, auch ist die Verwendung von Turmalin für Oscillatoren schon bekannt. Dabei hat es sich jedoch nicht darum gehandelt, die günstigen Eigenschaften des Turmalins auszunützen, die er gerade für die äußerst kurzen Wellen hat. Die Erfindung hingegen liegt in der Verwendung des Turmalins für die Steuerung oder die Anzeige von kurzen Wellen unterhalb von 20 m.

Außer in Hinsicht auf die Einheitlichkeit der Frequenz ist der Turmalin dem Quarz noch durch seine geringe Dämpfung überlegen. So erreicht z. B. bei zwei Oscillatoren aus Quarz und Turmalin, deren Eigenfrequenz je etwa 130 000 Hz beträgt, bei gleicher zugeführter Energie und Spannung der Quarzoscillator nach unmerklich kurzer Zeit seine maximale Schwingungsamplitude, während der Turmalin hierzu etwa $\frac{1}{2}$ Sek. benötigt.

Die günstigsten Schwingungsverhältnisse

besseren Frequenzkonstanz liegt es nahe, den Einfluß des umgebenden Gases durch geringeren Druck desselben abzuschwächen. Führt man dies in weitgehendem Maße aus, so bereitet jedoch die Abführung der im Oscillator entwickelten Wärme Schwierigkeiten. Um die Wärmeabführung zu verbessern, kann man in bekannter Weise den Oscillator in ein Gas von geringer Dichte oder hoher Wärmeleitfähigkeit oder in ein solches mit beiden Eigenschaften einschließen. Man erreicht durch die Benutzung eines Gases mit solchen Eigenschaften, wie z. B. Helium, Wasserstoff, Neon usw., eine außerordentlich hohe Frequenzkonstanz und kann damit Anwendungen der Oscillatoren ins Auge fassen, die mit dem Quarzoscillator nicht möglich sind.

werden erhalten, wenn als Oscillator ein Zylinder verwendet wird, dessen Achse parallel oder nahezu parallel zur optischen Achse des Turmalins und damit in für Piezokristalle bekannter Weise parallel zur elektrischen Achse liegt. Aber auch Neigungen bis zu 15° sind noch sehr günstig, und selbst bei einer Neigung der Zylinderachse von ungefähr 30° gegen die optische Achse können einheitliche Schwingungen erhalten werden. In beiden Fällen folgen die Schwingungen der Zylinderachse.

Bei einem Oscillator, dessen Zylinderachse (und Schwingungsachse) parallel oder nahezu parallel zur optischen Achse orientiert ist, spielt die Form des Querschnitts senkrecht zur Zylinderachse fast keine Rolle. Selbst bei extrem kurzen Zylindern (dünnen Scheiben) treten noch keine Nebenschwingungen (Flattern der Scheibe) auf. Für einen Oscillator, dessen Achse unter ungefähr 30° gegen die optische Achse geneigt ist, liegen die Verhältnisse nicht so einfach. Es läßt sich aber auch hier selbst bei ganz kurzen Zylindern eine Einwelligkeit und Verhinderung des Flatterns erreichen, wenn man die Begrenzung der Zylinderscheibenfläche als Mittelpunktfigur ausbildet, was für scheibenförmige piezoelektrische Oscillatoren schon vorgeschlagen worden ist.

Die Frequenz eines Turmalinoscillators hängt auch von seiner Temperatur und dem umgebenden Mittel ab. Zur Erzielung einer

PATENTANSPRÜCHE:

1. Piezoelektrischer Oscillator oder Resonator aus Turmalin, gekennzeichnet durch seine Verwendung zum Steuern bzw. Anzeigen von kurzen Wellen unterhalb von 20 m.

2. Piezoelektrischer Oscillator oder Resonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er als extrem dünne Zylinderscheibe geschnitten ist, deren Zylinderachse parallel oder unter einem Winkel bis zu 15° zur optischen Achse liegt.

3. Piezoelektrischer Oscillator oder Resonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzung der Zylinderscheibenfläche als Mittelpunktfigur ausgebildet ist.

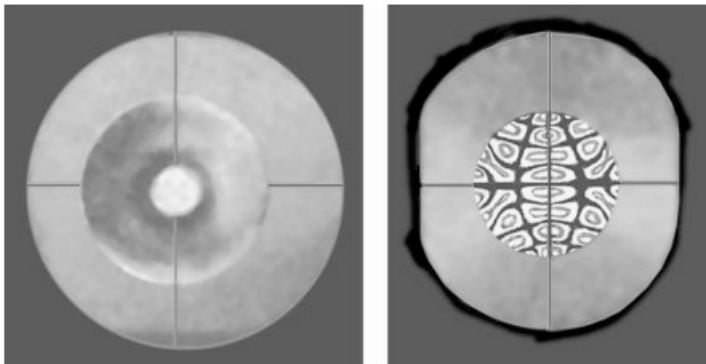
Forschungen an Quarzoszillatoren bis etwa 1936

Die Anforderungen der kommerziellen Funkgeräteindustrie wurden immer größer, genauere und weiterführende Untersuchungen waren die Folge. Das Reichspost-Zentralamt trat an die Industrie heran, Oszillatoren für den Gleichwellenfunk zu entwickeln.

Die Firma griff diese Anregung sofort auf, und Straubel untersuchte innerhalb der nächsten Jahre Quarzoszillatoren mit anderen Schnittrichtungen.

Gleichzeitig mußten die Knotenstellen genauer bestimmt werden, als es durch die Untersuchungsmethode mit Bärlappsamen möglich war. Hierbei setzte Straubel ein neues Verfahren ein, das von D. W. Dye und H. Osterberg in den USA im Jahr 1932 entwickelt wurde. Die Knotenstellen wurden hierbei über ein optisches Interferometer als Höhenschichten des Quarzes sichtbar gemacht, wobei auch die Schwingungsamplitude gemessen werden konnte.

Die zu untersuchenden Oberflächen wurden poliert und versilbert; sie dienten sowohl als Elektrode wie als Interferometerspiegel.



links:
Schwingungsbild einer
Turmalinplatte 721
kHz

rechts:
Schwingungsbild einer
Quarzplatte 555 kHz

Abb. 7.16.26

Oberflächenschwingungen verschiedener Schnitte – mit einem optischen Interferometer gemessen

Straubel verglich dann verschiedene Ausführungsformen wie kreisrunde Platten und solche, die rechteckig begrenzt waren. Da die Knotenlinien der Schwingungen von der Dicke und der Breite abhängen, beobachtete Straubel nun, daß diese Knotenlinien immer nur in gerader Zahl auftreten, ebenso ändert sich auch die Form der Knotenlinien – gerade – geschlängelt.

Dies hatte natürlich große Auswirkungen auf die Qualität eines Oszillators.

Die aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse setzte Straubel gleich um und er verbesserte daraufhin seinen scheibenförmigen Oszillator. Die bisherige Schnittlage, bei der die Dickenmessung senkrecht zur optischen Achse des Kristalls lag und sich dabei entweder parallel oder senkrecht zu einer polaren Achse befand, war nicht exakt.

Wie ja bekannt ist, hängt die Frequenz von der Dicke und der Schnittlage des Kristalls ab, und häufig wurde auch durch nicht optimal geschnittene Platten die gewünschte Frequenz nicht erreicht. Straubel löste das Problem so, indem er wieder die Schnittlänge veränderte. Bei seiner Erfindung im Jahre 1932*) legte er die Dickenabmessungen der Quarzscheibe senkrecht zu einer polaren Achse, wobei der Neigungswinkel der Dickenabmessung gegen die optische Achse zwischen $Q = 36^\circ$ und 47° bzw. $Q = -53^\circ$ und -58° lag.

Bei diesen Schnitten handelt es sich um Y-Schnitte, sie wurden erstmalig 1927 von Richard Cheney Hitchcock in den USA eingeführt.

- *) Es handelt sich bei dieser Erfindung um das Patent Nr. 727468 mit dem Titel:
Scheibenförmiger piezoelektrischer Oszillator aus Quarz.
 Patentiert am 25. Dezember 1932.
 Patenterteilung bekannt gemacht am 1. Oktober 1942.

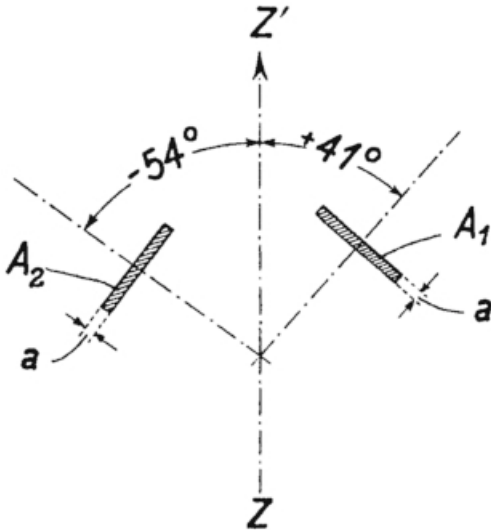


Abb. 7.16.27

Schnittwinkel für einen Oszillator nach Straubel

Die Dickenabmessung steht senkrecht zu einer polaren Achse und ist gegen die optische Achse $Z-Z'$ geneigt – in dieser Darstellung bei A_1 um 42° , bei A_2 um -54°

Durch weitere Versuche gelang es Straubel auch, den Temperaturkoeffizienten weiter herabzusetzen. Es war jedoch auch gelungen, einen Temperaturkoeffizienten mit dem Wert von **nahezu Null** bei den verschiedenen Arbeitstemperaturen eines Oszillators zu erreichen.

Es war jetzt also möglich, den Temperaturkoeffizienten beachtlich zu verkleinern, sobald man den scheibenförmigen Oszillator nach einer bestimmten Schnittrichtung aus dem Mutterkristall herauschnitt.

Durch verschiedene Einsprüche von Seiten der Firma Dr. Steeg & Reuter (sie war ja auch Miterfinder) verzögerte sich die Patenterteilung (siehe auch Firmenprofil Dr. Steeg & Reuter).

Die Untersuchungen der Temperaturkoeffizienten wurden auch in den nächsten Jahren von Straubel weitergeführt, obwohl schon eine Reihe von hervorragenden Schnitten von anderen Wissenschaftlern entdeckt worden waren.

Straubel schrieb an Zeiss und bat um Überlassung von weiteren Versuchsmustern, hier ein Auszug aus seinem Antrag:

... Da die Temperaturunempfindlichkeit der Oszillatoren von einer genauen Einhaltung der Schnittrichtung abhängt und es andererseits wünschenswert ist, die Stelle maximaler Temperaturempfindlichkeit möglichst genau zu kennen, hatte ich schon Versuche in der Nähe des jetzt verwendeten Schnittes (+41°) angestellt (39°, 40,5° und 42°). – Zur genauen Auswertung würde ich noch die Schnitte +43°, 44° und 45° benötigen. Ich bitte also um deren Anfertigung, mindestens je 3 Stück mit den Abmessungen 17,5 x 21 mm, Dicke 0,3560 mm ± 0,002 mm. Über das Ergebnis werde ich der Firma Zeiss berichten ...

Ein Versuchsbericht über die Ergebnisse ist allerdings nicht vorhanden!

Innerhalb dieser Versuchsreihe untersuchte er auch Quarz-Oszillatoren, bei denen er den Frequenzverlauf mit Änderung der Temperatur von -80°C bis +300°C beobachtete und aufzeichnete. Bei seinen früheren Versuchen variierte er nur die Temperatur im Bereich von +20°C bis +80°C.

Diese obigen Versuche sollten eine Vervollständigung der im Jahr 1931 begonnenen Versuche sein.

Zwischendurch jetzt ein paar Kurzdaten über die Umsätze von Oszillatoren bei Zeiss im Zeitraum vom 1. Oktober 1931 bis 30. April 1932: sie betrugen 23 800 RM und stiegen in den nächsten Jahren erheblich an. Die folgende Tabelle zeigt dies auf.

Jahr	Gesamt-umsatz	Inland	Ausland	%-Anteil Inland	%-Anteil Ausland
	Ts. RM	Ts. RM	Ts. RM		
1931/32	35	16	19	47	53
1932/33	96	54	42	56	44
1933/34	113	84	29	74	26
1934/35	160	158	2	99	1
1935/36	145	134	11	92	8
1936/37	66	63	3	95	5

Abb. 7.16.28

Oszillator-Umsätze in 1000 RM im Zeitraum von 1931 bis 1937

Nach diesen oben angeführten Versuchen war es dann auf einmal um Harald Straubel ruhig geworden. Bekannt ist nur, daß 1935 Straubel andere Industriestellungen angeboten wurden, deren Annahme er erwog. Er schrieb deshalb an die Geschäftsleitung, ob er bei einer eventuellen Rückkehr nach Jena wieder seine Arbeiten auf dem Oszillatoren-Gebiet bei Zeiss aufnehmen dürfe.

Die Geschäftsleitung erwiderte sehr lapidar:

... Für den Fall einer späteren Rückkehr ist natürlich auch die Durchführung von Versuchen möglich, soweit solche von der Firma gewünscht werden, und für solche Versuche wird die Firma natürlich Raum und Geräte stellen müssen. Ob zu späterer Zeit der jetzige Versuchsraum im Abbéanum in Betracht kommt, läßt sich noch nicht übersehen ...

Die Antwort war nicht sehr verbindlich und wirkte schon ein bißchen befremdend. Immerhin ist es doch bemerkenswert, in welcher kurzen Zeit Straubel der Firma Zeiss eine ganze Reihe von Erfindungen eingebracht hatte. Ferner hatte er in den ganzen Jahren die Korrespondenz für die Firma bezüglich der Schwingquarze mit den anderen Firmen geführt und die diesbezüglichen Projekte ausgearbeitet. Auch alle notwendigen, die Entwicklung betreffenden Versuche wurden von ihm durchgeführt und ebenso die Neukonstruktionen der Fassungen veranlaßt.

Sehr aufwendig waren auch Besuche und Beratungen bei Behörden und Firmen; ebenso die dort ausgeführten Versuche. Der gute Absatz an Oszillatoren für ultrakurze Wellen wären ohne diese ständige Bearbeitung nicht möglich gewesen, war doch immerhin dieses Gebiet Neuland für die Firma Zeiss!

Straubel veränderte sich dann Sommer 1935 zu Firma Julius Pintsch AG in Berlin. Seit dem Zeitpunkt, wo seine Mitarbeit bei Zeiss beendet war, beschäftigte er sich nicht mehr mit dem piezoelektrischen Effekt bzw. den Schwingquarzen. Bekannt ist lediglich, daß er 1938 auf der Weltausstellung in Paris für seinen Wellenmesser eine Goldmedaille erhielt.

Die Weiterentwicklungen der Zeisschen Oszillatoren in den Jahren 1935–1944

Für die Fabrikation der Quarzoszillatoren begann nun eine neue Ära. Forschung und Entwicklung für dieses Gebiet übernahm jetzt das Elektrotechnische Labor EL-Lab unter Leitung von Dr. Werner Weihe. 1935 wurde Eduard Gerber als weiterer wissenschaftlicher Mitarbeiter eingestellt.

E. Gerber wurde am 3. April 1907 in Fürth/Bayern geboren.

An der Ludwig-Maximilians-Universität zu München erwarb er im Jahr 1930 den Magistertitel und im Jahr 1934 den Dokortitel für Physik an der Technischen Hochschule München mit den Arbeiten:

Wechselstrom-Widerstandsmessungen
und
Plasmaschwingungen im Gleichstromlichtbogen

Bei seinem Eintritt in die Firma wartete schon ein großes Paket von Aufgaben auf ihn. Mitte der 1930er Jahre erlangte nämlich ein neues Anwendungsgebiet der piezoelektrischen Resonatoren immer mehr an Bedeutung:

Der Quarz wurde als Selektionsmittel
in Übertragungsschaltungen eingesetzt.

Von verschiedenen Firmen der Nachrichtentechnik waren in der Zwischenzeit schon Anfragen über eine Liefermöglichkeit von Filterquarzen eingegangen, doch galt es zuerst noch, die dazu nötige Hochfrequenz-Meßeinrichtung zu konstruieren und herzustellen. Auch bei den Fassungen war eine stetige Weiterentwicklung erforderlich geworden.

Zwei dieser Neukonstruktionen von damals sind vielleicht ganz interessant, um sie einmal vorzustellen. Bisher waren die Kristalle unmittelbar zwischen die Elektroden eingespannt, indem man den Elektroden eine entsprechende, nur am Rande dem Kristall anliegende Form gab. Bei der neuen Zeiss-Entwicklung und der Erfindung:

Patent Nr. 738720 – vom 2. August 1936
Fassung für piezoelektrische Kristallplatten

wird der Kristall nicht durch die Elektroden selbst gehalten, sondern die Fassung ist so ausgebildet, daß zu Einspannung des Kristalls nichtleitende Halter vorgesehen sind, die unabhängig von dem Abstand der Elektroden vom Kristall mit regelbarem Druck gegen den Kristall gepreßt werden. Nunmehr ist es ohne weiteres möglich, den Abstand der Elektroden von dem Kristall einerseits und dem Berührungsdruck zwischen dem Kristall und seinen Haltern andererseits beliebig einzustellen und auf optimale Werte zu bringen. In der Abb. 7.16.29 sind vier der Erfindung gemäß ausgebildete Fassungen dargestellt.

Abb. 7.16.29 (folgende Seite)

Auszug aus der Patentschrift Nr. 738720 – *Fassung für piezoelektrische Kristallplatten*



VERLEHRT AM 1. AUGUST 1943
VON: Landesgericht
STUTTGART

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

№ 738 720

KLASSE 21a⁴ GRUPPE 10

Z 23342 VIII a/21 a⁴

Firma Carl Zeiss in Jena

Fassung für piezoelektrische Kristallplatten

Patentiert im Deutschen Reich vom 2. August 1936 an
Patenterteilung bekanntgemacht am 22. Juli 1943

Zu der Patentschrift 738 720
Kl. 21a⁴ Gr. 10

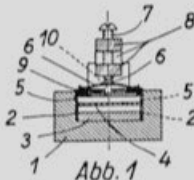


Abb. 1

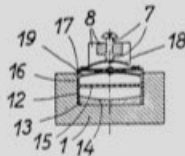


Abb. 3

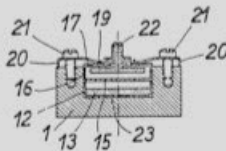


Abb. 5

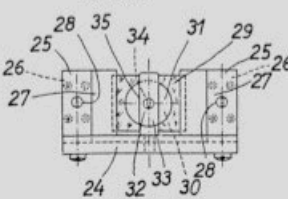


Abb. 7

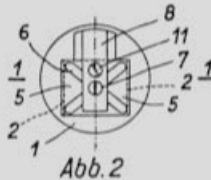


Abb. 2

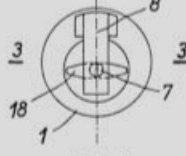


Abb. 4

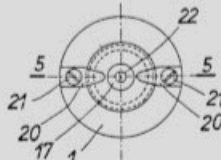


Abb. 6

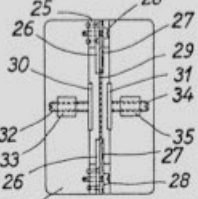


Abb. 8

In der Zeichnung sind vier der Erfindung gemäß ausgebildete Fassungen dargestellt.

Die durch Abb. 1 und 2 dargestellte Fassung enthält ein Gehäuse 1 aus Isoliermaterial von der Form eines Kastens von rechteckigem Querschnitt. Zwischen zwei Platten 2 aus Isoliermaterial, die auf dem Boden des Gehäuses 1 ruhen und zwei gegenüberliegenden Seiten des Gehäuses benachbart angeordnet sind, ist eine plattenförmige Elektrode 3 von rechteckigem Hauptschnitt festgeklebt. Die beiden Platten 2 tragen einen Kristall 4 aus Quarz von rechteckigem Hauptschnitt, auf dem eine Brücke 5 aus Isoliermaterial so aufsteht, daß die Stege der Brücke den Kristall 4 von oben an den gleichen gegenüberliegenden Rändern berühren wie die Platten 2 von unten. Zwei Blattfedern 6 drücken die Brücke 5 gegen den Kristall 4. Die Spannung der Federn 6 ist durch eine Druckschraube 7 einstellbar, die in einem Joch 8 aus Metall sitzt, das an dem Gehäuse 1 befestigt ist. Eine zweite plattenförmige Elektrode 9 ist mit einem Bolzen 10 verlötet, der durch eine Bohrung der Brücke 5 hindurchgreift. Mittels einer Schraube 11, die in dem Joch 8 sitzt, läßt sich der Abstand der Elektrode 9 von dem Kristall 4 einstellen.

Bei der durch Abb. 3 und 4 veranschaulichten Fassung ist das Gehäuse 1 von kreisrundem Querschnitt. In das Gehäuse 1 ist ein oben und unten offener Hohlzylinder 12 aus Isoliermaterial eingesetzt, der sich unten gegen den Boden des Gehäuses 1 stützt. In dem Hohlzylinder 12 ist eine Elektrode 13 von kreisrundem Hauptschnitt festgeklebt, deren obere Fläche 14 konkav ist. Auf dem Hohlzylinder 12 ruht ein Kristall 15 von kreisrundem Hauptschnitt, auf dem ein Hohlzylinder 16 aufsteht, der oben durch einen Boden 17 geschlossen ist. Eine Blattfeder 18 drückt den Hohlzylinder 16 gegen den Kristall 15. Die Spannung der Feder 18 ist durch eine Druckschraube 7 einstellbar, die in einem Joch 8 aus Metall sitzt, das an dem Gehäuse 1 befestigt ist. An dem Boden 17 des Hohlzylinders 16 ist eine Elektrode 19 festgenietet, die eine konkave Platte ist. Hierbei kann der günstigste Elektrodenabstand durch Abschleifen des untersten Randes des Hohlzylinders 16 hergestellt werden und davon unabhängig der Halterungsdruck auf günstigsten Wert gebracht werden.

Bei der durch Abb. 5 und 6 veranschaulichten Fassung wird der obere Hohlzylinder 16 durch zwei Federn 20 gegen den Kristall 15 gedrückt, deren Spannung durch seitlich im Gehäuse 1 angeordnete Schrauben 21 einstellbar ist. Die obere Elektrode 19 sitzt mittels eines mit Gewinde versehenen Zapfens 22 in dem Boden 17 des Hohlzylinders 16. Ihr Abstand von dem Kristall 15 kann durch Drehen des Zapfens 22 eingestellt werden. Der untere Hohlzylinder 12 ist unten durch einen Boden 23 geschlossen. Beide Elektroden 13 und 19 haben die Form ebener Platten.

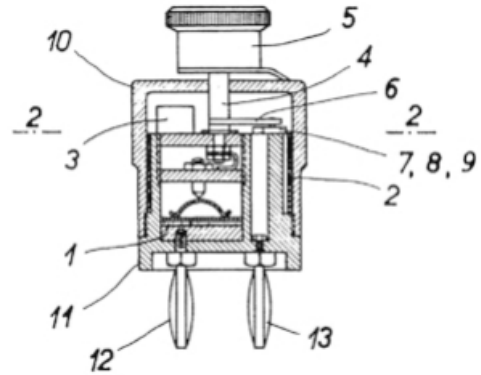
Die durch Abb. 7 und 8 dargestellte Fassung enthält eine Grundplatte 24, mit der zwei Träger 25 aus Metall verschraubt sind. An jedem Träger 25 ist eine Platte 26 aus Isoliermaterial festgenietet. Außerdem ist zu jedem der beiden Träger 25 eine dünne, federnde Platte 27 aus Isoliermaterial vorgesehen, die mittels einer Stellschraube 28 gegenüber dem Träger 25 verschiebbar ist. Ein Kristall 29 von rechteckigem Hauptschnitt ist an zwei gegenüberliegenden Rändern von den Platten 26 und 27 federnd gehalten. Mit 30 und 31 sind die beiden Elektroden bezeichnet. Die Elektrode 30 ist mittels eines mit Gewinde versehenen Zapfens 32 an einem an der Grundplatte 24 befestigten Träger 33 gelagert, während die Elektrode 31 einen mit Gewinde versehenen Zapfen 34 enthält, der an einem an der Grundplatte 24 befestigten Träger 35 gelagert ist. Jede Elektrode kann durch Drehen ihres Zapfens auf einen gewünschten Abstand von dem Kristall 29 eingestellt werden.

Die zweite Entwicklung aus dem Jahr 1938 war eine Kristall-Fassung mit integrierten Wechselstromwiderständen. Zeiss hatte hier eine Fassung entwickelt, mit welcher man die Frequenz des Oszillators regeln konnte, ein Pendant etwa zum *Varioquarz* von Steeg & Reuter. Neu war, daß man die Wechselstromwiderstände mit dem Quarz zusammen in die Fassung einbaute.

Abb. 7.16.30

Zeiss-Fassung von 1938

- 1 = Quarzplättchen
- 2 = Selbstinduktion
- 3 = Kapazität
- 4 = Umschalter
- 6 = Schaltfeder
- 7, 8, 9 = Schaltkontakte



Mit Hilfe des Drehknopfes 5 konnte ein bestimmter Wechselstromwiderstand gewählt werden

Das vorliegende Modell wurde durch die Gebrauchsmuster-Eintragung Nr. 145832 im Jahre 1938 geschützt. Ob die Firma diese Ausführung überhaupt gefertigt und verkauft hat, ist fraglich. Drei Jahre später wurde ein neuer *Variator* mit dem Haustitel: Quarz-Oszillator oder Resonator mit **großer** Frequenzänderung angemeldet. – Dazu etwas mehr im weiteren Verlauf. –

Eine spezielle Fassung aus den damaligen Entwicklungen ist auch noch interessant, wahrscheinlich wurde sie unter dem Aspekt der „gasdichten Ausführung“ entwickelt. Das Alterungsproblem, erstmalig bekannt bei den 352-kHz-Quarzen, führte ja zu einer intensiven Weiterentwicklung bei den Fassungen (*siehe auch Kapitel Ostmark-Werke*). Dr. Gerber in der Firma, mitverantwortlich auch im *Arbeitskreis Schwingquarze*, sah dieses Problem als besondere Herausforderung an. So entstanden dann diese zwei Ausführungen:

- a) Topfförmige Fassung aus Bernstein
- b) Topfförmige Fassung aus keramischem Werkstoff

Die Fassung b) wurde laut Gebrauchsmuster-Aktenzeichen:

Z 11741 Gm vom 4.9.1943 geschützt. In der Beschreibung wird ausgeführt:

Fassung für Kurzwellenschwinger. – Es ist bekannt, bei einer Fertigung für Kurzwellenschwinger, bei der der Schwinger in einem topfförmigen Körper ruht, diesen Körper aus Bernstein herzustellen. Die Wärmeausdehnungszahl des Bernsteins weicht jedoch nicht unbedeutend von der der Schwinger (die in der Regel aus Quarz und Turmalin

bestehen) ab. Nach der vorliegenden Neuerung besteht der genannte Körper aus einem Werkstoff, dessen Wärmeausdehnungszahl ungefähr mit der des Schwingers übereinstimmt. Der Schwinger paßt daher in allen Temperaturen ungefähr gleich gut in die Fassung. Als besonders zweckmäßig hat sich erwiesen, als Werkstoff einen keramischen zu wählen. Ein solcher ist dem Bernstein an Isolierfähigkeit überlegen und läßt sich auch genauer bearbeiten. In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Neuerung dargestellt. In einem topfförmigen, **keramischen** Körper **a** ist eine Elektrode **b** mit Hilfe eines an ihr sitzenden Bolzens **c** und einer Schraubenmutter **d** befestigt. Auf der Elektrode **b** liegt ein Quarzschwinger **e** und auf diesem ruht die andere Elektrode **f**. Die Elektrode **f** wird durch eine Feder **g** angepreßt. Ein Deckel **h** ist in einen Mantelkörper **i**, der den Körper **a** aufnimmt und die Feder **g** gegen den Körper **a** drückt.

Abb. 7.16.31

Fassung für Kurzwellenquarze aus dem Jahre 1943

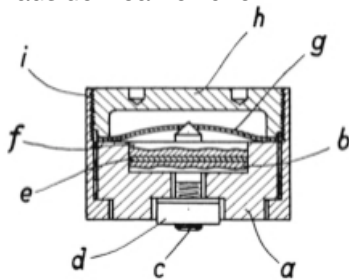


Abb. 7.16.32

Versuchsquarz – Fassung aus keramischem Werkstoff



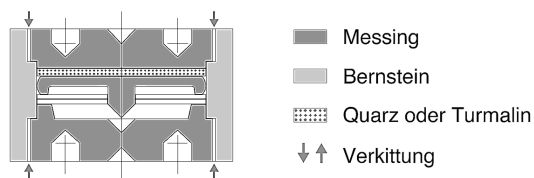
Abb. 7.16.33

Bernsteinfassung – Schnitt und Ansicht

Ob und wann diese Ausführung zum Einsatz kam, läßt sich heute trotz umfangreicher Recherchen nicht mehr eindeutig feststellen. Ein Versuchsmuster mit ähnlichem Aufbau ist irgendwie erhalten geblieben (Laut Zeiss-Archivar sind beim Einmarsch der Amerikaner Akten und Versuchsberichte über die militärischen Quarze mitgenommen worden. Siehe auch: Armin Hermann: Nur der Name war geblieben).

Die Aufführung – a) – aus **Bernstein** ist aber noch in den Geräten der Jahre 1944/45 wie z. B. Funklenkanlage Kehl–Straßburg verwendet worden!

Mit diesen zuletzt vorgestellten Fassungen möchte ich an dieser Stelle das Thema „Fassungen“ abbrechen, was aber nicht heißen sollte, daß die Entwicklung zu Ende war.



Auch in der Fertigung von Oszillatoren gab es Neuheiten:

1938 wurde ein piezoelektrischer Oszillator für eine Anmeldung als Gebrauchsmuster beantragt. Die genaue Bezeichnung lautete:

– Quarz mit sphärischer Berandung –

also eine Form eines plattenförmigen Quarzoszillators.

Das Herstellungsverfahren dieser neuen Oszillatoren (welches auch mit in das Gebrauchsmuster einfloß) war im Grunde zu dem seitherigen viel einfacher durchzuführen, und dabei konnten die Fertigungskosten beträchtlich gesenkt werden.

In der Gebrauchsmuster-Anmeldung heißt es:

Die Erfindung betrifft einen plattenförmigen piezoelektrischen Kristall, dessen Kanten schräg angeschliffen sind zu dem Zweck, ihn durch seitliche Backen in der Mittelebene zu halten. Da die Mittelebene der Platten eine Knotenzone ist, so vermeidet eine solche in dieser Mittelebene der Platten angreifende Halterung eine zusätzliche Dämpfung. Bei den bekannten Oszillatoren dieser Art wird die schräge Fläche von einer Kegelfläche gebildet.

Das Verfahren des Anschleifens doppelseitiger Kegelflächen macht die Herstellung derartiger Kristallplatten umständlich, da jede der Platten einzeln bearbeitet werden muß. Da von beiden Seiten die Ränder angeschliffen werden müssen, erfordert dies ein zweimaliges Aufkitten und Zentrieren jeder einzelnen Platte gesondert für sich.

Da aber weiterhin das Anschleifen der Kanten einen mehr oder weniger großen Einfluß auf die Eigenfrequenz, Eigendämpfung und weitestgehende Einwelligkeit hat, so verteuert eine derartige Einzelbearbeitung das Herstellungsverfahren, wenn, wie es in der Regel verlangt wird, eine Serie von untereinander hinsichtlich dieser Eigenschaften völlig übereinstimmenden Stücken herzustellen ist. Bei den plattenförmigen Oszillatoren gemäß der Erfindung werden die Flächen derart angeschliffen, daß sie sphärisch gekrümmt sind. Derartige sphärisch gekrümmte Flächen können in der gleichen Weise geschliffen werden wie die sphärischen Flächen von Linsen. Durch die erfindungsgemäße Randform wird es somit ermöglicht, eine größere Anzahl von Platten mit der gewünschten Gleichmäßigkeit in einem Arbeitsgang mit schrägen Berandungsflächen gleichzeitig zu versehen. Aus Gründen der Symmetrie ist es dabei zweckmäßig, wenn die schrägen Flächen, die in Bezug auf die Mittelebene auf der gleichen Seite liegen, je einer Kugelzone angehören, deren Kugelmittelpunkt auf der zur Mittelebene normalen Symmetrieachse des plattenförmigen Kristalls liegen. In den Abbildungen sind zwei scheibenförmige piezoelektrische Platten sowie eine Schleifvorrichtung im Schnitt

dargestellt und zwar zeigt die Abb. 1 die bekannte Form, bei der die Randflächen Kegelflächen sind, während Abb. 2 die erfindungsgemäße Form zeigt, bei der die Randflächen sphärisch gekrümmt sind. Die Abb. 3 zeigt eine Vorrichtung zur gleichzeitigen Bearbeitung einer Anzahl von Platten.

In der Abb. 1 und 2 ist ein plattenförmiger Kristall **1** dargestellt, der zwischen Backen **2**, welche gestrichelt eingezeichnet sind, gehalten wird.

Bei dem Kristall der bisher gebräuchlichen Form gemäß Abb. 1 sind die Ränder derart abgeschliffen, daß sich koaxiale Kegelflächen **3** ergeben. Die erfindungsgemäße Ausführungsform gemäß Abb. 2 zeigt deren sphärische Randflächen **4**, deren Kugelradius mit r bezeichnet ist.

Abb. 7.16.34

Abbildungen aus der Gebrauchsmusterschrift

Abb. 1

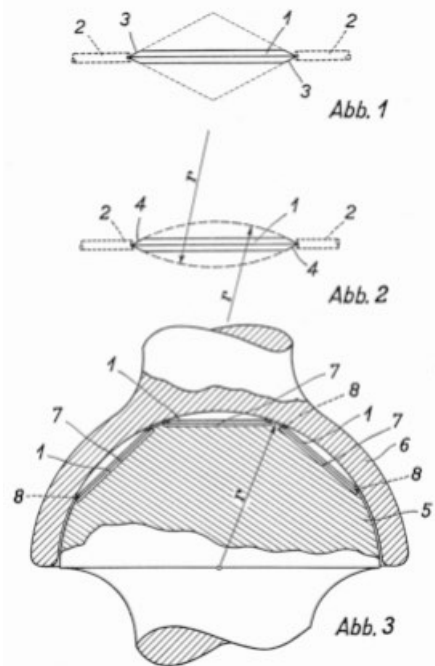
die bisher gekante Form mit Kegelflächen als Randflächen

Abb. 2

die neue Form mit sphärisch gekrümmten Randflächen

Abb. 3

Kugelschalenschleifvorrichtung für sphärische Berandung der Quarzplatte



Die erfindungsgemäßen Platten **1** werden gemäß Abb. 3 zwecks Abschleifens des Randes in eine Kugelschalenschleifvorrichtung, bestehend aus einem Kugelkörper **5** und einer Schleifschale **6** in entsprechende Aussparungen **7** unter Verwendung einer Kittmasse eingelegt und die überstehenden, gestrichelt angedeuteten Ränder **8** so weit herunter geschliffen, bis die Mittelebene erreicht ist. Hierauf werden die Platten heraus-genommen und zum Beschleifen des anderen Randes umgekehrt in die Aussparungen eingelegt. Da der Schleifdruck auf den überstehenden Rändern überall gleichmäßig auftritt, kann man die Platten gegebenenfalls ohne jede Verkittung in die Aussparungen einlegen. Statt der Vertiefungen **7** in dem Kugelkörper **5** können

auch kreisförmige Flächen an diesen angeschliffen werden und die zu bearbeitenden Scheiben auf diese Flächen aufgekittet werden. Je nach Stärke und Oberfläche der Platten ist der Krümmungsradius r der Schleifvorrichtung auszuwählen. Damit können immer eine mehr oder weniger große Anzahl von Platten zugleich in einem Schleifgang bearbeitet werden. In der Abb. 3 sind wegen der Schnittdarstellung nur 3 Platten eingezeichnet, jedoch ist fast die ganze Kugelhälfte ausnutzbar.

Ein Fertigungsverfahren, das so einfach wie genial ist! –

Im Zeitablauf war inzwischen der Zweite Weltkrieg ausgebrochen.

Die Firma Zeiss wurde jetzt auch in der Fertigung von Quarzoszillatoren vor große Aufgaben gestellt.

Der Ausbruch des Krieges war ein Schock für die Quarzhersteller und gleich resümierte Dr. Bechmann bei Telefunken die allgemeine Lage im Hinblick auf die bestehenden und zu erwartenden Bestellungen und die Auswirkungen auf die Rohstofflage.

Kurz vor Beginn des Krieges gab es auch schon Kontakte von Telefunken zu Zeiss. Es wurde mündlich und schriftlich verhandelt und es sollte über die Mitbenutzung des Quarz-Schutzrechtes Z 20704 durch Telefunken gesprochen werden.

Die Korrespondenz zog sich aber doch noch bis zum Jahr 1940 hin. Das Ganze ging Telefunken nun zu langsam und so war Telefunken inzwischen beim Reichsminister der Luftfahrt und Oberbefehlshaber der Luftwaffe vorstellig geworden.

Vom Ministerium gab es jetzt in dieser Angelegenheit einen Erlaß mit dem Aktenzeichen 68b Nr. 5390/39 (IV), was im Klartext hieß, daß sich die Angelegenheit der Lizenzerteilung für militärische Zwecke erübrigt hatte und somit war das Zeiss-Patent für **Wehrmachtsw Zwecke** freigestellt.

Dies war natürlich nicht im Sinne von Zeiss und so gab es wieder einen Schriftverkehr, der Ton war aber dabei nicht der freundlichste. So schrieb der Geschäftsführer von Zeiss August Kotthaus an die Stammfirma Siemens, um dort die unparteiische Meinung von Direktor v. Buol über diesen Sachverhalt einzuholen.

Herrn v. Buol war sehr viel daran gelegen, daß es zu einer guten Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Schwingquarze zwischen den beiden Firmen kommen würde.

Es war aber bis dahin noch ein weiter Weg, der Ausgangspunkt war doch so, daß Telefunken ursprünglich mit Zeiss Fühlung aufnahm um eine Lizenz auf das Patent, betreffend den schiefen Schnitt, in gewissen Umfange zu erlangen. Das lehnte aber Zeiss ab, da der Umfang der Aufträge es nicht zu rechtfertigen schien.

Zeiss hatte sich dann doch zur Vorbereitung der in Aussicht genommenen Besprechung und der vorausgegangenen unter Beteiligung von Herrn v. Buol geführten

Aussprache, entschlossen, eine Mitbenutzung des Patentes für Versuche, Entwicklung und Lieferung an die Wehrmacht, an zivile Auftraggeber und an das Ausland zu gewähren.

In einem Schreiben der Patentabteilung an Telefunken hieß es:

... Voraussetzung für unsere Zusage ist dabei, daß Sie uns, und uns nahestehende Firmen in dem für uns notwendigen Umfang im Austausch an entsprechenden Schutzrechten, über die Sie verfügen, ebenfalls die Mitbenutzung gewähren. Wir haben dabei, immer die endgültige Verständigung vorbehalten, folgende Schutzrechte vorläufig ins Auge gefaßt, die nach unserer Kenntnis Ihnen zur Verfügung stehen:

DRP 603375 Piezoelektrische Kopplungsanordnung

DRP 659088 Piezoelektrische Kopplungsvorrichtung

DRP 574085 Verfahren zur Abtastung von Fernsehbildern

Für die geplante Aussprache würde es von Vorteil sein, wenn Sie bereits in ihr zu unserem Vorschlag Stellung nehmen könnten ...

Telefunken freute sich zwar über diesen Vorschlag, nur war es den Sachbearbeitern in der Patentabteilung nicht klar, wozu gerade Zeiss die oben angeführten Patente ausgewählt hatte; des weiteren wollte Zeiss auch noch eine Lizenz an den Telfunken-Oszillator-Fassungen erwerben. Es handelte sich hierbei um die Patente DRP 596744 und DRP 636648. Weitere Besprechungen wurden angesetzt, aber in der Sache gab es noch keine konkreten Entscheidungen.

Den Fortgang der Lizenzfrage möchte ich jetzt einmal kurz unterbrechen und die Technik wieder zu Wort kommen lassen.

Inzwischen wurde die Firma Zeiss, wie schon erwähnt, auch vom Ministerium Speer mit in die Fertigung von Quarz-Oszillatoren eingebunden. Bisher lag ja die Fertigung für die Wehrmachts-Quarze in der Hauptsache bei Telefunken.

Ab September 1940 orderte Telefunken bei Zeiss 5 000 Oszillatoren mit einem Liefertermin von wöchentlich 110 Stück.

Zu diesem Großauftrag kamen noch weitere:

Die Staßfurter Rundfunkgesellschaft und die Firma Wega Radio in Stuttgart bestellte 200 Stück monatlich!

Um diesen großen Quarzbedarf decken zu können, mußte sich Zeiss in der Fertigung sehr stark umstellen. Dieses große Auftragsvolumen bedingte jedoch zuerst noch eine Umstellung in der ganzen Organisation.

Dr. Kessler von Z-Prüf (dieser Abteilung war ja, da es sich um eine kleine Fabrikation handelte, die Oszillatorfertigung angegliedert) regte dann an, daß die Fabrikation doch wesentlich verstärkt werden müßte und sie deshalb von Z-Prüf auszugliedern. Er schlug vor, die Fertigung zu einer Werkstatt unter der Betriebsleitung für Meß- und Mikro-Halbfabrikate oder der Tele-Betriebsleitung umzubilden.

Die Entscheidung sollte auf der nächsten internen Besprechung, welche aus Anlaß der Telefunkenanfrage einberufen wurde, gefällt werden.

Auf den Vorschlag von Dr. Kessler entschied der Geschäftsführer Kotthaus dahingehend: Alles was Fabrikation betrifft, von der Disposition der Aufträge bis zur Fertigstellung und Schlußprüfung der Oszillatoren, übernimmt OB – Optische Betriebsleitung. Die wissenschaftlich-technische Bearbeitung der im Kundenverkehr auftretenden wissenschaftlich-technischen Fragen, die Bearbeitung der eingehenden Aufträge, auch hinsichtlich der Termine, und die genauen Angaben für die werkstattmäßige Bearbeitung der Aufträge übernimmt das EL-Lab – Elektrotechnische Labor.

Dies war dann also der Start für eine serienmäßige Fertigung von Schwingquarzen, jetzt in der alten Abteilung OJ - Optische Justierung unter der Leitung von Meister Brodführer.

Die erste Herausforderung ergab sich sehr bald, als es um die Fertigung des Eichquarzes Type QS 2, 776 kHz ging. Dazu übergab Telefunken damals einige Musterquarze zur Prüfung an Zeiss.

Die Prüfungen wurden in zwei verschiedenen Labors durchgeführt:

Das **EL-Labor** übernahm die Messungen des Temperaturkoeffizienten und des Frequenzspektrums.

Z-Prüf übernahm die Abmessungen der Facettenquarze und die Prüfung der Schleifwinkel. Diese Messungen unterteilten sich in sechs Einzelmessungen.

Die Kristalle wurden dabei mit Akribie vermessen, um prüfen zu können, ob sie mit den von Telefunken gemachten Vorgaben übereinstimmten.

Es waren folgende Messungen durchzuführen:

1. Dickenmessung
2. Durchmessermessung
3. Durchmesser des Quarzes bis zum Facettenbeginn
4. Facettenschärfe
5. Facettenwinkel
6. Mittenabstand

In dem abschließenden Laborbericht führte Zeiss aus:

... Wir hatten bei den Quarzen festgestellt, daß hinsichtlich Planparallelität, Durchmesser, Facettenschärfe und Zahl, sowie Art der Facetten Abweichungen vorliegen, was Telefunken uns seinerseits bei Auftragserteilung vorgeschrieben hatte ...

Bei der Messung des Temperaturkoeffizienten und des Spektrums heißt es in der Zusammenfassung:

... ist es Telefunken auch nicht möglich, die verlangte Bedingung in jedem Fall einzuhalten. Quarz Nr. 1 ist völlig unbrauchbar, Quarz Nr. 3 liegt hart an der Grenze. Außerdem weist das Spektrum des Quarzes Nr. 3 durchaus nicht den Grund von Einwelligkeit auf, der bei dieser Frequenz zu erreichen ist ...

Bei einer darauf folgenden Besprechung über Fertigungsverfahren im Telefunkenwerk Zehlendorf wurde den maßgebenden Herren von Zeiss auch die Quarzfertigung gezeigt. In einer Besprechung äußerte sich dann Dr. Weihe dazu:

... Kritik des Telefunken Verfahrens:

*der Einzelabgleich erfolgt ohne jede Gewähr auf Erfolg. Jedoch soll der Ausfall nicht groß sein. Die Prüfung auf TK in der geschilderten Weise ist nicht frei von Bedenken, wie auch unsere Meßresultate an zwei von Telefunken hergestellten Quarzen zeigen. Im ganzen läuft das Verfahren auf **Pröbeln***) hinaus. Ein exaktes Einhalten der Toleranzen in den Abmessungen, wie sie uns seinerzeit von Telefunken vorgeschrieben wurden, ist nicht möglich ...*

*) Anmerkung: Der Ausdruck *Pröbeln* kommt aus dem Zeiss'schen Sprachgebrauch und stammt aus der Frühzeit der Mikroskop-Fertigung!

Dr. Bechmann nahm dazu folgendermaßen Stellung:

... Die Fabrikation läßt sich nicht durch Angabe fester Abmessungen so durchführen, daß ohne Einzelabgleich größere Stückzahlen den elektrischen Forderungen genügen, es ist vielmehr jeder einzelne Quarz nachzustimmen.

Bechmann räumte dann ein, daß die ursprünglichen Forderungen von Telefunken technisch überbestimmt, d. h. daß die angegebenen Daten der Abmessungen und der elektrischen Eigenschaften nicht zueinander stimmten ...

Aus einer späteren, internen Aktennotiz war folgendes zu entnehmen:

... Bei Beginn der Lieferungen von Facettenquarzen an Telefunken haben wir von dem Telefunkenverfahren Gebrauch gemacht, benutzen es jedoch nicht mehr, da es uns gelungen ist, durch geeignete Formgebung der Facetten und Einhaltung bestimmter Toleranzen in der Fabrikation Facettenquarze serienmäßig ohne individuelles Nacharbeiten der Facetten herzustellen ...

Zum Schluß des Themas der Facettenquarz-Fertigung im Hause Zeiss möge dem Schreiber noch ein Kurzkommentar gestattet sein:

Es ist doch so, daß Telefunken schon viel länger Quarze gefertigt hatte, ohne je dabei irgendwelche Beanstandungen von den BAU-AUFSICHTEN der drei Wehrmachtsteile erhalten zu haben.

Es war sicher auch ein Unterschied, wo die Quarze gefertigt wurden, in so einem Hochtechnologie-Unternehmen wie Zeiss, oder bei einer nachrichtentechnisch ausgerichteten Firma wie Telefunken. Die Mittel auf meßtechnischem und fertigungstechnischem Gebiet wie in der Firma Zeiss waren bei Telefunken überhaupt nicht vorhanden! –

Eine weitere Entwicklung auf dem Oszillatoren-Gebiet, weiter vorne auch schon angekündigt, wäre noch vorzustellen; es ist der: „Quarz-Oszillator mit veränderlicher Frequenz“.

In der Anmeldung zum Gebrauchsmuster-Schutz Carl Zeiss G 2528 mit dem Haustitel

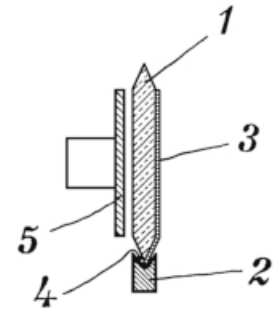
Quarz-Oszillator oder Resonator mit veränderlicher Frequenz

heißt es in der Beschreibung:

In der Hochfrequenztechnik ist es für besondere Zwecke erwünscht, die Frequenz von Quarzoszillatoren und Resonatoren innerhalb größerer Grenzen ändern zu können. Man geht zu diesem Zweck meist so vor, daß man entweder den Elektrodenabstand ändert, oder daß man in Reihe oder parallel zu dem Quarz eine veränderliche Impedanz, z. B. einen Kondensator schaltet. Durch diese Maßnahmen lassen sich aber unter Verwendung der gebräuchlichen Quarze, d. h. solcher Quarze, die zwecks Verkleinerungen des Temperaturkoeffizienten unter einem Winkel zur optischen Achse geschnitten sind, nur verhältnismäßig kleine Frequenzänderungen von höchstens etwa 0,1 % erreichen. Bei Vergrößerung des Abstandes über das Maß hinaus, bei dem eine Frequenzänderung erreicht ist, oder bei weiterer Veränderung einer Serienimpedanz reißen die Schwingungen des Quarzes leicht ab. Gegenstand der Erfindung ist ein Quarzoszillator oder -resonator, dessen Eigenfrequenz sich um mindestens 0,3 % ändern läßt, was dadurch erreicht wird, daß die Quarzscheibe parallel zur optischen Achse des Quarzblocks geschnitten ist, daß die eine Hauptfläche der Quarzscheibe metallisiert ist, wobei die Metallisierung als eine Elektrode dient, und daß der Abstand der anderen Elektrode von der Quarzscheibe veränderlich ist. Eine zweckmäßige Ausführungsform erhält man, wenn die Quarzscheibe kreisrund ist, am Rande eine

Facette besitzt und an drei Stellen am Rand z. B. mittels Stiften gehalten wird, von denen mindestens einer federnd ausgeführt ist, und wenn mindestens eine der drei Stellen gleichzeitig als Stromzuführungsstelle zu der Metallisierung dient. Da bekannt-ich eine Quarzscheibe, die parallel zur optischen Achse geschnitten ist, einen verhältnismäßig hohen Temperaturkoeffizienten der Frequenz besitzt, wird man zweckmäßig den Quarzoszillator oder -resonator in einen Thermostaten einbauen.

In der Abb. 7.16.35 ist im Schnitt eine Ausführungsform eines Quarzoszillators gemäß der Erfindung dargestellt. Hierin bedeutet **1** eine Quarzscheibe, **2** einen der drei Halterungsstifte, der zur Stromzuführung dient, **3** eine als Elektrode dienende Metallisierung, die mindestens an der Stromzuführungsstelle **4** bis über den Facettenrand hinausgeführt ist, deren Abstand veränderlich ist, bezeichnet ist.



Abschließend noch ein Schlußbericht über die leidige Sache mit dem Lizenzvertrag, ein Bericht darüber ist vielleicht zu viel gesagt, der Schluß kann auch mit ein paar Sätzen gesagt werden!

Abb. 7.16.35
Quarzoszillator
im Schnitt

Die Situation war doch vor der Unterbrechung in der Fortschreibung so, daß Zeiss ein eventuelles Entgegenkommen zeigen würde, wenn Telefunken einige Patente zur Mitbenutzung freigab. Telefunken übersandte dann den Entwurf zu einer Vereinbarung, welche weit über den Rahmen der ursprünglich in Aussicht genommenen Lizenzvereinbarung hinausging, in dem nunmehr eine allgemeine gegenseitige Zurverfügungstellung der Quarzpatente und der Austausch der Erfahrungen bei der Herstellung der Quarze vorgesehen war. Die Mitbenutzung des außerhalb des Quarzgebietes liegenden Patenten durch Zeiss Ikon wurde dagegen grundsätzlich abgelehnt (es handelte sich hierbei um ein Patent aus der Fernsehtechnik).

Dieser Vorschlag von Telefunken schien den Herren von Zeiss zu weit über das hinauszugehen, was von Haus aus von Telefunken und Zeiss angestrebt wurde. Auch ein allgemeiner Erfahrungsaustausch bei der Schwingquarzfertigung war von Haus aus nicht in Aussicht genommen und erschien den Herren von Zeiss auch nicht erforderlich (war dies vielleicht Geheimniskrämerei? –).

Die Streitereien gingen immer weiter, und bis zum Jahr 1943 ist es zu einem Lizenzvertrag auf dem Gebiet der Schwingquarze nicht gekommen.

Die letzte Aktennotiz stammt aus dieser Zeit und vielleicht haben sich auch weitere Notizen nicht erhalten! –

Inzwischen wurde auch dem Physiker Dr. Gerber in der Firma durch den Leiter des Arbeitsrings Schwingquarze die Leitung des **Arbeitsstabes Leistungssteigerung** zum 28.5.1943 übertragen. – Mit einem ersten Rundschreiben an alle Schwingquartzfertigungsbetriebe wurden diese gleich von ihm aufgefordert, mittels beiliegendem Fragebogen ihre Fertigungszeiten für alle in ihrem Betrieb gefertigten Schwingquarzen als Grundlage für einen Erfahrungsaustausch anzugeben.

Nach Abschluß des Grobvergleichs der Fertigungszeiten erwies es sich als notwendig, für verschiedene Fertigungsgruppen noch Feinvergleiche durchzuführen. Weitere Vergleiche wie z. B. *Sparsames Quarzschneiden* folgten.

Der Sinn der Anordnung, vom Rüstungsministerium herausgegeben und in den Arbeitsstäben umgesetzt, war doch der, daß ein noch nie dagewesener Austausch von Informationen **zwischen den einzelnen Unternehmen stattfinden sollte!**

Durch die vermehrten Luftangriffe, auch auf Ziele im östlichen Reichsgebiet, wurde die Firma vom Hauptausschuß *Elektrotechnik* aufgefordert, die kriegswichtige Schwingquartzfertigung in unterirdische Räume zu verlagern. Vorgesehen waren hier für Räume im unterirdischen Werk bei Rothenstein/Thüringen. Da aber der endgültige Ausbau sich verzögerte, wurde eine Interimslösung gefunden; der neue Verlagerungsstandort war dann im Vogel-Verlag in Pößneck/Thüringen.

Eine herausragende technische Leistung in der Schwingquartzfertigung während der letzten Kriegsjahre wäre da noch hervorzuheben.

Die Firma Zeiss spezialisierte sich auf Kristalle mit einer sehr hohen Frequenz, nämlich bis zu 80 MHz. – In einer Laborproduktion war ihr dies sogar bis 100 MHz gelungen.

Die Schwingertypen für 80 MHz fand hauptsächlich in der Steuerung von Raketen Verwendung und soll in der Firma innerhalb von zwei Jahren in einer Stückzahl von 10 000 bis 15 000 produziert worden sein.

Hier die wichtigsten Herstellungsprozeßfolgen in Kurzform:

Im ungeschliffenem Zustand wurden die Rohplättchen mit einem Harz-Wachs-Gemisch auf eine optisch plane Glasfläche gekittet, bis zu 200 auf eine Glasplatte, und die oberen Flächen wurden in drei Stufen (Schmirgel 90, 220 und einem Poliermittel (Polierrot)) auf rotierenden Läppmaschinen geläppt. Die Rohplättchen wurden dann umgewendet, wieder auf die Glasfläche aufgekittet und bis zu 0,001 mm des Endmaßes geläppt. Die Messung erfolgte mit einem Zeiss-Interferenz-Komparator, der bis zu einer Genauigkeit von 0,001 mm vergleichend messen konnte. Nach dem Abheben von der optischen Planfläche wurden die Scheibchen in einem Paket zusammengehalten und der Rand in üblicher Weise geschliffen, entsprechend der Verwendung bis hin zu einer Genauigkeit von 0,01 mm und besser.

Spezielle Vorkehrungen waren notwendig, um die Reinheit des fertigen Kristalls sicherzustellen, welcher zuerst in destilliertem Wasser gereinigt wurde und dann in einer Mischung aus Alkohol und Chloroform. Der Prozeß wurde zwei oder dreimal wiederholt und immer mit der Mischung beendet.

Die späteren Schritte des Polierprozesses konnten nur von außergewöhnlich optisch erfahrenen Arbeitern durchgeführt werden, die eine entsprechende Ausbildung für diesen bestimmten Prozeß erhalten hatten. Nur zwei Arbeiter im Betrieb waren zu dieser Arbeit fähig.



Abb. 7.16.36
Fertigung von 80 MHz Quarzen –
Inspektion nach dem Läppen



Abb. 7.16.37
Interferenz-Komparator

Das Tagespensum eines Arbeiters waren 10 fertige Platten (10 mal 200 Kristalle) von einer Frequenz mit einer Toleranz von $\pm 0,02\%$.

Ganz spezielle Vorsichtsmaßnahmen wurden getroffen, um die Sauberkeit des Prozesses sicherzustellen. Jeder Mann arbeitete in einem kleinen staubfreien Raum. Bei dieser oben genannten Toleranz stellt dieses Ergebnis eine ausgezeichnete Leistung dar!

Abschließend zu dieser Kriegsfertigung noch einige Fotos von diesen speziellen Militär-Schwingquarzen. Die *Abb. 7.16.38 a* zeigt Quarze aus der Vorkriegszeit.

Die *Abb. 7.16.38 b* ist eine Aufnahme aus der Zeit des Krieges – auf dem Gehäuse gab es keine Frequenzangabe mehr und der Hersteller wurde verschlüsselt angegeben, z. B. für Zeiss – blc – (laut Verfügung des Heereswaffenamtes mußten die Fertigungskennzeichen für Waffen und Gerät aus Geheimhaltungsgründen verschlüsselt angebracht werden).



Abb. 7.16.38 a
Vorkriegsausführung

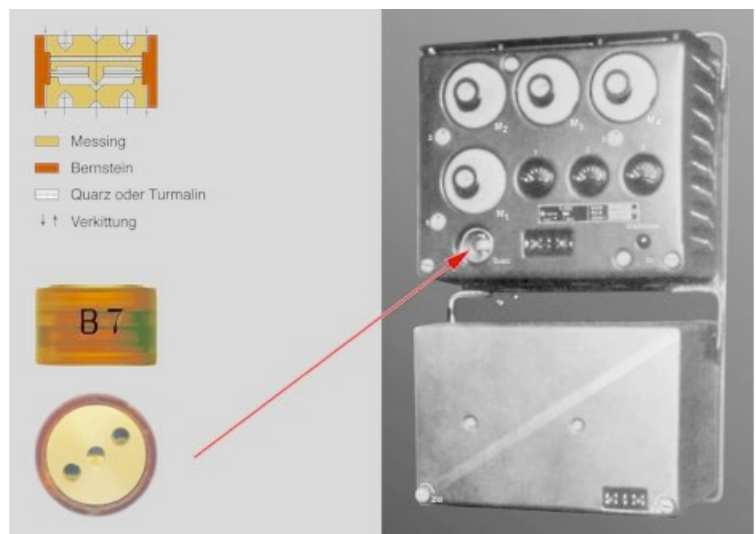


Abb. 7.16.38 a
Vorkriegsausführung



Abb. 7.16.38 c
Steuerquarze für
Funklenk-Sendeanlagen

Abb. 7.16.39
Steuereinheit
mit Sender S 203
(Telefunken)
für Funklenkanlage
FuG 203 „Kehl-
Straßburg“



Das Kriegsende bei der Firma Zeiss und Neuanfang Juli 1945

Am 13. April 1945 wurde Jena kampflos durch die 80. amerikanische Infanteriedivision besetzt. – Vorher am 17. und 19. März kam es noch zu den schwersten Bombenangriffen auf Jena. 15 % der Stadt waren am Ende des Krieges zerstört. Unmittelbar vor der Ankunft der Amerikaner hatte das Zeiss-Werk aber noch mit 60 % seiner Kapazität produziert.

Ein paar Tage nach dem Einmarsch der amerikanischen Truppen kamen die angekündigten *Experten*. Es waren Wissenschaftler in Uniform. Sie hatten erstaunliche Kenntnisse über das Fabrikationsprogramm und interessierten sich für alles. Ihr besonderes Interesse galt natürlich den Zeiss-Patenten und den Büchern und Zeitschriften der wissenschaftlich technischen Bibliothek. Dies alles wurde beschlagnahmt und abtransportiert, ebenso auch das aus Sicherheitsgründen ausgelagerte Zeiss-Archiv mit den kompletten Zeichnungen aller Zeiss-Geräte.

Es kam aber noch schlimmer; daß die Amerikaner noch ganz andere Pläne hatten, sollte sich bald herausstellen. In der Nacht vom 18. zum 19. Juni wurde die Geschäftsleitung von Zeiss zu einer Besprechung mit Offizieren der Werkskommission und des amerikanischen Hauptquartiers eingeladen. Die Offiziere eröffneten der Geschäftsleitung, daß keine Zeit mehr wäre, um noch wichtige Geräte und Maschinen zu verlegen, bevor die Sowjetarmee die Funktion der Besatzungsmacht *) übernehme.

*) Gemäß den interalliierten Vereinbarungen gehörte Thüringen zur sowjetischen Besatzungszone.

Colonel Sempke sagte dann in dieser nächtlichen Besprechung zu den Geschäftsleitern: "We take the brain" (Wir nehmen das Gehirn). Weiter wurde erklärt, die Mitglieder der Geschäftsleitung stünden auf einer Sonderliste des alliierten Hauptquartiers und würden somit als erste abtransportiert. Auf der Dringlichkeitsliste des Colonel standen aber noch weitere 80 Wissenschaftler und Spezialisten. Wenn die Amerikaner schon die Stadt und die Industrie den Sowjets überlassen müßten, wollten sie wenigstens die Wissenschaftler behalten! Ihr Wissen war die wichtigste Kriegsbeute für die Sieger.

Ein Adjutant verlas dann die Liste: 80 Namen! Es gab danach eine erregte Auseinandersetzung mit den amerikanischen Offizieren. Prof. Bauersfeld, der Senior der Geschäftsleitung, protestierte leidenschaftlich gegen den Abtransport. Er erklärte den Amerikanern, daß die Entführung der Wissenschaftler und Techniker einer Trennung des Kopfes vom Rumpf gleichkäme. –

Die Offiziere des amerikanischen Hauptquartiers Simons und Stone gaben zu verstehen: "This is a command !" – Das ist ein Befehl – „Wir werden Sie mitnehmen, auch wenn wir Sie im Nachthemd auf die Lastwagen laden müssen.“

Am 23., 24. und 25. Juni erfolgte die Evakuierung, aber niemand wußte, wohin es ging. –

Die ersten amerikanischen Trucks erreichten am späten Abend ihr Ziel – es war Heidenheim an der Brenz, im Württembergischen.

Am 1. Juli 1945 marschierte die Sowjetarmee in Jena ein.

Die Evakuierten kamen als erstes in der ehemaligen Heidenheimer Polizeischule unter. Vor der Evakuierung hatte man ihnen noch Armee-Rationen in Aussicht gestellt, dort gab es aber nur Massenverpflegung. Die Stimmung war gedrückt, wie auch die Vertriebenen aus den Ostgebieten mußten sie mit dem auskommen, was sie selbst mitgebracht hatten; die Amerikaner gaben ihnen nichts. Interesse hatten die Amerikaner nur an dem, was die Zeissianer an Wissen hatten.

Viele der Wissenschaftler sahen in Deutschland keine Chance mehr und bewarben sich anderweitig.

„Wissen ist Macht“, das hat Francis Bacon einst gesagt. –

1945 genehmigte der amerikanische Präsident Truman eine Operation, die als *Project Paperclip* bekannt wurde. Sie sollte die kurzfristige Verwendung besonders geeigneter deutscher Wissenschaftler in den USA ermöglichen.

So gingen 1947 unersetzliche Spezialisten wie Dr. Werner Weihe, Leiter des elektrotechnischen Labors und Spezialist für Ultraschallgeräte, und Dr. Eduard Gerber, Spezialist für Hochfrequenztechnik und in Jena, verantwortlich für die Schwingquarzfertigung, in die USA. Bevor damals Gerber nach Amerika ging, saß er noch zusammen mit Dr. Höfert in einer winzigen Dachkammer und berechnete Strahlengänge für Brillengläser. Vielleicht sah da Gerber auch keine Möglichkeit mehr, im Westen weiter an seinen geliebten Schwingquarzen arbeiten zu können.

In seiner ersten Zeit in den Vereinigten Staaten war Dr. Gerber bis 1954 als Berater in der Forschungsgruppe für Kristalle bei den Fernmelde-Labors (Signal Corps Engineering Laboratories) in Fort Monmouth tätig. Von 1954 bis 1961 bekleidete er das Amt eines Direktors der Amerikanischen Forschungs- und Entwicklungslaboratorien für Fernmeldetechnik (U. S. Army Signal and Research Development Laboratory). In der Zeit von 1961 bis 1963 war er Leiter der Frequenzsteuerungsabteilung innerhalb der Elektrolabore des amerikanischen Militärs. Und zum Schluß von 1963 bis 1970 wurde er mit der Leitung der gesamten Elektronik-Laboratorien des Militärs, alle in Fort Monmouth, betraut. Nach seinem Ausscheiden aus dem Staatsdienst im Jahre 1970 arbeitete er noch als Berater bei der amerikanischen Kommandobehörde für Elektronik (U. S. Army LABCOM). Dr. Gerber wurde 1965 und 1970 mit einem Militärorden für seine großen Staatsverdienste ausgezeichnet, ebenso erhielt er 1981 die C. B. Sawyer Gedenk-Auszeichnung.

Dr. Gerber war Mitglied in verschiedenen Gremien wie IEEE – (Institut of Electrical and Electronic Engineers), außerdem auch Mitglied der Amerikanischen Gesellschaft zu Förderung der Wissenschaften, der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft

und der Akademie der Wissenschaften in New York. Er publizierte über 38 Fachberichte und Buchbeiträge und war außerdem Mitherausgeber der zweibändigen Monographie: *Precision Frequency Control*. Das Vorhergehende war seine wissenschaftliche Darstellung.

Als Person war Dr. Gerber ein herzlicher und vielseitiger Mensch. Seine Persönlichkeit war gekennzeichnet von einer beneidenswerten Kombination aus Optimismus, wissenschaftlicher Neugier, philosophischer und literarischer Tiefgründigkeit, sowie einem engagiertem Auftreten.

Dr. Eduard A. Gerber starb am 8. August 1986 im Alter von 79 Jahren in Bridgeton/Maine, USA.

Wie ging es nun weiter bei

ZEISS in JENA?

Mit dem Einmarsch der sowjetischen Truppen begann ein neuer Entwicklungsabschnitt. Nach den Aufräumarbeiten wurden beschädigte Werkstätten instand gesetzt, die Maschinen repariert und die Produktion für den zivilen Bedarf wieder aufgenommen. Sie war natürlich in erster Linie für die Zwecke der Wiedergutmachung an die Sowjetunion bestimmt, doch floß auch ein großer Teil der Produktion der deutschen Bevölkerung zu, in der Hauptsache Brillengläser.

Bald auch begann wieder die Forschung und eine Entwicklung von Zivilgeräten, die ja in den letzten Jahren durch die Entwicklung von militärischem Gerät in den Hintergrund getreten war. Doch es sollte wieder anders kommen ...

In der Nacht vom 21. auf den 22. Oktober 1946 wurden Zeiss-Mitarbeiter aus allen Träumen gerissen. Trupps von sowjetischen Soldaten hatten 270 Spezialisten, Meister und Wissenschaftler aus den Betten geholt und ihnen eröffnet, daß sie jetzt fünf Jahre in der Sowjetunion arbeiten müßten. Ein entsprechender Vertrag war schon vorbereitet. Am späten Vormittag saßen die Mitglieder der Jenaer Geschäftsleitung dem sowjetischen Generaldirektor gegenüber. Generalmajor Dobrowolski verlas den Beschluß der Sowjetischen Militäradministration SMA, daß das Zeiss-Werk der Demontage unterliege – und dazu noch die Deportation von den 270 Mitarbeitern. Befehl von Marschall Sokolowsky – es war keine Kritik erlaubt! – Bei der anschließend begonnenen Demontage leisteten die Montagetrupps ganze Arbeit.

Die Zeiss Arbeiter wandten sich nun an Pieck und Grotewohl und ersuchten um Intervention bei der SMA. Die SMA setzte dann eine Untersuchungskommission ein.

Das Endergebnis lautete, daß dem Zeiss-Werk 6 % des Maschinenparks mit der dazu benötigten Werkzeugausrüstung zum Wiederaufbau – dem zweiten seit 1945 – verbleiben sollte.

Der Anfang war schwer, die zeitweiligen Arbeitsbedingungen waren hart.

Der Plan für einen Neuaufbau, der bereits während der Demontage aufgestellt wurde, sah drei Etappen vor. Die erste umfaßte das Jahr 1947 mit einer Teilfabrikation.

Bei der zweiten Etappe im Jahre 1948 sah der Plan den Übergang von der verbliebenen Grundeinrichtung auf eine breitere Produktionsbasis vor. Der dritte Abschnitt im Jahre 1949 betraf die Produktion aller Erzeugnisse für den Friedensbedarf.

Januar 1950: aus einer kurzen Notiz war zu entnehmen:

Die Schwingquarzfertigung wird unter der Anleitung des Kollegen Albert Wendland wieder aufgenommen. Es werden zunächst die ersten Ultraschallquarze gefertigt.

Erste Anfragen dazu kamen von der Firma Hescho/Hermsdorf. Diese Firma fertigte in Ostdeutschland als neues Produkt die ersten Ultraschallgeräte. Die eigentliche Schwingquarzfertigung für Hochfrequenzzwecke kam aber nur ganz langsam wieder in Gang. Wahrscheinlich war es in erster Linie ein Rohstoff-Problem. Die Rohquarz-Vorräte der Firma waren nahezu erschöpft, vor allem die Brasilianer-Qualität. Schon 1950 wandte sich Dr. Harting von der wissenschaftlichen Hauptleitung schriftlich an den General Nikolajeff von der Werkskommission:

*... Unsere aus Brasilien stammenden Bestände sind nur noch sehr gering. Deutschland kann jetzt nichts mehr hiervon liefern, während Rußland über **große Vorkommen** verfügt und zwar in den Gebieten Korosten-Goroschki/Wolhynien, Kyshtymdistrikt bei Kisiltasch, Fluß Jasgule (Derwas). In diesem Punkt wäre uns Ihre Unterstützung von großem Wert ...*

Wahrscheinlich lieferte Rußland auch keinen Rohquarz nach Ostdeutschland und so war dann die Firma wieder auf sich selbst gestellt.

Nach dem Zweiten Weltkrieg und der Demontage wurde auch gleich wieder mit dem Aufbau eines Kristall-Labors begonnen.

Hier begegnen wir jetzt wieder Dr. H. Straubel. Aus einer Notiz konnte entnommen werden:

25. Juli 1945: Dr. Harald Straubel übernimmt Aufgaben im Kristall-Labor der Firma als freier Mitarbeiter.

Das Mitarbeiterverhältnis währte aber nur bis zum Oktober 1946, ab hier wurde auch er mit den anderen Zeiss Wissenschaftlern nach Krasnogorsk in die UdSSR deportiert.

Bei der Aufgabenstellung im wieder aufgebauten Kristall-Labor wurde auch die Zucht neuer Materialien angepeilt, u. a. die hydrothermale Zucht von Quarz. Die Notwendigkeit zum Aufbau und zur Beherrschung der Quarzsynthese bei Zeiss bestätigte sich später durch die Embargopolitik, durch die der Zugang zum brasilianischen Markt für Bergkristall für die Firma Zeiss unterbunden wurde. Leider kann in dieser Arbeit die große Leistung bei Carl Zeiss in der Hydrothermalsynthese nicht in dem Maße gewürdigt werden, wie sie es verdient hätte. Es würde hier den Rahmen sprengen, dies müßte alles in einer größeren gesonderten Publikation festgehalten und niedergeschrieben werden.

Ein komplexes Entwicklungsprogramm wie das der synthetischen Kristalle, ist ohne einen qualifizierten Mitarbeiterstab nicht zu bewältigen und hierbei darf man auch nicht verkennen: die Wissenschaftler waren größtenteils in die UdSSR deportiert und die Labors und Werkstätten leergeräumt. Der Anfang war also hier bei Punkt Null.

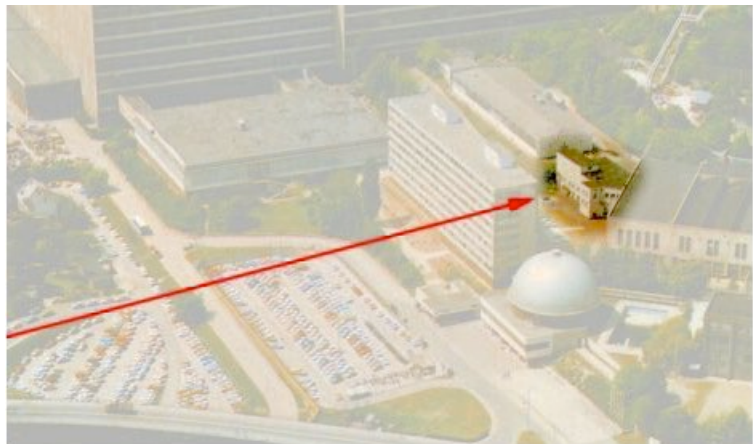
Zu der ganzen Thematik möchte ich noch kurz Prof. Nacken zitieren; er sagte damals bei seinen Forschungen:

... solche Versuche können auch nur mit erheblichen Mitteln durchgeführt werden ...

Durch intensive Forschung wurde eine industrielle Kristallproduktion vorbereitet. Die Anfänge begannen im Jahre 1948 mit der Absicht, Stahl für den Bau von Autoklaven für die Synthese zu bekommen. So wurde eine Anfrage an das Edelstahlwerk Krefeld wegen Lieferung von HC9-Stahl gemacht. Ob nun das Stahlwerk eine Lieferung abgelehnt hat oder erst gar nicht geantwortet hat, ließ sich nicht mehr feststellen.

Abb. 7.16.40
Südwerk Carl Zeiss

Mitte rechts
(siehe Pfeil)
ehemaliges
Forschungsgebäude
für Kristallzucht

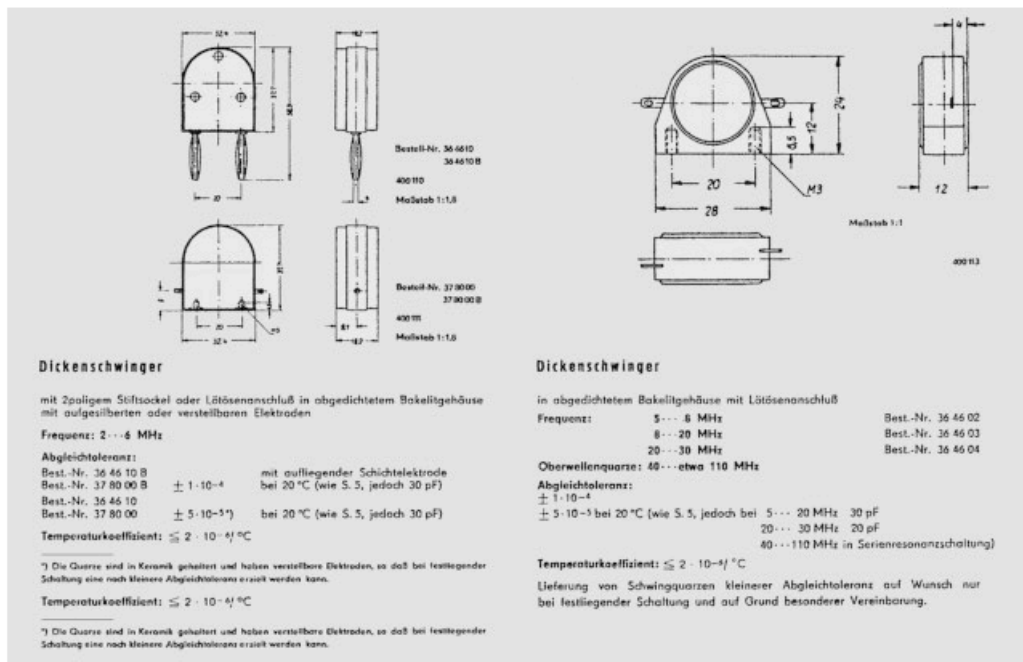


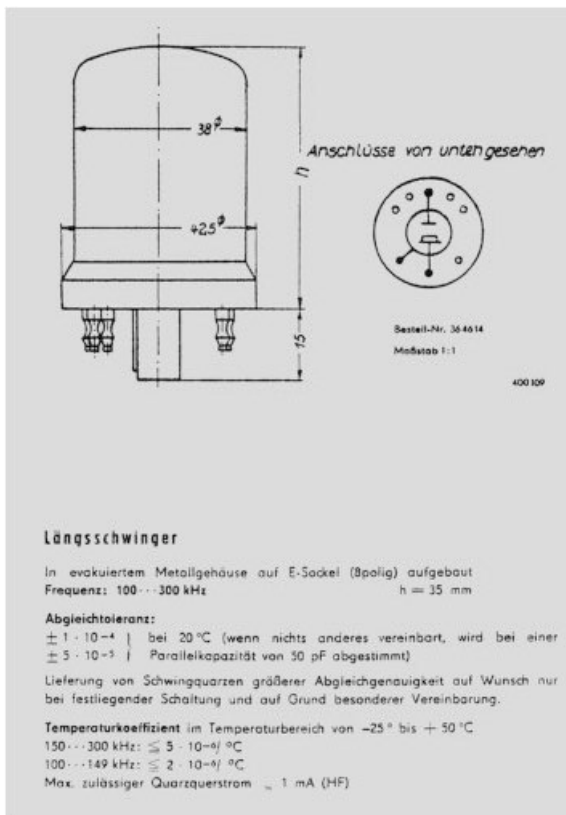
Es folgten weitere Zuchtversuche in größeren Autoklaven (10-Liter-Autoklav).

Die folgenden Aufnahmen zeigen die ersten Schwingquarze aus der neu aufgebauten Fertigung.

Erste Schwingquarze ab 1956

Auszug aus dem Datenblatt
Dickenschwinger





Die Dickenschwinger wurden in Bakelitgehäusen und die Längsschwinger in luftdicht abgeschlossenen Metallgehäusen (auf E-Sockel) gefertigt (Abb. 7.16.43 und 44).

Abb. 7.16.43 ◀

Längsschwinger Frequenzbereich 100 ... 300 kHz



Abb. 7.16.44

Präzisions-Schwingquarz
 100 k

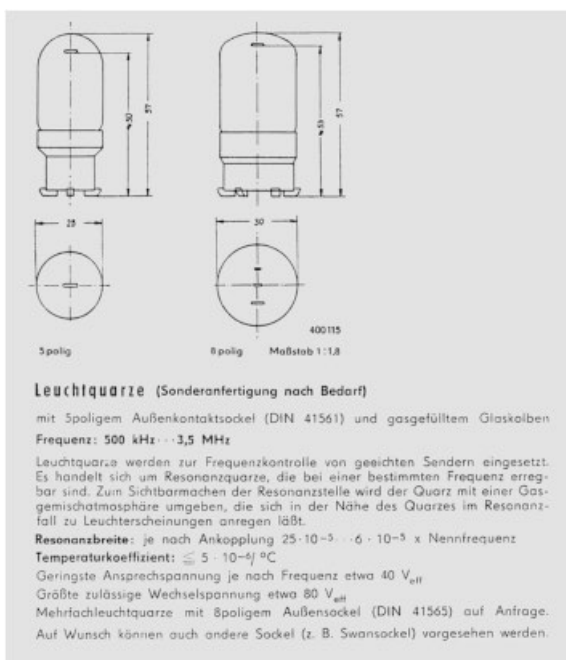


Abb. 7.16.45 ◀

Datenblatt
 Leuchtquarze



Abb. 7.16.46

Zweifach-
 Leuchtquarz im
 Swansockel

Wie das vorstehende Prospektblatt (*Abb. 7.16.45*) zeigt, fertigte die Firma Zeiss auch Leuchtquarze. Sie wurden als Sonderanfertigung nach Bedarf ausgewiesen.

Es war schon ein Novum für die Firma, die Fertigung dieser Spezies war doch vor und im Zweiten Weltkrieg fast ausschließlich eine Domäne der Firma Loewe-Opta, es steckt nämlich auch sehr viel an Entwicklungsarbeit in so einer Leuchtquarzfertigung.

Im Jahre 1956 wurde der umgebaute Prüfstand zum Forschungsgebäude mit Autoklavenräumen in Betrieb genommen. Als erstes wurde dort ein 10-Liter-Autoklav installiert.

Einheimische Rohstoffe als Nahrung, wie Quarzit, kamen zur Erprobung und Verwendung. Die Lagerstätten waren Glossen bei Mügeln und Sproitz bei Niesky.

Ab 1962 wurde auch Gangquarz aus Halsbrücke eingesetzt! –

Ab Mitte Mai 1959 kam es zu einer Zusammenarbeit mit WF (Werk für Fernseh-Elektronik), dabei wurde ein Rekonstruktionsplan erarbeitet. Es ging hier um die Einführung neuer Meß- und Prüftechnik für die Schwingquarzproduktion beider Betriebe. Ebenso wurde auch beschlossen, die international genormten luftdicht abgeschlossenen Metallgehäuse wie HC-6/U für die Schwingquarzeinhausung anzuwenden und einzuführen. Bei den Quarzen in Bakelitgehäusen trat auch zuletzt vermehrt ein Alterungsprozeß auf.

Die folgende Reproduktion *Abb. 7.16.47* zeigt einen Ausschnitt aus einem Interimsprospekt über die neuen Schwingquarze im Metallgehäuse.

Der Schwingquarzvertrieb lief jetzt bei Zeiss unter dem Sammelbegriff

Sondererzeugnisse

Durch die *Sozialistische Arbeitsgemeinschaft* wurde auch für die Schwingquarze eine Bedarfsanalyse erstellt, die zur Festlegung der Frequenzgebiete für beide Betriebe (WF und Zeiss) führte, mit dem Ziel: Steigerung der Produktion.

Vorgesehen für die Firma Zeiss waren die Frequenzgebiete:

800 – 40 000 kHz in der Grundwelle

40 – 100 MHz in der Oberwelle

Sowie Filterquarze über 3 MHz

Anfang des Jahres 1961 vermeldete der Zeiss-Chronist:

*Die **ersten synthetischen** Quarze wurden der Optikbetriebsleitung für die Schwingquarz-Produktion übergeben.*

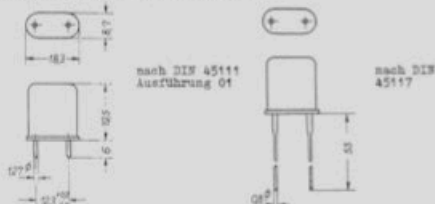
Die erste Einschätzung: diese Kristalle sind bedeutend besser als Naturquarzstücke!



Quarz-Oszillatoren

Datensammelblatt Nr. 2

Schwingquarzen im Gummimetalhalter



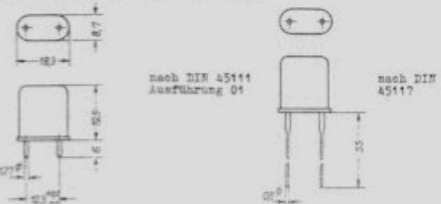
Frequenzbereich: 20000 ... 40000 kHz in Grundschwingung und Parallelresonanz

Arbeits- temperatur		Frequenztoleranz $\frac{\Delta f}{f}$ in 10^{-6}				
		A ± 200	B ± 100	C ± 75	D ± 50	E ± 20
1	-55...+90 °C	x				
2	-20...+70 °C	x				
3	0...+60 °C	x	x			
4	+75 °C ± 3 °C	x	x	x		
5	+70 °C ± 3 °C	x	x	x	x	
6	+60 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
7	+50 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
8	+20 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x

Lastkapazität C_L 20 pF bei $f_0 \geq 30000$ kHz
10 pF bei $f_0 > 30000$ kHz
Max. Belastung 1 mA/MHz > 20000...30000 kHz
0,5 mA/MHz > 30000...40000 kHz
Max. stat. Parallelkapazität C_0 etwa 10 pF
Isolationswiderstand ≥ 500 M Ω
Der Schwingquarz wird in einer Schaltung nach Bild 2 abgeglichen.

Datensammelblatt Nr. 1

Schwingquarzen im Gummimetalhalter



Frequenzbereich: 1000 ... 20000 kHz in Grundschwingung und Parallelresonanz

Arbeits- temperatur		Frequenztoleranz $\frac{\Delta f}{f}$ in 10^{-6}				
		A ± 200	B ± 100	C ± 75	D ± 50	E ± 20
1	-55...+90 °C	x	x	x	x	
2	-20...+70 °C	x	x	x	x	
3	0...+60 °C	x	x	x	x	
4	+75 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
5	+70 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
6	+60 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
7	+50 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x
8	+20 °C ± 3 °C	x	x	x	x	x

Lastkapazität C_L 30 \pm 0,5 pF
Max. Belastung 4 mA/MHz 1000...3000 kHz
2 mA/MHz > 3000...5000 kHz
1 mA/MHz > 5000...20000 kHz
etwa 7 pF
Isolationswiderstand ≥ 500 M Ω
Der Schwingquarz wird in einer Schaltung nach Bild 2 abgeglichen.



VEB Carl Zeiss JENA
Vertriebsabteilung Sondererzeugnisse
Drahtwort: Zeisswerk Jena - Fernsprecher: Jena 7042
Fernschreiber: Jena 058 622
Druckschriften-Nr. 40-800-1

Abb. 7.16.47

Neue Generation von Schwingquarzen im Fertigungsprogramm

Ab diesem Jahr gab es auch wieder einen neuen Perspektivplan für die Schwingquarzfertigung.

Mit neu geplanten Anlagen und Geräten sollten bis zum Jahr 1965 50000 Stück hergestellt werden.

Ebenso gab es Vorstellungen zum Bau einer Fabrik für synthetischen Quarz auf dem schon bestehenden Kristallzuchtgelände in Eisenberg nordöstlich von Jena.

Laut einem Ministerratsbeschluß vom 19.12.1962 hat die Firma Carl Zeiss den gesamten Bedarf der DDR an synthetischem Quarz zu decken. Der Ministerratsbeschluß beinhaltete aber auch die Schwingquarzfertigung zu WF (Werk für Fernseh-elektronik) in Berlin zu verlegen! Dieses Vorhaben wurde aber nicht realisiert. –

Im Juli 1963 wurde in einer Werkleitersitzung beschlossen, daß bei Carl Zeiss keine Schwingquarze mehr gefertigt werden, da **profilfremd!**

Zum Jahresende 1963 gab es noch ein Highlight: der erste große synthetische Quarz (>1 kg) für die Schwingquarzfertigung wurde unter Produktionsbedingungen hergestellt.

In diese Zeit fällt auch die Einstellung eines neuen Mitarbeiters im F-E-Bereich Quarz-Synthese. Der Ingenieur U. Schlöffel hat sich hier auch später als guter Praktiker sehr verdient gemacht.

Der Abschluß des Jahres 1964 brachte wieder mal eine Diskussion: auslagern oder erweitern der Schwingquarzproduktion im Hause Carl Zeiss? – Wie oft noch? –

Mitte des Jahres 1970 – die ersten großen Autolaven (125 Liter) wurden im Forschungsgebäude installiert.

Für die Geschäftsjahre 1970–1971 waren folgende Mengen an synthetischem Quarz für die Schwingquarzproduktion eingeplant:

1970 – 400 kg

1971 – 500 kg

Aber 1971 wurde schon wieder an eine Verlagerung gedacht. Diesmal sollte die Schwingquarzfertigung zu NARVA – Berlin ausgelagert werden.

Die Schwingquarzfertigung im VEB Carl Zeiss Jena wurde erst nach der Wende, also 1990, eingestellt. Welche Gründe mögen wohl dazu beigetragen haben? –

Sicher war hierbei, die Hauptabnehmer in der „ehemaligen DDR“ fielen alle weg, und zweitens waren dies bestimmt auch Kostengründe.

Auf dem freien Markt gab es das Produkt Quarze auch kostengünstiger zu kaufen, und so wird damals die Werksleitung die Entscheidung getroffen haben, diese Fertigung, da *profilfremd*, einzustellen.

Immerhin waren es aber doch fast 60 Jahre Entwicklung und Fertigung von Schwingquarzen in der Firma Carl Zeiss.

7.17 Die amerikanische Schwingquarzindustrie

Auch dieses Kapitel konnte vom Autor nicht mehr ausgeführt werden, so daß lediglich die folgenden Fragmente zur Verfügung stehen.

All over the world every radio wave broadcast into the ether is first made to vibrate in tune with a thin piece of quartz sliced from a crystal like one of those shown above. Such a waferlike piece of quartz, when excited by an electric current, will vibrate steadily at a rate precisely determined by the thickness to which it has been ground. Thus, the frequency or vibration rate of a radio transmitter may be perfectly fixed and then controlled by attuning it to the unwavering oscillations of a quartz crystal. This means that programs from a particular station will always come in at the same point on the receiver dial, never interfering with or garbling programs from other stations. In war, in the welter of radio messages flashing over a tank battle or among a flight of bombers, it is only the channeling effect of quartz crystals on the hundreds of transmitters that makes sensible intercommunication and coordination of effort possible.

(Siehe unten.)



Abb. 7.17.1 und 1a Aus LIFE vom 2. August 1943

WATER-CLEAR QUARTZ CRYSTALS, HERE SHOWN ACTUAL SIZE, MUST BE IMPORTED INTO U. S. FROM BRAZIL, ALMOST THE ONLY WORLD SOURCE FOR RADIO-QUALITY QUARTZ

QUARTZ CRYSTALS

They control radio and make battle communication possible

All over the world every radio wave broadcast into the ether is first made to vibrate in tune with a thin piece of quartz sliced from a crystal like one of those shown above. Such a waferlike piece of quartz, when excited by an electric current, will vibrate steadily at a rate precisely determined by the thickness to which it has been ground. Thus, the frequency or vibration rate of a radio transmitter may be perfectly fixed and then controlled by attuning it to the unwavering oscillations of a quartz crystal. This means that programs from a particular station will always come in at the same point on the receiver dial, never interfering with or garbling programs from other stations. In war, in the welter of radio messages flashing over a tank battle or among a flight of bombers, it is only the channeling effect of quartz crystals on the hundreds of transmitters that makes sensible intercommunication and coordination of effort possible.

CONTINUED ON NEXT PAGE 51

Auf den nächsten Seite folgen einige Abbildungen.

Unter folgendem Link findet sich ein Video über die Schwingquarzherstellung in den USA:
https://archive.org/details/6101_Crystals_Go_to_War_01_20_16_21

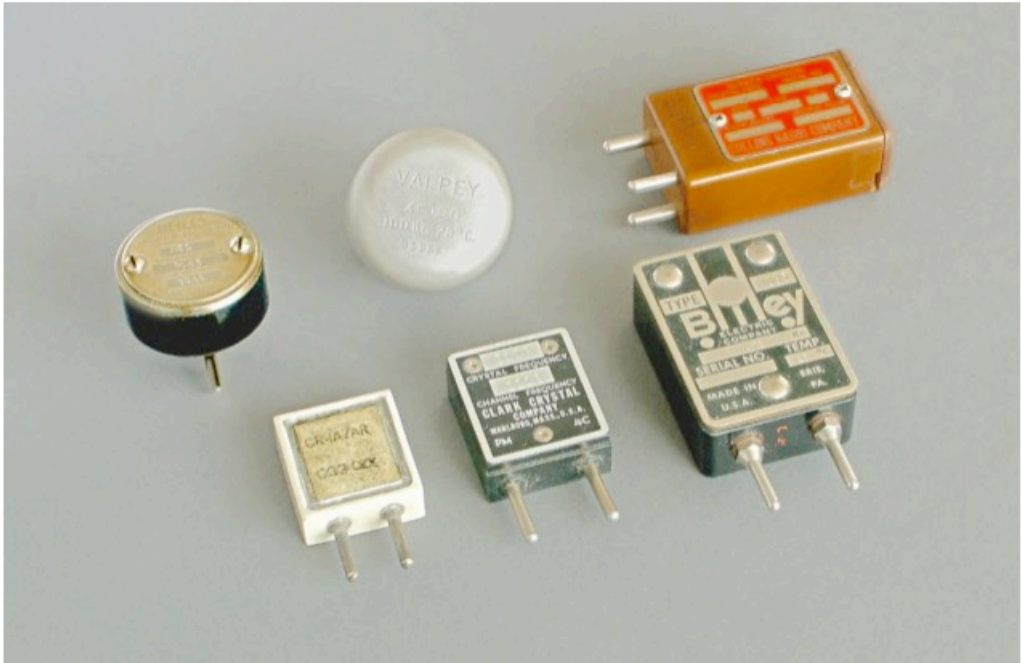
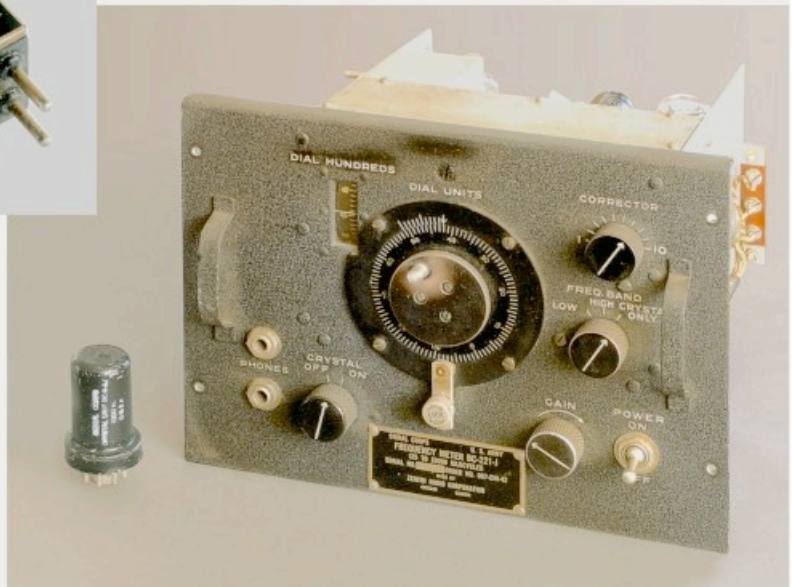


Abb. 7.17.2



Abb. 7.17.3

Abb. 7.17.4 ▼



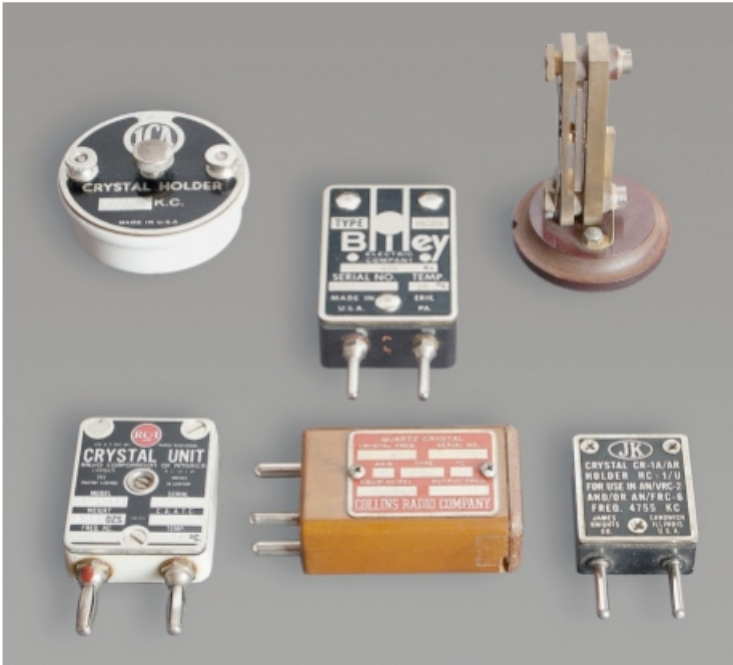


Abb. 7.17.5 ◀

Abb. 7.17.6 ▲

Abb. 7.17.7 ▼



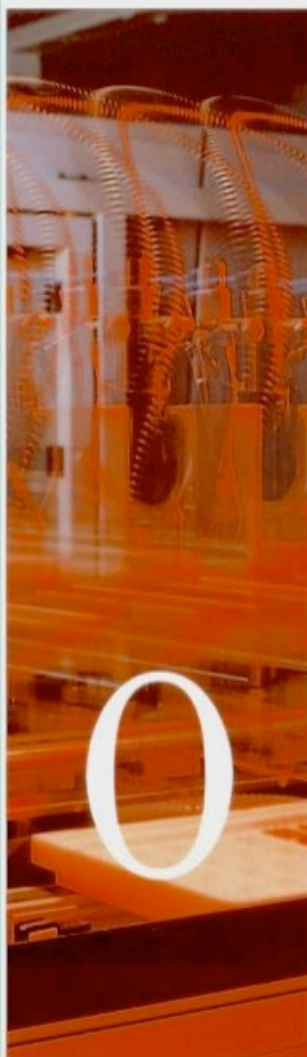


Abb. 7.17.8 ▲

Abb. 7.17.9 ▼



» Oszillatoren und Schwingquarze «



F O Q PIEZO TECHNIK GMBH

7.18 **FOQ Piezo Technik; Bad Rappenau**

Das **FOQ**-Kürzel steht hier für: **F**ilter – **O**szillatoren – **Q**uarze.

Krescho Contos, Gründer und Geschäftsleiter, führt zusammen mit dem Seniorpartner Albrecht Bohnet die Firma FOQ Piezo Technik in Bad Rappenau.

Krescho Contos kam 1950 aus dem ehemaligen Jugoslawien nach Deutschland.

Über Freiburg gelangte dann die Familie nach Ettenheim/Baden.

In Kenzingen begann Contos eine Lehre als Rundfunk- und Fernsehtechniker.

Nach kurzer Gesellenzeit dann 1965 Beginn eines Studiums der Nachrichtentechnik an der Fachhochschule Karlsruhe. Nach abgeschlossenem Studium und einem kurzen Zwischenaufenthalt in einer Firma für Kinotheodoliten führte Contos der Weg zur Firma Kristallverarbeitung Neckarbischofsheim. Diese Stelle war für ihn gleich eine große Herausforderung. Es gab dort nämlich bei der Kristallverarbeitung die Position eines Entwicklungsleiters zu besetzen, die er am 1. Januar 1969 antrat.

Ende 1973 suchte der noch bei der KVG für die Produktion verantwortliche Knut Krüger Mitbegründer für eine neue Firma – es ist die nachmalige *Tele Quarz*.

Mit weiteren 5 Mitarbeitern gründeten Krüger und Contos dann dieses *Tele Quarz*-Unternehmen in Untergimpeln, einem Nachbarort von Neckarbischofsheim.

Krüger beabsichtigte, in der Produktion und Vermarktung von Schwingquarzen neue Wege zu gehen. Doch bald kam dann den Jungunternehmern die Rezession in die Quere. Die hierdurch entstandenen internen Spannungen führten dazu, daß Contos ab dem Jahr 1975 nur noch auf freiberuflicher Basis für die von ihm mit gegründete Firma arbeitete.

Aber der Reiz der Selbständigkeit schwang bei ihm noch immer mit, und so gründete Contos 1977 das Ingenieurbüro **Piezotechnik** für die Entwicklung und Musterfertigung von Quarzoszillatoren und Quarzfiltern. Aus diesem Ingenieurbüro ging dann schließlich 1980 die Firma **FOQ Piezo Technik GmbH** hervor.

Bei der Gründung des Ingenieurbüros wurde damals aber auch schon an eine eigene Schwingquarzfertigung gedacht.

Contos wußte nur zu gut, wenn man Quarzoszillatoren fertigt und ist auf die Zulieferung von Quarzen angewiesen, läuft man immer wieder Gefahr, in Abhängigkeit zu geraten.

Die Planungen für eine Quarzproduktion liefen ab 1993.

Der Baubeginn für das Fertigungsgebäude war dann im August 1993.

Der Produktionsstart von Schwingquarzen fand im Juli 1994 statt.

Abb. 7.18.1

Werk für Schwingquarze in
Bad Rappenau,
Raiffeisenstraße 53



Contos ging dabei ganz neue Wege in der Schwingquarzfertigung.
Dies ist in Europa wohl bisher einmalig: eine Fertigung von Quarzen unter Reinraum-
Bedingungen.

Die Produktionsräume sind vollklimatisierte ESD-geschützte Produktionsflächen.
Kritische Produktionsprozesse laufen in einem Reinraum der Klasse 10 000 ab,
die übrigen Prozesse in einem Reinraum der Klasse 1000.

Der kommerzielle Erfolg für die FOQ kam mit der Firma Siemens.

Bei Siemens wurden schon in den 1980er Jahren Überlegungen angestellt:
selber herstellen oder kaufen? (!) – FOQ konnte dasselbe, es ging um Oszillatoren
für Vermittlungssysteme, für die Hälfte der Herstellungskosten bei Siemens liefern.
So waren die Würfel für die FOQ gefallen.



Abb. 7.18.2/3

Einblicke in die Schwingquarzfertigung



Abb. 7.18.4

Werk für Oszillatoren in
Bad Rappenau,
Riemenstraße 33



Produktspektrum von FOQ:

Schwingquarze	1	–	300	MHz
XO, VC XO	1	–	350	MHz
TC XO	1	–	80	MHz
VCTC XO	1	–	180	MHz
OC XO	1	–	80	MHz
VC O	0,4	–	1,5	GHz

Die Grundsätze der Firma:

- Präzise Erfüllung technischer, terminlicher und kommerzieller Kundenanforderungen
- Produktion entsprechend dem neuesten Stand der Technik

Qualität ist, ...

*... wenn der Kunde zurück
kommt und nicht das Produkt!*

7.19 Werkstätten für Piezo-Technik

*Auch dieses Kapitel konnte nicht mehr geschrieben werden.
Es folgen die vorgesehenen Bilder.*

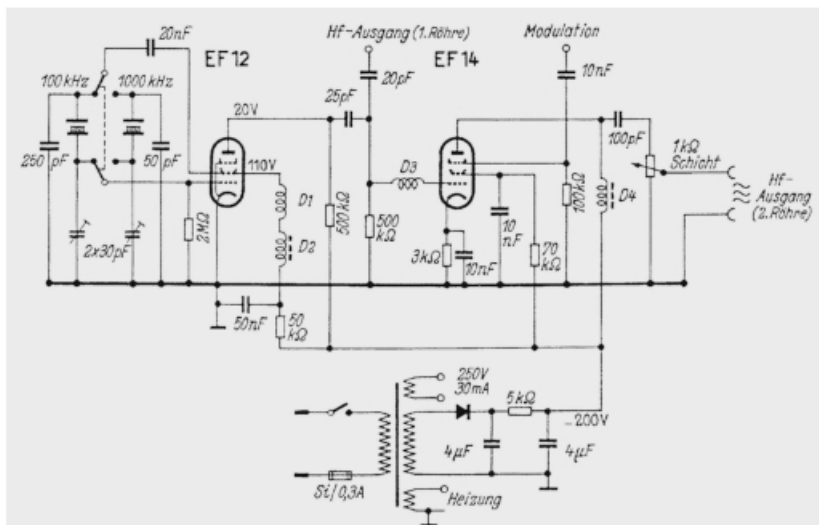
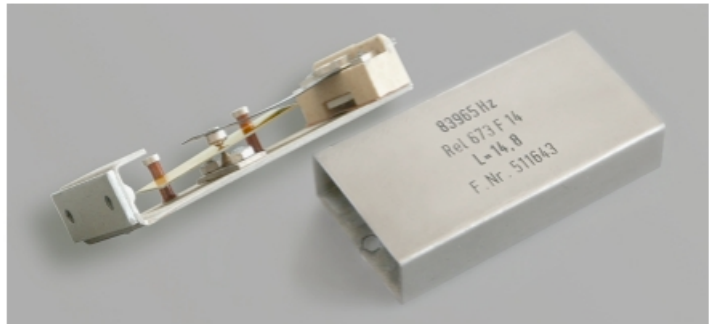
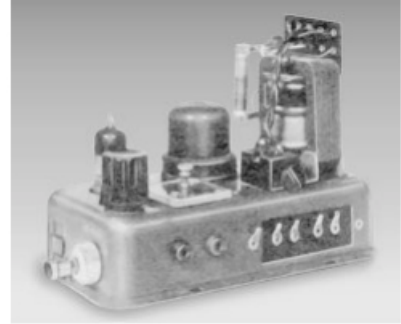


Abb. 7.19.1
oben rechts

Abb. 7.19.2
a,b,c
oben links,
Mitte,
Mitte links

Abb. 7.19.3
Mitte rechts

Abb. 7.19.4
links

Schwingquarz-Museum Sindelfingen – Eine Entstehung

Nach dem Tode von Joachim Claus, dem letzten der Familie, sind das Museum sowie alle Original-Unterlagen zu diesem Buch verschollen.

Es mag so im Frühjahr 1950 gewesen sein, als ich aus meiner früheren Amateurfunkzeit Besuch von dem Funkfreund M. Wiest (DL1 QV - ex D4 ngo) bekam. Er hatte damals bei seiner Kurzwellen-Endstufe Probleme, und er suchte auch nach einem Schwingquarz, welcher bei einem erworbenen Wehrmachtsempfänger fehlte.

Das Problem mit dem Quarz war schnell gelöst, bei der Endstufe dauerte es noch eine gewisse Zeit. Der OM bewunderte dann nebenbei auch meine gesammelten „Schätze“. Es waren dies in der Hauptsache Schwingquarze der verschiedensten Ausführungen.

Als ich im Herbst 1945 aus englischer Gefangenschaft auf nicht übliche Weise nach Hause kam, waren es sechs Schwingquarze, welche mich auf dieser Odyssee, ohne weiteres Gepäck, von Emden nach Sindelfingen begleiteten.

Weitere Exemplare hatte mir schon während meiner Lehrzeit ein früherer Kollege geschenkt, und so war dies der Grundstock meiner Sammlung.



Abb. 8.1
OM Wiest – DL1 QV
an seiner Kurzwellen-Station

An ein Museum dachte ich aber damals noch nicht. Mein Besucher meinte, als ich ihm „mit leuchtenden Augen“, wie er sich ausdrückte, von den Quarzen erzählte: „Das ist ja alles sehr interessant“, und zum Abschied sagte er dann: „wenn ich wieder einmal nach Sindelfingen komme, so zeigst du deine Sammlung aber in einem kleinen Museum“. Der Besuch des früheren Funkkollegen gab da also den Anstoß zu diesem späteren Museum.

Die Liebe zum „Quarz“ hatte aber schon viel früher begonnen als ich noch Schüler war (siehe auch Kapitel 2 – Die Kristallart Quarz). Während meiner Schulzeit hatte ich Gelegenheit, eine sehr umfangreiche Sammlung von Bergkristallen und Calciten zu besichtigen. Die Sammlung gehörte einem schon sehr alten Herrn und ich sehe ihn heute noch vor mir, wie er mit viel Liebe zum Detail die Welt der Kristalle vorstellte. Seine Ausführungen über die alpinen Zerklüfte und ihre Mineralien war für mich als Schüler damals sehr geheimnisvoll. Zu jedem Quarz, welchen er mir einzeln zeigte, gab es eine kleine Geschichte. ... *Jeder dieser Quarze ist ein „Individuum“ und hat seine Persönlichkeit, gewachsen vor Millionen Jahren. Die verschiedenen Arten von Quarzen sind ja weltweit verbreitet. Sie kommen aber nur selten in so schönen Kristallen vor wie in den alpinen Zerklüften ...* – Dies waren damals so etwa seine Worte. –

In jungen Jahren machte der Sammler und Liebhaber auch eine Reise nach Brasilien in die Region Corinto im Staate Minas Gerais – ob aus gewerblichen Zwecken oder nur als Mineraliensammler, daran kann ich mich heute nicht mehr erinnern.

Das Echo von seiner Brasilienreise war aber nicht sehr groß!

Aus seiner Erzählung kann ich mich nur gut erinnern an die Beschreibung der Riesenquarze, welche dort gefunden wurden (sie wurden damals auch schon zur Herstellung von piezoelektrischen Bauelementen verwendet).

Der Mineralienliebhaber war, wie wir heute vielleicht sagen würden, ein „Fan der Alpen“. Sein Tenor war: Die Kristalle erreichen aber nirgendwo eine so vollkommene Ausbildung, wie sie in den alpinen Zerklüften vorkommen. –

Ich habe mich später oft gefragt: Was ist wohl aus dieser schönen, großen Sammlung geworden? –

Meine Sammlung von Schwingquarzen vergrößerte sich im Laufe der Zeit mal schneller mal langsamer. Großen Zuwachs gab es, als die STEG (Staatliche Erfassungsgesellschaft für öffentliches Gut) im Lager Neuaubing bei München im Jahre 1951 mit dem Verkauf von Schwingquarzen begann. Einen Haken gab es da allerdings: an Privatkunden wurden immer nur zwei Stück abgegeben, aber dies ließ sich dann auch irgendwie umgehen.

In meiner beruflichen Laufbahn führte mich zwecks Klärung einer technischen Frage einmal der Weg nach Stockdorf bei München zur Firma Quarzkeramik. Der Besitzer zeigte mir auch seine lose Sammlung von Schwingquarzen, als er von meinem Interesse an der Geschichte der Schwingquarze hörte. Mit einigen interessanten Exponaten als Zuwachs und der Zusage für weitere Unterstützung von Seiten der Firma trat ich die Rückreise an. Es war damals das erste Mal für mich, daß ich einen Blick in eine Schwingquarzfertigung werfen konnte. Die bis jetzt gesammelten Quarze schlummerten dann aber weiterhin immer noch in irgendwelchen Zigarrenkisten.

Der Funkfreund OM Wiest starb 1965, ohne nochmals einen Besuch in Sindelfingen gemacht zu haben.

Durch eine anspruchsvolle Tätigkeit in der Firma war ich in jenen Jahren über Gebühr gefordert und fürs Hobby blieb nur der Wunschgedanke einer Verwirklichung des Museums.

Aber der Tod des Funkfreundes gab mir Anlaß, die Ausstellung in einem kleinen Rahmen aufzubauen. So blieb es über eine längere Zeit bestehen bis die Möglichkeit gegeben war, in den Vorruhestand zu gehen. Jetzt konnte ich endlich das Museum in der heutigen Form gestalten. Die folgenden Aufnahmen zeigen einen kleinen Einblick.



Abb. 8.2
Eingangsbereich mit der
Normalfrequenz-Anlage



Abb. 8.3
Verschiedene
Quarzmeßplätze



Abb. 8.4 Sammlungsschränke

Abb. 8.5
Der Autor
bei einer
Demonstration
an einem
Quarzoszillator





Abb. 8.6
Ein kleiner Einblick in die
Lorenz- und Löwe-Sammlung

Die vorstehenden Aufnahmen geben nur einen kleinen Einblick in das Museum.
Ergänzend ein paar Zahlen zum Sammlungsinhalt:

- ~ 700 verschiedene Schwingquarze
von Schwingquarzfirmer aus der ganzen Welt
- 40 Quarzoszillatoren
von Niederfrequenz- bis zu Höchsthrequenz-Oszillatoren
- ferner 30 Quarzfilter mit Applikation, dazu noch die
verschiedensten Meßgeräte aus Fertigung und Endprüfung

Bis zur Niederschrift dieser kurzen „Museums-geschichte“ waren es immerhin schon weit über 400 Besucher (lt. Besucherbuch) in Sindelfingen. Viele Interessenten haben sich auch nicht eingetragen, und so sind es noch einige mehr.

Die Besucher kamen außer aus der BRD auch aus Frankreich, Italien, Österreich, Spanien, Schweden, Schweiz, ja selbst aus den USA. – Der Gast aus den USA bestätigte mir, daß es auf der ganzen Welt keine so inhaltsreiche Sammlung gibt (er hatte nämlich so etwas ähnliches auch im Sinn und suchte nach einem Vorbild).

Es gibt aber auch andere Besucherkommentare. Als mir einmal ein „Auch-Sammler und Spezialist für Nachrichtentechnik“(!) zum Abschluß der Besichtigung sagte, wie man **so etwas** auch sammeln könnte? Was soll man nun dazu sagen, wenn die Menschen Briefmarken und Zuckerstücke sammeln – es ist eben vieles sammelns-wert – aber wie sagten doch schon die alten Römer:

Si Tacuisses, Philosophus Manisses ...

Dies alles sollte nur ein Beitrag zur Erhaltung dieser Werte und ein kleiner Beitrag zur **Technik-Geschichte** sein!

Epilog

Ein Streifzug durch die Geschichte der Piezoelektrizität – Schwingquarztechnik – sie hinterläßt, wie übrigens jede Geschichte, eine ganze Reihe offener Fragen. Ich bin mir durchaus der Unzulänglichkeiten dieser Abhandlung bewußt, in der viele Themen ausgelassen und zahlreiche Personen, die wichtige Beiträge geleistet haben, nicht erwähnt wurden. Obwohl die Schwingquarztechnik im Bereich der Technischen Physik eine relativ junge Disziplin ist, war es doch manchmal gar nicht so einfach, noch geschichtliche Informationen zu bekommen.

Viele Pioniere aus den 30er und 40er Jahren leben nicht mehr und manche, die noch leben, sind so desinteressiert, daß sie nicht bereit sind, irgendwelche Fragen zu beantworten.

Es war manchmal schon enttäuschend, wenn ich bei einer Frage lapidar die Antwort bekam, das seien doch „olle Kamellen“ und man habe keine Lust, sich noch einmal damit zu beschäftigen – und außerdem: wen interessiert das schon noch? (!)



Mir kam es vor allem darauf an, was noch an Wissen aus den Anfängen vorhanden ist, für die Technik-Geschichte festzuhalten.
Vieles an Wissen ist schon in der Kriegs- und Nachkriegszeit verloren gegangen.

Es war für mich immer ein besonderer Glücksfall, mal einen Zeitzeugen zutreffen, der seine Erinnerungen aus jener Anfangszeit noch mitteilen konnte.
Überraschungen netter Art gab es hier manchmal auch noch, wie z. B., als mich aus Berlin diese Aufnahme erreichte. Sie stammte aus einem Nachlaß und war in einem Keller unter vielem Anderen in einem Koffer aufgefunden worden. Leider konnte ich aber diese Aufnahme keiner Firma zuordnen.
Lange Zeit später fragte ein Elektronikunternehmen bei mir an, ich hätte doch ein Quarzmuseum, und ob ich für eine Ausstellung ein paar ältere Schwingquarze zur Verfügung stellen würde.
Ich sagte gleich: „Ja, ist doch selbstverständlich“, verband aber dies ebenso mit einer Gegenfrage. Vor Jahren hätte ich auch eine Anfrage über alte Unterlagen zu Schwingquarzen an dieselbe Firma gestellt. Die Antwort hierzu:

„Es ist leider nichts mehr vorhanden!“

Der Sachbearbeiter meinte, als ich ihm den Sachverhalt schilderte: „Da ist schon noch etwas vorhanden, wenn auch nicht viel.“ – Als Antwort kam dann nach einigen Tagen – auch jenes obige Bild! –

In meiner Heimat gibt es den Ausspruch:

„Wenn a alter Schwob stirbt, gôt a ganza Bibliothek verlor!“

Manche solcher „Bibliotheken“ haben auch zu diesem Buch beigetragen.

Vielleicht ist es hierbei auch einmal ganz interessant, daß die Firma Carl Zeiss in Jena einen Aufruf an ihre ausgeschiedenen Mitarbeiter startete, ihre Erinnerungen und ihr Wissen doch für eine spätere Chronik aufzuzeichnen.
Wenn ich nun mit diesem kleinen Beitrag um das Wissen der Anfänge etwas beigetragen habe, so ist es nur ein kleiner Mosaikstein in dem großen Geschichtskreis der Nachrichtentechnik.

Ei früherer Kollege schrieb mir übrigens noch ein paar Tage vor der Drucklegung des Buches:

... es ist wichtig, der Nachwelt etwas zu hinterlassen!



Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorwort	6
Einleitung	7
Erstes Kapitel	
Die Geschichte der Piezoelektrizität	9
Zweites Kapitel	
Piezoelektrische Materialien	34
Die Kristallart Quarz	34
Die Kristallart Turmalin	54
Drittes Kapitel	
Synthetische Quarze	60
Über einige andere synthetische piezoelektrische Kristalle	84
Viertes Kapitel	
Wie Schwingquarze entstehen	96
Fünftes Kapitel	
Schwingquarze – Gestern – Heute – und Morgen	169
Sechstes Kapitel	
6.1 Quarzoszillatoren	220
6.2 Quarzfilter	234
6.3 Quarz-Thermostate	244
Siebttes Kapitel	
Firmenprofile	251
7. 1 Bernhard Halle; Berlin-Steglitz	252
7. 2 Kristallverarbeitung; Neckarbischofsheim	261
7. 3 Loewe-Opta; Berlin-Steglitz – <i>vormals</i> : Radiofrequenz; Berlin-Friedenau	278
7. 4 C. Lorenz; Berlin-Tempelhof	299
7. 5 C.A. Niendorf; Bernau bei Berlin	320
7. 6 Ostmark Werke; Wien und Prag/Gbell	322
7. 7 Piezo Werk, Heinz Evertz; Stockdorf/München	332

7. 8	Quarzkeramik; Stockdorf/München	350
7. 9	Quarz Technik; Daun/Eifel	372
7.10	RFT – VEB Werk für Fernsehelektronik; Berlin-Oberschöneweide	381
7.11	Siemens-Halske; Berlin-Siemensstadt und München	391
7.12	Dr. Steeg & Reuter; Bad Homburg v.d.H.	402
7.13	Telefunken; Berlin-Zehlendorf *)	444
7.14	Telequarz; Neckarbischofsheim 2	447
7.15	VEB – Narva; Berlin, Ehrenbergstraße	457
7.16	Carl Zeiss; Jena	465
7.17	Die amerikanische Schwingquarz-Industrie *)	515
7.18	<i>Nachtrag:</i> FOQ Piezotechnik; Bad Rappenau	519
7.19	Werkstätten für Piezo-Technik *)	523

Achtes Kapitel

Schwingquarz-Museum Sindelfingen	524
---	-----

Epilog	529
---------------	-----

Anhang

<i>THE PIEZO-ELECTRIC RESONATOR</i> by W.G.Cady – 1921 (Faksimile)	534
--	-----

*) Diese Kapitel konnten nicht mehr fertig gestellt werden.

Index nicht erstellt.

Literaturhinweise im laufenden Text.

Bildverzeichnis:

Die Abbildungen stammen, soweit nicht anders vermerkt, aus der Sammlung von Heinz Claus.

Das Titelbild und die Fotos S.8; 4.42; 4.43; 4.46; 4.47; 4.48; 4.59, 5.18 (2); 5.36; 5.37; 5.38; 5.40 (2); 5.52; 5.59; 5.60; 6.1.16; 6.1.17; 6.1.18; 6.1.19; 6.1.20; 6.1.21; 6.1.22; 6.1.23; 6.1.24; 6.2.6; 6.2.9; 6.2.11; 6.2.12; 6.2.13; 6.2.14 (5); 6.3.3; 6.3.5; 6.3.7; 6.3.8; 6.3.9; 6.3.10; 6.3.11; 7.1.8; 7.2.19; 7.3.22; 7.2.23; 7.3.4 (2); 7.3.12; 7.3.15; 7.3.17; 7.3.18; 7.3.19 (2); 7.3.21; 7.3.22; 7.3.25; 7.3.27; 7.3.28 (2); 7.3.29 (2); 7.3.30; 7.3.32; 7.4.2; 7.4.7; 7.4.10; 7.4.11; 7.4.12; 7.4.13; 7.4.14 (2); 7.4.15; 7.6.4; 7.6.5; 7.6.13 (2); 7.6.14 (2); 7.6.15; 7.6.16; 7.6.17; 7.6.18; 7.6.19; 7.6.20; 7.7.9a; 7.7.11; 7.8.3; 7.8.4; 7.8.5; 7.8.14; 7.8.15; 7.8.17; 7.8.24; 7.8.25; 7.8.26; 7.8.27; 7.8.28 rechts; 7.8.29; 7.8.30 (2); 7.8.31; 7.8.32 (2); 7.10.7; 7.10.8; 7.10.9; 7.10.10; 7.11.2; 7.11.3; 7.11.5; 7.11.6; 7.11.8; 7.11.9; 7.11.11; 7.11.12; 7.11.13; 7.11.14; 7.11.15; 7.11.16; 7.11.17; 7.13.8; 7.13.9; 7.15.6; 7.15.7; 7.15.8; 7.15.9; 7.16.32; 7.16.33; 7.16.39; 7.16.41; 7.16.44; 7.16.46; 7.17.2–9; 7.19.1; 7.19.2 (3); 8.2; 8.3; 8.4; 8.6; S.53 sind von Adalbert Helwig

THE PIEZO-ELECTRIC RESONATOR*

By

W. G. CADY

(WESLEYAN UNIVERSITY, MIDDLETOWN, CONNECTICUT)

In the course of experiments with piezo-electric crystals, extending over a number of years, certain radio frequency phenomena were brought to light, the practical application of which appeared worthy of development. The two applications that seem most promising at present are (1) as a frequency-standard, and (2) as a frequency-stabilizer, or means of generating electric oscillations of very constant frequency. It is with these that this paper is chiefly concerned. The fundamental phenomena will first be described, followed by the mathematical theory, and finally an account of the applications will be given.¹

I. FUNDAMENTAL PHENOMENA

1. A plate or rod suitably prepared from a piezo-electric crystal, and provided with metallic coatings, can be brought into a state of vigorous longitudinal vibration when the coatings are connected to a source of alternating emf. of the right frequency. Under these conditions the plate reacts upon the electric circuit in a remarkable manner. Owing to the piezo-electric polarization produced by the vibrations, and to the absorption of energy in the plate, the apparent electrostatic capacity and resistance of the plate are not constant, but depend upon the frequency somewhat as does the motional impedance of a telephone receiver.² Over a certain very narrow range in frequency the capacity becomes negative. An analogy may also be drawn between the vibrating plate and a synchronous motor. The man-

*Received by the Editor, October 11, 1921. Presented before THE INSTITUTE OF RADIO ENGINEERS, New York, November 2, 1921.

¹Preliminary reports on this work have appeared in "The Physical Review," 17, page 531, 1921, and 18, page 142, 1921. The writer wishes to acknowledge the aid that he has received thru a grant from the American Association for the Advancement of Science.

²For an explanation of the motional impedance of a telephone receiver, see PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF RADIO ENGINEERS, volume 6, 1918, page 40.—Editor.

ner in which the reactions upon the circuit are utilized will be described below. It is necessary, however, to consider the theory of the phenomenon first.

II. PIEZO-ELECTRIC THEORY

2. Four decades have elapsed since the discovery of piezo-electricity by the Curie brothers, and the prediction of the converse effect by Lippmann, which the Curies promptly verified. During this time much has been accomplished, both theoretically and experimentally, in systematizing and extending our knowledge of the behavior of crystals under static mechanical or electric stress. Only in very recent years, however, has consideration been given to rapidly varying stresses in piezo-electric crystals.

Nicolson³ has had marked success in the use of suitably treated Rochelle salt crystals at telephonic frequencies, both as transmitters (direct piezo-electric effect) and as receivers (converse effect). The writer has also experimented with crystals at audio frequencies, but has devoted his attention chiefly to radio frequency vibrations in the neighborhood of the natural frequency of the crystal plates or rods.

We now summarize briefly those features of Voigt's theory of which we shall make use hereafter.⁴

When a piezo-electric crystal is mechanically strained, there results a dielectric polarization, the magnitude of which is proportional to the strain, and the direction and magnitude of which depend upon the direction of the strain and upon the class to which the crystal belongs. Except in the case of the class of crystals of lowest symmetry (triclinic), not all of the six components of strain are effective in producing a polarization. The higher the degree of symmetry, the smaller does this number become. Of the 32 classes, ten are devoid of piezo-electric properties.

The only two crystals the piezo-electric applications of which have hitherto been considered important are quartz and Rochelle salt; the latter, because it is far more strongly piezo-electric than any other crystal thus far examined; and quartz, because of its excellent mechanical qualities, which make it for most purposes decidedly preferable to Rochelle salt, in spite of its

³Nicolson, "Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers," 38, page 1315, 1919; "Electrical World," June 12, page 1358, 1920.

⁴For a more complete statement, see Voigt, "Lehrbuch der Kristallphysik," Leipzig, 1910; Graetz, "Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus," Leipzig, 1914, volume 1, page 342; or Winkelmann, "Handbuch der Physik," 1905, volume 4, part 1, page 774.

being only moderately piezo-electric. The present paper has to do only with quartz, tho obviously the theory applies to any piezo-electric crystal.

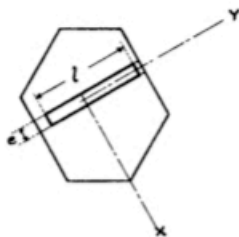


FIGURE 1—Section of a Quartz Crystal perpendicular to the Optical Axis

3. PIEZO-ELECTRIC PROPERTIES OF QUARTZ—Quartz belongs to the trigonal trapezohedral class of crystals. Figure 1 shows a cross-section of a quartz crystal, of which the Z-axis (optical axis) is perpendicular to the paper. The Y-axis is normal to two opposite prismatic faces. Owing to the threefold symmetry of quartz, the Y-axis may be drawn in any one of three directions 120° apart. The three X-axes (electric axes) are perpendicular to the Z- and Y-axes. For piezo-electric experiments, a plate is usually cut from the crystal with its length l , breadth b , and thickness e parallel respectively to the Y-, Z-, and X-axes. The two faces perpendicular to the X-axis are provided with conductive coatings, which may or may not be in actual contact with the quartz.

DIRECT EFFECT—If the plate is compressed in a direction parallel to the X-axis (*longitudinal effect*), the resulting polarization induces equal and opposite charges on the coatings, and the charges change sign with the pressure. Similarly, in the *transverse effect*, an endwise compression of the plate, parallel to the Y-axis, causes the coatings to become charged. A *compression* of the plate parallel with the X-axis causes a polarization in the same direction as an *extension* parallel with the Y-axis.

CONVERSE EFFECT—In terms of the *converse effect*, if the plate is polarized by an external electric field in the same direction in which it would become polarized by compression along the X-axis, it tends to contract along the X-axis and to expand along the Y-axis.

From what has been said, two important conclusions should

be borne in mind: first, that, in quartz, just as the *direct* effect may be produced by compression along either one of two directions (longitudinal and transverse effects), so both of these effects manifest themselves in connection with the *converse* effect; and second, that in both the direct and converse effects, a given strain is always associated with an electric polarization in the same direction and of the same algebraic sign.

SYMBOLS

$l, b, e,$	length, breadth, and thickness of quartz plate or rod.
$\epsilon, \delta,$	piezo-electric constant and modulus respectively. From section 11 on, a special meaning is attached to δ .
$M, N, g,$	equivalent mass, resistance, and stiffness of resonator.
$x,$	displacement of end of resonator.
$F,$	equivalent mechanical force on resonator.
$E,$	voltage impressed on circuit.
$V,$	potential difference across resonator.
$D,$	piezo-electric polarization in resonator.
$I, i,$	currents in coil and resonator branches, Figure 3.
$C_1,$	normal capacity of resonator, vibrations damped.
$C_2,$	capacity of tuning condenser.
$C_1', C_1'',$	equivalent series and parallel capacity of resonator.
$R_1', R_1'',$	equivalent series and parallel resistance of resonator.
$C_a,$	"apparent" capacity of resonator.
$C_t, R_t,$	equivalent series capacity and resistance of entire circuit, Figure 3.
$R_{12},$	equivalent series resistance of resonator and C_2 , together. When printed without subscripts, $x, F, E, V, D, I,$ and i denote instantaneous values. x_o and so on, denote maximum values.
$f,$	frequency.
$\omega,$	angular velocity = $2\pi f$. ω_o and f_o denote resonance values.

4. In the case of quartz, the general polarization-strain equations reduce to the following form:

$$P_1 = \epsilon_{11} x_x + \epsilon_{12} y_y + \epsilon_{14} y_z \quad (1)$$

$$P_2 = \epsilon_{25} z_x + \epsilon_{26} x_y. \quad (2)$$

P_1 and P_2 are X and Y components, respectively, of polarization (electric moment per unit volume), and the ϵ 's are the *piezo-electric constants*. x_x and x_y are, in Voigt's notation, the components of extension (elongation or contraction per unit length), and y_z and so on, the components of shearing strain.

If, instead of the components of strain, we have given the components of *stress*, (1) and (2) become

$$-P_1 = \delta_{11} X_x + \delta_{12} Y_y + \delta_{14} Y_z \quad (3)$$

$$-P_2 = \delta_{25} Z_x + \delta_{26} X_y. \quad (4)$$

The δ 's are the *piezo-electric moduli*, which are related to the piezo-electric constants ϵ by equations involving also the elastic constants.

As is evident from equations (2) and (4), the polarization P_2 is produced only by shears, which may be neglected in the present paper, as may also the third term in (1) and (3). Of the two remaining terms on the right-hand side of (1) and (3) the first expresses the longitudinal effect, the second the transverse effect.

We shall need also the following expressions for the *converse effect*, in which the stresses along the X- and Y-axis are given in terms of the X-component E_1 of impressed electric intensity:

$$-X_x = \epsilon_{11} E_1 \quad (5)$$

$$-Y_y = \epsilon_{12} E_1. \quad (5a)$$

The other stress-components are of no concern here. The equation (5) expresses the longitudinal effect, and (5a) the transverse. In the applications described in the present paper, only the *transverse effect* is utilized.

One more fundamental equation must be added, namely the strain-equation for the transverse converse effect, which is analogous to (5a):

$$y = \delta_{12} E_1 \quad (6)$$

According to Voigt's theory, in the case of the class of crystals to which quartz belongs, $\epsilon_{26} = \epsilon_{12} = -\epsilon_{11}$, $\epsilon_{25} = -\epsilon_{14}$, $\delta_{12} = -\delta_{11}$, $\delta_{25} = -\delta_{14}$, and $\delta_{26} = -2\delta_{11}$. Hence in all only two different numerical values of δ and ϵ have to be known, and of these only one occurs in the present investigation. The following values of ϵ_{11} and δ_{11} were determined by Riecke and Voigt:⁵

$$\epsilon_{11} = -4.77 \times 10^4, \quad \delta_{11} = -6.45 \times 10^{-8}.$$

The ϵ 's and δ 's as indeed all electric and magnetic quantities in this paper, unless otherwise stated, are in c. g. s. electrostatic units. As is evident from (1) and (2), ϵ has the dimensions of an electrostatic polarization, while from (3) and (4) it may be seen that δ has the dimensions of the reciprocal of an electric intensity. Hence

$$\epsilon = [k^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{1}{2}} T^{-1}], \quad \delta = [k^{\frac{1}{2}} M^{-\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}} T].$$

Other observers have obtained slightly different values for

⁵Voigt, previous citation, pages 869-870.

ϵ_{11} and δ_{11} . Fortunately, in the practical applications under consideration, the absolute values need not be accurately known.

III. THEORY OF LONGITUDINAL VIBRATIONS IN RODS

5. The theory of electric reactions of vibrating piezo-electric plates is a structure built upon two main piers. First, there is the fundamental piezo-electric theory which has just been set forth; and second, the theory of longitudinal mechanical vibrations in rods, which will now be briefly summarized. The "plates" which the writer uses are, as far as mechanical considerations permit, in the form of thin rods. The advantage of this procedure, in addition to economy of material, is that the fundamental vibration together with harmonics of considerable purity may be secured, free from the disturbing effects of other modes of vibration. The theoretical treatment is also greatly simplified.

In a paper which is to appear in "The Physical Review," the general theory of forced longitudinal vibrations in rods is developed. The characterizing feature is the insertion in the equations of a symbol representing the *viscosity* of the material composing the rod; for that property of the rod whereby it absorbs energy and damps its own vibrations is as important here as is the resistance in an oscillating electric circuit. It is possible to measure the actual value of the viscosity by a purely electrical method, at any desired frequency; this, as well as the effect upon the resultant viscosity of air friction and of restraints imposed by the method of mounting, need not concern us here. It is only necessary to remark that a successful piezo-electric resonator must be prepared and mounted as to reduce the damping to a minimum.

6. When an alternating emf. is applied to the metallic coatings of a rod of this sort, an alternating mechanical stress is set up in the rod in accordance with equation (5a), which is uniform throught the mass of the rod. In this statement we neglect the "edge effect" of the condenser formed by the quartz and its coatings. Considering the thinness of the quartz and its high dielectric constant—about 4.5—this procedure is justifiable as a first approximation. In the paper referred to above, it is shown that the vibrations are the same as if the rod had impressed upon its ends two alternating forces, numerically equal to the actual internal stress, of like amplitude but opposite phases, and it is on this basis that the theory of forced vibrations is developed.

The general equation of motion is

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = P \frac{\partial^2 \xi}{\partial u^2} + Q \frac{\partial^3 \xi}{\partial u^2 \partial t}. \quad (7)$$

ξ is the displacement, at the time t , of that cross-section of the rod whose undisturbed co-ordinate is u . P is defined by the equation $P = G/\rho$, where G is Young's modulus and ρ the density; P is therefore the square of the wave-velocity in absence of damping.⁶ For brevity, we call Q the "viscosity," and treat it as a constant of the material, implying thereby that it is independent of the frequency. Its possible dependence upon frequency can be tested experimentally. The dimensions of Q are $[L^2 T^{-1}]$.

7. In the paper referred to, equation (7) is solved, but its application to actual cases of forced vibration is somewhat cumbersome. It is, however, shown that, for the fundamental vibration in the neighborhood of resonance, the rod may be replaced by a fictitious "equivalent mass" M possessing one degree of freedom. The equation of motion then has the familiar form

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + N \frac{dx}{dt} + g x = F = F_0 \cos \omega t. \quad (8)$$

Here M is half the actual mass of the rod, or $M = \frac{1}{2} \rho b l e$. In place of Young's modulus G in (7) we use the "equivalent stiffness," $g = M \omega_0^2$, which is related to G by the equation $g = \pi^2 b e G / 2l$. This follows from the equation $\omega_0 = 2\pi f_0$, and $\sqrt{G/\rho} = 2l f_0$, $2l$ being the fundamental wave-length.⁷

x is the mechanical displacement at time t of the end of the rod, so that the actual elongation (or contraction) of the entire rod at any instant is $2x$.

M and g correspond to L and $1/C$ in an electric circuit hav-

⁶In crystalline media, the elastic constants depend, of course, upon the direction with respect to the axis of the crystal. Slight differences are found between individual crystals. Moreover, in the case of our rods, the elastic modulus is modified by lateral effects, unless the rod is extremely narrow, and by any discrepancy between the axis of the rod and the true Y-axis of the crystal. The effective value of G with the rods employed by the writer ranges from 8×10^{11} to 10×10^{11} . The value for quartz as given by Voigt is 8.51×10^{11} .

⁷Strictly, ω_0 is the angular velocity when the amplitude of the velocity of the equivalent mass M is a maximum under forced vibrations; it is also the free angular velocity in absence of damping. The maximum amplitude of equivalent displacement x (equation (10)) comes (under forced vibrations)

at the angular velocity $\sqrt{\frac{g}{M} - \frac{N^2}{2M^2}}$, while the angular velocity of free damped vibrations is $\sqrt{\frac{g}{M} - \frac{N^2}{4M^2}}$. The distinction between these three values may under ordinary circumstances be ignored.

ing concentrated, as contrasted with distributed, constants. N is the equivalent resistance, and bears to the viscosity Q the relation $N = \pi^2 \rho b e Q / 2l$. For the proof of this the paper on longitudinal vibrations must be consulted. F is the equivalent impressed force. If the actual stress acts thruout the entire length of the rod, it may be proven that F is twice the actual force at any cross-section, or $F = 2beX$, where X is the instantaneous stress. The expression for X in terms of the piezo-electric constant is given below, section 11.

We now write the steady-state solution of equation (8), which is of prime importance for the graphical method described in section 12:

$$x = x_o \sin (\omega t - \theta), \quad (9)$$

in which the maximum displacement is

$$x_o = \frac{F_o}{\omega \sqrt{N^2 + \left(\omega M - \frac{g}{\omega} \right)^2}}, \quad (10)$$

and

$$\tan \theta = \frac{\omega M - \frac{g}{\omega}}{N} = \frac{\pi (\omega - \omega_o)}{\omega_o \Delta} \quad (11)$$

approximately, since $g/\omega = \omega_o M$ very nearly, and the logarithmic decrement per period, Δ , is, as in the electrical analogy, $N/2fM$.

The power expended in maintaining vibrations, as in the case of the electrical analogy, is easily proved to be

$$p = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_o^2}{N} \text{ (ergs per sec.)} \quad (12)$$

The maximum stress when in resonance may easily become so great as to break the quartz rod. On the assumption that the distribution of stress is sinusoidal, being zero at the ends, and for the fundamental, a maximum at the center, we find that the maximum stress at the center is $\pi x_o G/l$, where x_o is half the maximum elongation of the rod of length l , and G is Young's modulus.

IV. THE RESONANCE CIRCLE

8. In applying the foregoing theory to investigations with piezo-electric resonators, it is advantageous to employ a graphical method, based on the properties of what may be called, for brevity, the resonance circle. In principle, this curve is similar to the "motional impedance" circle which has been used by

Kennelly and his collaborators in their studies of the telephone receiver.⁸

The equation of the curve in question is obtained by eliminating $\omega M - g/\omega$ between equations (10) and (11):

$$x_o = \frac{F_o}{\omega N} \cos \theta. \quad (13)$$

If ω were constant, this would be the polar equation of a circle passing thru the origin. In reality, as θ varies from -90° thru zero to $+90^\circ$, ω varies from zero to infinity. Nevertheless, when N is very small, as is the case with quartz, not only is the "diameter" of the "circle" in Figure 2 large, but that portion of the curve corresponding to the neighborhood of resonance comprises nearly the entire curve. For all other values of ω , θ is nearly equal either to -90° or to $+90^\circ$, so that with quartz, to the precision attainable by ordinary graphical methods, the curve cannot be distinguished from a perfect circle. The distortion of the curve owing to varying ω in Figure 2 is very greatly exaggerated in order to illustrate the principle.

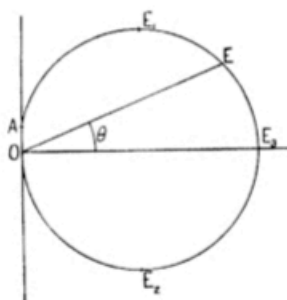


FIGURE 2—The Resonance Circle

OE represents one value of the modulus x_o , with the corresponding argument θ . It has been found most convenient to draw the maximum modulus OE_s horizontally to the right from the origin, and to lay off positive values of θ *below* the horizontal axis, so that *increasing frequency* is represented by a *clockwise* movement of the point E around the curve. Strictly speaking, the maximum modulus, $x_o = F_o/\omega N$, should be inclined slightly upwards, corresponding to a small negative value of θ . Here

⁸"Proc. Am. Acad. Arts and Sci.," 48, page 113, 1912; 51, page 421, 1915; "Proc. Am. Phil. Soc.," 54, page 96, 1915; 55, page 415, 1916. The circle diagram is also used by Hahnemann and Hecht, "Phys. Zeitschr.," 20, page 104, 1919, and 21, page 264, 1920, and by Wegel, "Journal of the American Institute of Electrical Engineers," 40, page 791, 1921.

again the damping in the case of quartz is so slight that the maximum is practically the line OE_3 .

OA represents the "amplitude" when $\omega=0$, that is, OA is the equilibrium elongation under static stress at zero frequency, and must therefore have the value $X_0 l/2G$. In the case of a typical quartz plate (Quartz Resonator N 2, to which further reference will be made), $3.07 \times 0.41 \times 0.14$ cm. ($1.21 \times 0.16 \times 0.055$ inch), the fundamental frequency of which is 89,870, the equilibrium elongation at either end under a potential difference of one electrostatic unit (300 volts) is 6.5×10^{-7} cm., while the maximum amplitude of vibration at either end is (by calculation) 0.0025 cm. (0.001 inch). Thus we see that OE is about 4,000 times as large as OA : in other words, the growth of amplitude at resonance is 4,000-fold.

For our purposes, the advantage of the resonance circle as outlined above is two-fold: the moduli OE , being proportional to elongations of the plate, are thereby also proportional to the piezo-electric polarization; and since the argument θ is a phase angle, the resonance circle can be incorporated into an ordinary alternating current vector diagram in studying the reaction of the plate upon the circuit. We now come to a consideration of the latter.

V. REACTION OF PIEZO-ELECTRIC RESONATOR UPON CIRCUIT

9. DESCRIPTION OF CIRCUIT—The circuit that I have most frequently used in these experiments is that shown in Figure 3.

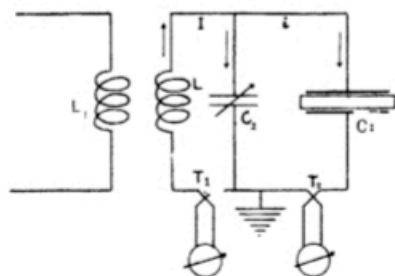


FIGURE 3—Resonator connected in a Secondary Circuit, with Thermo-elements for measuring Currents. The arrows indicate positive directions in the three branches

The main conclusions derived from the following paragraphs are, however, applicable to any circuit to which the resonator is likely to be connected. L_1 is a coil of about 5 millihenrys in

the anode circuit of a vacuum-tube generating set kindly loaned by the Western Electric Company, so designed as to minimize the effect of load upon frequency. The latter is an extremely important requirement, and was found to be admirably fulfilled. Loosely coupled to L_1 is the litzendraht coil L of 3 or 4 millihenrys, in parallel with which are the precision variable condenser C_2 (maximum 1,500 $\mu\mu\text{f.}$) and the piezo-electric resonator C_1 . Most of the quantitative work has been done with resonators about 3 cm. (1.2 inch) long, having frequencies around 90,000, corresponding to radio wave lengths of the order of 3,000 meters. References to other wave lengths will be made later, and also to the method of mounting C_1 . T_1 and T_2 are thermo-elements of resistances 4.5 and 2,810 ohms, respectively, T_2 being a Western Electric vacuum thermo-element. The thermo-elements are in Figure 3 represented as connected to separate galvanometers, but in practice a single Leeds and Northrup high-sensitivity galvanometer of 10 ohms resistance was employed, provided with a change-over switch and suitable shunts. It was thus possible, at each frequency used, to measure the current I in the coil, and the current i flowing to the resonator. C_2 was provided with a worm gear for fine regulation, and readings were taken by means of a lamp and calibrated scale, a mirror being mounted on the condenser handle. By means of a specially constructed parallel-plate air condenser with micrometer control in the generating circuit an extremely fine regulation of frequency was possible. The voltage induced in L was practically constant over the small range in frequency involved.

10. The most instructive data are obtained by observing C_2 , I , and i at a number of frequencies, and plotting the results as in Figure 6. These curves will be further discussed in section 15. At each frequency, C_2 is varied until either I or i is a maximum.

At a certain critical frequency, the absorption of energy by the resonator is so great that the coil-current I falls almost to zero, even when C_2 is at its most favorable setting, as represented in Figure 6. Any change in C_2 causes I to decrease still more: but a slight change in frequency causes I to increase enormously, showing that the mechanical tuning of the resonator is very much sharper than the electrical tuning of the circuit. At this point, then, I is a maximum with respect to C_2 , but a minimum with respect to f .

Further consideration of Figure 6 will be deferred until the theory of the resonator's reactions has been given.

11. THEORY OF THE REACTIONS—We assume that an emf.

$E_o \cos \omega t$ is impressed upon coil L , Figure 3, E_o being constant at all frequencies. Let V represent the instantaneous potential difference across C_2 and C_1 , which, of course, varies with frequency, and R the combined resistance of L and T_1 . The capacity of the coil should be included in C_2 . The impedance of C_1 is so great that the resistance of T_2 may, as a first approximation, be neglected. We then have

$$E = E_o \cos \omega t = V + L \dot{I} + R I. \quad (14)$$

The link between this equation and that for the vibration of the resonator is the quantity V . For the electric field in the quartz has the value V/e , where e is the thickness of the quartz; and by equation (5b), the mechanical stress is $X = \epsilon V/e$. From section 7, we see that the value of the equivalent force F in equation (8) must be $F = 2 b e X = 2 \epsilon b V$. Equation (8) may, therefore, be written thus:

$$2 \epsilon b V = M \ddot{x} + N \dot{x} + G x. \quad (15)$$

Next, we consider the components of polarization within the resonator. Let D_1 represent the component due to the potential difference between the coatings. If this p. d. is V , and if the air-gaps between coatings and crystal be neglected, then D_1 is the ordinary displacement in the dielectric, as given by the equation $D_1 = k V / 4 \pi e$. k , the dielectric constant of quartz, has the value 4.5, approximately.

A second component of electric polarization, that which is responsible for all the effects described in this paper, is caused by the deformation of the resonator. Using the same notation as heretofore, we assume that at any given instant the p. d. across the resonator is V , and that the total elongation (difference, + or -, between instantaneous length and normal length) is $2x$. Of this elongation, a portion, say $2x_1$ is that which would be produced under static conditions with a constant potential-difference V . This portion is the "equilibrium elongation," and exerts no reaction upon the circuit. The value of $2x_1$ may be derived from (6) thus:

$$y_y = \delta_{12} E_1 = \delta_{12} \frac{V}{e}.$$

Further, we have the fundamental relation $2x_1 = l y_y$, hence $2x_1 = \delta_{12} V l / e$. x_1 is readily seen to be the same as the $O A = X_o l / 2 G$ in section 8, since by Hooke's law $y_y = X_o / G$. That portion of the total elongation $2x$ which is due to the vibrations, and therefore, effective in producing an electric reaction, is $2x - 2x_1$. Applying equation (1) (only the second term on the

right side of which remains, since x_x and y_z do not appear) to this elongation, we find $P_1 = 2 \epsilon_{12} (x - x_1)/l$, or, writing D in place of P_1 , dropping the subscript from ϵ_{12} , replacing $2 x_1$ by its value above, and letting δ represent the quantity $\delta_{12} l/e$,

$$D = \frac{\epsilon}{l} (2x - \delta V). \quad (16)$$

At frequencies sufficiently removed from resonance, $2x$ may be so small as to be even less than δV ; but with quartz, in the neighborhood of resonance, the static elongation δV is negligible, as stated already in section 8.

Equations (14), (15), and (16) contain four unknown quantities, namely: V , I , x , and D . The fourth equation necessary to a solution of the problem is found either in the expression for the resonator current:

$$i = bl(\dot{D}_1 + \dot{D}) = C_1 \dot{V} + bl \dot{D}, \quad (17)$$

or preferably that for the coil current:

$$I = C_2 \dot{V} + i = C_2 \dot{V} + bl(\dot{D}_1 + \dot{D}) = (C_1 + C_2) \dot{V} + bl \dot{D}. \quad (18)$$

Equation (18) follows from Kirchhoff's first law.

These equations are simply expressions of the principles that current is time-rate of change of dielectric flux, and that the polarization in C_1 has the two components D_1 and D discussed above. Dielectric flux is of course polarization times area bl .

From equations (14), (15), (16), and (18) a single differential equation of the fourth order may be formed, giving x as a function of time in terms of impressed voltage E and the circuit constants. A much more convenient and satisfactory procedure, exhibiting at a glance all the characteristic phenomena, is the graphical method now to be described.

12. GRAPHICAL METHOD OF SOLUTION—We shall construct a vector diagram showing quantitatively not only the current and voltage components and their phases, but the effective capacity and resistance of the resonator at any frequency as well. Our starting-point is the resonance circle described in section 8. For the purpose of this paper it is amply accurate to regard the curve as a true circle, letting the distance OA , Figure 2, equal zero, and neglecting the second term in equation (16). Equation (16) then reduces to

$$D = \frac{2 \epsilon x}{l}, \quad (19)$$

or, in terms of maximum values,

$$D_o = \frac{2 \epsilon x_o}{l}. \quad (19a)$$

D is thus approximately proportional to x ; in other words, the resonance circle is applicable also to the piezo-electric polarization D , and consequently to the piezo-electric flux in the resonator, Dbl .

The first problem before us is, to represent I graphically as the vector sum of the two terms in equation (18). This involves, in the first term, the phase-angle of V , which is not yet known. We therefore write V in the form

$$V = V_o \cos(\omega t - \gamma), \quad (20)$$

leaving γ to be determined later. The derivative is

$$V = -\omega V_o \sin(\omega t - \gamma).$$

For the second term in (18), we have the following relations, from equations (9) and (19), together with (15) and (20):

$$\begin{aligned} b l \dot{D} &= 2b \epsilon \dot{x} = 2b \epsilon \omega x_o \cos(\omega t - \gamma - \theta) \\ &= 2b \epsilon \omega V_o x_o' \cos(\omega t - \gamma - \theta). \end{aligned} \quad (21)$$

x_o' equals x_o/V_o , and is therefore the amplitude of vibration per unit maximum potential difference. Similarly, D' and I' will signify D/V_o and I/V_o , respectively. Hence equation (18) may be expressed thus:

$$\begin{aligned} \frac{I}{\omega V_o} = \frac{I'}{\omega} &= -(C_1 + C_2) \sin(\omega t - \gamma) \\ &\quad + 2b \epsilon x_o' \cos(\omega t - \gamma - \theta). \end{aligned} \quad (22)$$

In Figure 4, the two terms on the right-hand side of equation (22) are represented by the vectors Oq and OE , respectively. OX is the positive direction corresponding to $\sin(\omega t - \gamma)$, and OY that corresponding to $\cos(\omega t - \gamma)$. The moduli Oq and OE are assumed equal to $-(C_1 + C_2)$ and $D_o' bl = 2b \epsilon x_o'$, respectively.⁹ As ω varies, Oq remains constant (unless C_2 is altered), while the point E describes the resonance circle. The half of the circle to the left of OY in Figure 4 is the low-frequency side, for which θ is negative. OA is thus the vector representing I'/ω , and the modulus OA is equal to the maximum value I_o'/ω .

Our graphical construction so far has been based upon equations (15), (16), and (18). We will now make use of (14) in order to make the transition from I' to I . Since this involves only multiplying I' by ωV_o , the argument $\theta_2 = \angle XOA$ remains unchanged. We have

$$I' = I_o' \sin(\omega t - \gamma + \theta_2), \quad (23)$$

⁹If the material and construction of the resonator are such as to make the retention of the second term ∂V in equation (16) desirable, it is only necessary to shift the center of the circle in Figure 4 to the left by an amount equal to ∂bl , leaving all else unchanged. In the problem of the telephone receiver, the analogue of the term ∂V is Kennelly and Affel's "damped impedance" ("Proc. Am. Acad. Arts & Sci.," 51, page 423, 1915).

and find, by substitution of (20) and (23) in (14), and division by $\omega^2 L V_o$,

$$\frac{E}{\omega^2 L V_o} = \frac{E_o}{\omega^2 L V_o} \cos \omega t = \frac{1}{\omega^2 L} \cos(\omega t - \gamma) + \frac{I_o'}{\omega} \cos(\omega t - \gamma + \theta_2) + \frac{R I_o'}{\omega^2 L} \sin(\omega t - \gamma + \theta_2). \quad (24)$$

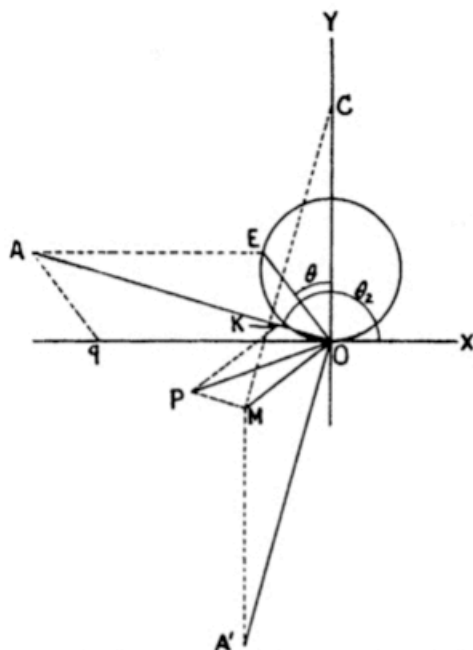


FIGURE 4—Vector Diagram for Determination of Current I

The advantage of this form is, that the second term on the right-hand side is, as we have seen, already represented by the vector OA in Figure 4. If now we lay off $OC = 1/\omega^2 L$ along OY , $OA' = OA$, $\angle AOA' = 90^\circ$, and $OK = R \cdot OA/\omega L$, we see that the three terms on the right of equation (24) are correctly represented by the three vectors OC , OA' , and OK , respectively. The resultant of OC and OA' is OM , and the final resultant is OP . By (24), the modulus OP is therefore equal to $E_o/\omega^2 L V_o$, and $\gamma = \angle POC$. These operations might of course be performed analytically, but the graphical method is rapid, and amply accurate.

If the frequency is too low for the resonator to vibrate perceptibly, OE is practically zero, $Oq > OC$ (that is, $C_1 + C_2 > 1/\omega^2 L$), and, if R is small, OP is directed nearly vertically down-

ward and OA to the left, indicating the usual lead of nearly 90° if the circuit is tuned electrically to approximately the frequency of the resonator. At frequency f_o (natural resonator frequency), the angle POA (phase angle between E and I) may be positive, zero, or negative, depending upon the value assigned to the known capacity C_2 .

The actual value of I is not shown directly on the diagram. It may, however, be found as follows. We have, from statements made above,

$$V_o = \frac{E_o}{\omega^2 L} \cdot \frac{1}{OP}, \quad (25)$$

and

$$I_o = I_o' V_o = \frac{E_o}{\omega L} \cdot \frac{OA}{OP}. \quad (26)$$

13. The construction of the vector diagram may be simplified, and its range of application extended, by the following modification, shown in Figure 5. First we draw the resonance circle to the same scale as in Figure 4, namely with modulus $OE = 2b \epsilon x_o'$, but with the angle θ laid off, as in Figure 2, from OX instead of from OY . $Oq = C_1 + C_2$, where C_2 may have any value. Draw EA and qA parallel to Oq and OE , respectively; also PC perpendicular to OA , letting $PC = R \cdot OA / \omega L$. Draw AP , cutting OC at V . By comparison with Figure 4 we see at once that the phases of X , V , E , and I are given by the directions of OE , OY , AP , and TP , respectively, and that

$$\theta_2 = \angle AOY' \quad (27)$$

$$\gamma = \angle AVO \quad (28)$$

$$V_o = \frac{E_o}{\omega^2 L} \cdot \frac{1}{AP} \quad (29)$$

$$I_o = \frac{E_o}{\omega L} \cdot \frac{OA}{AP}. \quad (30)$$

The entire diagram is determined by the electric constants and the characteristic resonance circle of the resonator. From the above equations, V_o and I_o and their corresponding phases may therefore be found for any frequency, in terms of the impressed E_o . A comparison of these theoretical values with those derived from observation can then be made, as will be seen in section 15. For the present it need only be remarked that, as the point E travels around the circle clockwise (increasing frequency), V_o and I_o pass thru a minimum, which is more pronounced the smaller the value of R , that is, the shorter the line

PC . The range in ω is usually so small that the distance OC may be given a mean value, practically independent of frequency.

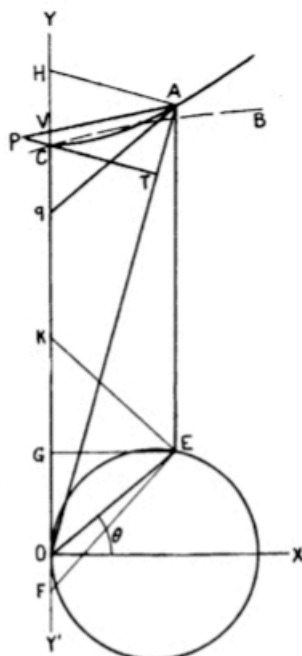


FIGURE 5

Vector diagram showing reactions of resonator upon electric circuit. Summary of relations derived from this diagram:

$$\begin{array}{llll}
 OE = D_o' b l & I_o = \frac{E_o}{\omega L} \cdot \frac{OA}{PA} & C_1' = FK & R_1' = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{EG}{FE^2} \\
 OC = \frac{1}{\omega^2 L} & i_o = \frac{E_o}{\omega L} \cdot \frac{FE}{PA} & C_1'' = FG & R_1'' = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{EG} \\
 Oq = C_1 + C_2 & Z_1 = \frac{1}{\omega \cdot EF} & C_t = OH & R_{12} = \frac{1}{\omega \cdot OC} \cdot \frac{CT}{OA} \\
 V_o = \frac{E_o}{\omega^2 L} \cdot \frac{1}{AP} & C_1 = OF & C_a = Hq + OF & R_t = \frac{1}{\omega \cdot OC} \cdot \frac{PT}{OA}
 \end{array}$$

14. We will next consider the graphical solution for the case of greatest practical importance, namely that in which C_2 at each frequency is adjusted to such a value as to make the current I a maximum. We will call this the *condition of I -resonance*. In an ordinary resonance circuit this would mean simply bringing I into phase with E . But when the piezo-electric resonator is present, we must proceed as follows. From equation (30), since over the range considered ω is nearly constant, it is evident that I_o will be a maximum when C_2 is so adjusted as to make the ratio

OA/AP a maximum. That is, since $Oq = C_1 + C_2$, that location of q on the line OY must be found for which OA/AP is a maximum, subject to the condition that, for any given frequency, E is fixed and AE must remain parallel to OV . The point C is fixed, since $OC = 1/\omega^2 L$, and PT remains always perpendicular to OA . It is easily proven that *A must lie on one branch of a rectangular hyperbola, as shown in Figure 5, the center of which is midway between C and O.* The hyperbola, which will usually be rather flat, is readily drawn when two or three of its points have been determined by simple geometrical construction. Therefore, when the circuit is at every frequency tuned to resonance by maximum I , the construction consists simply in drawing a line from E parallel to OV , meeting the hyperbola at A ; and then drawing Aq parallel to EO . Thus we find, *not only the resonant current, but the corresponding capacity $C_2 = Oq - C_1$, as well.*

15. We will next examine the graphical construction for the resonator-current i , and from it find the effective capacity and resistance of the resonator. The starting-point is equation (17), and the method exactly similar to that by which the vector representation of I_o (see equation (30)) was derived from equation (18). We therefore pass at once to the result:

$$i_o = \frac{E_o}{\omega L} \cdot \frac{FE}{PA}. \quad (31)$$

This differs from equation (30) only in that in place of OA we have FE , the resultant of OF and OE . The point F is taken such that $OF = C_1$, while, as has been shown above, $OE = D_o' bl$. The vectors OF and OE correspond to the two terms on the right side of equation (17). In the case of a good resonator, OF is small in comparison with the diameter of the circle.

The resonator current i leads the potential difference V by the angle $FE G$; G being the foot of the perpendicular from E upon OV . This angle, when out of resonance, becomes 90° corresponding to the fact that the resonator is then a simple condenser, and absorbs no energy. The *maximum* of i would, if V were constant, come practically at that frequency for which FE is a maximum. But, as has been seen, V varies in a manner determined in part by the arbitrary variation of the condenser C_2 . Hence the variation of i with frequency depends upon C_2 , that is, upon the distance Oq . If C_2 is varied in such a manner as to keep I a maximum at each frequency ("*I-resonance*," section 14), then A , the operating point for the current I , lies on the

hyperbola CA , and the value of PA to substitute in (31) in determining i_o is that shown in Figure 5.

In Figure 6 are shown the results of a series of observations made with quartz resonator N 2, already mentioned in section 8.¹⁰ The arrangement shown in Figure 3 was used, the circuit being adjusted for the condition of I -resonance at each frequency by means of C_2 . Values of C_2 , I , and i are plotted as functions of

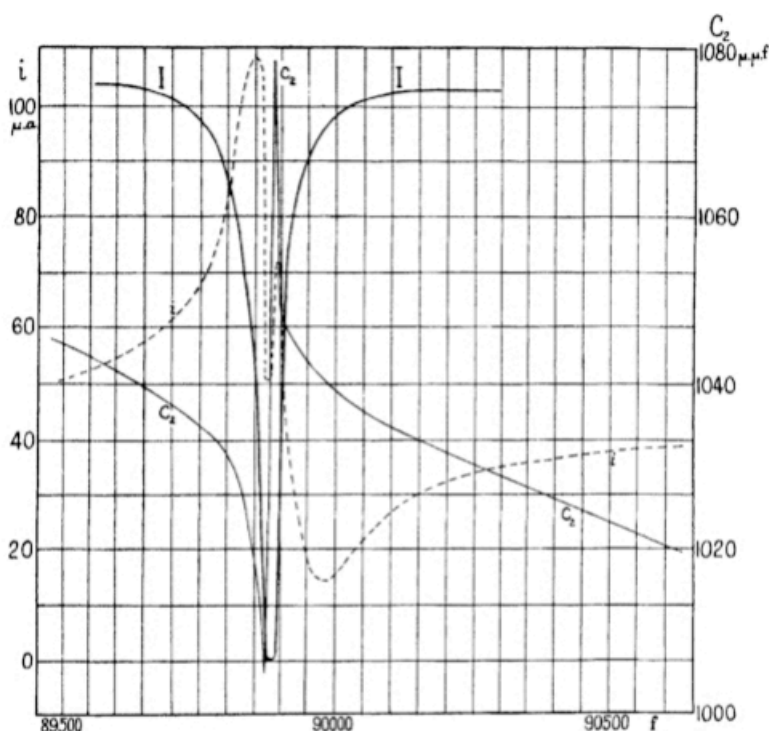


FIGURE 6—Characteristic curves of piezo-electric Resonator N2. The values of current I in micro-amperes are obtained by multiplying by fifty the ordinates of the I -curve, expressed in terms of the i -scale

frequency. The minimum and maximum of C_2 correspond to the lowest and highest positions of the point q in Figure 5. The minimum of I comes at a frequency between the frequencies for maximum and minimum C_2 , as it should according to theory (see equation (30)). Attention is directed especially to the sharpness of resonance, and to the practical extinction of the current I at resonance. This suggests a possible application of the resonator as a wave-filter.

¹⁰ These observations, which required no little patience and skill, were made by Mr. T. Fujimoto.

The form of the i -curve is more complicated, since the resonator current, as is seen by inspection of equation (31), depends essentially upon both FE and PA . As the point E travels around the resonance circle, the variations in FE and PA are such that i passes thru two maxima and two minima. The i -curve in Figure 6, which is based on direct observation, is in full agreement with the theory.

The values of C_2 shown in Figure 6 are for the variable condenser alone, uncorrected for the capacity of the coil, which was about $20 \mu\text{mf}$.

By constructing the resonance circle as indicated in section 19, the equivalent parallel capacity of the resonator may be found according to equation (36). For resonator N2 the maximum value is 41.5 , minimum $-32.5 \mu\text{mf}$. The normal value is $4.5 \mu\text{mf}$. The logarithmic decrement is 0.00066 .

Figure 5 is essentially a diagram of admittances, each vector having the dimensions of a capacity. In this sense the resonance circle represents what may be termed the *motional admittance* of the resonator.

One interesting deduction from Figure 5 is that when C_2 is adjusted for I -resonance or for i -resonance, as long as the resonator is vibrating, the current I lags behind E by the angle APT (see section 12). In other words, the resonator load is not capacitive, but *inductive*. This is also made evident by the large value of the total equivalent capacity C_t (equation (38)) of the circuit, since by Figure 5, OH is always larger than OC , which latter represents $1/\omega^2 L$.

If one were to take the difference between the value of C_2 with resonator vibrating and that with the vibrations damped, setting for I -resonance in each case, this difference would not be a measure of the capacity of the resonator, since the phase of the current would be different in the two cases. The difference between the two C_2 values would be Cq in Figure 5; it passes thru positive and negative values in a manner similar to C_a and C_1'' (sections 17 and 18).

16. THE CONDITION OF i -RESONANCE—In section 10 it was stated that C_2 might be varied in such a way as to keep the resonator-current i a maximum at each frequency. Altho the settings of C_2 in this case differ only slightly from those required for I -resonance, the distinction must not be overlooked. It will be remembered that the hyperbolic locus CA of the operating point A was derived from the condition that OA/AP in equation (30) should be a maximum. In the present case, for i -reson-

ance, we must find a locus for A such that FE/PA in (31) shall be a maximum (ω may be regarded as practically constant over the narrow range involved). Since FE depends only on ω , it follows that i_o is a maximum when PA is a minimum, that is, when PA is perpendicular to AE . It is not difficult to prove that under these conditions the locus of A is not a hyperbola, but a *parabola*, with its axis horizontal and midway between O and C , and its vertex to the left of OC by a distance equal to $OC^2/4PT$. The dotted line CB in Figure 5 represents that portion of the parabola which comes into play here. Its closeness to the hyperbola CA shows how nearly identical the two types of resonance are, especially when OC is relatively large (L small, C_2 large). When the parabolic arc CB has been drawn, the value of i_o is easily computed for any frequency.

By using a variometer for L , it would of course be possible to leave C_2 fixed and tune for electrical resonance by varying L . This would lead to a different graphical construction, offering no special advantage.

17. EQUIVALENT RESISTANCE AND CAPACITY OF RESONATOR—

These are found by forming the expressions for impedance and admittance, which are then resolved into their R and X components. Since we are dealing with ratios, it is unnecessary to transform maximum into effective values of current and voltage.

Considering first the resonator alone, we have, for any frequency $\omega/2\pi$, the maximum current given by equation (31), and maximum potential difference by (29). Hence the impedance Z_1 of the resonator is evidently

$$Z_1 = \frac{V_o}{i_o} = \frac{1}{\omega \cdot FE}. \quad (32)$$

The angular relations are those of the triangle $FE G$, Figure 5. Hence we have (still using electrostatic units) for the *equivalent series resistance R' and capacity C' of the resonator*

$$R_1' = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{EG}{FE^2} \quad (33)$$

$$C_1' = \frac{EF^2}{FG} = FK, \quad (34)$$

the line $E K$ being drawn perpendicular to EF . C_1' becomes infinitely great at resonance.

For some purposes the *equivalent parallel resistance R_1'' , and capacity C_1''* , are more useful. They are found by taking the reciprocal of Z_1 (admittance), still using the triangle $FE G$. By writing the expressions for conductance and susceptance we have

$$R_1'' = \frac{1}{\omega \cdot EG} \quad (35)$$

$$C_1'' = FG. \quad (36)$$

The last equation is noteworthy, as it makes the variation of equivalent parallel capacity with frequency evident from a glance at Figure 5. These four expressions for resistance and capacity depend only on the resonator, and not at all upon the rest of the circuit.

18. EFFECT OF RESONATOR UPON CONSTANTS OF CIRCUIT—

We seek expressions, in terms of vectors in Figure 5, for the following quantities: equivalent series resistance R_t and capacity C_t of entire circuit; equivalent series resistance R_{12} of the resonator and C_2 together; and the *apparent* capacity C_a of the resonator, this being defined as the difference between C_t and C_2 .

The method is similar to that followed in section 17. From equation (30) we find the impedance of the entire circuit to be $Z_t = E_o/I_o = \omega L \cdot AP/OA = AP/\omega \cdot OC \cdot OA$, since $OC = 1/\omega^2 L$. From the statement in section 13 respecting phase angles it is evident that our impedance triangle is similar to the triangle ATP in Figure 5. By resolving Z_t into components we readily find that

$$R_t = \omega L \cdot \frac{PT}{OA} \quad (37)$$

$$C_t = \frac{OC \cdot OA}{OT} = OH. \quad (38)$$

H is the intersection of OC with a perpendicular erected on OA at A . Now remembering that $Oq = C_1 + C_2$, and $C_1 = OF$, we see at once that the *apparent capacity* C_a of the resonator is

$$C_a = C_t - C_2 = OH - Oq + OF = Hq + OF \quad (39)$$

The apparent capacity of the resonator thus differs from both the equivalent series and the equivalent parallel capacity of the resonator alone, being a function also of C_2 . The excess of C_a over C_1'' is greater the smaller the value of C_2 .

The equivalent series resistance R_{12} of C_2 and the resonator is of importance, because it represents the increase in effective resistance of the circuit brought about by the absorption of energy in the resonator. It may be computed by the familiar method from C_2 , C_1'' and R_1'' , but more simply by writing $R_{12} = R_t - R$. Using the graphical representation of R given in section 13 we find

$$R_{12} = \frac{1}{\omega \cdot OC} \cdot \frac{CT}{OA}. \quad (40)$$

Since OA does not vary greatly over the range of resonance,

R_{12} is evidently greatest when $C T$ is greatest, that is, when $O E$ in Figure 5 is a maximum (mechanical resonance). By substituting the appropriate values in (40), the value of R_{12} may be computed and compared with that derived from observation.

All the results in sections 17 and 18 are entirely independent of the question of electrical resonance, and hold for all values of C_2 and L .

Thus we see that the performance of the resonator is completely described in terms of the resonance circle and the accompanying vectors in Figure 5.

19. APPLICATIONS OF GRAPHICAL METHOD—Besides the purpose that it serves in connection with the experimental test of the theory, the graphical method is useful in predicting the performance of the resonator in any circuit to which it may be connected, and also in finding the coefficient of viscosity Q of the material of the resonator.

In testing the theory, it must be stated at the outset that, owing to our ignorance of the actual amplitude of vibration x_o of the ends of the resonator, and owing also to the fact that we are not certain of the precise value of the piezo-electric constant ϵ , especially at radio frequencies, the diameter of the resonance circle must be found indirectly from the electrical data. A check on this could be obtained if x_o could be measured, and on the other hand observation of x_o could be employed for finding ϵ at high frequency. I hope soon to undertake the measurement of x_o with the aid of an interferometer. There are several possible ways of determining the resonance circle, based on observations of I , i , and C_2 , in some cases inserting also a known resistance in series with L . Only one such method need be described here.

In this method we adjust C_2 to satisfy the condition of I -resonance at each frequency. Let it be recalled that the point A in Figure 5 then lies on the hyperbola CA ; that qA is equal and parallel to OE ; and that $Oq = C_1 + C_2$. As the impressed frequency passes thru resonance, E travels around the circle, and Oq passes thru a minimum, followed by a maximum. The points on the resonance circle corresponding to these two values of Oq are those points where the hyperbola CA , if moved vertically downward parallel to itself, would be tangent to the circle. Conversely, if the two values of Oq are known from observations of C_2 , the circle fulfilling the above requirements is easily determined.

The same method may also be applied by adjusting C_2 at each frequency so as to satisfy the condition of i -resonance.

Exactly the same procedure is followed, save that the parabola CB , Figure 5, is used in place of the hyperbola CA . This has its advantages, inasmuch as, when R is made as small as possible, the parabola becomes practically a horizontal straight line. The points on the circle corresponding to the maximum and minimum values of C_2 are then the "quadrantal points" E_1 and E_2 , Figure 2, for which $\tan \theta = \pm 1$.

By observing the frequency corresponding to any point on the circle for which θ is known, for example the point of tangency with a hyperbola mentioned above, or one of the quadrantal points, we may find the decrement Δ in equation (11). Having found Δ , the value of ω for any θ is easily computed. The theoretical value of C_2 , i , or I for any frequency may then be found by construction.¹¹

VI. CONSTRUCTION OF RESONATORS

20. It was found in the early stages that strongest and most constant results were obtained when the crystal plate was placed between and not quite touching the metallic coatings. For the latter small flat plates of brass are now used, of the same size as the crystal or somewhat shorter.¹² Light contact between quartz and brass at one or two points is, for most purposes, of no consequence. The quartz rod may be supported by a thread tied about its center, or balanced on edge upon a small block. Successful tests have also been made with a quartz rod or plate silvered on both sides. It is easy to deposit chemically a coating of silver sufficiently thick for the electrical effects, without decreasing the frequency more than one or two tenths of a per cent. The advantages of this method are not sufficient, however, to offset the difficulty of making an electrical contact with the silver that is both permanent and delicate.

For a portable unit, the best method of mounting is to let the crystal plate lie in a small pocket in which it is just free to vibrate. The sides of the pocket are formed by the brass "coatings," the

¹¹In the paper on longitudinal vibrations already mentioned, it is proved that $\Delta = \pi \omega Q/c^2$, where c , the wave velocity, equals 4×10^8 ft/sec for the fundamental vibration. Thus by finding Δ we can compute the coefficient of viscosity Q . It is planned to deal with this more fully in a later paper. Due regard must of course be paid to air-friction.

¹²When the metallic coatings are shorter than the crystal, the behavior of the resonator is qualitatively unchanged. The consequent small modifications to the theory are easily made, if needed. Strictly, a correction should also be made in the theory on account of the air-space between crystal and the coatings. This is not so simple a matter. Fortunately the essential performance of the crystal is not altered, except in intensity, by the air space, and for quantitative tests of the theory, it is possible so to mount the rod as to make the air-space negligible.

bottom is of glass, and the ends of bakelite or hard rubber. By its own vibrations the plate keeps itself sufficiently free from contact with sides and ends, while any particles of dust on which it may rest serve as roller bearings to reduce friction with the bottom of the pocket.

Figure 7 shows a partially completed unit containing four plates, of which the longest is about 3 cm. (1.2 inch) in length. To the left is seen a small resonator containing one 3 cm. plate.

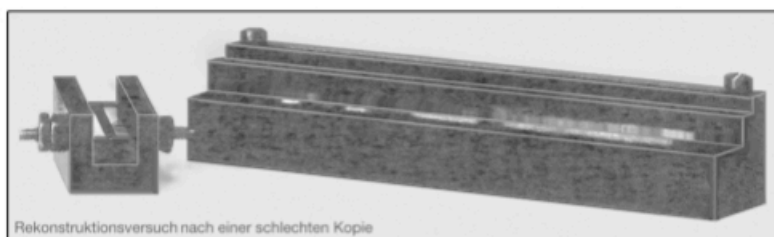


FIGURE 7—Quartz Resonators. Left: a single unit, mounted, for 3,040 m. Right: partially completed mounting for four quartz plates, which are seen lying on the front edge of the bakelite base. The wave-lengths are approximately 3,000, 1,200, 500, and 400 meters. These plates will stand on edge on the glass strip immediately behind them, having as one common "coating" the long brass bar which rests on the glass. The four individual "coatings," and the spacers to keep the quartz plates in place, are not shown.

21. THE CONSTANTS OF QUARTZ are such that the radio wave length in meters is roughly 100 times the length of the resonator in millimeters (2,500 times the length in inches). Concerning the relative dimensions of the crystal plates, the following are determining factors, which follow directly from the theory. Since all the essential phenomena are proportional to the diameter of the resonance circle as drawn in Figure 5, and since this diameter (compare section 13) contains the width b of the plate as a factor, it follows that b should be large. The limit to the width of the plate is set by the fact that disturbing modes of vibration enter in when the plate is not relatively narrow. In practice, the best value of the ratio l/b has been found to vary from 2 for the smallest plates (length about 2 mm. or 0.08 inch) to 10 or 20 for the largest. Thin plates are always an advantage, since for same voltage the electric field in the quartz is then more intense.

If the air-space is increased, or if the ends of the quartz extend far out beyond the brass coatings, the frequency is slightly raised. In order to understand this, one should compare the polarized plate with a short, wide bar magnet. When the coatings are close to the quartz, they and the associated circuit are

analogous to a massive yoke of highly permeable material, allowing the induction to attain the greatest possible value. As the air gap increases, the plate partially depolarizes itself, owing to the turning back of some of the lines of electrostatic induction that are produced by its state of strain. The piezo-electric action of this depolarizing component is always to tend to make the plate regain its normal form; that is, the effective value of Young's modulus is larger, the greater the air gaps. In the most extreme case hitherto observed, the increase in frequency when the coatings, originally touching the quartz, were entirely removed, amounted to about 0.6 per cent. Hence no perceptible inaccuracy need be feared from this direction. Data at present available indicate that the frequency of the larger quartz resonators, when permanently mounted, is constant at least to within one part in 10,000. The quartz-steel resonators are subject to a small correction for temperature, amounting to about 0.01 percent decrease per degree centigrade.

The decrement of the resonator is easily proven to be independent of its cross-section, but directly proportional to the frequency. Resonators for large wave lengths are therefore more efficient and more sharply tuned than those for short waves. This statement assumes that the viscosity Q is constant. The larger resonators are for this reason much more in danger of fracture from excessive voltage. It is doubtful whether a good resonator for 3,000 meters will stand safely as much as 50 volts at the resonant frequency.

The *electrostatic capacity* of the resonators varies from a few micro-micro-farads down to a small fraction of a $\mu\mu\text{f}$.

22. QUARTZ-STEEL RESONATORS—For the longer wave lengths used in radio it will hardly be possible to secure sufficiently long quartz rods. The writer has used quartz up to about 4,000 m. (length of rod about 4 cm. or 1.6 inch), and beyond this has had good results with flat rods of tool steel or invar, excited to longitudinal vibration by means of small quartz plates cemented to the sides with solid shellac. The wave velocity in steel is not very different from that in quartz. For a 10,000 m. resonator, a steel rod about $95 \times 9 \times 3$ mm. ($3.71 \times 0.35 \times 0.12$ inch) is used, quartz plates about $9 \times 10 \times 1$ mm. ($0.35 \times 0.39 \times 0.04$ inch) being cemented to each side at the center, as shown in Figure 8. The steel itself forms one "coating," the quartz plates being so placed that the same polarity of each faces the steel. The other coatings are of tinfoil, to which fine wires are soldered and connected in parallel. The decrement of this combination is not very differ-

ent from that of the larger quartz resonators. A small hook is screwed into the steel at the exact center, between the quartz plates, to serve as a suspension and as one terminal of the resonator, leaving the rod free to vibrate at its fundamental frequency. Thru the action of the transverse effect the quartz rods expand and contract when connection is made to an alternating current supply, causing an alternating condensation and rarefaction at the center of the steel rod, whereby the longitudinal vibrations are excited. The frequency is essentially that of the steel rod, and the electric reactions take place exactly as with the quartz resonators, with an intensity sufficient to produce a strong response.



FIGURE 8—Steel resonator, the exciting quartz plates having tinfoil coatings electrically connected. The hook by which the steel rod is suspended serves as the other terminal

In the earlier experiments, the steel rods had plates of quartz or Rochelle salt at their ends, but this construction proved less reliable than that with the quartz side-plates.

A photograph of a mounted quartz steel resonator for 11,000 m. is shown in Figure 9.

VII. APPLICATIONS

23. THE RESONATOR AS A WAVE LENGTH STANDARD—

1st Method—Resonator in parallel with tuning condenser of a low-power regenerative electron tube circuit containing a telephone receiver. If the tuning condenser is varied back and forth thru the setting for resonance with the resonator, short musical clicks are heard, the ringing quality of which is an indication of the low damping of the resonator. The note is due to the fact that the resonator, when once set into vibration, generates a radio frequency current and produces beats with the oscillating current proper. If the resonator has previously been calibrated, the setting of the condenser at which the click occurs may be noted, thus establishing one point in the calibration of the circuit.

2nd Method—The above method is made more precise if in parallel with the tuning condenser there are connected a key and small capacity in series. The tuning condenser is slowly varied, the key being tapped continually. When a setting is reached such that, with the key open, the resonator is set into vibration, then on closing the key a heterodyne note is heard if the auxiliary

capacity is of the right value. The note possesses a very sharp maximum at the resonant frequency.

3rd Method—Exactly like the first two methods, save that the resonator is not in the generating circuit, but in parallel with the tuning condenser of a non-regenerative receiving circuit which is tuned to the frequency of the resonator. If the two circuits

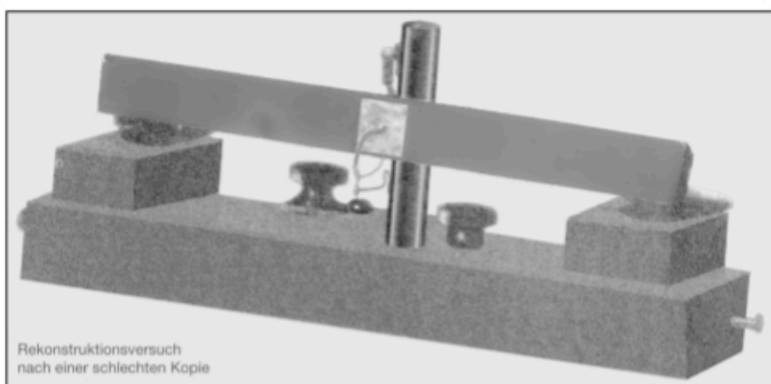


FIGURE 9—Steel resonator, excited by quartz plates at its center. Length about 10 cm. (3.9 inch), for 11,000 m. wave-length. When not in use, the resonator is unhooked and clamped to the bakelite block

are loosely coupled, a heterodyne note is heard, formed by beats between the current from the vibrating resonator and that impressed by the generating circuit. This is the most precise telephone method. For example, with a small 300-meter resonator the frequency can be determined to one part in about 5,000, while a quartz-steel resonator for 10,000 meters allows a precision of about 1 in 20,000.

Various modifications of the above methods are possible. For example, the resonator may be connected across the grid condenser or in still other parts of the generating or receiving circuit.

4th Method—Resonance indicated by ammeter or galvanometer. If the resonator is in the generating circuit, an ammeter in series with either anode or grid will give a sharp indication of resonance. Or the meter and resonator may be in a tuned circuit coupled to the generating circuit, in which case we have practically the arrangement shown in Figure 3.

5th Method—It is possible to use a resonator for the calibration of a buzzer-driven wave-meter, the receiving circuit contain-

ing a crystal detector. Owing to the impurity of the wave the method is difficult and not generally to be recommended.

24. THE RESONATOR AS A FREQUENCY STABILIZER

There are several methods whereby the frequency of an electron tube generating circuit can be rendered practically free from disturbing capacity effects, variations in battery voltage, and so on. All make use of one or other of the properties of the piezo-electric resonator that have already been described.

The *first method* is virtually a mechanically-tuned feed-back. A three-stage resistance-coupled amplifier is used, as shown in Figure 10. The resonator 12 has two independent pairs of metallic "coatings," one pair, 13 and 14, being connected between output anode and ground, and the other pair, 15 and 16, between input grid and ground. Any slight increase in potential of the anode 5, by altering the electric field between 13 and 14, sets the resonator into vibration. The charges thereby excited in 15 and 16 vary the potential of grid 4 with respect to the ground. This varying potential, by virtue of the amplification taking place in the system, will, if the proper coating is connected to the grid, still further increase the variations in potential of 5 and maintain the resonator in vibration. The power output is of course very small—in my tests it was only about 0.05 watt—but by the insertion of a coil at 21, or by connecting the plate 5 to the grid of another amplifier, this small power may be further amplified indefinitely. With coatings connected as shown in Figure 10, the resonator vibrates at its second harmonic, with twice the fundamental frequency, there being a loop of compression midway between each end and the center. If either pair of coatings is reversed the fundamental vibration is excited. If a quartz-steel resonator is used for this purpose, a higher degree of amplification is necessary.

Three methods will now be described, in which only a single tube is needed. In each case we require a generating circuit with the usual coils, condensers, and feed-back.

In the *second method* we use a resonator with two pairs of coatings as before, connecting one pair between anode and ground, the other across the grid condenser. If, with the resonator disconnected, the regenerative coupling is made so loose that the circuit just fails to oscillate, then when the resonator is connected it furnishes the necessary additional feed-back, and oscillations ensue, of a frequency determined solely by the resonator. The circuit must be tuned approximately to the resonator, but

small variations in the electric constants are practically without effect upon the frequency.

The *third method* makes use of the fact that the relation between resonator current i (Figure 6) and frequency is such that a resonator with one pair of coatings, connected across the grid condenser of a generating set, will stabilize the frequency to a large degree. Regenerative coupling and electrical tuning are as in the second method.

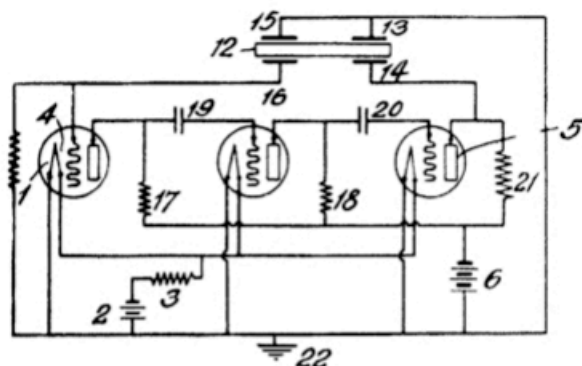


FIGURE 10—Resonator connected to three-stage amplifier, generating oscillations with mechanically tuned feed-back

The *fourth method* is of particular interest, as it makes use of the variation of apparent capacity of the resonator with frequency. A resonator with one pair of coatings is simply connected across the tuning condenser of any generating circuit the voltage of which is not high enough to endanger the crystal. This is, in fact, precisely the connection already described in Methods 1 and 2, section 22.

In order to make the operation of this method clear, we shall suppose the circuit to be oscillating initially with a frequency below the natural frequency of the resonator. As the tuning capacity is decreased, the frequency rises, and were it not for the resonator, the curve connecting capacity with frequency would be as indicated by the line 1, 9, 2, 4, 6, 8, 7 in Figure 11. If now the resonator is present and the resonant frequency is represented by the vertical line thru 4, then shortly before this frequency is reached the resonator begins to vibrate, but since the frequency is still relatively low, the capacity C_a of the resonator is abnormally high, to compensate for which the capacity of the tuning condenser C must be made abnormally small. The curve bends down along 2, 3, becoming practically

vertical for a considerable range of C . When this decrease in C has become greater than the maximum value of C_a , the curve springs abruptly from 3 to 8, the frequency increases by a large amount, and any further decrease in C gives rise simply to the undisturbed portion 8, 7. By similar reasoning, when C is increased the curve 7, 8, 6, 5, 9, 1, is described. The operating part of the curve for the stabilizing effect is thus either 2, 3, or 5, 6.

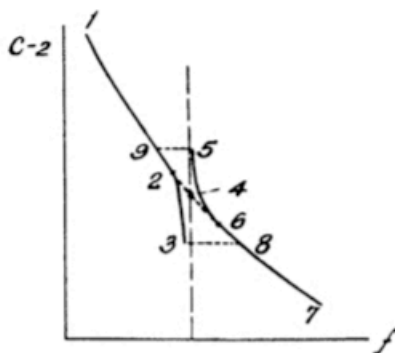


FIGURE 11—Stabilizing effect of resonator in a generating circuit. Over the portions 2, 3 and 5, 6 of the curve a large variation of C_2 produces a relatively small change in frequency

For example, a quartz plate 3.9 cm. (1.52 inch) long vibrated at a frequency of about 69,700. A change in C which, when the crystal was removed, altered the frequency by 3 percent., varied it by less than one part in 20,000 when the crystal was replaced. This resonator had coatings so small that its normal capacity was only $0.67 \mu\text{f.}$; yet when vibrating, its equivalent parallel capacity varied from $+10$ to $-9 \mu\text{f.}$

25. The first method of stabilization described in section 24 suggests another possible application, namely as a *tuned mechanical coupling* between two circuits. For if the resonator is provided with two pairs of coatings, one pair being connected across a reactance in each of the circuits to be coupled, then the secondary circuit will receive energy only at the particular wave length (and, usually, certain harmonics) to which the resonator responds.

26. The nodes for the fundamental vibration or any harmonic may be detected directly by touching the crystal, while it is vibrating, with the point of a pencil. When the crystal is touched at a loop of displacement, the vibrations are easily stopped, while they are hardly affected when the contact is at a node.

The effect of energetic vibrations may be rendered visible by viewing through a magnifying glass particles of lycopodium powder sprinkled over the edge of the resonator near its ends.

Under certain conditions a sustained musical note is heard when a resonator is connected to a generating circuit provided with a telephone. The pitch depends upon the condenser setting, as if the circuit, while oscillating at its own electrical frequency, nevertheless maintained the resonator in vibration at its mechanical frequency. The effect is especially pronounced with steel rods excited by plates of Rochelle salt.

Wesleyan University,
October 8, 1921.

SUMMARY: The general theory of piezo-electricity is summarized, and the equations applicable to quartz are stated. The "concentrated mass theory" of longitudinal vibrations in rods is then developed, and the properties of the "resonance circle" discussed. On this theoretical basis the equations for the reaction of a piezo-electric resonator upon a circuit are derived, and solved by a graphical method. From the vector diagram, important parameters, including the capacity and resistance of the resonator at any frequency, may readily be found.

The construction and operation of quartz and of quartz-steel resonators is described, and an account is given of their application as wave length standards and as frequency-stabilizing devices. Other practical applications are also suggested.