

## **Moderne Klanganalyse und wissenschaftliche Anwendung.**

Von Prof. Dr. Walter Graf, Wien.

Vortrag, gehalten am 11. Dezember 1963.

Untersuchungen des Aufbaues der Teiltonreihe eines Schallereignisses zu einem bestimmten Zeitpunkt, bzw. der Veränderungen der Teiltonreihe eines sich im zeitlichen Ablauf ändernden Schallereignisses wie in der Sprache, im Gesang (z. B. Vibrato), aber auch bei Tierlauten wurden bekanntlich schon im vorigen Jahrhundert, in der Hauptsache durch optische Darstellung von Schallwellen und Registrierung der Schwingungskurven, unternommen<sup>1)</sup>. Anfänglich wurde hiefür eine schwingende Membran, später ein Oszillograph (Schleifen-, Glimmlicht-, Kathodenstrahl-Oszillograph) verwendet. Die Auswertung der registrierten Kurven erfordert eine umfangreiche mathematische Behandlung. Darum hat

---

<sup>1)</sup> Vgl. Walter Graf, Aus der Geschichte des Phonogrammarchivs der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Wydział Filologiczno-Filozoficzny Komisja Filologiczna, Bulletin Phonographique, Bd. VI, 1964, S. 9–39.

bereits L. Hermann <sup>2)</sup> für das Gebiet der Sprachlaute vereinfachte Verfahren für die wissenschaftliche Auswertung der Kurvenbilder und u. a. auch die für die einzelnen Vokale typischen Kurvenformen der phonetischen Forschung an die Hand gegeben. Brauchbare Geräte für die Schallzerlegung und deren Registrierung, also für eine direkte Ablesemöglichkeit der enthaltenen Teiltöne, bzw. Teiltonbereiche und ihrer relativen Stärkeverhältnisse wurden erst in den letzten drei bis vier Jahrzehnten unter Heranziehung von Filtern entwickelt <sup>3)</sup>. Hierbei bieten sich, allgemein betrachtet, zwei Möglichkeiten an: a) man läßt den Schall in seiner ganzen spektralen Breite durch einen entsprechend dichten Satz von Filtern gehen und registriert das Ansprechen der einzelnen Filter <sup>4)</sup> oder b) man verwendet bloß einen Filter, beschränkt aber die zeitliche Dauer der zu analysierenden Probe so, daß eine fortlaufende Wiederholung leicht möglich ist und läßt nun in einem entsprechenden elektro-akustischen Vorgang zur Registrierung der enthaltenen Teiltöne das Schallspektrum von unten nach oben vorbe-

---

<sup>2)</sup> Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 53, Bonn 1892, Phonographische Untersuchungen IV, S. 1—51.

<sup>3)</sup> Vgl. Ralph K. Potter, Introduction to Technical Discussions of Sound Portrayal, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 1, July 1946, S. 1—3.

<sup>4)</sup> R. R. Riesz and L. Schott, Visible Speech Cathode-Ray Translator, *ibid.* S. 50—61. — Homer Dudley and Otto O. Gruenz, Jr., Visible Speech Translators with External Phosphors, *ibid.* S. 62—73.

ziehen <sup>5)</sup>. Der Kay-Sonograph, ein durch die Industrie hergestelltes Gerät, bedient sich des letzt-skizzierten Weges. Die für die Analyse notwendige fortlaufende Wiederholung der Probe wird dadurch bewerkstelligt, daß die Aufzeichnung auf einem Tonbandmaterial in Form einer kreisförmigen Scheibe erfolgt. Konzentrisch über dieser Scheibe wird eine metallische Trommel aufgesetzt, welche damit die Rotierung der Scheibe bei Durchführung der Analyse mitmacht. An einer schraubenförmigen Spindel wird ein waagrechter Arm emporgeführt, der auf der einen Seite entlang eines Widerstandes zieht, auf der anderen Seite ein Drahtende trägt. Sobald nun im Verlauf der Aufwärtsbewegung dieses waagrechten Armes ein Teilton auftritt, springt infolge der damit auftretenden Aufladung vom Drahtende, das entlang der Trommel hingeführt wird, ein Funken zur metallischen Trommel und verbrennt an dieser Stelle das Funkenregistrierpapier, das um die Trommel gespannt wurde. Je stärker der Teilton, desto stärker ist die Schwärzung des Papiers, so daß schon an der Schwärzung die relative Stärke der Teiltöne, bzw. Teiltonbereiche zum Ausdruck kommt. Durch den Umfang der Tonbandscheibe und die Drehungsgeschwindigkeit ist Dauer und Dichte der Probe in der zeitlichen Abfolge bestimmt. Die mögliche Probedauer beträgt etwas

---

<sup>5)</sup> W. Koenig, H. K. Dunn and L. Y. Lacy, *The Sound Spectograph*, *ibid.* S. 19–49. — Ralph K. Potter, *Visible speech*, New York 1947.

weniger als 2,4 Sekunden. Längere Proben müssen also in Abschnitte dieser Länge zerlegt werden. Die Dichte der zeitlichen Abfolge entspricht 13 mm für  $\frac{1}{10}$  Sekunde. Die zeitliche Abfolge erscheint auf der Abszisse. Die auf der Ordinate linear aufgezeichneten Frequenzen der Teiltöne reichen beim Modell, das dem Phonogrammarchiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durch den Österreichischen Forschungsrat zur Verfügung steht, von 85 bis 12.000 Hz, wobei der Bereich bis 6000 Hz in einem und der darüberliegende Bereich bis 12.000 Hz in einem zweiten Arbeitsvorgang erfaßt werden kann. Es stehen zwei Filter zur Verfügung, einer für narrow und einer für wide band. Der erstere hat eine Breite von 45 Hz, der letztere eine von 300 Hz. Die Weite der Filter nimmt bekanntlich mit der Stärke der Frequenz zu. Für den narrow band-Filter beträgt die Breite bei bloß 5 db bereits 180, bei 10 db 300, bei 20 db 540 und bei 30 db 940 Hz <sup>5a)</sup>. Das bedeutet für die praktische Arbeit, daß die Einstellung des Sonagraphen so zu wählen ist, daß zwischen Stärke (und zugleich besserer Erkennbarkeit der enthaltenen Frequenz) und der Breite bei der Filterung möglichst eine optimale Lage vorhanden ist. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß infolge der schraubenförmigen Spindelführung des waagrechten Armes und damit des Drahtendes ein kontinuierliches Ansteigen der

---

<sup>5a)</sup> Vgl. hiezu das Beiheft zum Gerät mit den technischen Daten.

analysierten Frequenzbereiche vorliegt, so daß die Analyse am Ende des Registrierblattes bereits die Frequenzhöhe vom Anfang des nächsten zur Darstellung gelangenden Frequenzbereiches erreicht hat. Schließlich bringt die lineare Aufzeichnung mit sich, daß die Oktavenabstände der Teiltöne entgegen der gewohnten logarithmischen Darstellung immer weiter werden. Können theoretisch im Bereich von 85 bis 170 Hz nur 3 Frequenzbereiche der Teiltöne dargestellt werden, dann weist die Oktave von 850 bis 1700 Hz bereits etwa 20 solche Bereiche auf. Kommt es also auf eine genauere Erfassung des Verlaufes der tiefen Teiltöne, z. B. des Grundtones an, dann empfiehlt es sich, die Probe in versetzter Tonhöhe auf den Sonographen aufzuspielen, was bekanntlich leicht durch entsprechende Erhöhung der Abspielzeit erreicht werden kann. Eine Probe die z. B. mit 4,75 cm/sec. aufgenommen wurde, rückt um zwei Oktaven hinauf, wenn sie mit 19 cm/sec. überspielt wird. Ein Überschreiten der durch die Apparatur gesetzten oberen Grenze von 12.000 Hz kann dadurch ermöglicht werden, daß man die Probe z. B. statt mit 19 cm/sec. nur mit 9,5 cm/sec. abspielt. Sofern die Aufnahme selbst Frequenzen enthält, die über 12.000 Hz hinausgehen (— die guten normalen Tonbandgeräte umfassen einen Bereich bis 16.000 Hz —), kommen dann auch diese Frequenzen in der Registrierung zum Vorschein. Diese beiden Möglichkeiten erleichtern und erweitern z. T. die Untersuchung. Setzt man z. B. die

Aufnahme eines Gesanges um zwei Oktaven hinauf, dann gelangt man in einen Bereich der Analyse, der eine direkte Ablesung der Grundtonhöhen ermöglicht. Unter Berücksichtigung der Versetzung um zwei Oktaven trägt man auf einem durchsichtigen Material, das ja jetzt in verschiedenen Arten von Kunststoffen zur Verfügung steht, die Linien unseres Notensystems auf und legt diesen Raster auf die Probe, dann kann man die Tonhöhenbewegung direkt im Notensystem ablesen. Der Sonograph kann somit gleichsam als Tonhöhenschreiber fungieren, er zeichnet aber überdies das darüber liegende Spektrum mit auf. An solchen Aufnahmen kann man sehen, daß manchmal der zweite Teilton wesentlich stärker ist als der erste (= Grundton). Dadurch, daß die harmonischen Teiltöne hintereinander jeweils einen Differenzton in Grundtonhöhe ergeben und außerdem der von den (zusammengefaßten) oberen Teiltönen gebildete Residualton in Grundtonhöhe liegt <sup>6)</sup>, kommt dieser Umstand beim normalen Hören kaum zur Geltung, er kann sich etwa in der Klangfarbe solcher Fälle äußern. Die gegenüber dem Grundton größere Stärke des 2. Teiltones kann z. B. dann auftreten, wenn der 2. Teilton im Bereich des unteren Formanten von

---

<sup>6)</sup> Vgl. Ferdinand Scheminzky, Die Welt des Schalles, Salzburg 1943<sup>2</sup>, S. 130. — J. F. Schouten, 5 Articles on the Perception of Sound (1938—1940), Instituut voor Perceptie Onderzoek, Insulindelaan 2, Eindhoven, Jan. 1960 (Artikel zum Residuum, das bekanntlich von Schouten festgestellt wurde).

(bestimmten) Vokalen liegt, kann sich aber auch bei bestimmten Stimmgebungen einstellen. Die zweite Möglichkeit, durch langsameren Übertragungstempo die Höhenlage der Probe nach unten zu verschieben, damit aber den Bereich der sonographischen Analyse auf theoretisch 24.000 Hz auszudehnen, kann zur Feststellung von Verstärkungen führen, die in einem Teiltonbereich liegen, der von älteren Personen entweder überhaupt nicht mehr gehört wird oder der beim Hören nur schwach zur Geltung kommt. Ist tatsächlich ein starker sehr hoher Teiltonbereich vorhanden, dann merkt man dies meist bereits daran, daß die um eine Oktave nach unten versetzte Probe heller klingt, als die Probe in Originalhöhe. Der Kay-Sonograph bietet über die fortlaufende Analyse der Probe hinaus noch weitere Untersuchungs- und Registrierungsmöglichkeiten. Es kann ein beliebiger Punkt aus der Probe ausgewählt werden und das Spektrum des Schallereignisses zu diesem Zeitpunkt dargestellt werden. In diesem Falle zeichnet das Gerät die Frequenzen zwar wiederum in der Ordinate, doch die Stärke der einzelnen Teiltöne in der Abszisse auf. Diese Aufzeichnung dient zur Feststellung der relativen Stärke der einzelnen Teiltöne. Zu beachten ist hierbei, daß die Aufzeichnungsbreite von der Durchlaßbreite des Filters und damit mit dieser von der Stärke der jeweiligen Frequenz abhängig ist. Weiters registriert der Sonograph — alles dies in einem jeweils gesonderten Arbeitsvorgang — in Form einer Kurve die

Gesamtamplitude in ihrem zeitlichen Verlauf, dies in einer z. T. logarithmischen Aufzeichnung. Schließlich kann ein beliebiger Höhenbereich im Umfang von maximal 10% des Gesamtbereiches ausgewählt und zehnfach vergrößert dargestellt werden.

Diese vielfachen Möglichkeiten des Sonagraphen bergen zugleich viele Möglichkeiten wissenschaftlicher Forschung in sich, doch nicht zuletzt auch die Gefahr, einer Apparatefreudig- und -gläubigkeit zu verfallen. Einerseits leistet der Sonagraph weniger als unser Ohr, andererseits wiederum mehr. Weniger schon allein durch den Umstand, daß die Breite der Analyse speziell in den Grundtonbereichen unseres Hörens weitaus geringer ist als die Unterschiedsempfindlichkeit unseres Ohres. Andererseits ist die zeitliche Trennung beim Sonagraphen größer als bei unserem Ohr. Rückt man z. B. die Schläge auf ein Trommelfell zeitlich so zusammen, daß einzelne Schläge weniger als  $\frac{1}{20}$  Sekunden voneinander entfernt sind, dann nimmt unser Ohr nicht mehr die Folge von zwei Schlägen auf, sondern registriert nur mehr einen Schlag. Der Sonagraph dagegen trennt diese einzelnen Schläge. Oder ein anderes Beispiel. Nimmt man etwa den ersten Akkord des ersten Satzes der ersten Symphonie von L. v. Beethoven auf einem Tonband mit 19 cm/sec. Laufgeschwindigkeit auf und schneidet nun ca. 1—2 mm dieser Aufnahme heraus, klebt dieses Stückchen auf ein Leerband und spielt nun ab, dann vernimmt unser Ohr nur einen Knacks. Bietet man dem

Sonographen diesen Knacks und läßt z. B. von diesem Knacks eine Darstellung des Spektrums durchführen, dann wird dies der Sonograph zur Darstellung bringen, wiewohl dieses Spektrum sich in den höheren Frequenzbereichen rasch verliert. Macht man eine Amplitudenkurve von diesem Knacks, dann sieht man den schlagartigen Eintritt, aber die Amplitudenkurve setzt nach dem Knacks nicht schlagartig ab, sondern schwingt in einer Zeit aus, die fast noch länger ist als die des analysierten Knackses. Aber nicht nur der Sonograph ist bei den wissenschaftlichen Untersuchungen in Betracht zu ziehen, auch die Geräte, die die Probe liefern, müssen beachtet werden. Wendet man das kritische Augenmerk auch der Qualität der Proben zu, dann gelangt man zur Feststellung, daß saubere Proben relativ selten sind. So sind z. B. durch den Großstadtlärm die Aufnahmebedingungen für die verfeinerten Ansprüche der wissenschaftlichen Untersuchung merklich verschlechtert, selbst wenn man den Lärm für das Ohr eliminiert hat. Eine Aufnahme, die mit einem empfindlichen Mikrophon hergestellt wurde, läßt den Straßenlärm in Spuren erkennen. Dazu kommt, daß die Geräte selbst, z. B. durch ihre Röhren, Verunreinigungen der Aufnahmen hervorrufen können. Will man möglichst exakt vorgehen, dann empfiehlt es sich, von den Bedingungen der wissenschaftlichen Schallaufnahme Aufnahmen ohne ein Schallsignal, sondern lediglich von den gegebenen Bedingungen zu machen und diese dem Sonographen

zu bieten. Sollte das Sonagramm solcher Aufnahmen Registrierungen aufweisen, dann zeigen diese wenigstens, in welcher Richtung Störungen auftreten können, bzw. auf welchem Wege die Aufnahmen zu verbessern sind.

Bei der Arbeit mit dem Sonagraphen darf man den Umstand nicht aus dem Auge verlieren, daß man es bei diesem Gerät mit einem elektroakustischen System zu tun hat, das bestimmte Charakteristiken und Toleranzen besitzt, die zu berücksichtigen sind. Verwendet man zur Herstellung und Überspielung der Probe ein (weiteres) Tonbandgerät, dann sind außer dem neuen System mit seinen spezifischen Eigenschaften noch die Momente der Anpassung der beiden Systeme zueinander zu beachten. Die technische Seite ist jedoch nicht die einzige, die beachtet werden muß. Zu ihr gesellt sich als ein weiteres wichtiges Moment das Verhältnis der sonographischen Analyse zu dem, was das Ohr tatsächlich aufnimmt. Eine besonders wichtige Rolle spielt dieses Verhältnis in allen jenen Fällen, in denen es sich um eine Kommunikation handelt, die sich des Schalles bedient, sei es eine Kommunikation zwischen den Menschen, also vor allem Sprache und Musik, sei es zwischen den Tieren oder auch zwischen Mensch und Tier. Es ist naheliegend in erster Linie an den hörbaren Frequenzbereich und die unterscheidbare Lautstärke zu denken, doch auch dem zeitlichen Verlauf kann eine für die Wahrnehmung selbst

wesentliche Rolle zufallen. Die biologische Bedeutung des von Karl E. van Baer (1864) herausgestellten Momentes ist bekannt <sup>7)</sup>. Der Moment ist eine Zeitgröße, die für den Menschen und für die verschiedenen Tiere weitgehend verschieden ist. Bei der Schnecke — um bei den in der Literatur immer wieder angeführten Beispielen zu bleiben — beträgt der Moment  $\frac{1}{4}$ , beim Kampffisch  $\frac{1}{30}$  Sekunden, beim Menschen  $\frac{1}{18}$  Sekunden. Er entspricht beim Menschen der Grenze, wo hintereinander dargebotene Einzelbilder in eine Bewegung zusammengeschlossen werden und wo die Druckstöße der Schallschwingungen nicht mehr als Einzelstöße, sondern als kontinuierliche Schallercheinung wahrgenommen werden. Ebenfalls bei dieser Zeitgröße, bei etwa  $\frac{1}{20}$  Sekunden liegt die sogenannte Zeitkonstante des menschlichen Ohres, die die Grenze darstellt, über der zwei (gleiche) aufeinanderfolgende Schallereignisse bereits getrennt wahrgenommen werden, unter der sie aber in eine Wahrnehmung zusammenfließen. Diese Zeitgröße entspricht z. B. auch dem Lautwert einer rasch gesprochenen Unterhaltungssprache. Der Sonagraph

---

<sup>7)</sup> Vgl. G. A. Bröcher, Die Entstehung und die biologische Bedeutung der subjektiven Zeiteinheit — des Momentes, Z. f. vergl. Physiol., Bd. XVIII, 1932; derselbe, Die untere Hör- und Tongrenze, Pflügers Arch. 234, 1934, S. 380ff. — Hansjochen Autrum, Über Energie- und Zeitgrenzen der Sinnesempfindungen, Naturwiss., Jg. XXXV, 1948, Heft 12 (über weitere Zusammenhänge).

kann — wie bereits erwähnt. — noch Zeitwerte getrennt darstellen, die unterhalb der Zeitkonstante liegen. Seine Analyse ist feiner als die Wahrnehmung und daher erst nach Berücksichtigung der gehörphysiologischen Momente zu verwerten, wenn es sich um Fragen des Schallempfanges mit dem Ohr handelt. Ein anderer, biologisch bedeutsamer und auch für das Musikhören wesentlicher Umstand ist der, daß das menschliche Ohr in der Lage ist, aus verschiedenen gleichzeitig gebotenen Schallarten — in der Hauptsache auf die Einschwingvorgänge und die Schallspektren dieser einzelnen Schallarten gestützt — die einzelnen herauszuhören, soferne sie einzeln bereits bekannt geworden waren. Bietet man einer Versuchsperson einen einzigen Klang, z. B. einen Geigenklang, den man auf einem Tonband aufgenommen hatte, so wird dieser Klang ohne Schwierigkeit erkannt; nicht aber, wenn man von diesem Tonband den Einschwingvorgang wegschneidet. Dann vermeint die Versuchsperson vielfach, den Klang einer Hupe oder Trompete zu vernehmen, besonders dann, wenn der Klang wohl klar vernehmbar ist, aber nur kurz andauert. Gibt man diesen Klang dem Sonagraphen mit dem Einschwingvorgang, dann wird auch der Einschwingvorgang deutlich sichtbar, man kann auch feststellen wie sich die relative Stärke der einzelnen Teiltöne im Verlauf des Einschwingvorganges ändert. Beim abgetrennten Einschwingvorgang setzt das Klangspektrum praktisch schlagartig auch auf dem Sona-

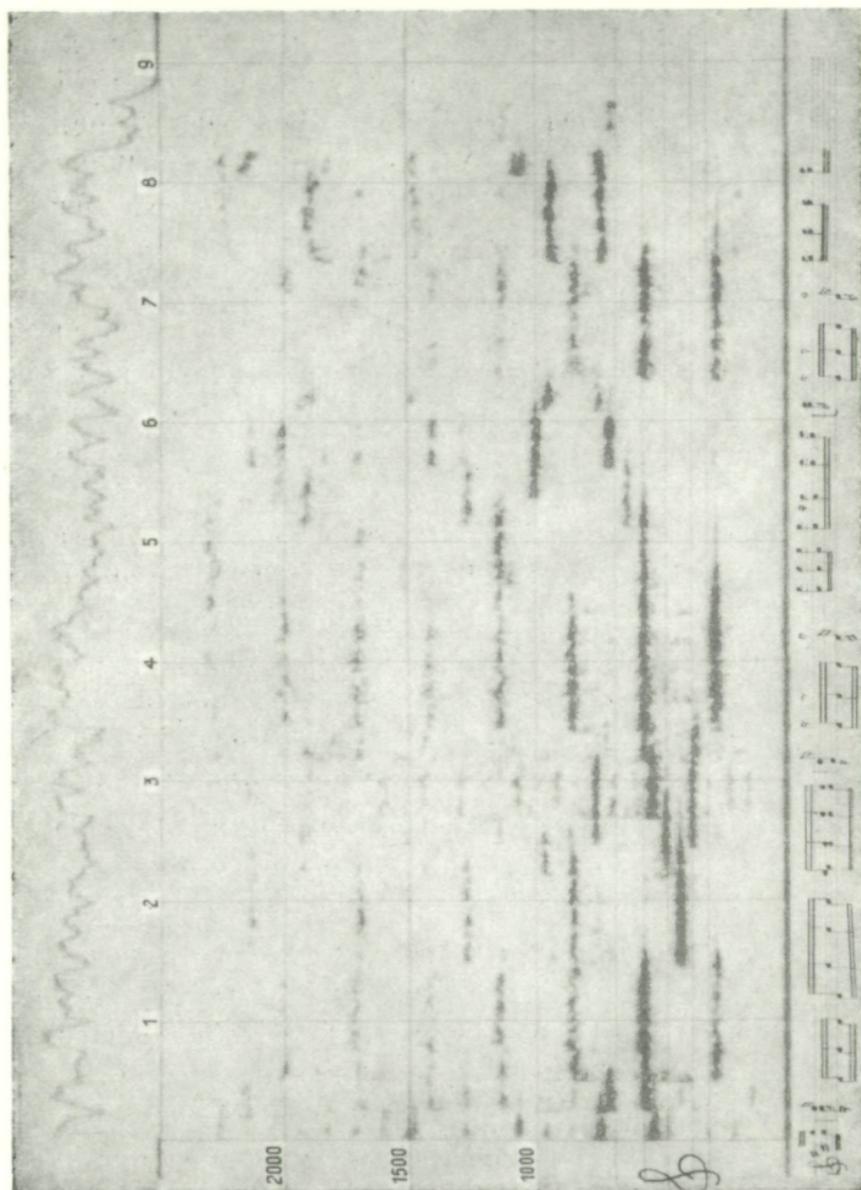


Abb. 1. Sonagramm einer Stelle aus J. S. Bach, Chaconne.

gramm ein. Vergleicht man nun den Einschwingvorgang der Geige mit dem der Trompete, dann sieht man, daß in einem bestimmten Punkt der Klangentwicklung eine große Annäherung der beiden Bilder hinsichtlich der relativen Stärke der Teiltöne für beide Fälle vorliegt. Das Sonagramm folgt also dem akustischen Vorgang ausreichend getreu und muß daher — zumindest theoretisch — erlauben, daß man verschiedene Klangfarben aus einem Zusammenklang herauslösen kann. Dies ist auch tatsächlich der Fall, sofern nur wenige, nicht ähnliche, aber prägnante Klänge unterschieden werden müssen und diesen Klängen eine verschiedene Tonhöhe zufällt. Daß aber selbst beim gleichen Klang sogar Oktavierungen festgestellt werden können, zeigt das Sonagramm von Abbildung 1. Dieses Sonagramm bringt nach einer von Wolfgang Schneiderhan bespielten Schallplatte von J. S. Bachs Chaconne eine z. T. zweistimmige Stelle, die dem Sonographen so überspielt wurde, daß das Sonagramm um zwei Oktaven höher liegt, also eine direkte Ablesung am eingezeichneten Notensystem erlaubt. Natürlich rücken die Zeitabstände auf ein Viertel der Aufzeichnungslänge zusammen. Zunächst ist zu bemerken, daß das Sonagramm gewisse Unreinheiten im Spektrum aufweist. Diese Unreinheiten gehen auf den Zustand der alten Schallplatte zurück. Musikalisch enthält die Stelle dreimal eine Wiederholung von  $d^1$  und einmal von  $a^1$ , sonst aber durchwegs Doppelgriffe. Die drei Stellen, an denen das  $d^1$

wiederholt wird, zeigen, daß die Lautstärke der zweiten Stelle am stärksten ist, wodurch die (harmonische) Teiltonreihe bis zum 9. Teilton sichtbar wird. Vergleicht man aber den 4. Teilton, d. i.  $d^3$ , mit dem nachfolgenden  $d^3$ , das in Verbindung mit  $d^2$  als Doppelgriff (Oktave) erscheint, dann fällt sofort auf, daß dieses  $d^3$  im Doppelgriff wesentlich stärker registriert ist, als der vorangehende gleichhohe Teilton: es sind also selbst beim Klang nur einer Geige Grundton + Oktave erkennbar (im Gegensatz zum Oktaven-Teilton einer harmonischen Teiltonreihe). Mit größerer Sicherheit sind selbstverständlich die Zweiklänge erkennbar, die ein anderes als das Oktavenintervall aufweisen. Man sieht aber auch, daß die angestrichenen Töne nachklingen. Eine Beobachtung des Einschwingvorganges kann mit Rücksicht auf die wesentliche Verkürzung der Zeitaufzeichnung nicht vorgenommen werden. Schließlich — um noch auf einen Punkt hinzuweisen — zeigt die Abbildung die Möglichkeit, aus dem Sonagramm die Tonhöhenbewegung direkt am Notensystem abzulesen.

Von den Forschungszweigen, die sich der Beschäftigung mit dem Schallspektrum zuwandten, seien einige als Beispiel angeführt. Vor allem ist es die Kommunikationsforschung und die Sprachwissenschaft gemeinsam mit der Phonetik, die auf diesem Wege den Charakteristiken der Sprachlaute, ihrem Aufbau und ihrer Verbindung nachgingen. Vor allem steht die Frage stark im Vordergrund, welche Eigen-

schaften sind von allgemeiner Wichtigkeit, welche sind für bestimmte Momente (z. B. für den emotionalen Ausdruck der Sprache)<sup>8)</sup> relevant. Es ist beabsichtigt, in einem späteren Vortrag auf Eigenschaften der Sprachlaute, d. h. vor allem auf die Formanten zurückzukommen, und aus diesem Grunde mögen diese mehr allgemeinen Hinweise genügen.

Auf musikalischem Gebiet kann die Untersuchung des Klangspektrums verschiedenen Forschungsfragen dienen. Zwei Beispiele seien erwähnt. Das Vibrato der menschlichen Stimme wurde bereits früher, vor der Existenz der neuen Untersuchungsmöglichkeiten; mittels der Tonhöhenschreibung recht eingehend untersucht<sup>9)</sup>. Im wesentlichen wurde hierbei die Bewegung des Grundtones betrachtet. Der Sonograph ermöglicht nun aber auch die Beobachtung der Relation der einzelnen Teiltöne zueinander während des Vibratos. Yoel Walbe ging der Frage nach, ob sich auf diesem Wege, ausgehend vom realen Klang und nicht vom Notenbild einer Transkription, klangstilistische Hinweise für die sehr stark gesanglichen

<sup>8)</sup> Vgl. Klára Magdics, Über die Intonationsforschung im letzten Jahrzehnt, in: Studien in allgemeiner Sprachwissenschaft, Bd. I, 1963, S. 31—33 (einige Arbeiten von Felix Trojan, die in dieser Richtung im Phonogrammarchiv der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt wurden, sind noch nicht veröffentlicht); erweiterte Fassung: Acta Linguist. Hung., Bd. XIII, S. 133—166, 1963 (in englischer Sprache).

<sup>9)</sup> Vgl. die Zusammenfassung bei Carl E. Seashore, Psychology of Music, New York 1938, S. 20ff. und 254ff.

Bibellesungen der Juden aus den verschiedenen Verbreitungsgebieten gewinnen ließen<sup>10)</sup>. Methodisch mußten hiebei zunächst jene Charakteristiken des Spektrums herausgelöst werden, die dem gesungenen Laut dienen und dann erst konnte auf die Charakteristik des Stimmklanges im allgemeinen und speziell beim Vibrato eingegangen werden. Das Ergebnis dieser Untersuchung war sehr interessant und für eine Fortführung dieser Untersuchung an reicherem Klangmaterial — denn erst dann können Aussagen in halbwegs schlüssiger Form gemacht werden — richtungsweisend. — Es steht fest, daß der „biologische Sinn der Sinne“<sup>11)</sup>, also auch des Gehörs, der primäre ist und daß die Verwendung des Gehörs für die Musik einer „Luxusfunktion“ dient, wie dies gelegentlich bezeichnet wurde. Man muß deshalb noch nicht einer „Biologistik“ verfallen, wenn man sich die Frage vorgelegt, ob nicht Elemente aus dem primär biologischen Sinn des Hörens auf dem Wege des Klangmodelles nicht auch in das Musikerleben einfließen können. An Hand eines Sonagrammes konnte der Verfasser zeigen, daß zu einem hawaiischen Gesang, den als Metapher für den tatsächlichen Vulkanausbruch die Vulkan-göttin Pele an den Berg Puna singt, als Begleit-

<sup>10)</sup> Yoel Walbe, Der Gesang Israels und seine Quellen. Ein Beitrag zur Ausführung der religiösen Gesänge, Diss. Wien 1964.

<sup>11)</sup> Vgl. Albert Wellek, Musikpsychologie und Musikästhetik, Grundriß der systematischen Musikwissenschaft, Frankfurt am Main 1963, S. 6.

instrument der Schlagkürbis Ipu in einer in ihren akustischen Folgen auffallenden Spieltechnik verwendet wird. Die Spielerin läßt ihre Finger der Reihe nach auf dem Schlagkürbis abrollen und setzt ihn dann kräftig zweimal auf die Erde auf. Die Anschläge der einzelnen Finger erfolgen so rasch, daß sie unter der Zeitkonstante liegen und somit vom Ohr manche Schläge zusammengezogen werden. Der Vergleich mit dem Sonagramm eines Vulkanausbruches zeigt bemerkenswerte Parallelen. Auch hier ist eine Folge schwacher Schläge in einem unter der Zeitkonstante liegenden Abstand erkennbar, auf die stärkere und in größeren Zeitabständen erfolgende Schläge eintreten: offensichtlich zuerst das Niederprasseln ganz kleiner Lavateilchen und dann das Niederstürzen größerer Lavabrocken. Auch besteht zwischen den beiden Spektren selbst eine gewisse Ähnlichkeit. Diese Ähnlichkeit darf nicht mit dem Hinweis abgetan werden, daß dies bei Geräuschspektren nicht verwunderlich ist, da ja neben der unregelmäßigen Verteilung der Teiltöne bekanntlich deren Frequenz und Stärke einem (fortlaufenden) Wechsel unterworfen ist. Die vom Verfasser angestellte Untersuchung verschiedener Musikinstrumente, die ein Geräusch erzeugen, hat zu dem Ergebnis geführt, daß die erzeugten Geräusche — z. B. durch das Auftreten von Konzentrationszonen etwa in Entsprechung zu den Formanten der Sprachlaute — spektral wohl unterschieden sind, ein plausibles Ergebnis, wenn man

bedenkt, daß ja diese Musikinstrumente in der vorliegenden Gestalt eine Tradition von Generation zu Generation aufweisen und eben wegen des verschiedenen Klanges auch verschiedene Anfertigung erfordern. Im herangezogenen Beispiel — es läßt sich die Zahl solcher Beispiele leicht vermehren — zeigt sich, daß instinktiv der Klang und die Rhythmisierung für die Gesangbegleitung gewählt wurde, die dem Modell des Naturvorganges folgt, der der Metapher zugrundeliegt. Der Wert solcher Untersuchungen für die Musikforschung liegt vor allem darin, daß ein vertiefter Einblick in die Spieltechnik und vor allem auch in den Erlebnisinhalt auf gefestigter Basis gewonnen werden kann.

Ein weiterer und ausgedehnter Anwendungsbereich für die moderne Klang-, bzw. Schallanalyse liegt auf dem Gebiet der Naturwissenschaften. Die Heranziehung von schallaufnehmenden und schallanalyisierenden Geräten ist keineswegs jungen Datums. Es sei z. B. an die Untersuchungen erinnert, die 1904 A. Kreidl und J. Regen<sup>12)</sup> mit Hilfe des Phonographen über die Stridulation von Grillen anstellten. Besonders häufige Verwendung fanden die technischen Geräte u. a. im Rahmen der Ornithologie. So stellte z. B. in letzter Zeit Peter Szöke (Ungarisches Ornitho-

---

<sup>12)</sup> A. Kreidl und J. Regen, Physiologische Untersuchungen über Tierstimmen, 1. Mitteilung: Stridulation von *Gryllus campestris*, 4. Mitteil. d. Phonogrammarchiv-Kommission d. Österr. Akad. d. Wiss., Wien 1905.

logisches Institut, Budapest) <sup>13)</sup> Untersuchungen über die Tonbewegungen im Vogelgesang an. Er versetzte dazu die Tonbandaufnahmen von Vogelstimmen durch entsprechende Reduktion der Abspielgeschwindigkeit in den optimalen (gewohnten) menschlichen Hörbereich und bestimmte den Abstand der Intervalle mit ihrem Auftreten in der Partialtonreihe, z. B. die Intervallfolge  $a - c^1 - c^2 - a$  mit 5—6—12—5. Auf diesem Wege gelangt er zur Feststellung: „Das Gesetz der Obertonreihe war die physisch-akustische Bedingung der inneren physiologischen und der gesamten biologischen Entwicklung der Vogelstimme“ <sup>14)</sup>. Es sei erwähnt, daß unter den Forschern der Gegenwart z. B. Jacques Chailley die Entwicklung der Musik auf dem Gebiet der Intervalle im Sinne eines Aufsteigens in der Teiltonreihe sieht. Neben Untersuchungen, die in der Hauptsache auf den Abständen (Intervallen) der Grundtöne oder der zeitlichen Abfolge beruhen, sind nun auch solche Untersuchungen wesentlich erleichtert, die sich mit dem Klang-, bzw. Schallbild und seinen Veränderungen im zeitlichen Schallverlauf beschäftigen. Abbildung 2 ist das Sonagramm, das vom „singenden Frosch“, dem „Coqui“ (*Eleutherodactylus portoricensis*)

---

<sup>13)</sup> P. Szöke, Zur Entstehung und Entwicklungsgeschichte der Musik, *Studia Musicologica*, Tomus II, fasc. 1—4, 1962, S. 33—85 (eine Zeitschrift der Ungarischen Akademie der Wissenschaften).

<sup>14)</sup> a. a. O., S. 71.

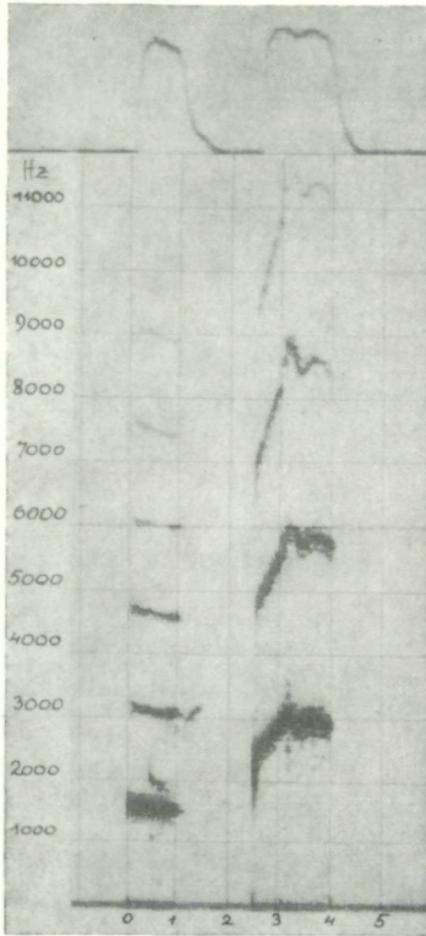


Abb. 2. Sonagramm des „COQUI“ (*Eleuterodaetylus portoricensis*) nach der Tonbandaufnahme in Originalgeschwindigkeit.

sis) von Puerto Rico <sup>15)</sup> gemacht wurde; Abbildung 3 ist ein Sonagramm der gleichen Tonbandaufnahme, die jedoch in zeitlicher Verzögerung sonographiert wurde, so daß vom Sonographen ein Bereich bis 24.000 Hz registriert werden kann. Der Vergleich beider Abbildungen zeigt, daß in Abbildung 3 noch Teiltöne bei 15.000 Hz deutlich sichtbar sind, ja selbst bei 18.000 Hz Teiltöne angedeutet erscheinen, was u. a. zeigt, daß die Tonbandaufnahme die übliche Grenze bei 16.000 Hz überschritt. Weiters zeigt sich, daß — wie dies durch die zeitliche Verzögerung zu erwarten ist — in Abbildung 3 der zeitliche Verlauf genauer zu bestimmen ist. Es zeigt sich, daß der tiefere Ton der Lautäußerung vom höheren etwa 15 csec. entfernt und deutlich abgesetzt ist, daß der tiefere Ton etwa  $\frac{1}{10}$  sec. und der höhere 15 csec. dauert, aber zwei deutliche Phasen aufweist, deren erste etwa 6, deren zweite etwa 9 csec. dauert. Diese Phasen sind in ihrer höhenmäßigen Entwicklung deutlicher auf Abbildung 2 zu verfolgen. Die erste steigt in einem (besonders anfangs) sehr breiten Band um etwa 500 Hz bis gegen 3000 Hz, nach Erreichung dieser Höhe fällt (Abbildung 2!) die Höhe etwas ab, steigt dann wieder und verbleibt auf etwa

<sup>15)</sup> Die Tonbandaufnahme für die Analyse wurde von Herrn Univ.-Prof. Richard Biebl aus Puerto Rico mitgebracht (vgl. Richard Biebl, Naturwissenschaftliche Reiseeindrücke aus Puerto Rico und Venezuela, Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, 102. Vereinsjahr, 1962, S. 35—75).

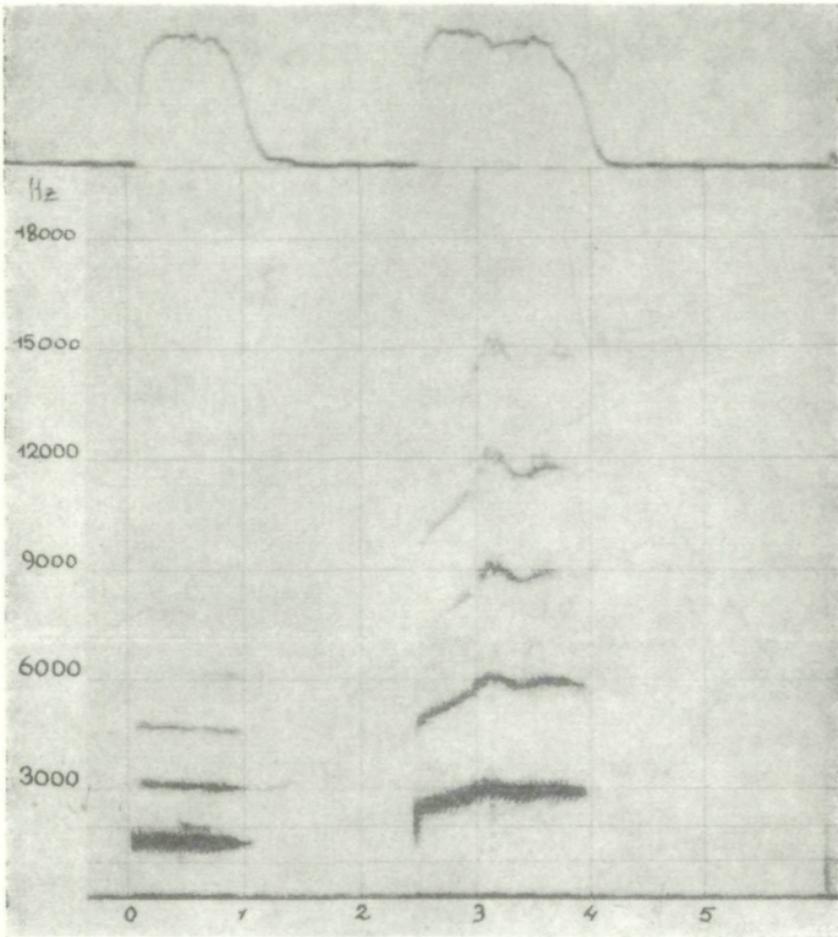


Abb. 3. Sonagramm des „COQUI“ (*Eleuterodactylus portoricensis*) nach einer Tonbandaufnahme in verlangsamer Wiedergabe.

3000 Hz. Der tiefere Ton der Lautäußerung liegt etwas über 1500 Hz, ist also eine (unreine) Oktave vom Niveau des höheren entfernt. Gerade die geknickte Kurve der höheren (zweiten) Lautäußerung zeigt, daß hier offenbar die Länge des Tones mit einem neuerlichen Druck auf die Schallblase erreicht wird. Interessant ist das breite Frequenzband ganz zu Beginn des zweiten Tones: an seiner unteren Grenze schließt es direkt an den Bereich des vorangegangenen ersten Tones an \*). Eine gewisse Überraschung bereitet die Amplitudenkurve. Beim Anhören des Tonbandes hat man den Eindruck, als wäre der zweite Ton wesentlich stärker als der erste. Die Amplitudenkurve zeigt aber nur einen relativ geringen Unterschied. Dies rührt wohl daher, daß der zweite Ton absolut im Bereich des Höroptimums liegt, das die größte Empfindlichkeit aufweist, während dies beim ersten Ton nicht der Fall ist. Ein Blick auf das Hörfeld zeigt, daß der Unterschied in der Empfindlichkeit 10 dB beträgt. Schon diese Hinweise an Hand des Sonagrammes vom Quaken des *C o q u i* zeigen, welche genauen Einblicke die moderne Klanganalyse liefern kann und daß Aussagen möglich werden, die dem bloßen Hören versagt sind: dies gilt nicht nur für diesen speziellen Fall, sondern auch für die anderen Anwendungsbereiche der modernen Klanganalyse.

---

\*) Auch sieht man, daß das Quaken eine recht saubere harmonische Teiltonreihe aufweist, was dem Tier auch den Namen eines „singenden“ Frosches eintrug.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1964

Band/Volume: [104](#)

Autor(en)/Author(s): Graf Walter

Artikel/Article: [Moderne Klanganalyse und wissenschaftliche Anwendung. 43-66](#)