

stellung Glucks, aber auch durch die abfälligen Urteile über die anderen Werke bezeugen beide die Anziehungskraft, die die Sage von Alkestis in jeder Epoche der Operngeschichte auf Dichter und Komponisten ausgeübt hat.

Die Alkestis erscheint auf allen stilistisch maßgebenden Opernbühnen mit Ausnahme der romantischen, im 17. Jahrhundert als typische Vertreterin der jeweiligen Gattung, dann mehr und mehr als Bahnbrecherin neuer Ideen. Hand in Hand mit dieser Entwicklung geht eine zunehmende Annäherung an das euripideische Urbild, von dem die frühesten Bearbeitungen am weitesten entfernt waren, und eine Vertiefung des Ausdrucksgehalts, und gleichzeitig stellt sich eine Bevorzugung dieses Gegenstandes durch deutsche Komponisten und Dichter ein. Das Schicksal, das der Alkestis seit ihrem Erscheinen auf der Opernbühne des 20. Jahrhunderts beschieden war, aber ist genau so symptomatisch für diese Bühne wie es die früheren Alcesten für die ihrigen waren: das monumentale Ideendrama Hofmannsthal-Wellesz', das einen Ausweg aus dem dramatisch wie musikalisch gleich großen stilistischen Chaos weisen sollte, ist bis jetzt selbst ein Experiment geblieben. Als zeitlos gültig haben sich unter den behandelten Werken nur zwei erwiesen: das Drama des Euripides selbst und das Werk Glucks.

Der stroboskopische Frequenzmesser

Ein wichtiges Präzisionswerkzeug für die Musikforschung¹

VON FRITZ A. KUTTNER, NEW YORK

In einem früheren Artikel² hatten wir über das Problem der Klangsteine von Annam berichtet und dabei die Interpretationsschwierigkeiten erörtert, welche auftreten müssen, wenn die akustische Vermessung von Klangerscheinungen ungenau oder mehrdeutig ist — eine häufige Folge der bisher zumeist verwendeten Meßgeräte und -methoden. Wir hatten in diesem Zusammenhang auf den stroboskopischen Frequenzmesser hingewiesen, der solche Unzulänglichkeiten ausschaltet und durch die Genauigkeit der Meßergebnisse sowie mancherlei andere Verbesserungen einen bedeutsamen Fortschritt gegenüber den bisher gebräuchlichen Meßinstrumenten darstellt. Da das in den Vereinigten Staaten seit 1942 benutzte Gerät in europäischen musikwissenschaftlichen Kreisen offenbar noch wenig bekannt ist, dürfte seine Beschreibung nützlich und willkommen sein.

Zuvor jedoch empfiehlt sich eine kurze Übersicht über die in den letzten Jahrzehnten verwendeten Tonometer und Meßmethoden, um eine Vergleichsbasis mit dem neuen stroboskopischen Verfahren zu gewinnen.

Noch bis zum Anfang der dreißiger Jahre arbeitete der Vergleichende Musikwissenschaftler vielfach mit Stimm Pfeifen³. Die Messung des Versuchstons erfolgte durch physiologischen Vergleich mit dem Ton der Stimm Pfeife; dabei war das unbewaffnete menschliche Ohr mit

¹ Dieser Aufsatz entstand im Zusammenhang mit Forschungsarbeiten, welche durch Stipendien der Amerikanischen Philosophischen Gesellschaft und der Wenner-Gren-Stiftung für Anthropologische Forschung subventioniert wurden.

² Die Musikforschung, 1953, Heft 1.

³ Z. B. einer Zungenpfeife mit verschiebbarer Stimmkrücke oder mit Sätzen von Zungenpfeifen, deren Frequenzen Schwebungen von bestimmter Zahl gegeneinander erzeugen.

seinen subjektiven Beschränkungen und Eigentümlichkeiten das einzige Kriterium der Meßgenauigkeit. Der so erzielte, angenäherte Meßwert konnte durch Beobachtung und Schätzung von Schwebungen zwischen Versuchs- und Vergleichston noch etwas verfeinert werden, falls die Klangstärke und -dauer des Versuchstons genügte, um überhaupt eine Schwebungskontrolle zu gestatten. Bei gezupften Saiteninstrumenten und Xylophonen z. B. war also Verbesserung der Meßergebnisse durch Schwebungskontrolle nicht möglich.

In gelegentlichen Einzelfällen konnte der Musikforscher photographische Oszillogramme herstellen und dadurch erheblich genauere Resultate erzielen. Meist jedoch mußte auf dieses schon recht feine Verfahren verzichtet werden, weil die Entwicklung und Kopierung der einzelnen Oszillogramme mehrere Stunden dauerte und so kostspielig war, daß schon bei einer verhältnismäßig kleinen Anzahl geplanter Messungen billigere Methoden vorgezogen werden mußten. Die Schwierigkeit der Oszillogramm-Interpretierung und die in ihr verborgenen Fehlerquellen kamen als weitere erschwerende Umstände hinzu⁴.

Anfang der dreißiger Jahre begann sich der elektrische Tongenerator einzubürgern, dessen veränderlicher und ablesbarer Vergleichston so lange abgestimmt wurde, bis er mit dem Versuchston übereinzustimmen schien. Auch hier erfolgte der Vergleich durch Abhören mit dem unbewaffneten Ohr und birgt damit die schon erwähnten subjektiven Fehlerquellen. Die Beschränkungen der Schwebungskontrolle für zu kurze oder zu leise Töne bleiben ebenfalls bestehen. Falls unkomplizierte und eindeutige Tonerscheinungen mit nur wenigen und unauffälligen Obertönen vorliegen, ist dies in Europa offenbar vorwiegend angewendete Meßverfahren einigermaßen zureichend, da die Ablesungsgenauigkeit an der Generator-Skala nicht schlecht ist. Der elektrische Tongenerator stellte also einen beträchtlichen Fortschritt gegenüber den früheren Geräten dar, litt aber, wie gesagt, entscheidend unter dem Mangel der physiologisch-subjektiven Tonvergleichung. Eine weitere Umständlichkeit der Meßmethode liegt in der Tatsache, daß der Meßbereich zu groß ist, um für dieses Gerät irgendeine noch ablesbare Skala zu ermöglichen⁵. Dem konnte nur dadurch abgeholfen werden, daß man die Tongeneratoren in getrennte (etwa drei) Oktavenbereiche unterteilte: man hörte zunächst den Meßton ab und bestimmte seine Oktavenlage. Dann schaltete man den betreffenden Oktavenbereich im Generator ein und begann Vergleich und Messung. Irrte man sich in der Oktavenlage — was beim Mitklingen starker Oktaven-Obertöne öfters vorkam —, so bestimmte man die relative Tonhöhe zwar annähernd richtig, jedoch in falscher Oktavlage; damit wurden die abgelesenen absoluten Hertz-Ziffern falsch und sinnlos. Ferner gab es kaum Tongeneratoren mit mehr als drei Oktavenbereichen, so daß man, um ein Meßgerät für die ganze Klavierskala zu erhalten, zwei oder gar drei Tongeneratoren besitzen mußte.

Um das Gerät und seine Brauchbarkeit zu illustrieren, sei ein Beispiel aus Manfred Bukofzers Arbeit über „Präzisionsmessungen an primitiven Musikinstrumenten“ gegeben⁶. Diese Arbeit, welche im Jahre 1936 zum Zusammenbruch von E. von Hornbostels Blasquintentheorie führte, war noch mit einem Tongenerator der beschriebenen Art durchgeführt worden:

„Zur Messung diente ein Schwebungstongenerator . . . Um das Tonkontinuum in der notwendigen Feinheit variieren zu können, wurde zu dem einen Schwingungskreis ein . . . Präzisionsdrehkondensator geschaltet, dessen Teilkreis bis auf $1/10^{\circ}$ genau ablesbar war (ohne Vernier?? — Anm. d. Verf.). Durch entsprechende Parallel- und

4 Veränderliche Tonhöhen und Tonschwankungen sind mit dem Oszillographen kaum zu erfassen. Ferner ist die Interpretierung des Oszillogramms mitunter so kompliziert, daß selbst erfahrenen Technikern grobe und folgenschwere Fehler unterlaufen. Vergl. Bukofzer: Kann die „Blasquintentheorie“ zur Erklärung exotischer Tonsysteme beitragen? (3. Kongreß der Internat. Ges. f. Musikwissenschaft; Barcelona 1936. S. 426.)

5 Wollte man sich z. B. mit einer Ablesungsgenauigkeit von nur 5 Cents begnügen (wobei ein Teilstrich der Skala 5 Cents entspräche), so wären pro Oktave 240 Teilstriche erforderlich, somit für 7 Oktaven 1680 Teilstriche. Dies ergäbe bei einem Teilstrichabstand von je 1 mm eine Skala von 1,75 m Länge — nahezu eine technische Unmöglichkeit. Bei einer erwarteten Ablesungsgenauigkeit von 1 Cent würde man eine fast 9 m lange Skala benötigen!

6 Zeitschrift für Physik, Heft 9 und 10, Berlin 1936. Sonderabdruck. 99. Band, S. 645—646.

Serienschaltung des Drehkondensators mit verschiedenen Zusatzblockkondensatoren teilten wir den zu messenden Tonraum, der von 190 bis 1600 Hertz reichte, so in drei Meßbereiche, daß jeweils eine Drehung des Kondensators um 120° ungefähr einer Oktave, also 1200 Cents entsprach. Somit machte 1° in sehr grober Annäherung etwa 10 Cents aus. Der erste Meßbereich umfaßte die Töne von 190 bis 450 Hertz, der zweite die von 350 bis 800 Hertz, der dritte die von 750 bis 1600 Hertz.

Die Eichung des Generators erfolgte nach der Schwebungsmethode mittels eines Normalstimmgabelsatzes von König, Paris. Die Eichkurve trugen wir auf halblogarithmisches Papier auf, wodurch sich die Kurven streckten und genauer ablesbar waren. Die Röhren mußten mindestens drei Stunden eingebraunt sein, ehe konstante Verhältnisse eintraten. Außerdem war die Eichung vor und nach jeder Messung zu kontrollieren (sic!). Der dritte (d. h. höchste; — Anm. d. Verf.) Meßbereich hielt sich praktisch konstant. Die Eichkurven der beiden anderen Bereiche konnten sich nach mehreren Meßstunden noch ändern, jedoch handelte es sich stets um Parallelverschiebungen der Kurven. Den Emissionsstrom kontrollierte ein Milliampèremeter. — Der Meßfehler des Tongenerators beträgt 0,25%. Ein Ton von 800 Hertz, der im zweiten Bereich gemessen wurde, konnte im dritten Bereich 802 Hertz ergeben (d. h. knapp 5 Cents Differenz; — Anm. d. Verf.). Entsprechend betrug die Abweichung zwischen dem ersten und zweiten Bereich etwa 1 Hertz (d. h. knapp 5 Cents Differenz; — Anm. d. Verf.). Ein Fehler zwischen dem gemessenen Ton und demjenigen des Generators war wegen der Schwebungskontrolle praktisch ausgeschlossen.“

Fassen wir diese Beschreibung der Arbeit mit Tongeneratoren zusammen, so ergeben sich die folgenden erforderlichen Schritte zur Ausführung einer Messung:

A. Vorbereitung :

1. Einteilung in drei Meßbereiche und Eichung derselben gegen Normalstimmgabeln nach der Schwebungsmethode. (Fehlerquelle: Abhören der Schwebungen gegen die Stimmgabeln.)
2. Auftragen der Eichkurven auf halblogarithmisches Papier (Fehlerquelle: Falsche Kurvenertragung.)
3. Feststellung der Mindesteinbrenndauer für die Röhren. (Fehlerquelle: Annahme einer zu kurzen Einbrennzeit.)
4. Einbrennen der Röhren für drei Stunden nach vorstehender Feststellung. (Fehlerquelle: Zu kurze Einbrennzeit; Veränderung der Mindesteinbrennzeit.)

B. Die eigentliche Messung :

1. Abhören und Schwebungskontrolle des zu messenden Tones. (Fehlerquelle: Abhörfehler in der Oktavenbestimmung und ersten Rohvermessung; Hörfehler bei der Schwebungskontrolle.)
2. Ablesung der Messung. (Fehlerquelle: Genauigkeit der Ablesungsskala, die für alle drei Meßbereiche verschieden ist.)
3. Liegt der Meßton nahe der Grenze zwischen zwei Meßbereichen, so ist die Messung im nächsten Meßbereich zu wiederholen. (Fehlerquelle: Wie oben, Nr. B (2) —)
4. Kontrolleichung nach der Messung. Hat sich die Eichung inzwischen verschoben (— Parallelverschiebung allein genügt —), so ist die Eichung zu korrigieren und die Messung nach Nr. B 1, 2, 3 und 4 zu wiederholen. (Fehlerquelle: Die gleichen durch das ganze Verfahren, wie oben angegeben.)

Eine rohe Schätzung der Wirkung aller genannten Fehlerquellen macht es wahrscheinlich, daß der Meßfehler im günstigsten Falle 3—4 Cents beträgt, dann nämlich, wenn sich

mehrere Fehler in entgegengesetzter Richtung kompensieren. Addieren sich mehrere Fehler in gleicher Richtung, so kann der Meßfehler bis auf 20—25 Cents anwachsen. Das Ergebnis ist völlige Ungewißheit über die Meßgenauigkeit, die überall zwischen 3 und 25 Cents liegen kann, und zwar für jede einzelne Messung verschieden. Wenn also Bukofzer angibt, daß er eine durchschnitliche Meßgenauigkeit von 5 Cents erreicht habe, so darf man mit Gewißheit entgegenhalten, daß er sich über die Leistungsfähigkeit des Tongenerators und die Zuverlässigkeit der Methode als solcher getäuscht hat.

Eine entscheidende Neuerung in der Konstruktion von Tongeneratoren kam etwa 1935 auf, die hier nicht unerwähnt bleiben sollte: das magische Auge. Diese Vorrichtung ist allgemein vom Radioempfänger her bekannt, wo sie zur Feinabstimmung einer gewählten Sendestation dient. Im Tongenerator kann sie verwendet werden, um die „Schwebungskontrolle“ vom Mangel des subjektiven Abhörens zu befreien und sie in das Gerät hineinzuverlegen. Der Meßton wird durch ein Mikrophon aufgefangen, dem Gerät zugeleitet, verstärkt und auf den Vergleichston des Generators „abgestimmt“. Das magische Auge zeigt an, ob eine Feinabstimmung erreicht ist. Damit entfallen die physiologischen Schwebungskontrollen und die ihr inwohnenden Fehlerquellen. Teilfehler bleiben allerdings auch hier bestehen, da das magische Auge Meßfehler zwischen 3 und 10 Cents zuläßt; es arbeitet am ungenauesten in tiefen Tonalen, am besten bei sehr hohen Tönen. In „normaler Mittellage“ muß beim magischen Auge in Tongeneratoren stets mit einem Meßfehler zwischen 4 und 6 Cents gerechnet werden⁷.

Die Umständlichkeit, Unzuverlässigkeit und mangelnde Präzision von Tongeneratormessungen dürfte aus vorstehenden Überlegungen hinreichend klar geworden sein⁸. In Bukofzers Fall hatte das Instrument zwar genügt, um die Theorie seines ehemaligen Lehrers überzeugend zu widerlegen; zu weiteren Schlüssen aber konnte Bukofzer nicht gelangen. Ein erheblich genaueres Meßgerät — das allerdings 1936 noch nicht existierte — würde es ihm ermöglicht haben, bedeutsames Neuland in der orientalischen Musikforschung zu erschließen. So endete Bukofzers scharfsinnige Experimentalserie mit dem Knalleffekt der Zerstörung einer berühmten Hypothese, ohne in positive Aufbauergebnisse münden zu können. Die Musikforschung mußte auf die Erfindung eines weit überlegenen Instruments warten, das nunmehr im stroboskopischen Frequenzmesser zu unseren Diensten steht.

Das Prinzip des stroboskopischen Effekts ist eine optische Täuschung, die jedermann aus dem Filmtheater kennt: Wir sehen ein Auto in schneller Fahrt fotografiert; die Geschwindigkeit des Wagens wird völlig klar durch das Vorüberausen von Bäumen usw. im Hintergrunde, dennoch bemerkt man, daß die Räder des Fahrzeuges sich nur langsam vorwärtsdrehen oder gar eine rückläufige Bewegung zu zeigen scheinen. Dieser optische Eindruck erklärt sich wie folgt:

Die normale Durchlaufgeschwindigkeit des Filmstreifens im Projektionsapparat ist 24 Bildchen pro Sekunde. Der Streifen rollt jedoch nicht gleichmäßig ab, sondern ruckweise; jedes einzelne Bildchen bleibt für den Bruchteil einer Sekunde (etwa $\frac{1}{60}$ sek.) hinter der Linse still stehen und wird projiziert. Dann deckt ein Flügel der vor der Linse rotierenden Malteserkreuzscheibe für einen Sekundenbruchteil den Lichtkegel ab, Dunkelheit entsteht, und während dieser kleinen Zeiteinheit schnell

⁷ Es wäre denkbar, daß Bukofzers Tongenerator mit einem magischen Auge versehen war, obwohl er dies nirgends erwähnt. Da er jedoch sein Meßgerät als „Schwebungsgenerator“ bezeichnet, wäre diese Auslegung aus der Benennung möglich. In diesem Falle würde sich die Summe seiner Fehlerquellen im Rahmen der oben erwähnten Einschränkungen entsprechend verringern.

⁸ Unser eingangs erwähnter Aufsatz in Heft 1, 1953, von „Die Musikforschung“ zeigte deutlich, daß die von drei Forschern unabhängig vorgenommenen zwei Messungen der gleichen Tonercheinungen so stark voneinander abwichen, daß beide Meßreihen unbrauchbar wurden. Ohne Zweifel war auch in diesem Falle ein Tongenerator verwendet worden.

der Film ein Stück vorwärts, das nächste Bildchen hinter die Projektionslinse bringend. Sobald der Streifen wieder stillsteht, öffnet die Malteserscheibe wiederum den Weg für den Lichtkegel, und das zweite Bildchen wird projiziert. Dieser Vorgang wiederholt sich 24mal pro Sekunde.

Stellen wir uns nun einen Kraftwagen vor, dessen Räder je 24 dicke Speichen haben, und dessen Fahrgeschwindigkeit so reguliert ist, daß jedes der Räder genau eine Umdrehung pro Sekunde macht, so würde der Filmstreifen wie folgt aussehen: Bild 1 zeigt uns Speiche Nr. 1 genau nach oben weisend; Bild 2 zeigt die zweite Speiche oben, Bild 3 die dritte Speiche genau oben etc. Da nun das Rad und alle seine Einzelteile völlig symmetrisch konstruiert sind, besteht in geschwinder Bewegung keine Möglichkeit für das Auge, die einzelnen Speichen und deren Position voneinander zu unterscheiden; alle 24 Bildchen des in einer Sekunde durchlaufenden Filmstreifens müssen völlig identisch aussehen. Die Folge ist, daß keine Veränderung im optischen Eindruck des photographierten Rades von Bildchen zu Bildchen eintritt; eine Bewegung wird nicht erkennbar — das Rad scheint stillzustehen.

Erhöhen wir jetzt die Umlaufgeschwindigkeit der Räder ein wenig, so daß nunmehr 25 anstatt 24 Speichen pro Sekunde den obersten Radpunkt passieren, so würden wir auf der Projektionsleinwand eine ganz langsame Vorwärtsdrehung des Rades sehen — so langsam, als ob das Rad in Wirklichkeit nur *eine einzige* Umdrehung *innerhalb 24 Sekunden* vollenden würde. Laufen 26 Speichen pro Sekunde am Scheitelpunkt des Rades vorüber, so sähen wir eine etwas schnellere Umdrehung, die *zwei vollen Umdrehungen pro 24 Sekunden* entspräche. Laufen nur 23 oder 22 Speichen pro Sekunde am Scheitelpunkt durch, so erscheint eine langsame *rückwärtige* Umdrehung im Projektionsbild.

Was für 24 Speichen pro Sekunde gilt, trifft nun auch für jedes Vielfache von 24 zu. Zwei oder vier volle Radumdrehungen mit 48 oder 96 passierenden Speichen pro Sekunde würden ebenfalls den Eindruck des stillstehenden Rades schaffen; in gleicher Weise ergäben 12 oder 6 Speichendurchgänge pro Sekunde ein unbewegliches Bild des Rades.

Dieser stroboskopisch-visuelle Effekt ist nun in unserem Frequenzmesser mit verschiedenen akustischen und elektronischen Prinzipien vereinigt worden. Das Instrument besteht aus zwei getrennten Aggregaten, die durch Kabel miteinander verbunden sind. Der eine Teil, das „Beobachtungsgerät“, enthält 12 stroboskopische, rotierende Scheiben, von denen Ausschnitte durch 12 kreissektorförmige Fenster beobachtet werden können. (Siehe Abb. 1, oberer Teil, nach Seite 240.)

Jede Scheibe und jedes Fenster entsprechen einem der 12 chromatischen Halbtöne der Oktave; sie sind in gleicher Weise angeordnet wie die Tasten einer Klaviatur: die 7 Fenster für die diatonischen Intervalle der C-dur-Leiter liegen in der unteren Reihe, die 5 Fenster, die den chromatischen schwarzen Tasten entsprechen, in der oberen Reihe.

Abbildung 2 zeigt die 12 rotierenden stroboskopischen Scheiben, wie sie in dem Beobachtungsgerät hinter den Fenstern montiert sind; Abbildung 3 zeigt eine einzelne Scheibe mit dem stroboskopischen Speichenmuster. In sieben konzentrischen Kreisringen sind schwarz-weiße Ringsegmente aufgetragen, welche die sieben Ringflächen in gleiche Abschnitte aufteilen. Der innerste Ring hat 4 Segmente (2 schwarze,

2 weiße), der zweite Ring 8 Segmente, der dritte 16, der vierte 32, der fünfte 64, der sechste 128, der siebente, äußerste Ring 256 Segmente. Die Verdoppelung der Segmentzahl von Ring zu Ring entspricht dem akustischen Schwingungsverhältnis 1 : 2 für das Intervall der Oktave. Jeder der sieben Ringe dient also zur Messung je einer der sieben Oktaven der Klaviertastatur; wenn wir im ersten Fenster links unten (für den Ton C) die sieben Ringausschnitte sehen, entspricht jeder Ring einem der sieben C des Klavierumfangs: der innerste Ring dem Kontrabaß-C, der vierte Ring dem eingestrichenen c, der siebente Ring dem viergestrichenen c. Auf diese Weise haben wir 7 mal 12 = 84 Meßeinheiten, vom Kontra-C bis zum viergestrichenen h, und können somit vom Tonumfang des modernen Klaviers mit seinen 88 Tasten 84 Töne (und alle dazwischenliegenden Mikrointervalle) vermessen, was einem einzigen, einheitlichen Meßbereich von sieben Oktaven entspricht, bzw. einem Meßumfang des Gerätes von 31,77 Hertz bis 4066,8 Hertz auf der Grundlage der internationalen Standardstimmung $a' = 440$ Hertz. (Siehe Abb. 2 auf nebenstehender Tafel und Abb. 3.)

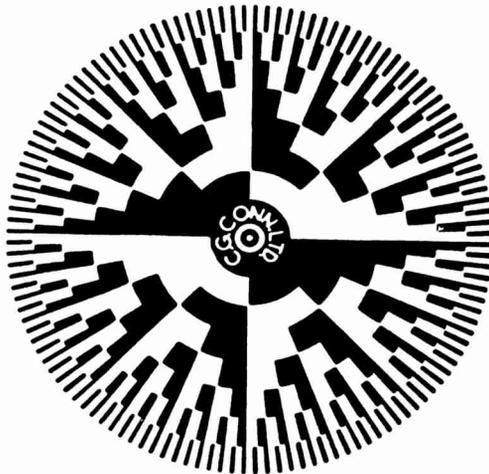


Abb 3 Das stroboskopische Scheibenmuster

Die zwölf stroboskopischen Scheiben werden von einem Synchronmotor angetrieben, dessen Tourenzahl durch eine noch zu beschreibende Vorrichtung verändert werden kann. Zwischen den Motor und die rotierenden Scheiben ist ein in Öl laufendes Getriebe mit einem komplizierten Zahnradmechanismus eingeschaltet. Die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse der Zahnräder bewirken, daß alle zwölf Scheiben mit verschiedenen Tourenzahlen rotieren; dabei entsprechen die einzelnen Umlaufgeschwindigkeiten den Zahlenverhältnissen, welche sich aus den Schwingungszahlen der zwölf Töne der chromatischen Leiter ergeben⁹.

⁹ Das akustische Schwingungsverhältnis für die Quinte z. B. ist 2 : 3, für den chromatischen Halbton 17 : 18. Dementsprechend ist das Verhältnis der Tourenzahlen für die C-Scheibe und G-Scheibe wie 2 : 3 (also z. B. 20 bzw. 30 Umdrehungen pro sec.); die Umdrehungszahl der Cis-Scheibe verhält sich zu jener der C-Scheibe wie 18 : 17.

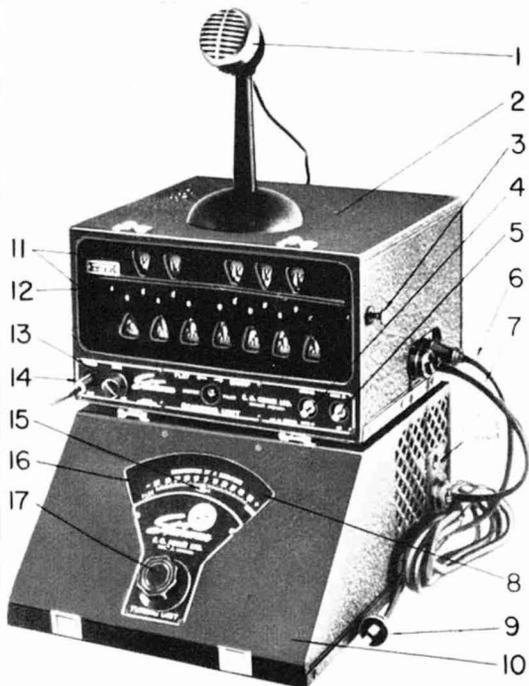


Abb. 1
Das komplette Stroboskop

1. Mikrophon
2. Beobachtungsgerät
3. Knopf zum Transponieren der Tonartbezeichnungen an den Fenstern
4. Motorschalter
5. Hauptschalter für Netzstrom
6. Anschlußkabel zur Netzspannung
7. Verbindungskabel für die beiden Aggregate
8. Abstimmungsskala / Plus-Seite
9. Anschlußkontakt zum Netz
10. Abstimmungsgerät
11. Beobachtungsfenster
12. Fenster für Tonbezeichnungen (Vergl. Nr. 3)
13. Verstärker-Kontrolle
14. Mikrophon-Anschluß
15. Abstimmungszeiger
16. Abstimmungsskala / Minus-Seite
17. Abstimmungsknopf

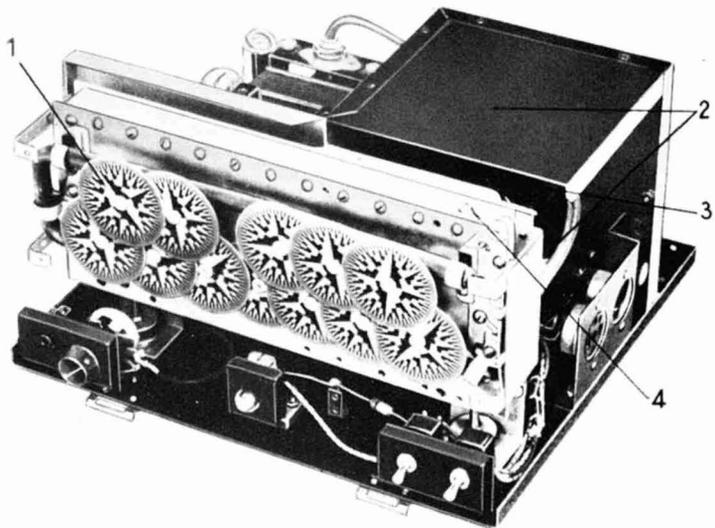


Abb. 2 Das Beobachtungsgerät, Gehäuse entfernt

1. Stroboskopische Scheiben
2. Öleinlaß zum Motor
3. Synchronmotor
4. Öleinlaß zum Getriebekasten

Abb. 5
Stroboskopisches Speichenmuster im vierten Oktavenring

Die schwach sichtbaren Muster im fünften und (ganz schwach) sechsten Ring stammen von leise mitklingenden Obertönen der einfachen und doppelten Oberoktave, die gleichzeitig mitregistriert werden.

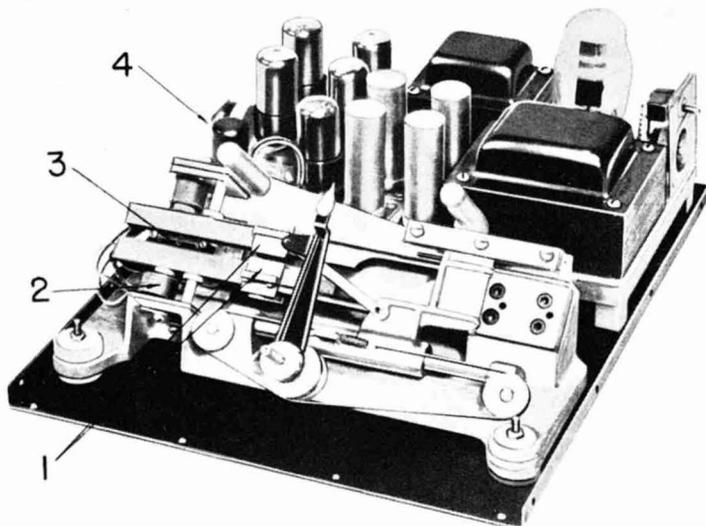
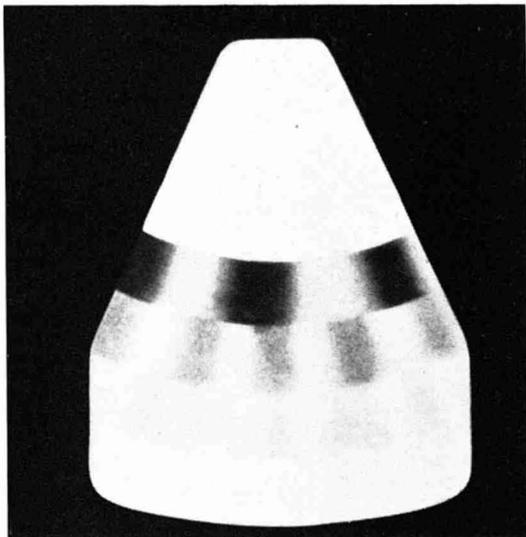


Abb. 6 Das Abstimmgerät, Gehäuse entfernt

1. Gleitgewichte auf der Stimmgabel 2. Die zwei Erregungsspulen für die Gabel 3. Induktions-Spule (Pickup) zwischen den Gabelzinken 4. Kompensierungskontrolle für Schwankungen der Netzstromspannung

Der Frequenzmesser ist so konstruiert, daß er alle Messungen als Abweichungen von der Norm der gleichschwebend-temperierten chromatischen Zwölfton-Skala anzeigt. In gleichschwebender Temperatur ist jedes einzelne Halbtonintervall je 100 Cents groß, die ganze Oktave also 1200 Cents. Die Formel für die mathematische Errechnung des temperierten Halbtons ist

$$\sqrt[12]{2} = 1,05946.$$

Dementsprechend müßte auch das Zahnradübersetzungsverhältnis für je zwei benachbarte Scheiben (und damit das Verhältnis ihrer Tourenzahlen) gleich 1,05946 sein. Da diese komplizierte Übersetzungszahl für Zahnräder nicht realisierbar ist, ersetzte sie der Konstrukteur durch eine hinreichend genaue Annäherung, indem er abwechselnd für je zwei benachbarte Scheiben die Verhältnisse 89 : 84 und 107 : 101 wählte, d. h. also 89 : 84 (= 1,05952) für C—Cis, 107 : 101 (= 1,05940) für Cis—D, 89 : 84 für D—Es etc.

Unmittelbar hinter den zwölf stroboskopischen Scheiben liegt eine sanft gebogene Neon-Leuchtröhre, welche in äußerst kurzen Zeitintervallen, z. B. 3000mal pro Sekunde, aufflackert und wieder erlischt und dadurch die Scheiben beleuchtet (siehe Abb. 4). Die so periodisch angeleuchteten Scheiben können nun auf die stroboskopischen Speichenmuster hin beobachtet werden, welche durch die flackernde Neonröhre für das Auge produziert werden.

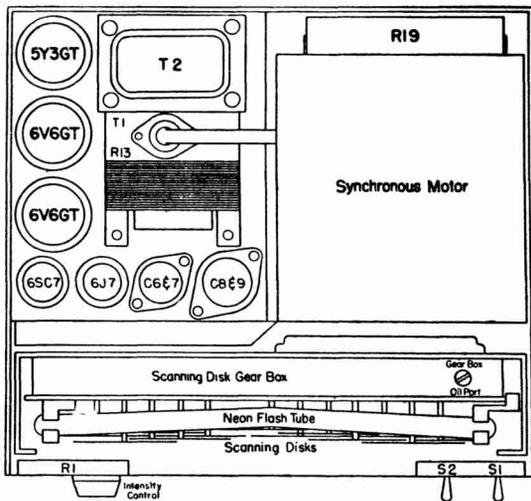


Abb. 4 Schematische Darstellung des Beobachtungsgerätes
Die Neonröhre liegt zwischen den 12 Scheiben und dem Getriebekasten

Nehmen wir an, es solle der Kammerton a' eines genau auf 440 Hertz eingestimmten Klaviers vermessen werden. Das Mikrophon fängt den angeschlagenen Ton auf

und wandelt die 440 akustischen Schwingungen in 440 elektro-magnetische Stromstöße um, die über ein System von Verstärkerröhren der Neon-Leuchtröhre zugeleitet werden. Die Röhre leuchtet nun 440mal pro Sekunde auf (und erlischt wiederum 440mal). Ein Flackern sehen wir nicht, da das menschliche Auge 440 Lichtimpulse in der Sekunde nicht trennen kann, sondern sie zu einer kontinuierlichen Lichtempfindung verschmilzt. Hingegen erscheint im Fenster der A-Scheibe ein stroboskopisches, unbewegliches Speichenmuster. Die Scheibe rotiert nämlich mit 27,5 Umdrehungen pro Sekunde; der vierte konzentrische Ring enthält 32 Segmente (16 weiße, 16 schwarze). Die 16 schwarzen Segmente erscheinen als dunkle, speichenförmige Schatten im A-Fenster, vierter Ring; (16 mal 27,5 = 440). Da genau 440 schwarze Segmente pro Sekunde am Fenster vorbeisausen und die Scheibe 440mal pro Sekunde durch das Aufblitzen der Neonröhre angeleuchtet wird, erscheint das stroboskopische Speichenmuster unbeweglich — genau wie in unserem Beispiel von den fotografierten Autorädern. (Siehe Abb. 5, vor Seite 241.)

Das zweite Aggregat ist das „Abstimmungs- (und Ablesungs-)gerät“. Es enthält als wichtigsten Bestandteil eine Präzisionsstimmgabel Kontra-A, die gegen Temperaturschwankungen empfindlich kompensiert ist. Die beiden Enden der genau auf 55 Hertz ($\frac{1}{8}$ von 440) geeichten Gabel schweben zwischen zwei elektro-magnetischen Spulen, durch deren Wechselstromstöße die Gabelzinken in Schwingungen versetzt werden. Zwischen den Zinken ist eine dritte elektro-magnetische Spule angebracht, welche ihrerseits die mechanischen Gabelschwingungen auffängt und in Wechselstromimpulse umsetzt. Diese Stromimpulse gelangen durch ein System von Verstärkerröhren in den Synchronmotor; ihre Frequenz, durch die Gabelschwingungen geschaffen und kontrolliert, reguliert die veränderliche Umlaufgeschwindigkeit des Motors.

Auf den Zinken der Stimmgabel laufen zwei Gleitgewichte, welche von einem Kontrollknopf aus durch Drahtzüge hin- und her verschoben werden können. Dadurch wird die Schwingungszahl der Gabel verändert; je näher die Gewichte den Zinkenenden rücken, um so niedriger wird die Schwingungsfrequenz der Gabel. Die so erzielbaren Frequenzveränderungen machen bis zu 3⁰/₁₀ ober- und unterhalb der ursprünglichen Gabelfrequenz (55 Hertz) aus.

Der die Gleitgewichte steuernde Kontrollknopf hat einen Ablesungszeiger, welcher über eine Skala mit 100 Teilstrichen läuft. Jeder Teilstrich entspricht 1 Cent. In der Mitte der Skala liegt Null, nach beiden Seiten schließen sich je 50 Teilstriche an, welche nach links eine Ton erniedrigung von 0–50 Cents angeben, nach rechts eine Tonerhöhung von 0–50 Cents. Die neutrale Null-Einstellung in der Mitte der Skala repräsentiert genau die Standardintonierung von $a' = 440$ Hertz. Jede Verschiebung des Kontrollknopfes nach einer Seite hin zeigt in Cents die Abweichungen von der internationalen Norm $a' = 440$ Hertz an. Wird der Knopf aus der Null-Stellung gebracht, so gleiten die Gewichte auf der Stimmgabel aus der Ruhstellung; die Gabelfrequenz ändert sich, damit die Tourenzahl des Synchronmotors und schließlich die der 12 stroboskopischen Scheiben. (Siehe Abb. 6, vor Seite 241, und Abb. 7.)

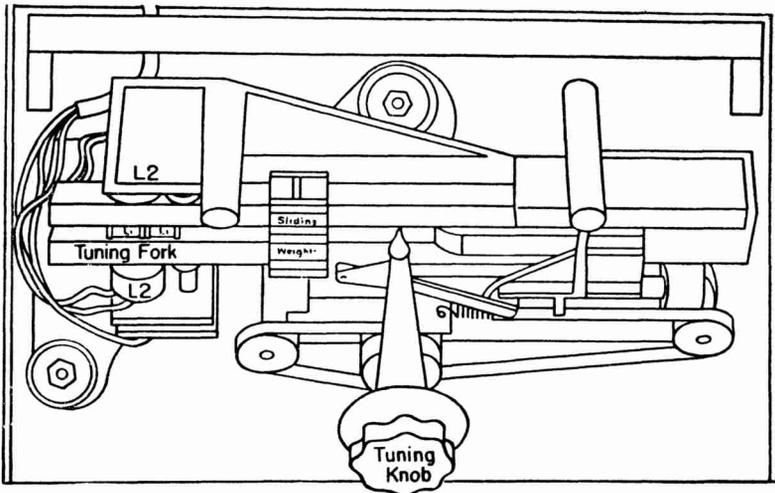


Abb. 7 Schematische Darstellung des Abstimmungsgerätes
Die beiden Erregungsspulen: L. 2

Verändern wir das oben gegebene Beispiel dahin, daß der zu messende Ton 443,06 Hertz haben möge, anstatt $a' = 440$. Der Ton wird vom Mikrophon aufgefangen, und sogleich erscheint im A-Fenster, im vierten konzentrischen Ring, ein stroboskopisches Speichenmuster, das sich langsam nach rechts hin dreht (die Null-Einstellung des Kontrollknopfes und ein unbewegliches Speichenmuster entsprachen ja der Frequenz von genau 440 Hertz). Man dreht nun den Kontrollknopf langsam nach rechts — in der gleichen Richtung, in der das Speichenmuster wandert —, und sogleich verlangsamt sich die rechtsläufige Bewegung der Speichen, bis sie bei einer bestimmten Stellung des Kontrollknopfes zum Stillstand kommt. Hat man den Knopf zu weit nach rechts gestellt, so wird das Speichenmuster langsam rückläufig werden (d. h. links drehend). Man schiebt nun den Knopf einige Male ein wenig hin und her, bis das Muster völlig unbeweglich wird. Die Messung ist beendet, wir lesen ab und finden an der Skala: plus 12 Cents. Die Interpretation der Ablesung ist: a, vierte Oktave von unten (da im vierten Ringsegment abgelesen), plus 12 Cents. Dies bedeutet, verglichen mit der Standardintonierung von $a' = 440$ Hertz, daß unser Ton um 12 Cents höher ist, als das Kammer-a. Die Vergleichstabelle für die Umrechnung von Hertz in Cents und umgekehrt ergibt in wenigen Momenten ohne jede Interpolation, daß die absolute Tonhöhe unseres Meßtons 443,06 Hertz ist, die relative Tonhöhe 912 Cents in der vierten (eingestrichenen) Klavier-Oktave.

Als wir den Knopf bis zur Einstellung „plus 12 Cents“ nach rechts drehten, verschoben sich die Gleitgewichte auf der Stimmgabel zum Gabelknopf hin; die Schwingungsfrequenz der Gabel stieg um ca. 0,72% (von 55 auf ca. 55,36 Hertz). Damit wuchs die von der Gabel gesteuerte Tourenzahl des Synchronmotors, der seinerseits die Umlaufgeschwindigkeit der zwölf stroboskopischen Scheiben erhöhte. Während vorher die A-Scheibe mit 27,5 Touren lief, macht sie nunmehr 27,688 Umdrehungen

pro Sekunde. (Der vierte Ring hat 16 schwarze Segmente; $16 \times 27,691 = 443,06$). 443 Speichen also passierten das Fenster, die A-Scheibe wurde durch die Neonröhre 443mal pro Sekunde angeleuchtet — gesteuert durch den Ton, der mit 443 Schwingungen ins Mikrophon drang —, das Speichenmuster steht unbeweglich still.

Dies ist die originelle, logische und genial erdachte Konstruktion des Instruments, dies seine Arbeitsweise. Die Meßmethode selbst ist denkbar einfach und eindeutig, frei von allen Fehlerquellen und Komplikationen technischer oder akustischer Natur. Jedes objektive Irrtumsmoment ist ausgeschaltet, das Auge beobachtet, die Hand kontrolliert, das Auge liest ab — für das Ohr bleibt nichts zu tun als gelegentliche interpretierende Hilfeleistung. Die Präzision der Messung ist erstaunlich, ebenso die Geschwindigkeit. Unter günstigen Versuchsumständen haben wir manchmal bis zu hundert einzelne Messungen in einer Stunde vornehmen können. Wiederholung der Messungen am folgenden Tage unter gleichen akustischen Bedingungen ergab dann meist, daß unsere Ergebnisse zwischen 0,5 und 1 Cent genau waren!

Das Aufstellen und Vorbereiten des verpackten Gerätes nimmt etwa fünf Minuten in Anspruch. Eine Einlauf- und Vorwärmezeit von weiteren zehn Minuten genügte in unserer Erfahrung stets, um auf etwa 1 Cent genaue und konstante Meßresultate zu erzielen. Kam es in seltenen Fällen darauf an, unter äußerst präzisen Laboratoriumsbedingungen Meßgenauigkeiten bis herunter auf $\frac{1}{2}$ Cent zu erzwingen, so empfahl sich eine Vorwärme- und Einlaufzeit von 30 Minuten zur Gewinnung konstanter Versuchsergebnisse.

Eine Nacheichung der Stimmgabel haben wir nie nötig gehabt, obwohl mindestens eine Eichkontrolle angezeigt sein mag, wenn das Instrument vor der Messung eine längere Strecke im Auto oder Eisenbahnwagen transportiert und dabei stark durchgerüttelt worden ist. Die Eichkontrolle kann mit jeder elektrischen Präzisionsstimmgabel vorgenommen werden oder, für Genauigkeitsfanatiker in den USA z. B., durch Vergleich mit dem 440-Hertz-Standardton, der täglich auf Wellenlänge 5000 Kilohertz vom National Bureau of Standards in Washington D. C. gesendet wird. Eine Prüfung des Gerätes gegen einen solchen Standardton genügt, da die Eichung der Stimmgabel auf irgendeine Frequenz sie automatisch für alle anderen Frequenzen präzise macht.

Wer mit dem Meßbereich des Gerätes von 31,7 bis 4066,8 Hertz nicht auskommt — ein seltener Fall für den Musikwissenschaftler —, kann den Bereich durch Zwischenschaltung von äußeren Frequenzverteiltern erheblich nach oben erweitern. Auf diese Weise sind mit dem Instrument schon Frequenzen bis zu 50 Kilohertz mit der gleichen Präzision gemessen worden, wie sie für den ursprünglichen Meßumfang erzielbar ist, d. h. 0,05% oder 1 Cent.

Das Stroboskop wurde im Jahre 1941 für die Firma C. G. Conn, Ltd. in Elkhart, Indiana, konstruiert und 1943 zum ersten Male in der Literatur beschrieben¹⁰. Die genannte Firma verwendete das Instrument zunächst ausschließlich für die Intonierungskontrolle der von ihr hergestellten Blasinstrumente. Es stellte sich jedoch sehr bald heraus, daß das Gerät wertvolle Dienste für allgemeine industrielle Zwecke leisten konnte, z. B. für die Eichung von Tachometern und Tourenzählern, wobei die Vermessung der Höhe von Brummtönen bei Motoren oder rotierenden Ma-

¹⁰ Earle L. Kent: Precision Stroboscopic Frequency Meter, in: Electronics, September 1943.

schinenteilen die Bestimmung der Umlaufgeschwindigkeiten auf akustischem Wege gestattet. Ferner hat es seither vielfach Verwendung für die Feststellung und Interpretation mechanischer Fabrikationsmängel bei allen Arten von Maschinen gefunden, indem Frequenzmessungen von Torsionsschwingungen, Quietschtönen und ähnlichen akustischen Nebenerscheinungen die Lokalisierung der technischen Mängel ermöglichten und ihren Umfang feststellen halfen.

Seit etwa sieben bis acht Jahren findet das Meßinstrument wachsende Einführung und Verbreitung auf dem Gebiete der praktischen Musik und Musikwissenschaft. Abgesehen von den schon erwähnten Vorteilen der Schnelligkeit, Präzision und Eindeutigkeit der Messungen, abgesehen ferner von der Ausschaltung subjektiver Abhörmethoden, Tonvergleiche und Schwebungskontrollen, gewährt das Gerät noch eine Reihe weiterer Möglichkeiten, die für die Musikforschung und für akustische Untersuchungen von großem Wert sind:

Das Stroboskop analysiert und trennt Akkorde und andere Zusammenklänge, die gleichzeitig beobachtet werden können; die genaue Vermessung der einzelnen Töne eines Zusammenklanges muß allerdings getrennt und nacheinander vorgenommen werden.

Das Gerät registriert Vibrato-Erscheinungen und ähnliche Toninflektionen, die im stroboskopischen Speichenmuster durch Flackern, Zittern oder Hin- und Herwandern sichtbar werden. Auf diese Weise werden z. B. Messungen der folgenden Art möglich:

Ton von schwankender Höhe :

Mittlere Tonhöhe	<u>620 Cents</u>
Obere Grenze der Toninflektion	628 Cents
Untere Grenze der Toninflektion	<u>612 Cents</u>
Umfang der Tonschwankung	<u>16 Cents</u>

Eine derartige Messung, die mit früheren Geräten entweder unmöglich war oder in mühevollen, ständig wiederholten Versuchen eine Stunde oder länger dauern konnte, ist mit dem Stroboskop in einer halben Minute beendet.

Das Meßgerät trennt nahe beieinanderliegende Fundamentaltöne schnell und eindeutig und erlaubt ihre genaue, separate Bestimmung. Derartige Erscheinungen sind bei Lithophonen und Metallophonen sehr häufig, konnten aber bisher nie genau vermessen und definiert werden, da zwei dicht benachbarte Fundamentale für das Ohr stets zu einer einzigen Tonempfindung mit Schwebungen verschmelzen, wodurch Tonvergleiche oder Schwebungskontrollen so gut wie unmöglich wurden. Das Stroboskop hingegen macht in 10 bis 30 Sekunden Meßresultate wie die folgenden ohne weiteres zugänglich:

Erster Fundamental	383 Cents
Zweiter Fundamental	374 Cents

Der Frequenzmesser gibt ferner zusammen mit dem gemessenen Fundamentalton eine Reihe von harmonischen oder unharmonischen (!) Obertönen an, die gleichzeitig beobachtet und getrennt vermessen werden können. Außer dem Speichen-

muster des Fundamentaltones werden die Obertöne als weitere Muster in anderen Beobachtungsfenstern sichtbar (oder im gleichen Fenster, falls es sich um Oktaven-Obertöne handelt). Messen wir z. B. einen Ton, der nahe beim *d'* der Standardintonierung liegt (und dessen Speichenfenster also im vierten Oktavenring des D-Fensters erscheint), so mag der erste harmonische Oberton im fünften Ring ablesbar sein, der dritte Oberton im sechsten Ring und der siebente Oberton im siebenten Ring des D-Fensters. Dies Sichtbarwerden von Obertönen und ihre getrennte Vermeßbarkeit hat z. B. in den letzten Jahren zur Beobachtung von vielen *u n h a r m o n i s c h e n* Obertönen geführt und dadurch die altehrwürdige Theorie der akustisch-harmonischen Obertöne stark erschüttert. Es wäre denkbar, daß diese Entdeckung künftig auch einen Einfluß auf die allgemeine physikalische Theorie der harmonischen Schwingungen ausüben könnte.

Sehr kurz dauernde Klangerscheinungen, wie z. B. Töne von gezupften, kurzsaitigen Instrumenten oder Xylophonen, die mit den bisherigen Geräten überhaupt nicht gemessen werden konnten, erlauben mit dem Stroboskop immerhin ein angenähertes Meßergebnis. Da das Speichenmuster *a u g e n b l i c k l i c h* im Fenster erscheint, sobald der Ton erklingt, kann man wenigstens für den Bruchteil einer Sekunde beobachten, in welcher Richtung das Muster wandert und mit welcher Geschwindigkeit. Vorbereitende Einstellung des Abstimmungsknopfes ermöglicht es dann, durch mehrmalige Wiederholung des Versuchstones auf etwa 2—4 Cents genau zu messen. Schließlich erlaubt die Konstruktion des Instruments, anstatt eines gewöhnlichen (Luftschallwellen-) Mikrophons ein *K o n t a k t* mikrophon zu verwenden, das die zu vermessenden Tonschwingungen in direktem Kontakt mit dem vibrierenden Klangkörper aufnimmt und in die Verstärkerröhren leitet. Das Kontaktmikrophon wird an das Metall der Trompete, an den Resonanzkasten eines Saiteninstrumentes, an den Aufhänger einer klingenden Glocke angelegt und überträgt die aufgefangenen Schwingungen unter Ausschluß aller unerwünschten Außengeräusche zum Vermessungsmechanismus. Straßenlärm, menschliche Stimmen, Musik im Nebenzimmer usw. können auf diese Weise völlig eliminiert werden und Messungen zulassen, die mit einem Luftwellenmikrophon oder mit traditionellen Abhörmethoden undenkbar wären. Außerdem gestattet das Arbeiten mit dem Kontaktmikrophon Beobachtungen und Schlußfolgerungen über die Eigenschwingungen der vibrierenden Körper.

Dies sind in kurzen Zügen die Vorteile und Verbesserungen des Instruments, die dem Verf. aus seinen eigenen, beschränkten Experimentalerfahrungen bekannt geworden sind. Es steht zu vermuten, daß bei stärkerer Verbreitung und vielseitigerer Anwendung des Geräts in musikwissenschaftlichen Kreisen weitere, bisher noch unbekannte Möglichkeiten und Vorteile erschlossen werden.

Die Anwendungsgebiete des Stroboskops sind gleichfalls recht vielseitig. In der praktischen Musikausübung wird es zum Klavierstimmen und zur Duplizierung bestimmter, vorgeschriebener Intonierungen verwendet, ferner zur Abstimmung und Fabrikationskontrolle neuer oder reparierter Musikinstrumente aller Arten. Einige Symphonie- und Opernorchester prüfen regelmäßig die Höhe ihrer Kammerntonstimmung gegen das Stroboskop. Musikstudenten werden angehalten, die Sauberkeit ihrer Intonation beim Singen oder Instrumentalspiel vor dem Gerät zu kon-

trollieren. Die Vorführung oder Einstimmung von Tasten- und anderen Instrumenten in ungewöhnlichen Tonsystemen wird durch das Stroboskop außerordentlich erleichtert; Klaviere oder Orgeln können auf diese Weise in kurzer Zeit haargenau pythagoräisch, ungleichschwebend temperiert, natürlich intoniert oder auf jede andere historische und exotische Stimmung eingestimmt werden. Klang und musikalische Wirkung der verschiedenen Kommata und historischen Terzenintervalle, die Entstehung eines „Wolfs“ und ähnlicher mikrotonischer Intervallspannungen können so für Studenten im Hörsaal leicht und genau demonstriert werden.

In der Akustik, Musiktheorie und Vergleichenden Musikwissenschaft, beim Studium „exotischer“, primitiver und archaischer Musikzivilisationen leistet das Instrument unschätzbare Dienste. Ebenso hat es die Vermessung von historischen Instrumenten (Orgeln!) sehr vervollkommenet und die Analyse von Gesangsintonierungen sowie Inflektionsstudien erstmalig ermöglicht.

Auf dem Gebiete der Klavierstimmung hat das Stroboskop erwiesen, daß die ideale moderne Konzertsaalstimmung nicht einheitlich über die ganze Tastatur in striktem Oktaven-Unisono erklingt; vielmehr müssen die Baßoktaven tiefer gestimmt werden als die Mittellage, die Diskantoktaven höher, um „wirklich schön zu klingen“. Diese Tendenz des musikalischen Ohres, von der Stimmung nur dann völlig befriedigt zu sein, wenn die Oktaven nach oben hin zunehmend „gestreckt“ werden, kann gelegentlich erhebliche Ausmaße annehmen, z. B.¹¹:

	Kontra-C	C	c	c ¹	c ²	c ³	c ⁴	c ⁵
Cents:	-28	-9	-4	-1	+1	+2	+14	+30

Wie man sieht, unterliegt die physiologische Gehörsempfindung nicht den gleichen Gesetzen, die für die physikalische Theorie der harmonisch-akustischen Schwingungen gefunden worden sind. Die Folgerungen aus dieser Erkenntnis werden vermutlich noch erhebliche Revisionen der z. Zt. in der Tonphysiologie und Tonpsychologie vorherrschenden Auffassungen nach sich ziehen.

Selbstverständlich ist das Instrument auch schon seit Jahren für normale Klavierstimmungen empfohlen worden, und gerade auf diesem Gebiet ist ein heftiger Streit um seine Verwendbarkeit und Nützlichkeit entbrannt, der bisher weder beigelegt noch entschieden ist. Die besten unter den amerikanischen Klavierstimmern betonen, zweifellos mit Recht, daß keine mechanistische Standardisierung des Stimmens befriedigend sein könne; jedes Klavier müsse gemäß seinen eigenen Klangeigentümlichkeiten und in Verbindung mit den individuellen raumakustischen Bedingungen behandelt werden, unter ausschließlicher Kontrolle des geübten Ohres mit seinem klangästhetischen Entscheidungsvermögen. Alle anderen heftigen Einwendungen jedoch, die sonst von seiten der berufsmäßigen Klavierstimmer gegen das Stroboskop vorgebracht werden, beruhen bezeichnenderweise auf Tatsachen und Beobachtungen, die vor der Erfindung dieses Frequenzmessers nicht bekannt waren. Ohne dieses moderne Meßinstrument war gutes Klavierstimmen im wesentlichen eine Sache hochentwickelter Gehörsempfindlichkeit und hoher beruflicher

¹¹ Dieser Fall sollte freilich nicht als typisch angesehen werden, sondern eher als ungewöhnlich.

Geschicklichkeit gewesen. Neuerdings ist es zu einer mehr oder weniger „wissenschaftlichen“ Angelegenheit geworden, mit einer erregten Diskussion von Tatsachen, deren Entdeckung erst dem Stroboskop zu verdanken ist.

Wir haben wenig Zweifel, daß das Gerät auch für zeitgenössische Experimente mit neuen Ton- und Intervallsystemen (Vierteltöne etc.) wertvolle Dienste leisten wird; ferner werden *a k u s t i s c h e* Fragen historischer Aufführungspraxis sowie Studien von Temperatureinflüssen auf Instrumentalstimmungen mit seiner Hilfe viel genauere und klarere Antworten finden, als dies bisher möglich war.

Es wäre nun falsch und übertrieben zu behaupten, daß das Gerät völlig frei von Mängeln und Schwächen sei. So hat es z. B. die in seiner Konstruktionsidee liegende Tendenz, automatisch eine Reihe von genau harmonischen Obertönen mitzuregistrieren, die *vielleicht* nicht vorhanden sein mögen. Hat man dies einmal erkannt und will sich speziell mit Obertonmessungen befassen, so kann man dieser Schwäche wie folgt begegnen: man schaltet einen Sperrkreis zwischen Mikrophon und Beobachtungsgerät, der so eingestellt ist, daß er den Fundamentalton herausfiltert. Fehlt der Fundamentalton und seine Frequenz im Meßgerät, so verschwinden auch die Speichenmuster, die irgendeinem Vielfachen der Fundamentalfrequenz entsprechen, d. h. die harmonischen Obertöne; alle anderen Obertöne, die dann noch registriert werden, sind physikalisch existent.

Abgesehen von diesem Punkt und einigen anderen kleinen Mängeln aber, ist das Stroboskop allen früheren Instrumenten und Methoden so enorm überlegen, daß es sinnlos erscheint, zugleich mit seiner Empfehlung eine ausführliche Beschreibung dessen anzubieten, was es *n i c h t* leisten kann. Der wissenschaftliche Fortschritt, den die stroboskopische Methode auf vielen Gebieten erschlossen hat, macht seine Anschaffung dringend ratsam. Da der verhältnismäßig hohe Preis seiner schnellen Verbreitung in Europa vielleicht noch etwas im Wege stehen könnte¹², möchte man empfehlen, daß mehrere Universitäten, Konservatorien und andere Stätten musikwissenschaftlichen Studiums sich zusammentun, um gemeinsame Anschaffung und Benutzung zu organisieren. Vielleicht lassen sich auch europäische oder amerikanische Stiftungen für wissenschaftliche Zwecke dazu gewinnen, Geldmittel zur Anschaffung des Instruments zu bewilligen.

¹² Das Instrument wird unter dem Namen „STROBOCONN“ von C. G. Conn, Ltd., Elkhart, Indiana, in zwei Modellen hergestellt, eines für industrielle, das andere für musikwissenschaftliche Zwecke. Es kostet mit je einem Luftwellen- und Kontaktmikrophon etwa US \$ 800,00 und kann überall angeschlossen werden, wo Wechselstrom zwischen 105 und 120 Volt Spannung mit 50–60 Phasen pro Sekunde zur Verfügung steht. Schwankungen in der Spannung oder Phasenzahl innerhalb dieser Grenzen werden von dem Instrument automatisch so weitgehend kompensiert, daß Messungen für musikalische Zwecke praktisch in ihrer Genauigkeit unbeeinflusst bleiben.