

graduel des amplitudes initiales dans chaque période, ce qui n'est pas en accord avec la théorie de résonance de HELMHOLTZ où ces amplitudes devraient garder les mêmes dimensions jusqu'au bout de chaque période.

Moi aussi je peux apporter une contribution à la solution de ce problème si difficile : dans la plupart des cas j'ai trouvé que la note caractéristique est *inharmonique*, indépendante de la voix laryngienne et de ses harmoniques, ainsi que l'a affirmé HERMANN. Mais il y a aussi des cas où — par hasard — la place de la note caractéristique coïncide avec un ton composant de la voix : ici, la voyelle serait formée d'après la théorie de HELMHOLTZ. Donc, les deux ont raison, HERMANN et HELMHOLTZ ainsi que l'a prévu déjà ROUSSELOT et que l'a prouvé au moins pour les voyelles produites d'une façon artificielle un physicien tchèque, le professeur KAŇKA. C'est aussi l'avis de M. TRENDELENBURG dans son Acoustique.

[Suit une série de projections lumineuses, accompagnées d'explications.]

18. Prof. FERDINAND TRENDELENBURG (Berlin-Siemensstadt):  
*Neues zur Physik der Sprachlaute.*

Seit einer Reihe von Jahren benutzt man zur objectiven Untersuchung von Schallvorgängen vielfach die Methode der oszillographischen Klangaufzeichnung. Der zu untersuchende Schall wird von einem hochwertigen Mikrophon, meist einem Kondensator-Mikrophon, aufgenommen. Das Kondensator-Mikrophon arbeitet auf einem Röhrenverstärker, an welchen ein Oszillograph angeschlossen ist, der den zeitlichen Verlauf des Ausgangsstroms des Verstärkers und damit den zeitlichen Verlauf des Druckes im Schallfeld mit grosser Genauigkeit aufzeichnet. Die Oszillogramme können dann rechnerisch oder mechanisch analysiert werden und es kann so die Teiltonzusammensetzung der in Frage stehenden Schallvorgänge ermittelt werden. Unter Benutzung von Oszillographen wurden zahlreiche aufschlussreiche Untersuchungen durchgeführt. So konnten beispielsweise die für die Aufgaben der Nachrichtentechnik sehr wichtigen Fragen des Frequenzumfanges und des Intensitätsumfanges von Sprach- und Musikklängen auf das genaueste geklärt werden. Weiterhin konnten wichtige Feststellungen zur kritischen Wertung der verschiedenen Vokaltheorien gemacht werden (1). An Hand oszillographischer Klangaufnahmen konnten phonetische Fragestellungen wie

(1) Vergl. F. TRENDELENBURG, *Wiss. Veröff. a. d. Siemenskonzern*, III/2, S. 43, 1924; IV/1, S. 1, 1925.

z. B. diejenige des Tonhöhenverlaufs und des Intensitätsverlaufs in gesprochenen Silben und Sätzen erfolgreich bearbeitet werden (1). Als nachteilig erwies sich aber, dass der Zeitbedarf zur Durchführung einer Analyse ein sehr erheblicher ist. Man benötigt zur rechnerischen Analyse eines oszillographisch aufgezeichneten Klanges bis zum 12. Partialton etwa einen vollen Arbeitstag, auch bei der mechanischen Analyse — beispielsweise mit einem Maderschen Analysator (2), welcher Analysen bis zum 25. Partialton ermöglicht, — hat man noch einen Arbeitsaufwand von einigen Stunden.

Es bedeutete einen sehr grossen Fortschritt, als es gelang, elektrische Verfahren zur automatischen Klanganalyse zu finden. In Deutschland wurden derartige Verfahren zur automatischen Klanganalyse zuerst von M. GRÜTZMACHER (3) und — unabhängig von ihm, — von E. GERLACH (4) entwickelt. Diese automatischen Verfahren zur Klanganalyse arbeiten in der Weise, dass ein von einem Schwebungssummer gelieferter Suchton langsam den gesamten Tonbereich durchläuft und dass ein hinter einer Verstärkerschaltung liegendes Registrierinstrument jedesmal dann ausschlägt, wenn der Suchton über einen im Schallvorgang enthaltenen Teilton hinwegstreicht. Es lässt sich erreichen, dass der Ausschlag des Registrierinstruments proportional der Amplitude des jeweils gerade überstrichenen Partialtons des Schallvorganges wird. Man erhält mit dem Suchtonverfahren das gesamte Teiltonspektrum eines Klanges im Zeitraum einiger weniger Minuten auf einem photographischen Papier aufgezeichnet. Mit dem Suchtonverfahren wurden zahlreiche erfolgreiche Untersuchungen an Sprach- und Musikklängen ausgeführt (5). Die Anwendung des Verfahrens ist aber auf solche Schallvorgänge beschränkt, welche ihre Zusammensetzung während des Zeitraumes einer Analyse, d. h. während einiger Minuten nicht merklich ändern oder die zumindest während langer Zeit in genau gleicher Zusammensetzung

(1) Vergl. z. B. die eingehenden Untersuchungen von A. GEMELLI und G. PASTORI, *L'analisi elettroacustica del Linguaggio*, Mailand, 1934.

(2) O. MADER, *Electrotechn. Ztschr.*, 30, S. 847, 1909.

(3) M. GRÜTZMACHER, *Elektr. Nachr. Technik*, 4, S. 533, 1927.

(4) E. GERLACH, *Ztschr. techn. Physik*, 8, S. 515, 1927. Das erste Verfahren zur unmittelbaren Analyse von Wechselströmen wurde — wie noch bemerkt sei — von TH. DES COUDRES ausgearbeitet. (Vergl. *Elektrotechn. Ztschr.*, 21, S. 752, 1900.)

(5) Vergl. insbesondere :

M. GRÜTZMACHER, *Elektrotechn. Nachr. Technik*, 4, S. 533, 1927; *Ztschr. f. techn. Physik*, 10, S. 577, 1929.

E. MEYER und G. BUCHWALD, *Berl. Ber.* (1931), Nr. 32735.

L. BARCZINSKI und E. THIENHAUS, *Arch. néerl. Phon. exp.*, 11, S. 47, 1935.

immer von neuem erzeugt werden können. Ist dies nicht der Fall, so versagt das Suchtonverfahren. Man war bei Untersuchungen schnell veränderlicher Schallvorgänge — bis vor kurzem — gezwungen, auf die Methoden der oszillographischen Klangaufzeichnung zurückzugreifen. Wollte man beispielsweise Aussagen über die zeitlichen Änderungen der Zusammensetzung gesprochener Wörter oder dergl. machen, so musste man die in Frage stehenden Schallvorgänge Abschnitt für Abschnitt analysieren und dann die Analyseergebnisse wieder aneinander reihen (1).

In der letzten Zeit wurden zwei Verfahren entwickelt, mit deren Hilfe ohne zeitraubende rechnerische oder mechanische Analyse weitreichende Aussagen über die Eigenschaften veränderlicher Schallvorgänge gemacht werden können. Das eine

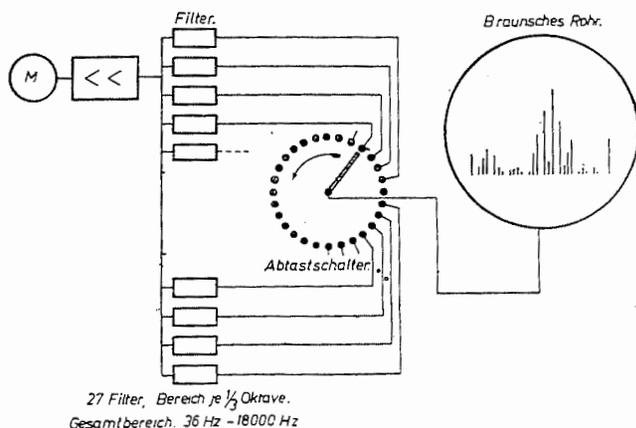


Abb. 1. Tonfrequenzspektrometer (nach E. Freystedt).

der hier in Frage stehenden Verfahren ist das Tonfrequenzspektrometer von E. FREYSTEDT (2). In Abb. 1 ist dies Verfahren skizziert. Am Ausgang des Mikrophonverstärkers liegt ein Satz von Siebketten, welche jeweils den Bereich einer Drittel-Oktave hindurchlassen. Hinter den Siebketten liegt ein Umlaufschalter, welcher 20mal in der Sekunde die Siebe abtastet

(1) Dies Verfahren wurde von H. BACKHAUS in seiner grundlegenden Arbeit über die Bedeutung der Ausgleichsvorgänge in der Akustik benutzt (*Ztschr. f. techn. Physik*, 13, S. 31, 1932). In dieser Arbeit wurden insbesondere weitreichende objectiv gesicherte Feststellungen über die physikalischen Eigenschaften gesprochener Silben gemacht.

(2) E. FREYSTEDT, *Ztschr. f. techn. Physik*, 16, S. 533, 1935.

und sie mit den senkrechten Ablenkplatten eines Braunschen Rohrs in der Weise verbindet, dass die jeweilige Stärke der in den betreffenden Sieben liegenden Komponenten der senkrechten Ablenkung des Leuchtflecks auf dem Braunschen Rohr entspricht. Während jeden Umlaufs des Drehschalters wird der Leuchtfleck sprunghaft über der wagerechten Achse des Leuchtschirms hinweggeführt, so dass dann also die Anzeige für sämtliche Siebe in jeder 20stel Sekunde einmal neben einander gereiht in Erscheinung tritt. Das auf dem Leuchtschirm des Braunschen Rohrs auf die skizzierte Weise entworfene „Tonfrequenzspektrogramm“ gibt ein sehr anschauliches Bild der Zusammensetzung von Schallvorgängen. Zeitliche Veränderungen der Schallzusammensetzung lassen sich — insofern sie nicht allzu rasch erfolgen — bereits bei subjectiver Beobachtung erkennen, für genauere Aussagen empfiehlt es sich allerdings, die auf dem Leuchtschirm entstehenden Bilder

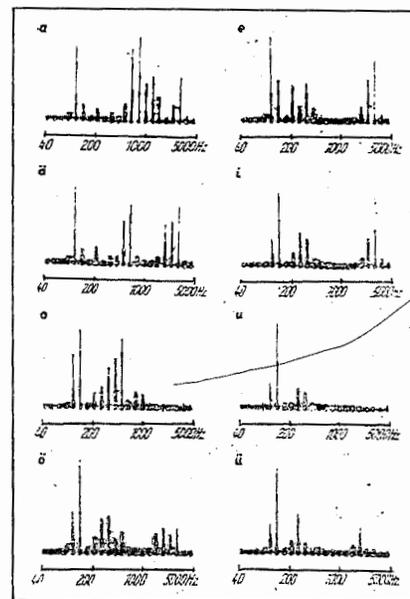


Abb. 2. Tonfrequenzspektrogramme verschiedener Vokale (nach E. Freystedt).

kinematographisch zu registrieren. Abb. 2 zeigt Tonfrequenzspektrogramme verschiedener Vokale. Aussagen über solche Schallvorgänge, deren Zusammensetzung sich während eines Umlaufs des Drehschalters — d. h. also innerhalb einer 20stel

Sekunde — wesentlich ändern, können mit dem Tonfrequenzspektrometer nach Lage der Dinge nicht gemacht werden. Zur Untersuchung derartiger rasch veränderlicher Schallvorgänge kann man aber das zweite hier in Frage stehende Verfahren, dasjenige der „Oktavsieboszillographie“ (1) heran ziehen.

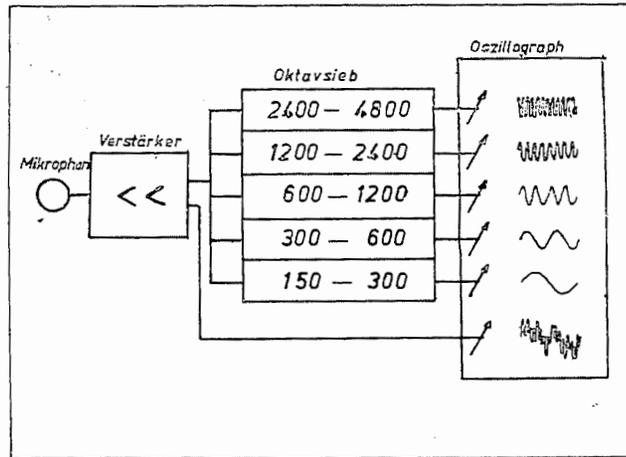


Abb. 3. Anordnung zur Oktavsieboszillographie.

Abb 3 zeigt die Schaltung des Oktavsieboszillographen. Am Mikrofonverstärker liegt ein Satz von Siebketten, welche jeweils den Bereich einer Oktave hindurchlassen. Hinter jedem Oktavsieb liegt eine Oszillographenschleife, welche den genauen zeitlichen Verlauf der in den betreffenden Oktavsieben liegenden Komponenten aufzeichnet. Das Verfahren ist brauchbar auch für sehr rasch veränderliche Schallvorgänge. Eine Grenze ist nur insofern gesetzt, als bei sehr raschen Änderungen Fehler durch Ausgleichsvorgänge der Siebe auftreten können. Die genaue kritische Wertung (2) der elektrischen Eigenschaften der Siebe zeigt, dass nennenswerte Fehler zumindest bei den

(1) F. TRENDELENBURG und E. FRANZ : *Ztschr. f. techn. Physik*, 16, S. 513 (1935) ; *Wiss. Veröff. Siemens-Werke*, 15, S. 78, 1936 ; Die Oktavsiebe selbst wurden von H. G. THILO gebaut. Oszillographische Untersuchungen mit Siebketten wurden weiterhin insbesondere auch von O. VIERLING (*Ztschr. f. techn. Physik*, 16, 1935, S. 528) — vergl. auch *Ztschr. f. techn. Physik*, 17, 1936, S. 63 — und von O. VIERLING und F. SENNHEISER (*Akust. Ztschr.*, 2, S. 93, 1937), durchgeführt. Die letztgenannte Arbeit behandelt den spektralen Aufbau der langen und der kurzen Vokale.

(2) Vergl. F. TRENDELENBURG und E. FRANZ, *Wiss. Veröff. Siemens-Werke*, 15, S. 78, 1936.

Sieben der höheren Tonbereiche bei Untersuchung von Sprach- und Musikklingen nicht auftreten. Die Einschwingzeit der Siebe entspricht — nach einer von K. KÜPFMÜLLER (1) aufgestellten Beziehung — dem Reziprokwert der Durchlassbreite der Siebe in Hertz, sie beträgt also bei den Oktavsieben von 150-300 Hertz  $1/150$ tel Sekunde, bei den Oktavsieben von 300-600 Hertz  $1/300$  Sekunde und so fort. Auch die Ausschwingvorgänge der Siebe führen, wie sich zeigen lässt, zu keinen nennenswerten Fehlern. Die Dinge liegen bezüglich der Ausschwingvorgänge so, dass die Oktavsiebe durchweg wesentlich stärker gedämpft sind als die in der praktischen Akustik vorkommenden Schwingungsvorgänge. Fast immer wirken ja bei der Erzeugung natürlicher Schallvorgänge Resonanzgebilde mit, (beispielsweise bei der Sprache die Mundhöhle, bei Musikinstrumenten der Instrumentenkörper) ; es können daher die natürlichen Schallvorgänge auch nicht schneller abklingen als es den

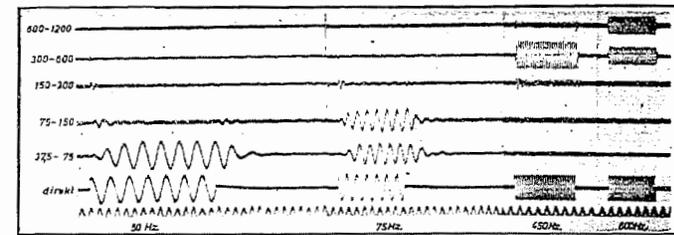


Abb. 4. Oktavsieboszillogramme plötzlich ein- bzw. ausgeschalteter Sinustöne.

Dekrementen dieser Resonanzgebilde entspricht. Das Verhalten der Oktavsiebapparatur gegenüber extrem schnellen Änderungen lässt sich aus Abb. 4 erkennen ; es sind in dieser Abbildung Oktavsieboszillogramme von plötzlich eingeschalteten bzw. ausgeschalteten Sinusschwingungen dargestellt. Die Ausgleichsvorgänge der Siebe lassen sich in den tiefen Sieben noch eben erkennen, während sie in den hohen Sieben kaum mehr wahrzunehmen sind.

Abb. 5 zeigt die Eichung mit einem Sinuston veränderlicher Höhe. Man erkennt, wie beim Hinauflaufen des Eichtons die einzelnen Siebe nacheinander ansprechen.

Mit der Methode der Oktavsieboszillographie wurden aufschlussreiche Untersuchungen über die physikalischen Eigenschaften einzelner Sprachlaute, Silben und Wörter durchge-

(1) K. KÜPFMÜLLER, *Elektr. Nachr. Technik*, 5, S. 18, 1928.

führt; über die wesentlichsten Ergebnisse dieser Arbeiten sei im folgenden kurz berichtet.

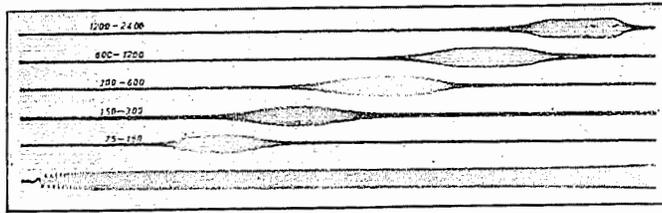


Abb. 5. Eichung der Oktavsiebapparatur mit einem Sinuston veränderlicher Höhe.

Abb. 6 zeigt Oktavsieboszillogramme der 5 Hauptvokale. Die Formantlage der verschiedenen Vokale ist auf den ersten Blick zu erkennen. Beim U liegen stärkere Komponenten nahezu ausschliesslich in den Oktavbereichen 150-300 Hertz, bezw.

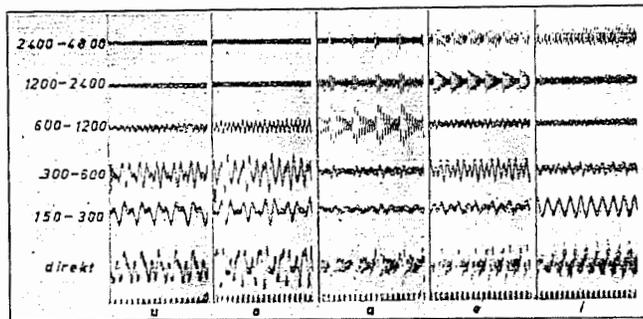


Abb. 6. Oktavsieboszillogramme der fünf Hauptvokale.

300-600 Hertz. Beim O liegt das Schwergewicht im Bereich 300-600 Hertz. Der A Formant ist im Oktavbereich 600-1.200 Hertz sehr markant zu erkennen. Beim E ist der tiefe (im wesentlichen mit dem O Formanten übereinstimmende) Formant im Bereich von 300-600 Hertz, der hohe Hauptformant im Bereich von 1.200-2.400 Hertz erkennbar. Beim I tritt der tiefe Formant (übereinstimmend mit dem U) im Bereich von 150-300 Hertz, der hohe Hauptformant im Bereich von 2.400-4.800 Hertz auf.

Die Oszillogramme zeigen sehr anschaulich, dass die auf bestimmter Tonhöhe erzeugten Vokale streng harmonisch zu-

sammengesetzt sind: Auch die Vorgänge in den hohen Sieben wiederholen sich von Periode zu Periode identisch (1).

Die strenge Periodizität der Klangbilder, welche sich auch mit der Methode der Oktavsieboszillographie ergab, bestätigt die Richtigkeit der Helmholtzschen Anschauungen über die Vokalerzeugung. Nach HELMHOLTZ (2) ist die Stimmbandschwingung — oder richtiger gesagt, der Öffnungsvorgang der Stimmritze — reich an Obertönen. Aus der dicht verteilten Obertonfolge werden diejenigen Partialtöne durch Resonanz verstärkt, welche den Eigenschwingungen der Mundhöhle nahe liegen; jeder Vokalklang enthält dementsprechend in der Tonhöhe fest liegende „Verstärkungsbereiche“ (oder wie man heute meist sagt „Formantbereiche“). Die in der Tonhöhe festen Formantbereiche bilden das physikalische Charakteristikum der betreffenden Vokale.

Von HERMANN (3) war eine andere Vokaltheorie aufgestellt worden, welche — bei flüchtiger Betrachtung — der Helmholtzschen Theorie zu widersprechen scheint. HERMANN legte seiner Theorie — und zwar zweifellos in den meisten Fällen berechtigterweise — die Annahme zu Grunde, dass die Stimmritze nur für eine verhältnismässig kurze Zeit der Stimmbandschwingung geöffnet ist, während sie während verhältnismässig langer Zeit geschlossen bleibt; er nimmt dementsprechend an, dass die Mundhöhle im Augenblick der Stimmritzenöffnung impulsähnlich zu gedämpft abklingenden Eigenschwingungen angestossen wird. Da die Eigenschwingungen der Mundhöhle im allgemeinen unharmonisch zum Grundton der Stimmbandschwingung liegen, folgerte HERMANN, dass die Helmholtzsche Anschauung falsch sei, da nach dieser ja nur harmonische Teiltöne auftreten könnten. Trotzdem ist die Divergenz zwischen HERMANN und HELMHOLTZ nur eine scheinbare. Der von HERMANN betrachtete Impuls wiederholt sich von Periode zu Periode. Zerlegt man die periodisch wiederkehrende impulsähnliche Öffnung in eine Fourierreihe, so erhält man eine Reihe mit starken bis zu sehr hohen Frequenzen hinaufreichenden Obertönen, also gerade das, was HELMHOLTZ annahm. Setzt man für die weiteren Betrachtungen Dämpfung und Resonanzlage der Mundhöhle richtig ein, so führt die quantitative Durchrechnung der Helm-

(1) Diese Aussage gilt selbstverständlich nur für solche Vokale, die auf bestimmter Tonhöhe gesungen sind. Bei gesprochenen Vokalen ändert sich das Klangbild von Periode zu Periode.

(2) H. VON HELMHOLTZ, *Die Lehre von den Tonempfindungen*, 6. Aufl., Braunschweig, 1913, S. 168 ff.

(3) L. HERMANN, *Pflügers Arch.*, 47, 347, 1890; 48, 181, 543, 574, 1890; 53, 1, 1890; 56, 467, 1894; 58, 255, 264, 1894; 61, 169, 1895; 83, 1, 33, 1901; 141, 1, 1911.

holtzschen Theorie in ähnlicher Weise auf abklingende Schwingungszüge wie die Hermannsche Theorie des Einzelimpulses. Die abklingenden Schwingungen kommen dann nach der Helmholtzschen Theorie durch Ueberlagerung einer Reihe eng benachbarter harmonischer Teiltöne zustande. Ein praktisches Beispiel möge diese Zusammenhänge noch etwas näher beleuchten; es ist dies Beispiel einer Arbeit (1) über das Verhalten periodisch angestossener elektrischer Schwingungskreise entnommen, es hat also ursprünglich überhaupt nichts mit Akustik zu tun und ist vielleicht gerade deshalb besonders beweiskräftig. In Abb. 7

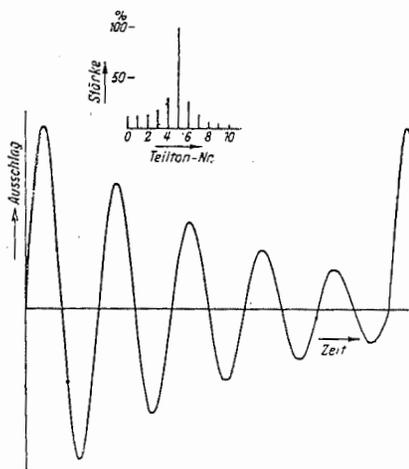


Abb. 7. Spektrum einer periodisch angestossenen gedämpften abklingenden elektrischen Schwingung (nach R. Hornickel).

(unterer Teil) ist die oszillographische Aufnahme einer durch periodischen Impuls angestossenen elektrischen Schwingung dargestellt (2). Im oberen Teil ist das Klangspektrum dieses gedämpften abklingenden Schwingungszuges abgebildet, so wie es mit einem Suchtonanalysator ermittelt wurde. Das Klangspektrum zeigt nur rein harmonische Anteile. Es ist also gerade so, wie es von HELMHOLTZ gefordert wurde; es ist im Spektrum deutlich die Verstärkung aller derjenigen Teiltöne, welche der Eigenschwingung des angestossenen Schwingungskreises nahe liegen, zu erkennen.

Trotz der unzweifelhaft allgemeinen Gültigkeit der Helmholtzschen Theorie ist zuzugeben, dass die Hermannschen

(1) R. HORNICKEL, *Elektr. Nachr. Techn.*, 14, S. 370, 1937.

(2) Es ist nur eine Periode abgebildet; von der folgenden Periode ist nur der 1. Ausschlag zu sehen.

Anschauungen — so lange man keine falschen Folgerungen aus ihnen zieht — die tatsächlichen Verhältnisse besonders gut wiedergeben, man erkennt ja auch in den Oktavsiebenaufnahmen ausserordentlich deutlich die bei jeder Stimmritzenöffnung angestossenen, gedämpft abklingenden Formantschwingungen. (z. B. beim Vokal A im Oktavbereich 600-1.200 Hertz, bei E 1.200-2.400 Hertz). Interessant ist nun aber die Fragestellung, ob das Auftreten gedämpft abklingender Formantschwingungen lediglich eine physikalische Begleiterscheinung der Vokale ist, oder ob die Tatsache der gedämpft abklingenden Eigenschwingungen wichtig für die Erkennbarkeit ist. Im erst genannten Falle wären die Hermannschen Vorstellungen phonetisch unwesentlich und lediglich von physikalischem Interesse; es würden dann für die phonetischen Fragestellungen die Helmholtzschen Anschauungen, nach welcher die Charakterisierung der Vokale allein im Vorhandensein ganz bestimmter Teiltongebiete liegt, ausreichen.

Ein einfacher Versuch, den ich Ihnen jetzt vorführe, bringt hier schlagend die Entscheidung. Wir haben mit einer Tonfilmapparat zunächst den gesprochenen Vokal A 15 mal aufgezeichnet, dann den Vokal E und schliesslich I. Daraufhin wurden die Aufzeichnungstreifen der einzelnen Vokale auseinander geschnitten und teils vorwärts laufend, teils rückwärts laufend wieder zusammen geklebt und der auf diese Weise hergestellte Tonfilm auf eine Schallplatte umgespielt. Sie hören also jetzt 15 mal den Vokal A, teils vorwärts laufend, (also mit abklingenden Formantschwingungen), teils rückwärts laufend (also mit anklingenden Formantschwingungen), in beliebiger Reihenfolge, dann 15 mal I, teils vorwärts, teils rückwärts, und zum Schluss in der gleichen Weise E. Wir haben einer Reihe von Versuchspersonen die Aufgabe gestellt, abzuhören, welche der Teilabschnitte in der richtigen zeitlichen Folge, und welche rücklaufend abgespielt wurden. Die Aufgabe konnte keine der Versuchspersonen lösen (1).

Der Versuch beweist schlagend, dass die Helmholtzsche Theorie die Charakterisierung der Vokale erschöpfend beschreibt. Die Charakteristik der Vokale liegt allein im Auftreten bestimmter, in der Tonlage fester Verstärkungsbereiche. Gedämpft

(1) Man muss beim Zusammenkleben der Tonfilme selbstverständlich den Einsatz und das Ausklingen der gesprochenen Vokale abschneiden, da man sonst die in der umgekehrten zeitlichen Folge abgespielten Vokale sofort an einem falschen, hauchähnlichen Einsetzen erkennt. Weiterhin darf man die Teilabschnitte nicht allzu lang machen, da man sonst aus der Tonhöhenänderung, die an gesprochenen Wörtern auftritt, die in der richtigen zeitlichen Folge und die in der falschen zeitlichen Folge gegebenen Abschnitte erkennen kann.

abklingende Schwingungen — so, wie sie HERMANN seinen Ueberlegungen zu Grunde legte — sind zwar *physikalisch objectiv vorhanden*; ihre Existenz ist aber für die *Charakteristik der Vokale unwesentlich*.

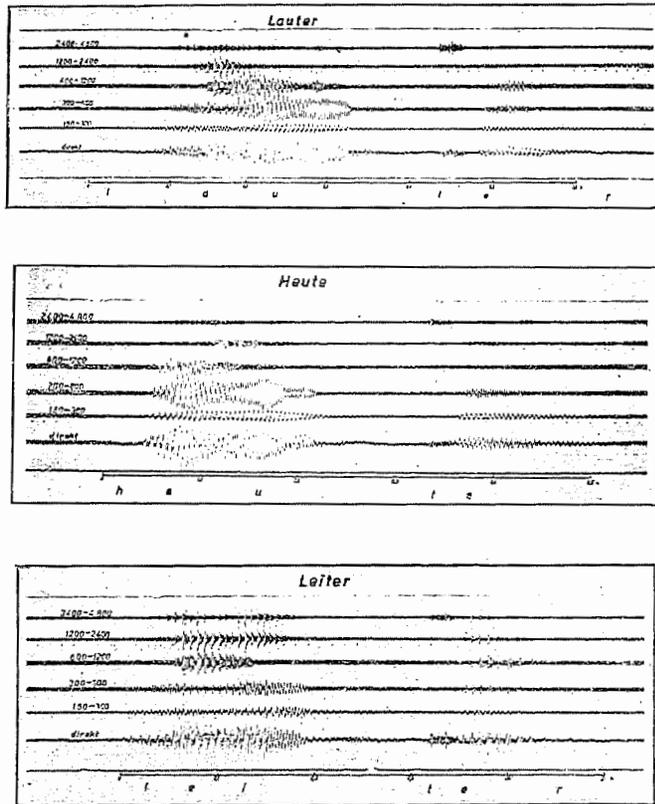


Abb. 8. Oktavsieboszillogramme der Wörter *lauter*, *heute* und *Leiter*.

Mit der Methode der Oktavsieboszillographie, deren Leistungsfähigkeit bei Untersuchungen der physikalischen Zusammensetzung einzelner Vokale wir eben skizzierten, lassen sich auch die Vorgänge bei Doppellauten sehr gut veranschaulichen. Abb. 8 zeigt Oktavsieboszillogramme der gesprochenen Wörter „lauter, heute und Leiter“. Sehr deutlich ist in Abb. 8a der Uebergang vom A Formanten (600-1.200 Hertz) zum U Formanten (150-300 Hertz und 300-600 Hertz) zu erkennen. Abb. 8b zeigt, dass das U im Doppellaut Eu physikalisch etwas anders

ist als im Doppellaut Au, deutlich sind bei Eu ziemlich starke hohe Komponenten — insbesondere im Bereich von 1.200-2.400 Hertz und im Bereich von 2.400-4.800 Hertz — zu erkennen. Der phonetische Unterschied bei Au und Eu kommt also auch im Oktavsieboszillogramm sofort zum Ausdruck. Bei Ei (Abb. 8c) ist der Uebergang vom E nach I (insbesondere auch in den tiefen Oktavbereichen) deutlich zu erkennen.

Auch die physikalischen Vorgänge bei den am schnellsten veränderlichen Sprachlauten, den Explosivlauten, konnten mit der Methode der Oktavsieboszillographie weitgehend geklärt

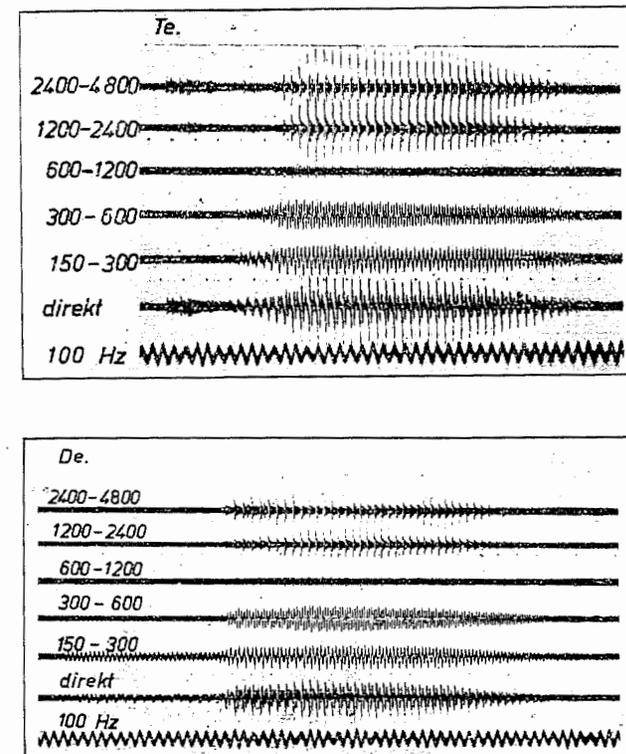


Abb. 9. Oktavsieboszillogramme der gesprochenen Silben *Te* und *De*.

werden. In Abb. 9 sind Oktavsieboszillogramme der Silben *Te* und *De* dargestellt. Das *Te* beginnt mit einem Konsonantengeräusch, welches im Augenblick der Sprengung des in diesem Falle zwischen der Zunge und den Vorderzähnen liegenden Ver-

schlusses auftritt. Das Konsonantgeräusch entsteht durch Wirbelbildung an den Zähnen, es liegt in den Oktavbereichen 2.400-4.800 Hertz und darüber. Erst einige Zeit nach dem Konsonantgeräusch setzt dann die (in dem tiefsten Oktavbereich erkennbare) Stimmbandschwingung ein.

Aehnlich wie beim T liegen die Verhältnisse bei den anderen zur Konsonantengruppe der Tenues gehörenden Laute P und K. Die Verhältnisse entsprechen durchaus den Anschauungen von HELMHOLTZ über die Erzeugung dieser Laute: Im Augenblick der Explosion ist bei den Tenues die Stimmritze noch weit geöffnet, erst allmählich nähern sich die Stimmbänder, bis die Ritze so eng geworden ist, dass sie zu schwingen beginnen.

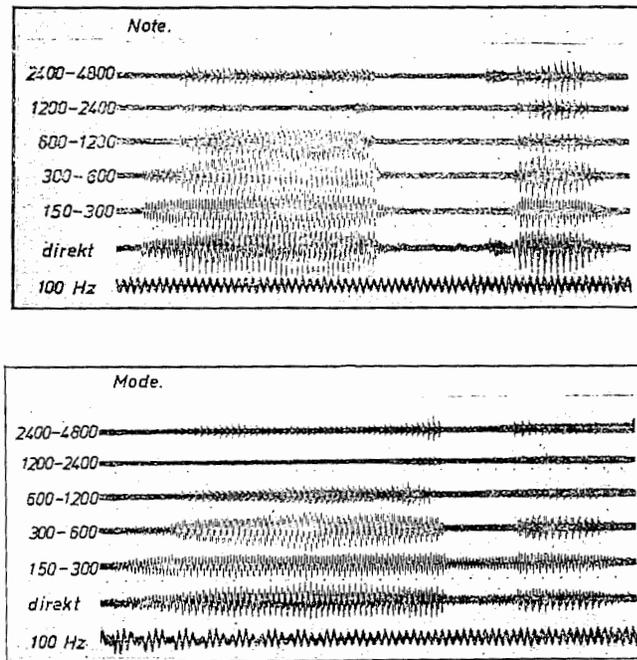


Abb. 10. Oktavsieboszillogramme der Wörter *Note* und *Mode*.

Bei der Konsonantengruppe der Mediae (Vergl. Abb. 8a De) liegen die Verhältnisse umgekehrt. Vor Abgabe dieser Laute ist die Stimmritze geschlossen. Die Stimmbänder beginnen dann in dem Augenblick, wo Luft in die Mundhöhle hinein gepumpt wird, zu schwingen. (Vergl. Abb. 9b, Oktavbereich 150-300 Hertz.) Erst dann, wenn der Druck in der Mundhöhle

gross genug geworden ist, platzt der Verschluss, es entsteht ein kurzes Konsonantgeräusch und der auf den Konsonanten folgende Vokal wird dann rasch aufgebaut. Es ist erstaunlich, welche Einzelheiten HERMANN VON HELMHOLTZ — dessen Anschauungen über die Konsonantenbildung wir eben folgten (1) — mit unbewaffnetem Ohr noch erkannte. Die oktavsieboszillographischen Untersuchungen bestätigen auch in Einzelheiten die Feststellungen des grossen Forschers auf das Beste.

Auch beim Uebergang zwischen zwei Silben in gesprochenen Wörtern lassen sich die eben skizzierten Unterschiede zwischen den Mediae und den Tenues erkennen. Abb. 10 zeigt Oszillogramme der Wörter *Note* und *Mode*. Während im erst genannten Wort der Stimmtone vor Erzeugung der Silbe *Te* aufgehört hat, läuft er in dem Wort, welches die Silbe *De* enthält, nahezu unverändert durch.

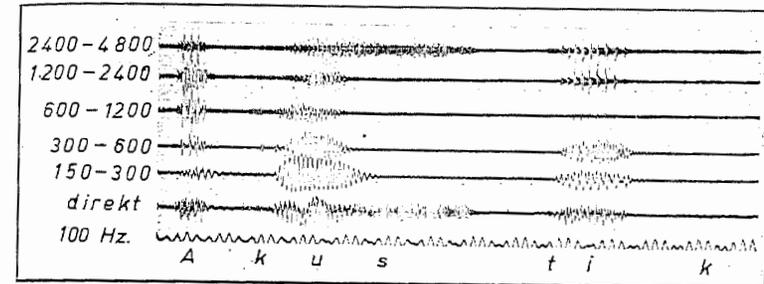


Abb. 11. Oktavsieboszillogramm des Wortes *Akustik*.

Eine weitere Aufnahme, welche sehr gut die Leistungsfähigkeit der oktavsieboszillographischen Methode zeigt, ist diejenige des Wortes *Akustik*. Alle Einzelheiten, wie z. B. der nahezu momentane Aufbau des A Formanten, das Konsonantgeräusch im Augenblick der Verschlussfreigabe beim Laut K, die tiefe Formantlage des U, das S mit seinen ausserordentlich hohen Komponenten, das Konsonantgeräusch des T, den hohen I Formanten und das abschliessende K sind auf das genaueste zu erkennen.

Ich glaube, dass es nicht nötig ist, den eben gebrachten Beispielen weitere zuzufügen; sie werden ausreichen, um zu zeigen, wie ungemein anschaulich man mit der Methode der Oktavsieb-

(1) H. VON HELMHOLTZ, *Die Lehre von den Tonempfindungen*, S. 113, u. f. Vergl. zu diesen Fragen auch die bereits erwähnte Arbeit von H. BACKHAUS, der zuerst oszillographische Untersuchungen über Konsonanten ausführte.

oszillographie auch schnellst veränderliche Vorgänge herausarbeiten kann. Der Einwand, es liessen sich durch eine genaue Fourieranalyse gewöhnlicher Oszillogramme mehr Einzelheiten erkennen als aus Oktavsieboszillogrammen, ist ohne weiteres durch den Hinweis zu entkräften, dass es jeder Zeit möglich ist, auch die Oktavsieboszillogramme zusätzlich Oktavbereich für Oktavbereich nach Fourier zu analysieren, wobei man dann alle die Einzelheiten gewinnen kann, die überhaupt durch eine Fourieranalyse herausgearbeitet werden können; ein derartiges mühsames Vorgehen dürfte aber, wie die behandelten Beispiele zeigen, nur bei ganz bestimmten Fragestellungen erforderlich sein.

Für die phonetische Wissenschaft dürften Untersuchungen mit der oktavsieboszillographischen Methode von besonderem Interesse sein. Ist es doch jetzt möglich, — sei es am unmittelbar aufgenommenen Text, sei es vom Tonfilm oder von Schallplatten aus —, rasch und ohne grosse Rechenarbeit sehr weit reichende Feststellungen über die zeitlichen Aenderungen der Klangzusammensetzung zu machen, Aussagen über persönliche Klangfarbe, über dialektische Eigentümlichkeiten oder dergl. zu gewinnen.

#### DISCUSSION :

Dr. D. WEISS (Antwerp) :

Wenn man die Vokalcharakteristika in *gesungenen* Vokalen sucht, so läuft man Gefahr, sie dort zu suchen, wo sie am allerwenigsten vorhanden sind. Orientierende Versuche im logopädischen Ambulatorium der Wiener Universitätsklinik für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfkrankheiten haben ergeben, dass selbst phonetisch vorgeschulten Personen Irrtümer unterlaufen, wenn sie den Vokalcharakter von gesungenen Vokalen, von denen sie aber nur den mittleren Teil hören (also weder den Anfang noch das Ende), beurteilen wollen. — Der Gegensatz HELMHOLTZ-HERMANN in der Frage des physiologischen Zustandekommens der Vokale scheint durch die Koppelungsfrage abgelöst zu werden, d. h. die Koppelungsfrage lässt diese alte Streitfrage als überholt erscheinen. — Die Entscheidung zugunsten der rein harmonischen Obertöne (im Sinne Helmholtz'), die man durch das äusserst geistreiche Suchtonverfahren von GRÜTZMACHEE als herbeigeführt betrachtet hat, kann doch nicht als einwandfrei betrachtet werden, handelt es sich doch, wie HERMANN meint, um unharmonische Obertöne, die immer mit einer Phasenverschiebung, also „aperiodisch“ beginnen und aus diesem Grunde den Suchtoneffekt nicht hervortreten lassen

können, auch wenn sie vorhanden sind. Ausserdem klingen sie ja nach der Hermannschen Auffassung rasch ab. So möchte ich eben meinen, dass die Frage durch das Suchtonverfahren nicht entschieden ist, man müsse andere Methoden zwecks Entscheidung suchen.

19. Prof. A. VAN ITTERBEEK (Louvain) : *Sur l'absorption du son dans les gaz.*

1. Un des problèmes des plus difficiles, mais cependant des plus intéressants en acoustique est celui de l'absorption du son ou la perte d'énergie que subit une onde sonore lorsqu'elle se propage soit dans une atmosphère libre ou bien dans un milieu gazeux limité par une enceinte.

Le problème de l'absorption du son peut avoir son intérêt pour la phonétique, en ce sens que cette absorption dépend fortement de la fréquence. La perte en énergie acoustique n'est pas la même pour toutes les fréquences. Le cas de l'absorption par une masse gazeuse enfermée dans une enceinte serait certainement le plus intéressant pour la phonétique. Or, il faut avouer que les expériences ainsi que la théorie ne sont pas encore suffisamment avancées pour pouvoir être appliquées à ce cas.

Pour le moment on est seulement parvenu à comprendre l'absorption du son dans un gaz non limité par des parois et ceci même date seulement depuis les deux dernières années. Il nous semble cependant que ceci constitue déjà un très grand avancement, sinon la base essentielle de la solution du problème de l'absorption considérée sous sa forme la plus générale. Pour cette raison il nous paraît utile de développer ici le problème de l'absorption sous sa forme particulière — l'absorption dans un gaz non limité par des parois.

Grâce au travail expérimental qui a été fait les deux dernières années dans mon laboratoire (1) nous avons eu une très grande part dans la résolution du problème sous sa forme particulière.

2. *Le problème de l'absorption du son dans les gaz.* L'air qui nous entoure permet au son de se propager autour de nous. Si on faisait le vide autour de nous, on ne nous entendrait plus. Les conditions physiques de l'air (température, pression, présence de gaz étrangers tels que la vapeur d'eau ou l'anhydride carbonique) ont une influence très grande sur la perte en intensité du son le long de son chemin de parcours. Le problème qui

(1) A. VAN ITTERBEEK et P. MARIËNS, *Physica*, 4, 207, 1937; 4, 609, 1937; *Nature*, 140, 856, 1937; *Physica*, 5, 153, 1938.  
A. VAN ITTERBEEK and L. THYS, *Physica*, 5, 298, 1938.